

目 录

第一篇 ANSYS 10.0 热分析基本教程

第 1 章 概述	1
1-1 ANSYS 10.0 简介	2
1-1-1 ANSYS 10.0 发展过程	2
1-1-2 ANSYS 10.0 技术特点	2
1-1-3 ANSYS 10.0 使用环境	2
1-1-4 ANSYS 10.0 程序功能	3
1-1-5 ANSYS 10.0 创新之处	3
1-1-6 ANSYS 10.0 文件系统	6
1-2 ANSYS 10.0 基本操作	6
1-2-1 ANSYS 10.0 启动与设置	6
1-2-2 ANSYS 10.0 用户界面	7
1-2-3 退出 ANSYS 10.0	9
1-3 ANSYS 10.0 热分析	9
1-3-1 ANSYS 10.0 热分析概述	10
1-3-2 ANSYS 10.0 热分析基本原理	10
1-4 ANSYS 10.0 耦合场分析	11
第 2 章 热分析基础知识	17
2-1 热分析符号与单位	18
2-2 传热学经典理论	18
2-3 三种基本热传递方式	19
2-3-1 热传导	19
2-3-2 对流	19
2-3-3 辐射	20
2-4 热分析材料基本属性	20
2-4-1 比热容 (Specific Heat)	20
2-4-2 焓 (Enthalpy)	20
2-4-3 生热率 (Heat Generation Rate)	21
2-5 边界条件与初始条件	21
2-5-1 三类边界条件	21
2-5-2 初始条件	21
2-6 热载荷	22

热分析教程与实例解析

2-7 稳态与瞬态热分析	22
2-7-1 稳态传热	22
2-7-2 瞬态传热	23
2-8 线性与非线性热分析	23
第3章 稳态热分析	25
3-1 稳态热分析的应用	26
3-2 热分析单元	26
3-3 稳态热分析基本步骤	30
3-3-1 建立有限元模型	30
3-3-2 施加载荷	33
3-3-3 求解	49
3-3-4 后处理	54
第4章 瞬态热分析	57
4-1 瞬态热分析的应用	58
4-2 瞬态热分析单元	58
4-3 瞬态热分析基本步骤	58
4-3-1 建立有限元模型	58
4-3-2 施加载荷计算	60
4-3-3 求解	63
4-3-4 后处理	64
第5章 辐射热分析	67
5-1 辐射热分析的应用	68
5-2 辐射热分析常用单元	68
5-3 辐射热分析基本概念	68
5-3-1 黑体	68
5-3-2 灰体	69
5-3-3 角系数	70
5-4 热辐射公式	70
5-4-1 角系数的计算	70
5-4-2 热辐射计算方程	71
5-5 辐射热分析求解方法	71
5-5-1 非隐藏法与隐藏法	71
5-5-2 点-点问题	72
5-5-3 点-面问题	73
5-5-4 面-面问题及 AUX12 矩阵生成器	73
5-6 空间节点的使用	79

第 6 章 相变分析	81
6-1 相变分析简介	82
6-2 相变分析应注意的问题	82
第 7 章 热应力分析	87
7-1 热应力分析简介	88
7-2 热应力分析单元	88
7-2-1 直接法进行热应力分析单元	88
7-2-2 间接法进行热应力分析单元	88
7-3 热应力分析基本步骤	89
7-3-1 直接法进行热应力分析基本步骤	89
7-3-2 间接法进行热应力分析基本步骤	105
第 8 章 流体热分析	107
8-1 FLOTRAN 热分析简介	108
8-1-1 FLOTRAN 热分析的功能	108
8-1-2 FLOTRAN 热分析的基本要求	108
8-2 FLOTRAN 热分析求解	109
8-2-1 FLOTRAN 热分析求解内容	109
8-2-2 FLOTRAN 热分析方法	109
8-2-3 FLOTRAN 热分析的基本步骤	110
 第二篇 ANSYS 10.0 热分析实例解析	
第 9 章 稳态热分析实例详解	113
9-1 实例 1——短圆柱体的热传导过程	114
9-1-1 问题描述	114
9-1-2 问题分析	114
9-1-3 2D 建模求解步骤	114
9-1-4 3D 建模求解步骤	122
9-2 实例 2——长空心圆柱体的热传导过程	128
9-2-1 问题描述	128
9-2-2 问题分析	128
9-2-3 求解步骤	128
9-3 实例 3——保温筒的对流传热过程	133
9-3-1 问题描述	133
9-3-2 问题分析	134

热分析教程与实例解析

9-3-3 求解步骤	134
9-4 实例 4——高温炉炉壁的热传导过程	141
9-4-1 问题描述	141
9-4-2 问题分析	142
9-4-3 求解步骤	142
9-5 实例 5——自适应网格法分析矩形截面梁的对流传热过程	148
9-5-1 问题描述	148
9-5-2 问题分析	149
9-5-3 求解步骤	149
9-6 实例 6——长圆柱体圆周受谐响应热载荷	154
9-6-1 问题描述	154
9-6-2 问题分析	154
9-6-3 求解步骤	154
9-7 实例 7——导管和罐体结合处的稳态热分析	160
9-7-1 问题描述	160
9-7-2 问题分析	161
9-7-3 求解步骤	161

第 10 章 瞬态热分析实例详解

173

10-1 实例 1——钢球瞬态传热过程分析	174
10-1-1 问题描述	174
10-1-2 问题分析	174
10-1-3 求解步骤	174
10-2 实例 2——型材瞬态传热过程分析	186
10-2-1 问题描述	186
10-2-2 问题分析	187
10-2-3 求解步骤	187
10-3 实例 3——平板承受热载荷	195
10-3-1 问题描述	195
10-3-2 问题分析	196
10-3-3 求解步骤	196
10-4 实例 4——半无限大体受线性变化的温度载荷	203
10-4-1 问题描述	203
10-4-2 问题分析	203
10-4-3 求解步骤	204
10-5 实例 5——高温铜导线冷却过程分析	210
10-5-1 问题描述	210
10-5-2 问题分析	211
10-5-3 求解步骤	211

10-6 实例 6——带轮淬火过程分析	216
10-6-1 问题描述	216
10-6-2 问题分析	218
10-6-3 求解步骤	218
第 11 章 辐射热分析实例详解	239
11-1 实例 1——黑体辐射	240
11-1-1 问题描述	240
11-1-2 问题分析	240
11-1-3 求解步骤	240
11-2 实例 2——等轴同心圆柱面的辐射传热	245
11-2-1 问题描述	245
11-2-2 问题分析	245
11-2-3 求解步骤	245
11-3 实例 3——等轴同心圆柱体的辐射传热	256
11-3-1 问题描述	256
11-3-2 问题分析	257
11-3-3 求解步骤	257
11-4 实例 4——型钢的热辐射过程	268
11-4-1 问题描述	268
11-4-2 问题分析	268
11-4-3 求解步骤	268
第 12 章 相变分析实例详解	279
12-1 实例 1——水结冰过程分析	280
12-1-1 问题描述	280
12-1-2 问题分析	280
12-1-3 求解步骤	281
12-2 实例 2——冰融化过程分析	293
12-2-1 问题描述	293
12-2-2 问题分析	294
12-2-3 求解步骤	294
12-3 实例 3——铸造过程热分析	304
12-3-1 问题描述	304
12-3-2 问题分析	305
12-3-3 求解步骤	305
第 13 章 热应力分析实例详解	319
13-1 实例 1——圆筒内部热应力分析	320

热分析教程与实例解析

13-1-1	问题描述	320
13-1-2	问题分析	320
13-1-3	间接法求解步骤	320
13-1-4	直接法求解步骤	328
13-2	实例 2——冷却栅管的热应力分析	333
13-2-1	问题描述	333
13-2-2	问题分析	334
13-2-3	求解步骤	334
13-3	实例 3——两无限长平板热膨胀分析	345
13-3-1	问题描述	345
13-3-2	问题分析	346
13-3-3	求解步骤	346
13-4	实例 4——包含焊缝的金属板热膨胀分析	352
13-4-1	问题描述	352
13-4-2	问题分析	353
13-4-3	求解步骤	353
13-5	实例 5——连杆热应力分析	366
13-5-1	问题描述	366
13-5-2	问题分析	367
13-5-3	求解步骤	367
13-6	实例 6——热喷涂过程中熔滴在基体表面沉积凝固后的残余应力分析	382
13-6-1	问题描述	382
13-6-2	问题分析	383
13-6-3	求解步骤	384
13-7	实例 7——滑块滑动摩擦生热分析	399
13-7-1	问题描述	399
13-7-2	问题分析	400
13-7-3	求解步骤	400

第 14 章 FLOTRAN 热分析实例详解413

14-1	实例 1——层流流体受均匀壁面热通量	414
14-1-1	问题描述	414
14-1-2	问题分析	414
14-1-3	求解步骤	415
14-2	实例 2——空腔中空气的热稳态层流分析	429
14-2-1	问题描述	429
14-2-2	问题分析	429
14-2-3	求解步骤	429

Chapter



概述

本章提示:

本章向读者介绍 ANSYS 10.0 的发展过程、技术特点、使用环境、程序功能、创新之处、文件系统、基本操作以及 ANSYS 10.0 的热分析功能、热分析基本原理和 ANSYS 10.0 中与热相关的耦合场分析的方法和单元。

学习目标:

通过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 的基本操作、热分析基本概念、热分析单元以及与热分析相关的耦合场单元,熟悉 ANSYS 10.0 热分析基本原理。

1-1 ANSYS 10.0 简介

ANSYS 程序是融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元商用分析软件,可广泛应用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、电子、造船、汽车交通、国防军工、土木工程、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等一般工业及科学研究。该软件可在大多数计算机和操作系统中运行,从 PC 到工作站直至巨型计算机,ANSYS 文件在其所有的产品系列和工作平台上均兼容;该软件基于 Motif 的菜单系统使用户能够通过对话框、下拉菜单和子菜单进行数据输入和功能选择,此举大大方便了用户的操作。它由世界上最大的有限元分析软件公司之一的美国 ANSYS 公司开发,能与多数 CAD 软件接口,实现数据的共享和交换,是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一,也是迄今为止世界范围内唯一通过 ISO9001 质量体系认证的分析设计类软件。

在 ANSYS 公司相继收购 ICEM、CFX、CENTURY DYNAMICS、AAVID THERMAL、FLUENT 等世界著名有限元分析程序制造公司,并将其产品和 ANSYS 整合之后,ANSYS 实际上已成为世界上最通用和有效的商用有限元软件。

1-1-1 ANSYS 10.0 发展过程

ANSYS 公司是由美国匹兹堡大学的 John Swanson 博士在 1970 年创建的,其总部位于美国宾夕法尼亚州的匹兹堡,目前是世界 CAE 行业最大的公司。30 余年来,ANSYS 公司一直致力于设计分析软件的开发,不断吸取新的计算方法和计算技术,领导着世界有限元技术的发展。

ANSYS 程序的最初版本与最新版本 ANSYS 10.0 相比有很大区别,最初版本仅仅提供了热分析和线性分析功能,是一个批处理程序,而且只能在大型计算机上使用。20 世纪 70 年代初,随着非线性、子结构以及更多的单元类型的加入,ANSYS 程序发生了很大的变化,新技术的融入进一步满足了用户的需求;70 年代末,交互方式的加入是该软件最为显著的变化,此举使得模型生成和结果评价大为简化。

1-1-2 ANSYS 10.0 技术特点

与其他的有限元计算软件相比,ANSYS 具有以下技术特征:能实现多场及多场耦合功能;集前后处理、分析求解及多场分析于一体;独一无二的优化功能,唯一具有流场优化功能的 CFD 软件;具有强大的非线性分析功能;具备快速求解器;最早采用并行计算技术的 FEA 软件;从微机、工作站、大型机直至巨型机所有硬件平台上全部数据文件兼容;支持从 PC、WS 到巨型机的所有硬件平台;从微机、工作站、大型机直至巨型机所有硬件平台上具有统一用户界面;可与大多数的 CAD 软件集成并有接口;可进行智能网格划分;具有多层次多框架的产品系列;具备良好的用户开发环境。

1-1-3 ANSYS 10.0 使用环境

ANSYS 程序是一个功能强大的有限元计算分析软件包。它可运行于 PC、NT 工作站、UNIX 工作站以及巨型计算机等各类计算机及操作系统中,其数据文件在其所有的产品系列

和工作平台上均兼容。该软件有多种不同版本,目前最新版本为 ANSYS 10.0 版,其微机版本要求的操作系统为 Windows 95/98/2000、Windows NT 及 Windows XP,也可运行于 UNIX 系统下;微机版的基本硬件要求为:显示分辨率为 1024×768,显示内存为 2MB 以上,硬盘大于 350MB,推荐使用 17 英寸显示器。

ANSYS 多物理场耦合的功能,允许在同一模型上进行各种耦合计算,如:热-结构耦合、热-电耦合、磁-结构耦合以及热-电-磁-流体耦合,同时在 PC 上生成的模型可运行于工作站及巨型计算机上,所有这一切就保证了 ANSYS 用户对多领域工程问题的求解。

ANSYS 可与多种先进的 CAD(如 AutoCAD、Pro/ENGINEER、NASTRAN、Alogor、I-DEAS 等)软件共享数据,利用 ANSYS 的数据接口,可以精确地将在 CAD 系统下生成的几何模型数据传输到 ANSYS,并通过必要的修补可准确地在该模型上划分网格并进行求解,这样就可以节省用户在创建模型的过程中所花费的大量时间,使用户的工作效率大幅度提高。

1-1-4 ANSYS 10.0 程序功能

ANSYS 程序主要包括 3 个部分:前处理模块,求解模块和后处理模块。前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具,用户可以方便地构造有限元模型;求解模块包括结构分析(结构线性分析、结构非线性分析和结构高度非线性分析)、热分析、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析,可模拟多种物理介质的相互作用,具有灵敏度分析及优化分析能力;后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、矢量显示、粒子流显示、立体切片显示、透明及半透明显示等图形方式显示出来,也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。ANSYS 程序提供了 100 种以上的单元类型,用来模拟实际工程中的各种结构和材料。

启动 ANSYS,进入 ANSYS 图形用户界面。从开始平台(主菜单)可以进入各处理模块:PREP7(通用前处理模块),SOLUTION(求解模块),POST1(通用后处理模块),POST26(时间历程后处理模块)。

1-1-5 ANSYS 10.0 创新之处

1. 新功能

ANSYS 10.0 秉承 Workbench 主旋律,提供给用户可供选择的全自动或个人控制的强大功能,新版本在核心的网格处理技术上有十足的增强,可实现在 ANSYS Workbench 各个应用程序间共享网格。另外,双向参数互动的 CAD 接口的稳健性也得到了提高。ANSYS ICEM CFD 10.0 通过混合网格剖分新功能和 CAD 模型细节处理功能,提供了一系列网格划分工具用来模拟真实世界。

在机械应用领域,ANSYS 10.0 增加了旋转机械的陀螺效应,从而提高了 ANSYS 对涡轮机械和其他旋转结构的转子动力学分析的能力。在转子结构的动力分析中,ANSYS 10.0 可以通过 CORIOLIS 命令在静止或旋转参考系中考虑惯性效应。在具有不同角速度的多载荷步模态分析中,可以生成坎贝尔(COMPABELL)图显示自然频率的变化。随着新的接触单元 CONTA176 的加入及其他接触单元功能的扩充,ANSYS 10.0 在解决接触工程问题上的功能日益强化。

热分析教程与实例解析

在高频电磁领域, 10.0 版本提供了一个新的模式端口。此端口大大简化了集成电路 (IC)、射频识别 (RFID) 和射频微机电系统 (MEMS) 等多种设备分析传输端口的建模过程。标准算例显示, 利用此端口建模, 可以显著缩小模型尺寸, 在保证精确的频域计算结果的前提下, 节约 30%~50% 的求解时间和内存需求。

在流体动力学领域, ANSYS CFX 10.0 的一个显著进步是在全球首次发布具有预测层流向湍流转换的商业 CFD 软件, 这就是新增的 Menter-Langtry γ - θ 模型。结合 ANSYS CFX 和涡轮专用的前后处理 CFD 功能, ANSYS 10.0 版本提供了涡轮机械设计和分析完整的解决方案。10.0 加入了旋转机械和叶片设计工具, 丰富了 Workbench 环境下的行业化功能。即针对旋转机械叶片构件的高效三维设计工具 ANSYS BladeModeler; 以及高质量的叶片设计六面体网格划分工具 ANSYS TurboGrid。

在耦合场领域, 10.0 版本为复杂的流固耦合 (FSI) 问题提供了更完善的解决方案。整合了世界一流的应力分析和流体分析技术, 形成了一套完整的 FSI 解决方案。通过适合于特定要求的网格划分, 一个单一的几何体可以应用于两种场。它通过将 ANSYS Mechanical 与 ANSYS CFX 进行无缝集成来完成真实的流固耦合分析。用户使用多场耦合求解器 MFX 可进行模型运动或变形状态中的瞬态或稳态流固耦合分析, 例如航空器飞行状态中的结构变形和土木工程结构中由于空气的流动而产生的机械振动。

2. 新单元

ANSYS 10.0 提供了如表 1-1 所示的新单元。

表 1-1 ANSYS 10.0 提供的新单元

单元类型	功 能
SURF156	3D 表面线载荷效应结构单元, 用于 3D 结构分析
CONTA176	3D 线-线接触单元, 用于杆、梁结构接触分析
INTER202	2D-4 节点线性界面单元, 用于 2D 界面分离和断裂分析
INTER203	2D-6 节点非线性界面单元, 用于 2D 界面分离和断裂分析
INTER204	3D-16 节点非线性界面单元, 用于 3D 界面分离和断裂分析
INTER205	3D-8 节点线性界面单元, 用于 3D 界面分离和断裂分析

ANSYS 10.0 不支持的单元如表 1-2 所示。

表 1-2 ANSYS 10.0 不支持的单元

单元类型	可替代的单元类型
HYPER56	PLANE182
HYPER58	SOLID185
HYPER74	PLANE183
HYPER84	PLANE182、PLANE183
HYPER86	SOLID185
HYPER158	SOLID187

此外, SHELL99、SURF151、SURF152、TARGE170、CONTA171、ONTA172、CONTA173、CONTA174、CONTA175、CONTA176、SHELL181、MPC184、SOLID186、SOLSH190、PLANE223、SOLID226、SOLID227 这 17 种单元在功能上得到了不同程度的改善,具体情况请参阅 Release 10.0 Documentation for ANSYS。

3. 新命令

ANSYS 10.0 提供了如表 1-3 所示的新命令。

表 1-3 ANSYS 10.0 提供的新命令

命 令	功 能
CORIOLIS	考虑结构的科里奥利效应
CZDEL	编辑或删除由 CZMESH 命令生成的界面单元或节点
CZMESH	创建界面结合区域单元
EXPROFILE	将 ANSYS 界面载荷输出到 CFX 文件
EXUNIT	定义界面载荷单位
HFDEEM	校验 S 型参数的周相移动
HFMODPRT	计算模态端口的电磁场分布
MFLCOMM	定义 MFX 耦合分析过程中的载荷转换
MFPSIMUL	建立场分析多求解器以处理 MFX 耦合场分析问题
MFSORDER	创建 MFX 耦合场分析中多求解器的求解次序
MFWRITE	将 MFX 耦合场分析写入 ANSYS 输入文件
MIDTOL	在结构瞬态分析过程中创建中间步收敛标准值
PCGOPT	PCG 求解器选项设置
PLCAMP	在转子结构动力学分析过程中绘制坎贝尔图
PRCAMP	在转子结构动力学分析过程中打印坎贝尔图
RSOPT	创建并上载辐射映象文件 (SURF251 和 SURF252 单元)
SELTOL	为后续操作提供收敛容限
SPICE	使用 S 型参数从 Touchstone 文件中产生 SPICE 支电路模型
SXOP	DesignXplorer VT 选项设置
SXSFE	将表面载荷定义为 DesignXplorer VT 输入变量

以下命令功能有所改进: ACEL、BFE、CELIST、CMACEL、CMOMEGA、DDELE、ENORM、ESURF、HFPORT、IRLF、MAGOPT、MFDTIME、MFTTER、MFRELAX、NLHIST、OMEGA、RSYS、SECCONTROLS、SECDATA、SEOFFSET、SECREAD、SECTYPE、SLIST、SF、SFA、SFE、SFL、TB。

以下命令在 ANSYS 10.0 中不再使用: DSOPT、DSPROC、FSAN、FSCO、FSDT、FSIN、FSIT、FSOR、FSOU、FSRE、FSRS、FSSOLV、FSSTAT、FSTI、FSTR、/FTYPE

1-1-6 ANSYS 10.0 文件系统

ANSYS 文件的形式为 Jobname.EXT, 包括工作名和扩展名两部分。ANSYS 文件的工作名一般由用户定义, 用于标识不同个体的差异, 而扩展名由 ANSYS 程序定义, 用于标识 ANSYS 文件的不同类型。典型的 ANSYS 文件包括:

- **日志文件 (Jobname.LOG):** 当进入 ANSYS 时系统会打开日志文件。在 ANSYS 中输入的每个命令或在 GUI (图形用户界面) 方式下执行的每个操作都会被复制到日志文件中, 当退出 ANSYS 时系统会关闭该文件。使用 /INPUT 命令读取日志文件可以对崩溃的系统或严重的用户错误进行恢复。
- **数据库文件 (Jobname.DB):** 数据库文件是 ANSYS 程序中最重要文件之一, 它包含了所有的输入数据 (单元、节点信息, 初始条件, 边界条件, 载荷信息) 和部分结果数据 (通过 POST1 后处理器中读取)。
- **错误文件 (Jobname.ERR):** 错误文件用于记录 ANSYS 发出的每个错误或警告信息。如果 Jobname.ERR 文件在启动 ANSYS 之前已经存在, 那么所有新的警告和错误信息都将追加到这个文件的后面。
- **输出文件 (Jobname.OUT):** 输出文件会将 ANSYS 给出的响应捕获至用户执行的每个命令, 而且还会记录警告、错误消息和一些结果。
- **结果文件 (Jobname.RST、Jobname.RTH、Jobname.RMG):** 存储 ANSYS 计算结果的文件。其中, Jobname.RST 为结构分析结果文件; Jobname.RTH 为热分析结果文件; Jobname.RMG 为电磁分析结果文件。

1-2 ANSYS 10.0 基本操作

1-2-1 ANSYS 10.0 启动与设置

ANSYS 10.0 启动路径为: 开始 | 程序 | ANSYS 10.0 | ANSYS Product Launcher, 启动后出现如图 1-1 所示的 10.0: ANSYS Product Launcher 窗口。

1. 选择 ANSYS 产品

单击 Launch 按钮, 用户可根据使用要求在 Simulation Environment 下拉列表框中选择模拟环境, 一般选择 ANSYS; 在 License 下拉列表框中选择 ANSYS 产品, 一般选择 ANSYS Multiphysics/LS-DYNA。

2. 选择工作目录、设置工作文件名

单击 File Management 按钮, 在 Working Directory 文本框中输入工作目录, 也可通过单击 Browse 按钮进行浏览选择, 此目录一旦选定, ANSYS 所有生成文件都将自动写在此目录下; 在 Job Name 文本框中输入工作文件名, 也可通过单击 Browse 按钮浏览选择工作文件名, ANSYS 默认工作文件名为 file。

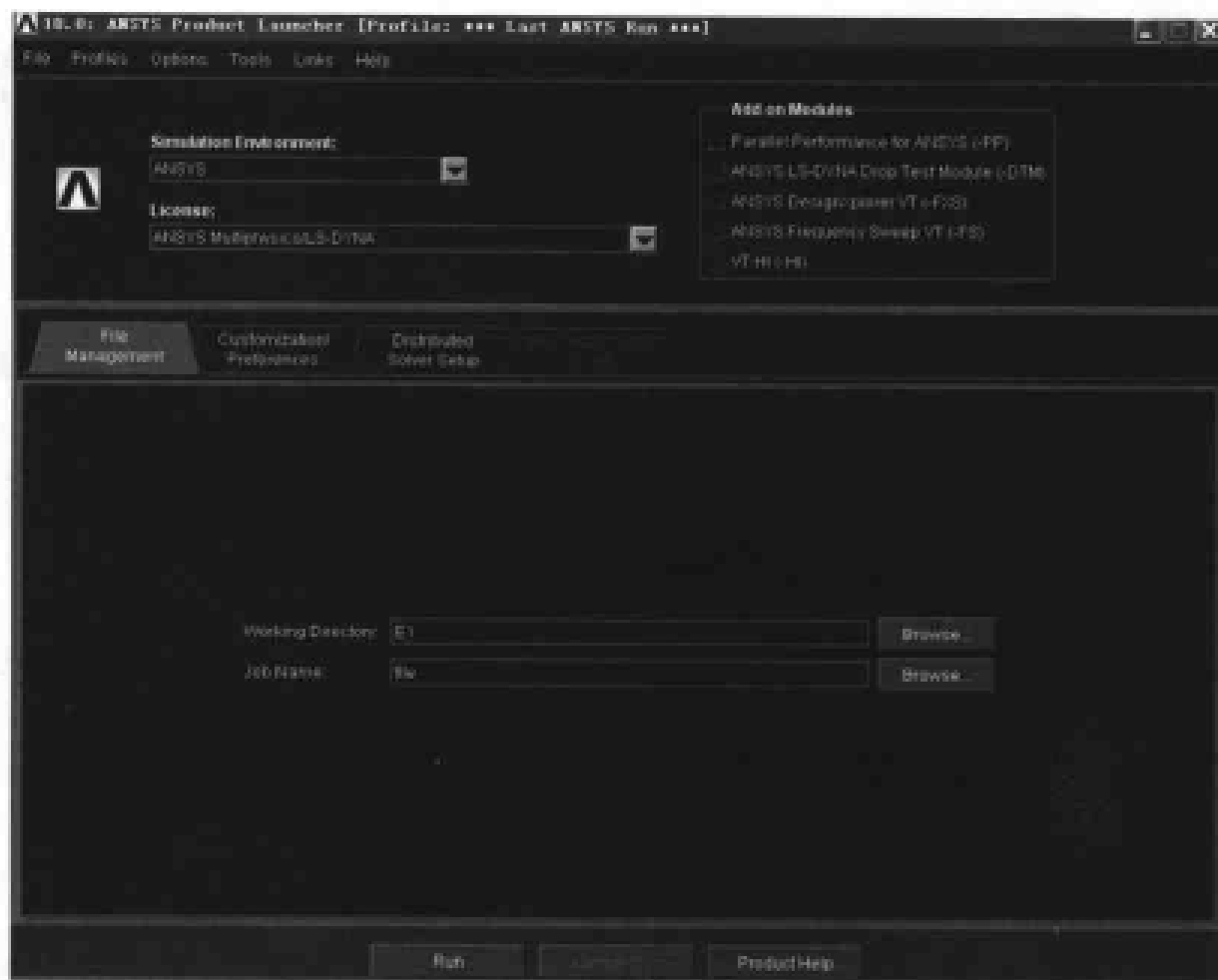


图 1-1 10.0: ANSYS Product Launcher 窗口

3. 设置 ANSYS 工作空间和数据库的大小

单击 Customization/Preferences 按钮，在 Memory 下拉列表框中设置 ANSYS 工作空间和数据库的大小。在 Graphics Device Name 下拉列表框中设置图形设备驱动，ANSYS 程序提供了 3 种不同的图形设备驱动，分别为 Win32、Win32c 和 3D 选项。Win32 选项适用于大多数的图形显示，在后处理过程中可以提供 9 种颜色的等值线；Win32c 选项则能提供 128 种颜色的区别；3D 选项则对 3 维图形的显示具有良好的效果。如果计算机配置了 3D 卡，则应选择 3D 选项。

4. 运行 ANSYS

当以上各种参数设置完毕之后，就可以单击 Run 按钮运行 ANSYS。

1-2-2 ANSYS 10.0 用户界面

启动 ANSYS 后，其图形用户界面如图 1-2 所示。

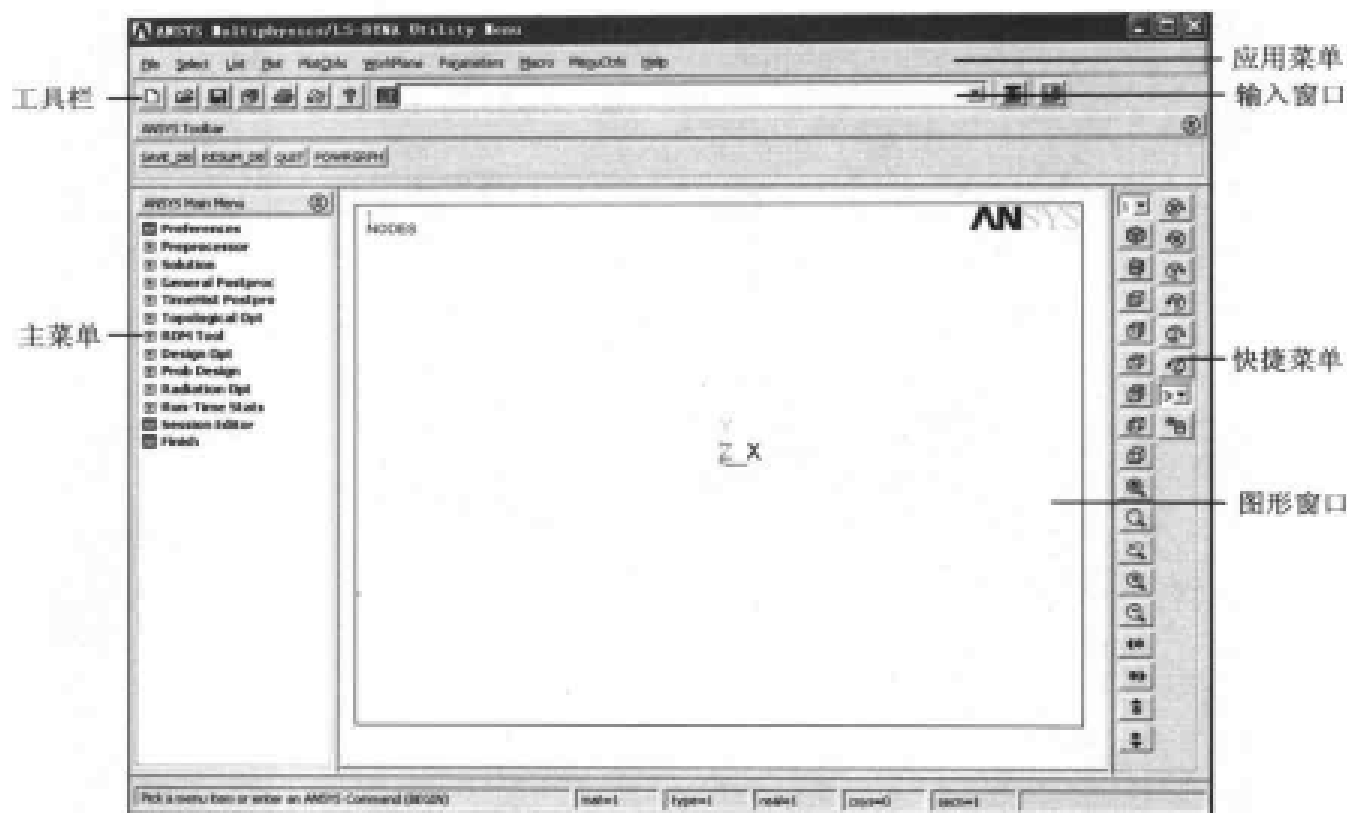


图 1-2 ANSYS 10.0 图形用户界面

1. 应用菜单 (Utility Menu)

包含例如文件管理、选择、列表显示、显示控制、参数设置、宏设置以及帮助查询等功能。该菜单为下拉式结构，可直接完成某一功能或弹出对话框。

2. 主菜单 (Main Menu)

包含前处理、求解、后处理、优化设计等 ANSYS 的主要功能。

3. 输入窗口 (Input)

该窗口为 ANSYS 命令的输入区域，可以显示程序的提示信息 and 浏览已经输入的命令，所有输入的命令将在此窗口显示。

4. 工具条 (Toolbar)

包含存储、读取数据文件、关闭 ANSYS 等功能。

5. 图形窗口 (Main Menu)

该窗口显示由 ANSYS 创建或传递到 ANSYS 的模型及分析结果等图形。

6. 快捷菜单 (Shortcut Menu)

包含窗口选择、视图显示选择、图形放大、缩小、旋转、平移等常用功能，为用户提供了快捷的操作方式，方便用户使用。

7. 信息输出窗口 (Output Window)

图 1-3 所示为 ANSYS 的信息输出窗口，该窗口显示用户对 ANSYS 的操作信息，包括操作过程信息、计算过程信息和错误提示信息等，该窗口通常在其他窗口之后，需要查看时可单击使之成为当前窗口。

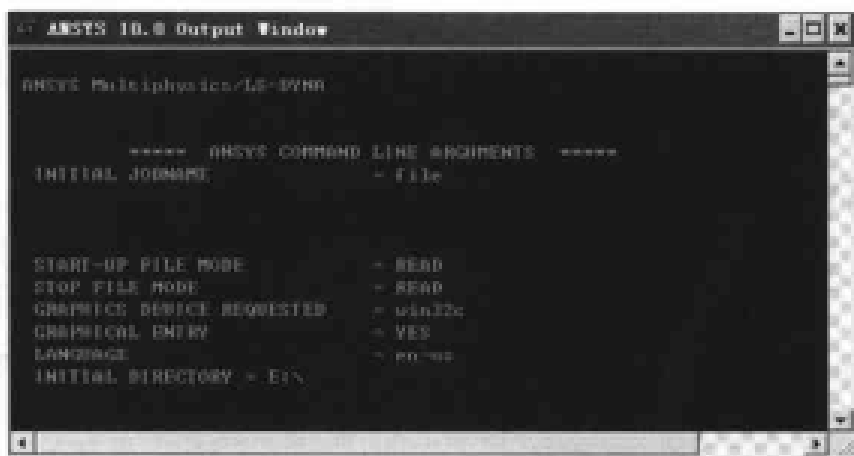


图 1-3 ANSYS 10.0 信息输出窗口

1-2-3 退出 ANSYS 10.0

在 ANSYS 应用菜单中选择 Utility Menu | File | Exit 命令，或单击工具栏中的 QUIT 按钮，将出现如图 1-4 所示的关闭 ANSYS 对话框，其中的 4 个单选按钮的功能如下：

- Save Geom+Loads：退出 ANSYS 时，保存几何模型、载荷及约束。
- Save Geo+Ld+Solu：退出 ANSYS 时，保存几何模型、载荷、约束及求解结果。
- Save Everything：退出 ANSYS 时，保存所做的修改。
- Quit-No Save！：退出 ANSYS 时，不保存所做的修改。

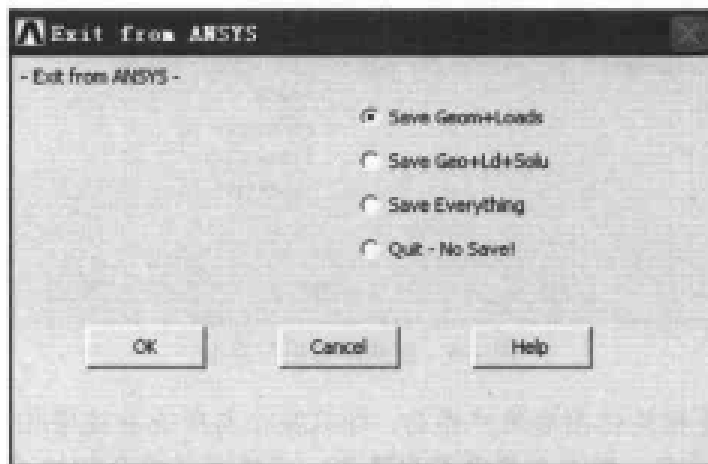


图 1-4 关闭 ANSYS 对话框

选择所需要的单选按钮，单击 OK 按钮退出 ANSYS。

1-3 ANSYS 10.0 热分析

在实际生产过程中，常常会遇到多种多样的热量传递问题：如计算某个系统或部件的温度分布、热量的获取或损失、热梯度、热流密度、热应力、相变等。所涉及的部门包括：能源、化工、冶金、建筑、电子、航空航天、农业、制冷、船舶等。以机械加工为例，往往需要估算和控制工件温度场：分析不同工作条件下，不同材料及几何形状对温度场变化的影响：

以及防止加工过程工件中缺陷的产生。ANSYS 作为新颖的有限元分析软件在热分析问题方面具有强大的功能,而且界面友好,易于掌握。用户可以随心所欲地选择图形用户界面方式(GUI)或命令流方式进行计算。

1-3-1 ANSYS 10.0 热分析概述

ANSYS 10.0 的热分析模块一般包括 ANSYS/Multiphysics、ANSYS/Mechanical、ANSYS/Thermal、ANSYS/FLOTRAN、ANSYS/ED 5 种,其中 ANSYS/FLOTRAN 不含相变热分析。ANSYS 热分析基于能量守恒原理的热平衡方程,用有限元法计算物体内部各节点的温度,并导出其他热物理参数。运用 ANSYS 软件可进行热传导、热对流、热辐射、相变、热应力以及接触热阻等问题的分析求解。

进入 ANSYS 10.0 用户界面之后,选择 Main Menu | Preferences 命令,出现 Preferences for GUI Filtering 对话框,如图 1-5 所示,选择与热分析相关的关键字过滤图形用户界面。

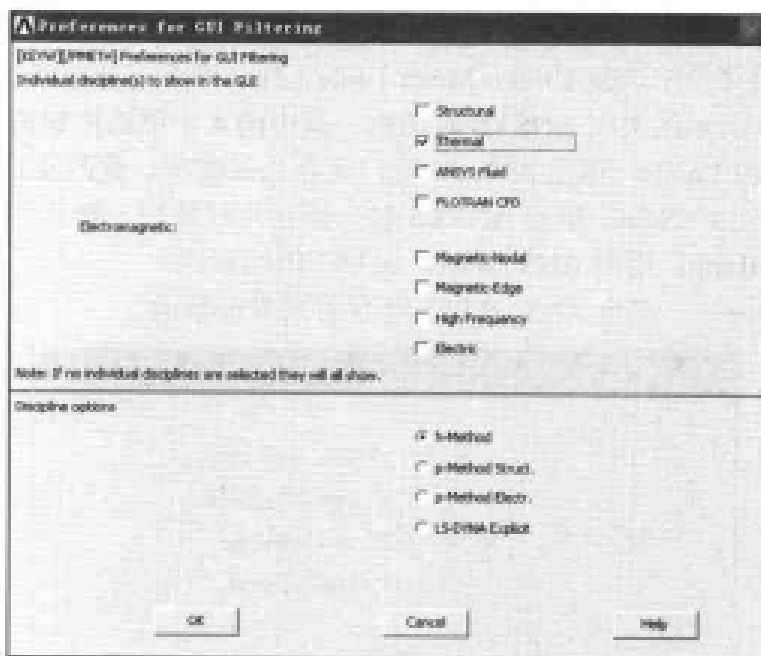


图 1-5 过滤图形用户界面

提示:所谓“过滤”是指简化图形用户界面,即只显示与所选关键字相关的内容。比如选择了 Thermal 关键字,那么在单元类型库中,只提供与热分析相关的单元类型。

1-3-2 ANSYS 10.0 热分析基本原理

ANSYS 进行热分析计算的基本原理是把所处理的对象首先划分成有限个单元(每个单元包含若干个节点),然后根据能量守恒原理求解一定边界条件和初始条件下每一节点处的热平衡方程,由此计算出各节点温度值,继而进一步求解出其他相关量。

以 SOLID5 单元为例,该单元为 8 节点六面体单元,如图 1-6 所示。六面体中任意一点的温度被离散到 8 个顶点中,即可用 T_a 、 T_b 、 T_c 、 T_d 、 T_e 、 T_f 、 T_g 和 T_h 8 个温度值来表示该单元中的温度场。

$$T=f(T_a, T_b, T_c, T_d, T_e, T_f, T_g, T_h)$$

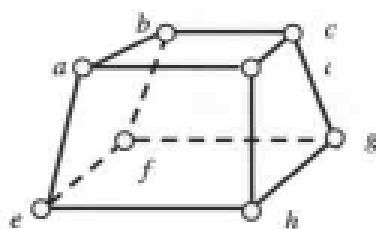


图 1-6 SOLID5 单元

对于图 1-7 所示具有一定边界的区域，可以将其划分为有限个 SOLID5 单元。每一节点都有对应的数字序号 1、2、3 等；每一单元也有其相应的编号①、②、③等。各相邻单元之间通过公共顶点相互关联。

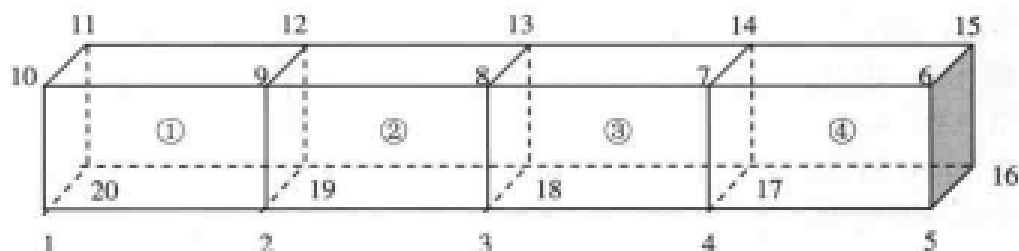


图 1-7 用有限个 SOLID5 单元表征具有一定边界的区域

一般来说，单元划分得越小，单位区间或空间内所容纳的单元数量越多，计算精度就会越高。但单元数量的增加会带来运算速度的下降，因此在实际建模和网格划分过程中需根据具体情况灵活处理。比如，在模型中形状复杂或温度变化剧烈的区域把单元划分得密一些；而在其余地方则可将单元适当划分疏一些。这样就无须增加单元和节点数即可提高计算精度。

1-4 ANSYS 10.0 耦合场分析

ANSYS 不仅能解决纯粹的热分析问题，还能解决与热相关的其他诸多问题，如热-应力分析、热-电分析、热-磁分析等。一般称这类涉及两个或多个物理场相互作用的问题为耦合场分析。ANSYS 提供了两种分析耦合场的方法：直接耦合法与间接耦合法，下面分别进行介绍。

1. 直接耦合法

直接耦合解法的耦合单元包含与相应的耦合场相关的所有必须的自由度，采用耦合单元仅仅通过一次求解就能得出耦合场的分析结果。这种方法实际上是通过计算包含所有必须项的单元矩阵或单元载荷向量来实现的。下面列出了所有与热分析相关的耦合场单元。

热分析教程与实例解析

- **SOLID5**

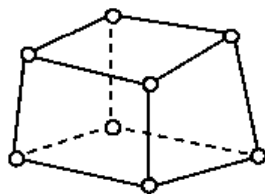
维度: 3D

耦合场: 热-应力、热-电-磁、热-应力-电-磁

节点数: 8

自由度: 温度、结构位移、电势、磁矢势

单元几何形状:



- **PLANE13**

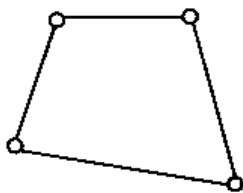
维度: 2D

耦合场: 热-应力、热-电

节点数: 4

自由度: 温度、结构位移、磁矢势

单元几何形状:



- **PLANE67**

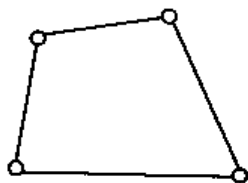
维度: 2D

耦合场: 热-电

节点数: 4

自由度: 温度、电势

单元几何形状:



- **LINK68**

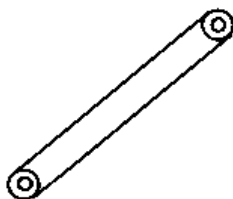
维度: 3D

耦合场: 热-电

节点数: 2

自由度: 温度、电势

单元几何形状:



- **SOLID69**

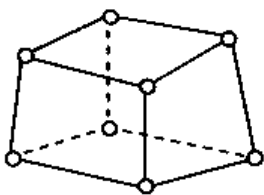
维度: 3D

耦合场: 热-电

节点数: 8

自由度: 温度、电势

单元几何形状:



- **SOLID98**

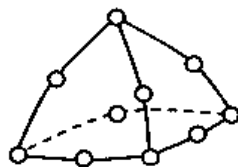
维度: 3D

耦合场: 热-应力、热-电-磁、热-应力-电-磁

节点数: 10

自由度: 温度、结构位移、电势、磁矢势

单元几何形状:



● FLUID116

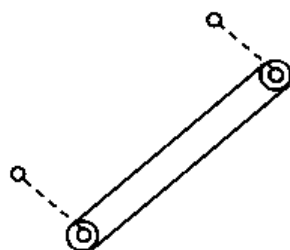
维度: 3D

耦合场: 热-流体

节点数: 2 或 4

自由度: 温度、压力

单元几何形状:



● FLUID141

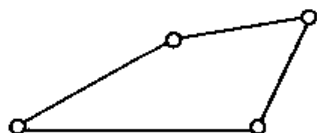
维度: 2D

耦合场: 热-流体

节点数: 4

自由度: 温度、压力、速度

单元几何形状:



● FLUID142

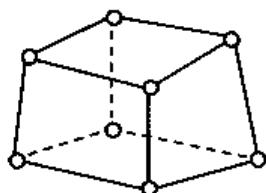
维度: 3D

耦合场: 热-流体

节点数: 8

自由度: 温度、压力、速度

单元几何形状:



● SHELL157

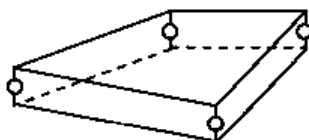
维度: 3D

耦合场: 热-电

节点数: 4

自由度: 温度、电势

几何形状:



● TARGE169

维度: 2D

耦合场: 热-应力-电-磁

节点数: 1~3

自由度: 结构位移、温度、电势、磁矢势

单元几何形状:

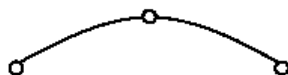
➤ 点:



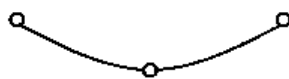
➤ 直线:



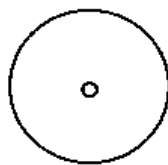
➤ 弧 (顺时针):



➤ 弧（逆时针）：



➤ 圆：



● TARGET170

维度：3D

耦合场：热-应力-电-磁

节点数：1~8

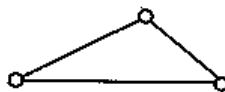
自由度：结构位移、温度、电势、磁矢势

单元几何形状：

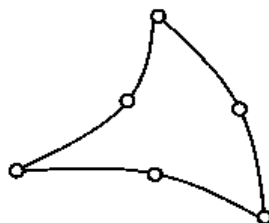
➤ 点：



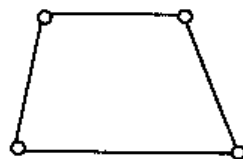
➤ 3节点三角形：



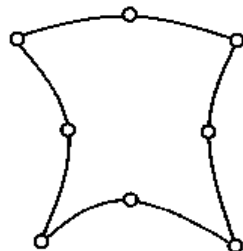
➤ 6节点三角形：



➤ 4节点四边形：



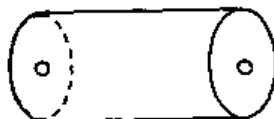
➤ 8节点四边形：



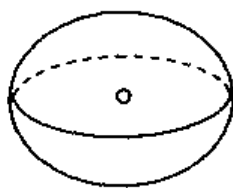
➤ 圆锥体:



➤ 圆柱体:



➤ 球体:



● CONTA171

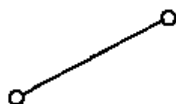
维度: 2D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-应力-电

节点数: 2

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



● CONTA172

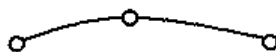
维度: 2D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-应力-电

节点数: 3

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



● CONTA173

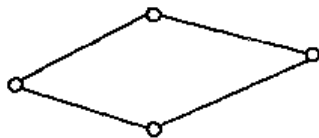
维度: 3D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-应力-电

节点数: 4

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



● CONTA174

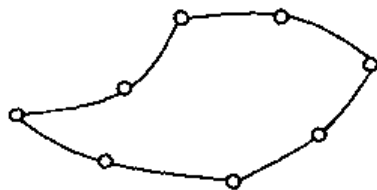
维度: 3D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-应力-电

节点数: 8

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



热分析教程与实例解析

- **CONTA175**

维度: 2D 或 3D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-应力-电

节点数: 1

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:

- **PLANE223**

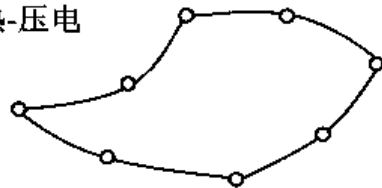
维度: 2D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-电-应力; 热-压电

节点数: 8

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



- **SOLID226**

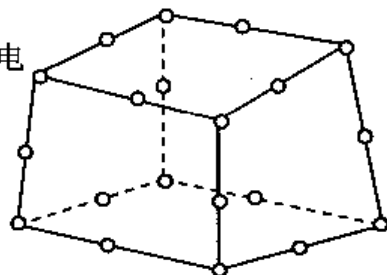
维度: 3D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-电-应力; 热-压电

节点数: 20

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



- **SOLID227**

维度: 3D

耦合场: 热-应力; 热-电; 热-电-应力; 热-压电

节点数: 10

自由度: 结构位移、温度、电势

几何形状:



2. 间接耦合法

间接耦合法又称序贯耦合法, 主要通过将第一次场分析的结果作为第二次场分析的载荷来实现两种场的耦合。例如热-应力耦合分析是将热分析得到的节点温度作为载荷施加在后续的应力分析中来实现耦合的。

Chapter 2

热分析基础知识

本章提示:

本章向读者介绍热分析的基础知识, 主要包括: 热分析的符号与单位、传热学经典理论、基本的传热方式、热分析材料的基本属性、热分析的边界条件与初始条件、热载荷、稳态与瞬态热分析、线性与非线性热分析 8 个部分的内容。

学习目标:

通过本章的学习, 要求读者熟悉热分析的基础知识, 并掌握 ANSYS 10.0 热分析的边界条件与初始条件以及热载荷。

热分析教程与实例解析

2-1 热分析符号与单位

表 2-1 列出了热分析过程中涉及的物理量单位与相应的 ANSYS 代号。

表 2-1 热分析符号与单位

项 目	国际单位	英制单位	ANSYS 代号
长度	m	ft	
时间	s	s	
质量	kg	lbm	
温度	°C	°F	
力	N	lbf	
能量 (热量)	J	BTU	
功率 (热流率)	W	BTU/s	
热流密度	W/m ²	BTU/(s·ft ⁽²⁾)	
生热速率	W/m ³	BTU/(s·ft ⁽³⁾)	QRATE
导热系数	W/(m·°C)	BTU/(s·ft·°F)	KXX、KYY、KZZ
对流系数	W/(m ² ·°C)	BTU/(s·ft ² ·°F)	HF
密度	kg/m ³	lbm/ft ³	DENS
比热	J/(kg·°C)	BTU/(lbm·°F)	C
焓	J/m ³	BTU/ft ³	ENTH

提示：在 ANSYS 热分析过程中，不一定都要采用国际单位制，但必须要使所有物理量的单位统一起来。

2-2 传热学经典理论

热分析遵循热力学第一定律，即能量守恒定律：

- 对于一个封闭的系统（没有质量的流入或流出）

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

式中：Q —— 热量；

W —— 做功；

ΔU —— 系统内能；

ΔKE —— 系统动能；

ΔPE —— 系统势能。

- 对于大多数工程传热问题： $\Delta KE = \Delta PE = 0$ ；
 - 通常考虑没有做功： $W = 0$ ，则： $Q = \Delta U$ ；
 - 对于稳态热分析： $Q = \Delta U = 0$ ，即流入系统的热量等于流出的热量；
 - 对于瞬态热分析： $q = \frac{dU}{dt}$ ，即流入或流出的热传递速率 q 等于系统内能的变化。

2-3 三种基本热传递方式

2-3-1 热传导

当物体内部存在温差，即存在温度梯度时，热量从物体的高温部分传递到低温部分；而且不同温度的物体相互接触时热量会从高温物体传递到低温物体。这种热量传递的方式称为热传导。

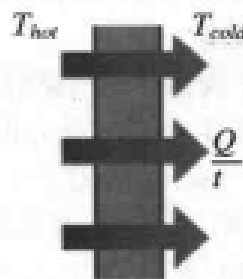


图 2-1 热传导示意图

如图 2-1 所示，图中的左右两个表面均维持均匀温度，分别为 T_{hot} 和 T_{cold} ， $T_{hot} > T_{cold}$ ，热量从左侧平面向右侧平面传递，且满足以下关系式：

$$\frac{Q}{t} = \frac{KA(T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

式中： Q 为时间 t 内的传热量或热流量； K 为热传导率或热传导系数； T 为温度； A 为平面面积； d 为两平面之间的距离。

上式所表达的就是著名的傅立叶定律，又称热传导基本定律。

2-3-2 对流

热对流是指固体的表面与它周围接触的流体之间，由于温差的存在而引起的热量交换。高温物体（如暖气片）表面常常发生对流现象。这是因为高温物体表面附近的空气因受热而膨胀，密度降低并向上流动。与此同时，密度较大的冷空气下降并代替原来的受热空气，如图 2-2 所示。

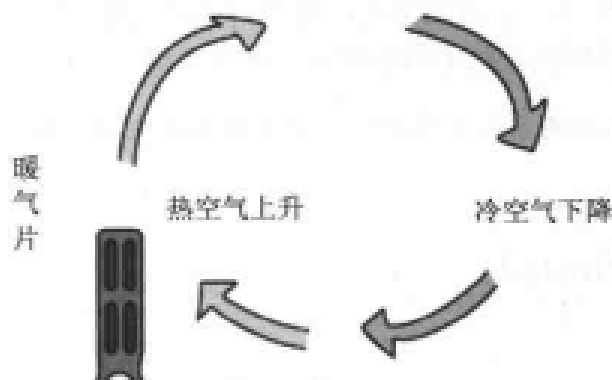


图 2-2 对流示意图

热分析教程与实例解析

热对流可以分为两类：自然对流和强制对流。热对流用牛顿冷却方程来描述：

$$q'' = h(T_s - T_b)$$

式中： h 为对流换热系数（或称膜传热系数、给热系数、膜系数等）； T_s 为固体表面的温度； T_b 为周围流体的温度。

2-3-3 辐射

热辐射是指物体发射电磁能，并被其他物体吸收转变为热能的热量交换过程。物体温度越高，单位时间辐射的热量越多。热传导和热对流都需要有传热介质，而热辐射无须任何介质。实质上，在真空中的热辐射效率最高。

在工程中通常考虑两个或两个以上物体之间的辐射，系统中每个物体同时辐射并吸收热量。它们之间的净热量传递可以用斯蒂芬-波尔兹曼方程来计算：

$$q = \varepsilon \sigma A_1 F_{12} (T_1^4 - T_2^4)$$

式中： q 为热流率； ε 为实际物体的辐射率，或称为黑度，它的数值处于 0~1 之间； σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数，约为 $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ； A_1 为辐射面 1 的面积； F_{12} 为由辐射面 1 到辐射面 2 的形状系数； T_1 为辐射面 1 的绝对温度； T_2 为辐射面 2 的绝对温度。由上式可以看出，包含热辐射的热分析是高度非线性的。

2-4 热分析材料基本属性

与热分析直接相关的材料属性包括：热传导率（Thermal Conductivity）、比热容（Specific Heat）、焓（Enthalpy）、对流换热系数（Convection film coefficient）、辐射系数（Emissivity）、生热率（Heat generation rate）。上一节已对热传导率、对流换热系数以及辐射系数的物理意义作了介绍，本节重点介绍比热、焓、以及生热率这三种材料属性。

2-4-1 比热容 (Specific Heat)

比热容是指单位质量的物质每升高（或降低） 1°C 所吸收（或放出）的热量，简称比热，其单位为 $\text{J}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。其计算式如下：

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

式中： $\Delta T = T_E - T_B$ ， T_E 为终止时刻温度； T_B 为开始时刻温度。

Q 为该时间段内物体吸收或放出的总热量； m 为质量。

提示：如果发生相变，上述关系式不再成立。这是因为发生相变时，吸收或释放热量并不会改变温度。

2-4-2 焓 (Enthalpy)

焓的定义式为：

$$H = U + PV$$

式中： H 为焓， U 为内能， P 、 V 分别为压力和体积。对于常压情况，上式又可表示为：

$$Q = \Delta U + P\Delta V$$

说明在常压条件下，焓的变化即热量的变化。

2-4-3 生热率 (Heat Generation Rate)

生热率既可以材料属性的形式进行定义，同时又可以在体载荷的形式施加到单元上，用于模拟化学反应生热或电流生热，其单位是单位体积的热流率。

2-5 边界条件与初始条件

为了使得每一节点的热平衡方程具有唯一解，需要附加一定的边界条件和初始条件，统称为定解条件。

2-5-1 三类边界条件

1. 第一类边界条件

物体边界上的温度函数已知，用公式表示为：

$$T|_{\Gamma} = T_0; \quad T|_{\Gamma} = f(x, y, z, t)$$

Γ 为物体边界； T_0 为已知温度； $f(x, y, z, t)$ 为已知温度函数。

2. 第二类边界条件

物体边界上的热流密度已知，用公式表示为：

$$-k \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma} = q; \quad -k \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma} = g(x, y, z, t)$$

q 为热流密度（常数）； $g(x, y, z, t)$ 为热流密度函数。

3. 第三类边界条件

与物体相接触的流体介质的温度和换热系数已知，用公式表示为：

$$-k \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma} = \alpha(T - T_f)|_{\Gamma}$$

T_f 为流体介质的温度； α 为换热系数。 T_f 和 α 可以是常数，也可以是随时间和位置而变化的函数。

2-5-2 初始条件

初始条件是指传热过程开始时物体在整个区域中所具有的温度为已知值，用公式表示为：

$$T|_{t=0} = \varphi(x, y)$$

$\varphi(x, y)$ 为已知温度函数。

2-6 热载荷

ANSYS 10.0 共提供了 6 种载荷, 可以施加在实体模型或单元模型上, 包括: 温度、热流率、对流、热流密度、生热率和热辐射率。

1. 温度

作为第一类边界条件, 温度可以施加在有限元模型的节点上, 也可以施加在实体模型的关键点、线段及面上。

2. 热流率

热流率 (Heat Flow) 是一种节点集中载荷, 只能施加在节点或关键点上, 主要用于线单元模型。

提示: 如果温度与热流率同时施加在某一节点上, 则 ANSYS 读取温度值进行计算。

3. 对流

对流 (Convection) 是一种面载荷, 用于计算流体与实体的热交换。它可以施加在有限元模型的节点及单元上, 也可以施加在实体模型的线段和面上。

4. 热流密度

热流密度, 又称热通量 (Heat Flux), 单位为 W/m^2 。热流密度是一种面载荷, 表示通过单位面积的热流率。当通过单位面积的热流率已知时, 可在模型相应的外表面施加热流密度。若输入值为正, 则表示热流流入单元; 反之, 则表示热流流出单元。它可以施加在有限元模型的节点及单元上, 也可以施加在实体模型的线段和面上。

提示: 热流密度与对流可以施加在同一外表面, 但 ANSYS 将读取最后施加的面载荷进行计算。

5. 生热率

如前所述, 生热率既可看成是材料的一种基本属性, 又可作为载荷施加在单元上。它可以施加在有限元模型的节点及单元上, 也可以施加在实体模型的关键点、线段、面及体上。

6. 热辐射率

热辐射率也是一种面载荷, 通常施加于实体的外表面。它可以施加在有限元模型的节点及单元上, 也可以施加在实体模型的线段和面上。

2-7 稳态与瞬态热分析

2-7-1 稳态传热

如果系统的净热流率为 0, 即流入系统的热量加上系统自身产生的热量等于流出系统的热量, 则系统处于热稳态。热稳态的条件可表示为:

$$Q_{input} + Q_{generate} - Q_{output} = 0$$

在稳态热分析中任一节点的温度都不随时间变化。稳态热分析的能量平衡方程为（以矩阵形式表示）：

$$[K]\{T\}=\{Q\}$$

式中：[K]为传导矩阵，包含导热系数、对流系数、辐射率和形状系数；{T}为节点温度向量；{Q}为节点热流率向量，包含热生成。

ANSYS 利用模型几何参数、材料热性能参数以及所施加的边界条件，生成[K]、{T}及{Q}。

2-7-2 瞬态传热

瞬态传热过程是指一个系统的加热或冷却过程。在这个过程中系统的温度、热流率、热边界条件以及系统内能随时间都有明显变化。根据能量守恒原理，瞬态热平衡可以表达为（以矩阵形式表示）：

$$[C]\{\dot{T}\}+[K]\{T\}=\{Q\}$$

[K]为传导矩阵，包含导热系数、对流系数及辐射率和形状系数；

[C]为比热矩阵，考虑系统内能的增加；

{T}为节点温度向量；

{ \dot{T} }为温度对时间的导数；

{Q}为节点热流率向量，包含热生成。

2-8 线性与非线性热分析

ANSYS 在热分析过程中，如果有下列情况中的一种或几种出现，则该分析为非线性热分析：

- 材料热性能随温度变化；
- 边界条件随温度变化；
- 含有非线性单元；
- 考虑辐射传热。

非线性热分析的热平衡矩阵方程为：

$$[C(T)]\{\dot{T}\}+[K(T)]\{T\}=[Q(T)]$$

[illegible]

Chapter 3

稳态热分析

本章提示:

本章向读者介绍稳态热分析的基本知识, 主要包括 稳态热分析应用、稳态热分析单元、稳态热分析过程相关命令及稳态热分析基本步骤。

学习目标:

通过本章的学习 要求读者了解稳态热分析的应用, 熟悉稳态热分析单元, 掌握 ANSYS 10.0 稳态热分析的基本过程和基本步骤以及稳态热分析过程中的相关命令和界面操作。

3-1 稳态热分析的应用

工程上,很多设备在稳定运行时处于稳态传热状态。此外,在进行瞬态热分析之前,通常需要通过稳态热分析来确定物体内部的初始温度场分布;同时,对于一个从瞬态逐渐过渡到稳态的传热问题,应将稳态热分析作为瞬态热分析的最后一步工作,用以确定系统在稳态时所处的状态。

ANSYS 10.0 稳态热分析可以通过计算来确定由稳定热载荷引起的温度、热梯度、热流率、热流密度等参数。

3-2 热分析单元

ANSYS 10.0 热分析共提供了 40 余种单元,其中包括辐射单元、对流单元、特殊单元以及前面所介绍的耦合场单元等。其中常见的用于热分析的单元有 16 种:

- 点: MASS71 1 节点单元
- 线: LINK32 二维 2 节点热传导单元
- LINK33 三维 2 节点热传导单元
- LINK34 2 节点热对流单元
- LINK31 2 节点热辐射单元
- 面: SURF151 二维 2 节点、3 节点、4 节点单元
- SURF152 三维 4 节点、5 节点、8 节点、9 节点单元
- 二维实体: PLANE55 4 节点四边形单元
- PLANE77 8 节点四边形单元
- PLANE35 6 节点三角形单元
- PLANE75 4 节点轴对称单元
- PLANE78 8 节点轴对称单元
- 三维实体: SOLID87 10 节点四面体单元
- SOLID70 8 节点六面体单元
- SOLID90 20 节点六面体单元
- 壳: SHELL57 4 节点壳单元

下面依次对各单元进行介绍:

- MASS71
 维度: 1D, 2D, 3D
 节点数: 1
 自由度: 温度
 性质: 质量单元
 几何形状:

○

● LINK31

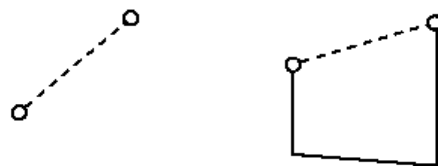
维度: 2D, 3D

节点数: 2

自由度: 温度

性质: 热辐射单元

几何形状:



● LINK32

维度: 2D

节点数: 2

自由度: 温度

性质: 热传导单元

几何形状:



● LINK33

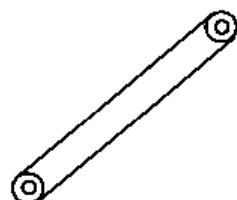
维度: 3D

节点数: 2

自由度: 温度

性质: 热传导单元

几何形状:



● LINK34

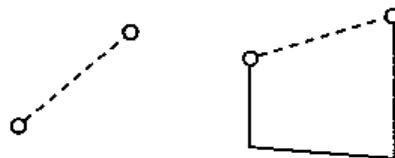
维度: 2D, 3D

节点数: 2

自由度: 温度

性质: 热对流单元

几何形状:



● SURF151

维度: 2D

节点数: 2、3 或 4

自由度: 温度

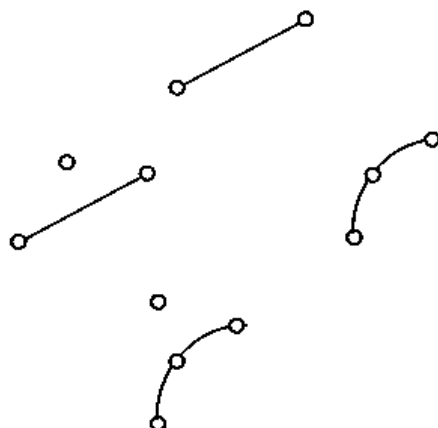
性质: 表面单元

几何形状:

➤ 2 节点单元:

➤ 3 节点单元:

➤ 4 节点单元:



热分析教程与实例解析

● SURF152

维度: 3D

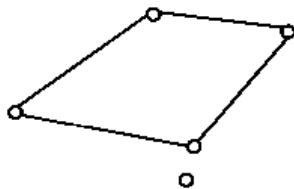
节点数: 4、5、8 或 9

自由度: 温度

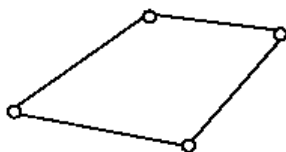
性质: 表面单元

几何形状:

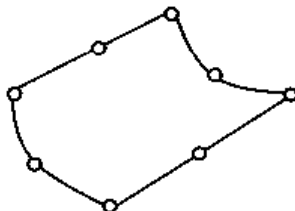
➤ 4 节点单元:



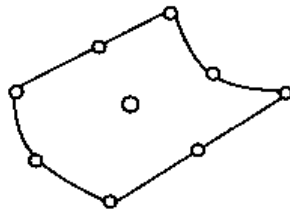
➤ 5 节点单元:



➤ 8 节点单元:



➤ 9 节点单元:



● PLANE35

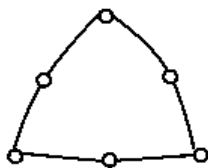
维度: 2D

节点数: 6

自由度: 温度

性质: 平面三角形单元

几何形状:



● PLANE55

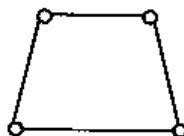
维度: 2D

节点数: 4

自由度: 温度

性质: 平面四边形单元

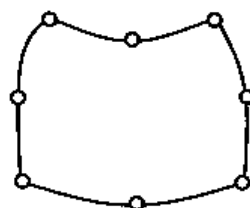
几何形状:



- **PLANE75**
 维度: 2D
 节点数: 4
 自由度: 温度
 性质: 平面轴对称单元
 几何形状:



- **PLANE77**
 维度: 2D
 节点数: 8
 自由度: 温度
 性质: 平面四边形单元
 几何形状:

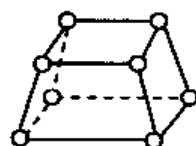


提示: 适合于模拟曲面边界。

- **PLANE78**
 维度: 2D
 节点数: 8
 自由度: 温度
 性质: 平面轴对称单元
 几何形状:



- **SOLID70**
 维度: 3D
 节点数: 8
 自由度: 温度
 性质: 六面体单元
 几何形状:

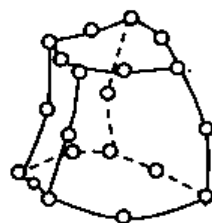


- **SOLID87**
 维度: 3D
 节点数: 10
 自由度: 温度
 性质: 四面体单元
 几何形状:



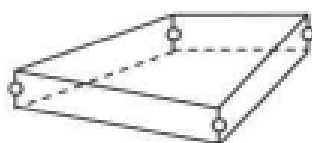
提示: 适合于不规则几何形状的网格划分。

- **SOLID90**
 维度: 3D
 节点数: 20
 自由度: 温度
 性质: 六面体单元
 几何形状:



提示：适合于模拟曲面边界。

- SHELL57
 维度：3D
 节点数：4
 自由度：温度
 性质：壳单元
 几何形状：



3-3 稳态热分析基本步骤

ANSYS 10.0 稳态热分析的基本步骤包括建立有限元模型、施加载荷、求解与后处理。

3-3-1 建立有限元模型

建立有限元模型的步骤如下：

1. 过滤图形用户界面

Command: KEYW

GUI: Main menu | Preferences

执行上述的 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选择 Thermal，如图 3-1 所示。

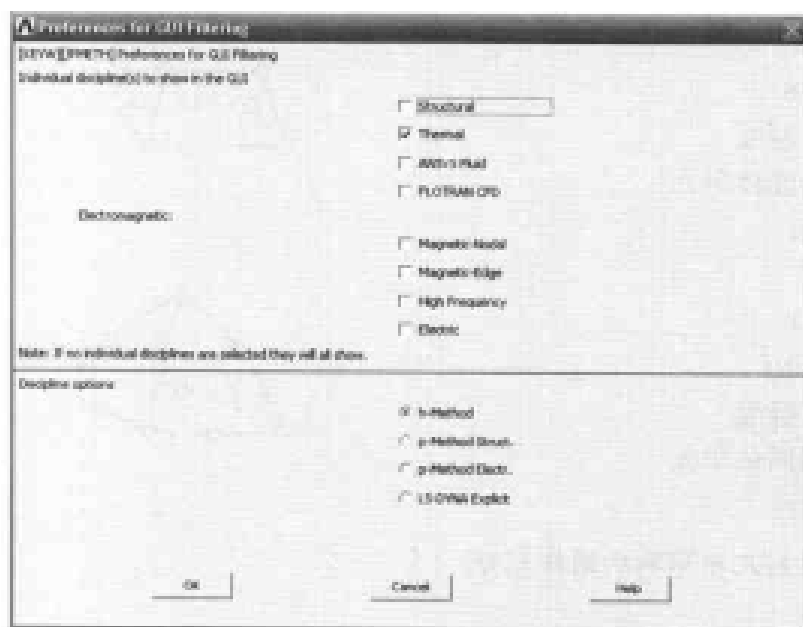


图 3-1 过滤图形用户界面对话框

提示：若不对图形用户界面进行过滤，则 ANSYS 默认为所有选项均被选中。

2. 确定工作文件名，工作标题与单位制

- 确定工作文件名

Command: /FILNAM

GUI: Utility menu | File | Change Jobname

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现如图 3-2 所示的 Change Jobname 对话框, 在文本框中输入工作文件名。

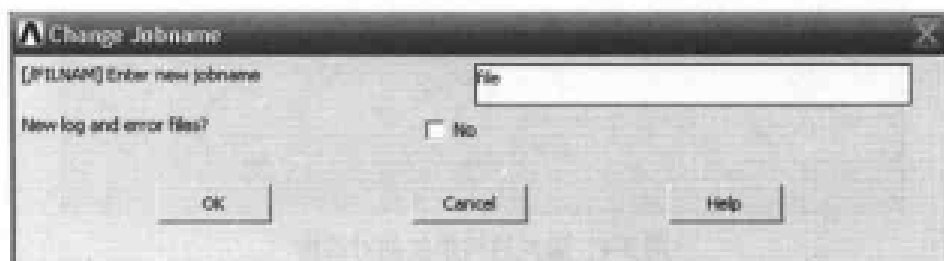


图 3-2 改变工作文件名对话框

提示: ANSYS 缺省工作文件名为 file。

- 确定工作标题

Command: /TITLE

GUI: Utility menu | File | Change Title

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现如图 3-3 所示的 Change Title 对话框, 在文本框中输入工作标题。

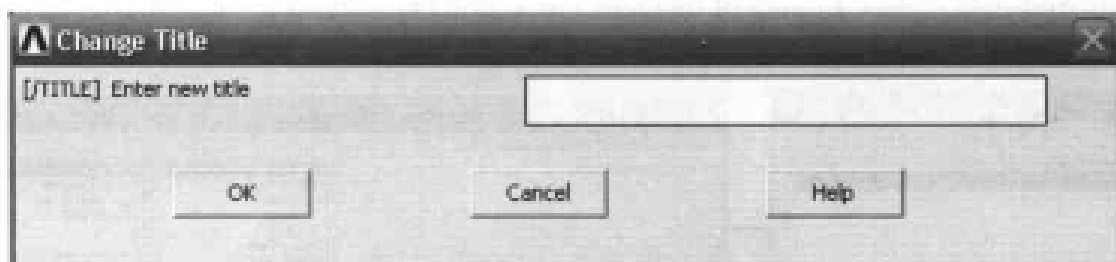


图 3-3 改变工作标题对话框

提示: 工作文件名 (jobname) 与工作标题 (title) 是两个不同的概念。工作文件名的后缀为 .db, 作为数据库文件存放于磁盘文件夹中; 而工作标题是指算例名称, 并显示在图形窗口中。

- 选择单位制

Command: /UNITS

GUI: Main menu | Preprocessor | Material Props | Material Library | Select Units

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现如图 3-4 所示的 Select Filtering Units for Material Library 对话框, 其中各选项的含义如下: SI (MKS) 代表国际单位制, 其基本单位为 m, kg, s, K; CGS 代表厘米、克、秒单位制, 其基本单位为 cm, g, s, °C; BFT 代表以英尺为主的英制单位制, 其基本单位为 ft, slug, s, °F; BIN 代表以英寸为主的英制单位制, 其基本单位为 in, ibm, s, °F; USER 代表用户自定义单位制。

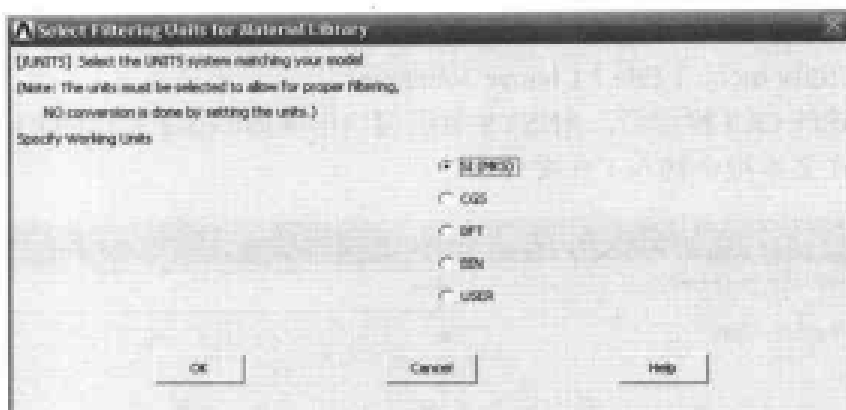


图 3-4 选择材料单位制对话框

提示：在用户自定义单位制中，用户可以根据需要定义基本单位，但要注意基本单位一旦确定，在后续的分析过程中必须采用同一基本单位。

3. 进入 PREP7 前处理器

4. 选择单元类型，设置单元选项，定义单元实常数

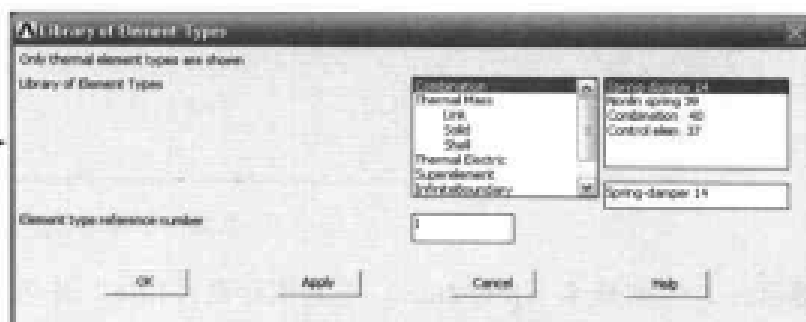
Command: ET

GUI: Main menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete

执行上述的 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现如图 3-5 (a) 所示的 Element Types 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框，如图 3-5 (b) 所示，选择单元类型。



(a) 选择单元类型对话框



(b) 单元类型列表对话框

图 3-5 选择单元类型

5. 定义材料热性能参数

对于稳态传热，一般只需定义导热系数，它可以是恒定的，也可以是随温度变化的。

Command: MP

GUI: Main menu | Preprocessor | Material Props | Material Models

执行上述的 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现如图 3-6 所示的 Define Material Model Behavior 对话框，通过该对话框定义材料性能参数。例如，要定义各向异性材料的热导率，依次双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Thermal、Conductivity、Orthotropic 选项，ANSYS 显示窗口出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，如图 3-7 所示，在文本框中输入 3 个方向的热导率数值。

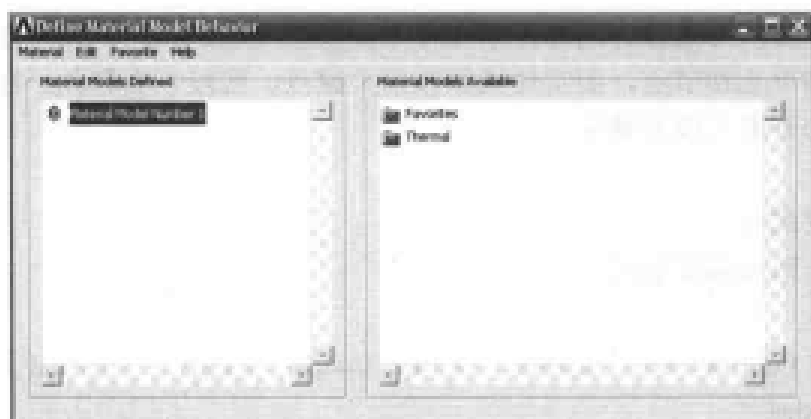


图 3-6 材料属性设置对话框

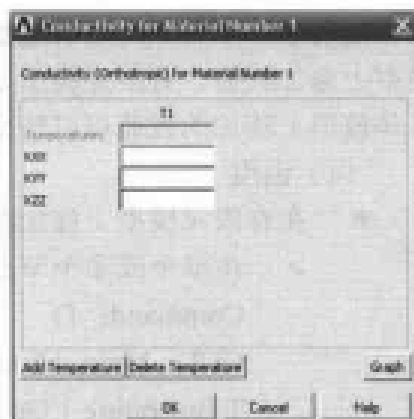


图 3-7 输入材料导热率对话框

6. 创建几何模型

7. 划分网格

3-3-2 施加载荷

1. 定义热分析类型

- 如果进行新的稳态热分析

其命令形式为:

Command: ANTYPE, STATIC, NEW

图形界面操作过程为:

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | New Analysis

GUI: Main menu | Solution | Analysis Type | New Analysis

按上述步骤进行操作后出现如图 3-8 所示的对话框, 选中 Steady-state 单选按钮。

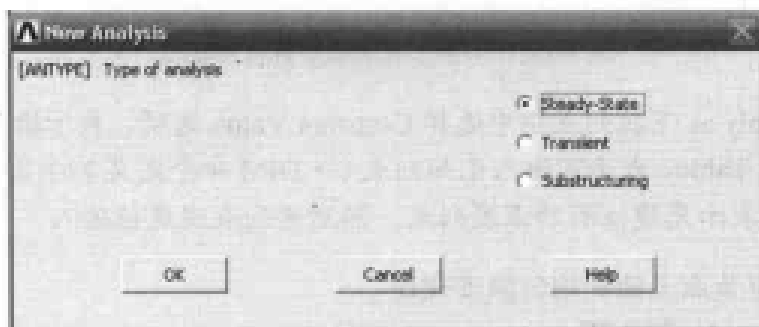


图 3-8 选择热分析类型对话框

- 如果继续上一次分析, 比如增加边界条件等

Command: ANTYPE, STATIC, REST

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | Restart

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | Sol'n Controls | Basic

GUI: Main menu | Solution | Analysis Type | Restart

2. 施加载荷

如前所述, ANSYS 10.0 共提供了 6 种热载荷: 温度、热流率、对流、热流密度、生热

率和辐射率。ANSYS 10.0 施加载荷的方式分为两种，即在有限元模型上施加载荷和在实体模型上施加载荷。有限元模型是指单元和节点，而实体模型包括关键点、线段、面和体，在实体模型上施加的载荷可以转变为有限元模型载荷。

(1) 温度

● 在有限元模型上施加温度载荷

➤ 在单个或多个节点上施加温度载荷

Command: D

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply TEMP on Nodes 对话框，如图 3-9 所示，在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入温度载荷。

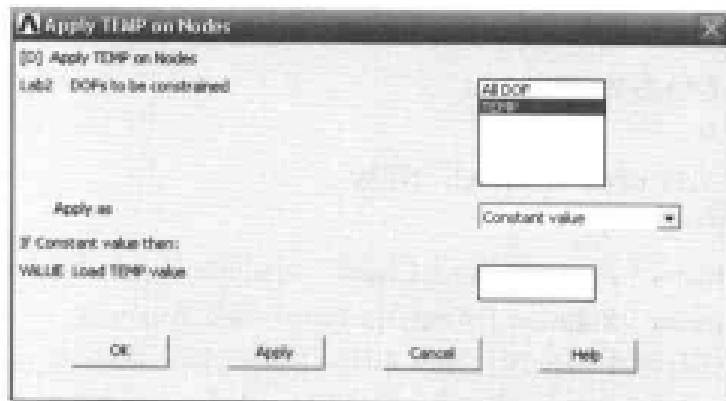


图 3-9 在节点上施加温度载荷对话框

提示：上图中的 Apply as 下拉列表框中选择 Constant Value 选项，表示输入温度为常量；若选择 Existing Table，表示可输入已知列表（*DIM 命令定义）的温度值；若选择 New Table 选项，表示先建立新的温度列表，然后再列表温度值输入。

➤ 在所有节点上施加均匀温度载荷

Command: TUNIF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Setting | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Loading Options | Uniform Temp

执行上述 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现 Uniform Temperature 对话框，如

图 3-10 所示, 在文本框中输入温度载荷。



图 3-10 施加均匀温度载荷对话框

- 在实体模型上施加温度载荷

- 在关键点上施加温度载荷

Command: DK

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Keypoints

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Keypoints

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的关键点, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply TEMP on Keypoints 对话框, 如图 3-11 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入温度载荷。

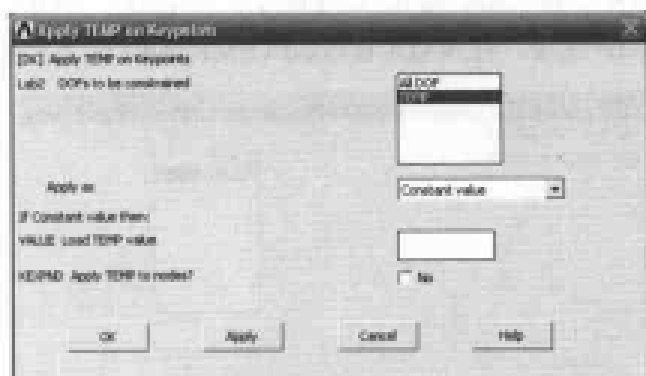


图 3-11 在关键点上施加温度载荷对话框

- 在线段上施加温度载荷

Command: DL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Lines

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的线段, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply TEMP on Lines 对话框, 如图 3-12 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入温度载荷。

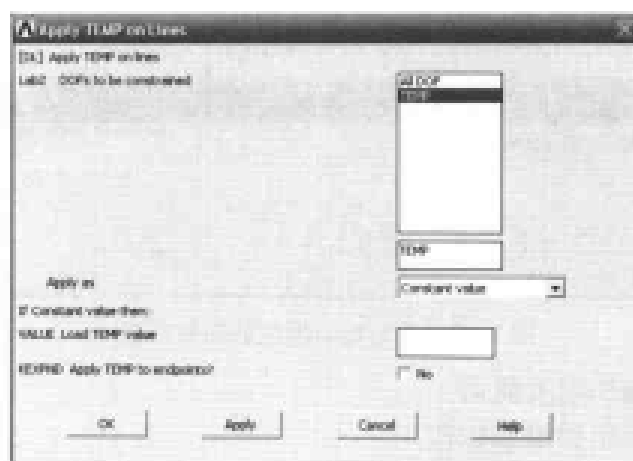


图 3-12 在线段上施加温度载荷对话框

- 在面上施加温度载荷:

Command: DA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Areas

执行上述 GUI 操作后,在模型上选择相应的面,确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply TEMP on Areas 对话框,如图 3-13 所示,在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项,在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入温度载荷。

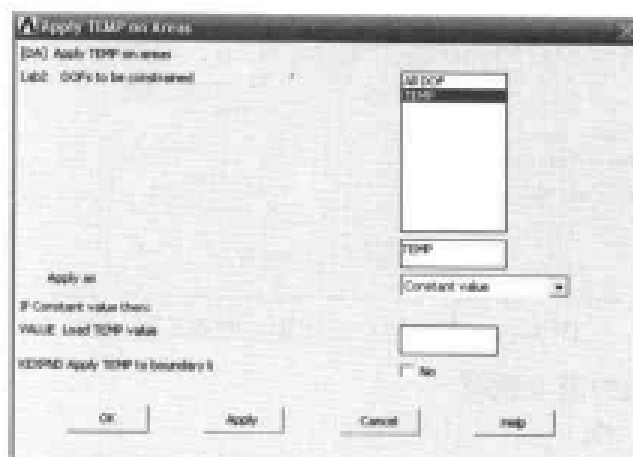


图 3-13 在面上施加温度载荷对话框

- 将实体模型载荷转变为有限元模型载荷

Command: DTRAN

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Constraints

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Constraints

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Tranfer Solid Model DOF Constraints to Nodes 对话框,如图 3-14 所示,单击 OK 按钮把实体模型上的温度载荷转变到相应

有限元模型上。

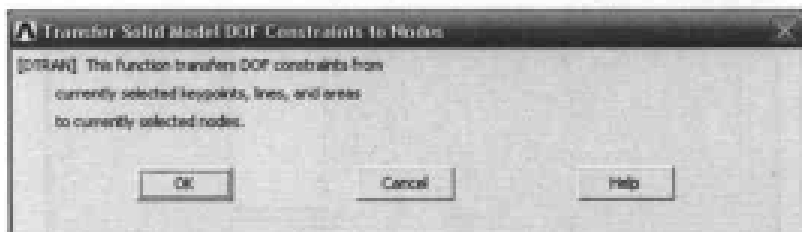


图 3-14 将实体模型上的位移载荷转变到有限元模型上

(2) 热流率

- 在有限元模型的节点上施加热流率载荷

Command: F

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flow | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flow | On Nodes
执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply Heat on Nodes 对话框，如图 3-15 所示，在 VALUE Load HEAT value 文本框中输入热流率载荷。

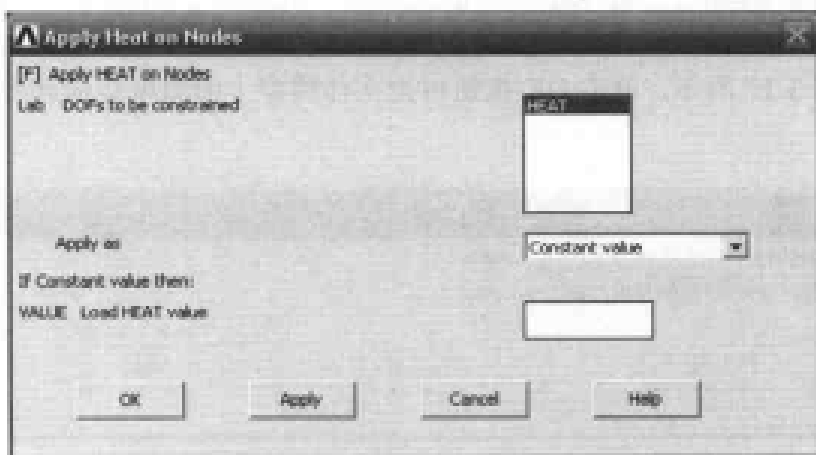


图 3-15 在节点上施加热流率对话框

- 在实体模型的关键点上施加热流率载荷

Command: FK

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flow | On Keypoints

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flow | On Keypoints

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应关键点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply Heat on KPs 对话框，如图 3-16 所示，在 VALUE Load HEAT value 文本框中输入所需要施加的热流率载荷。

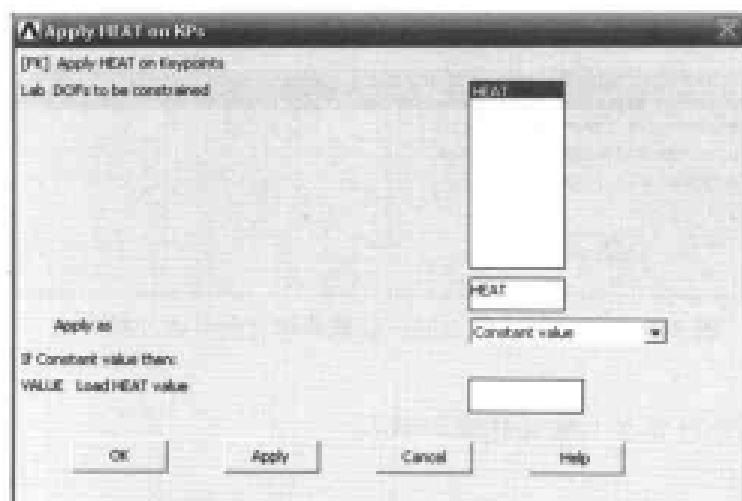


图 3-16 在关键点上施加热流率载荷

- 将实体模型载荷转变为有限元模型载荷

Command: FTRAN

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Forces

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Forces

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Transfer Keypoint Forces to Nodes 对话框, 如图 3-17 所示, 单击 OK 按钮可把实体模型上的温度载荷转变到相应的有限元模型上。

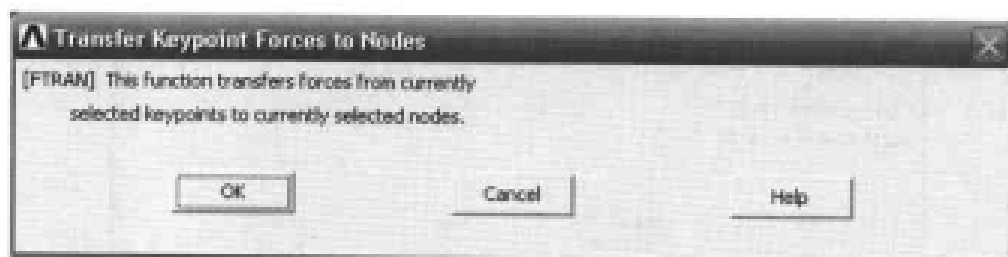


图 3-17 将实体模型上的温度载荷转变到有限元模型上

(3) 对流

- 在有限元模型上施加对流载荷

➢ 在节点上施加对流载荷

Command: SF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes

执行上述的 GUI 操作后, 在模型上选择相应的节点, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply CONV on nodes 对话框, 如图 3-18 所示, 在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入膜系数, 在 VAL2I Bulk temperature 文本框中输入体温度。

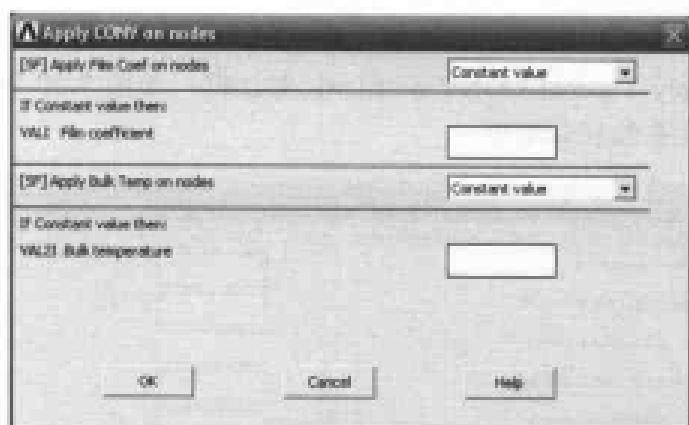


图 3-18 在节点上施加对流载荷对话框

➤ 在单元上施加均匀对流载荷

Command: SFE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Elements | Uniform

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Elements | Uniform

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的单元，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply Uniform CONV on elems 对话框，如图 3-19 所示，在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入膜系数，在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入体温度。

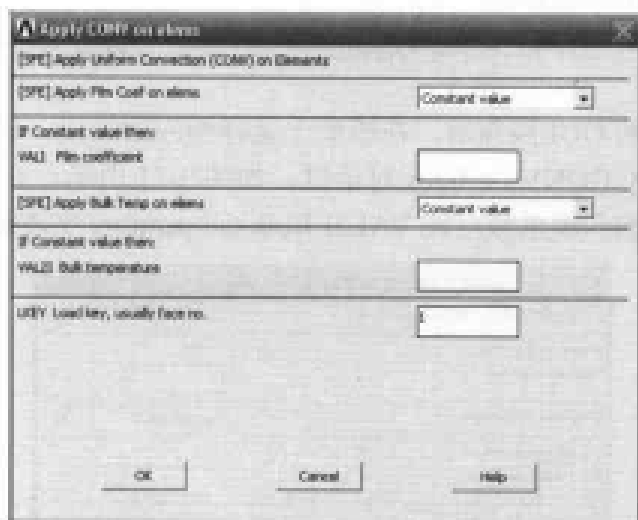


图 3-19 在单元上施加均匀对流载荷对话框

➤ 在单元上施加非均匀对流载荷

Command: SFE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Elements | Tapered

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Elements | Tapered

热分析教程与实例解析

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的单元，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply Tapered CONV on Elems 对话框，如图 3-20 所示，在文本框中输入不同的膜系数和体温度。

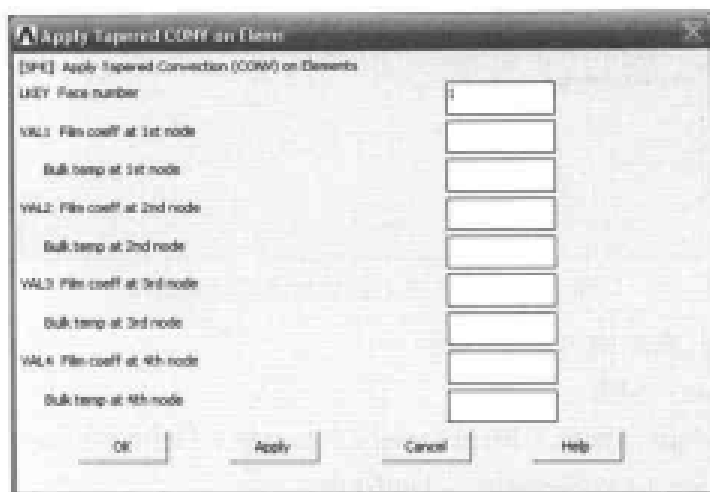


图 3-20 在单元上施加非均匀对流载荷对话框

- 在实体模型上施加对流载荷

- 在线段上施加对流载荷

Command: SFL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Lines

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的线段，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply CONV on lines 对话框，如图 3-21 所示，在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入膜系数，在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入体温度。

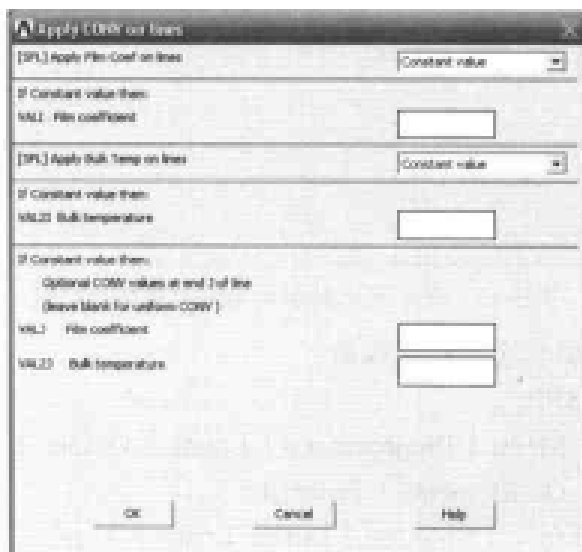


图 3-21 在线段上施加对流载荷

提示：图 3-21 中 VAL1 Film coefficient 和 VAL2 Bulk temperature 选项表示将实体模型载荷转变为有限元模型载荷后该线段的端点上的对流载荷条件，可输入新的对流载荷，也可输入与实体模型上相同的对流载荷。

➤ 在面上施加对流载荷

Command: SFA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Areas

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的面，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply CONV on areas 对话框，如图 3-22 所示，在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入膜系数，在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入体温度。

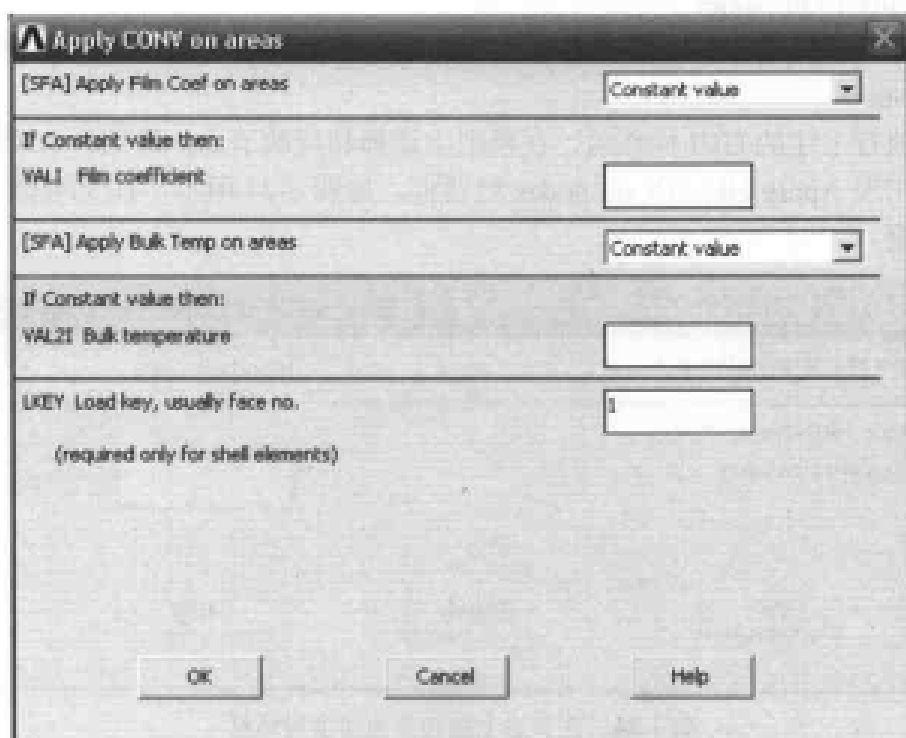


图 3-22 在面上施加对流载荷

● 将实体模型载荷转变为有限元模型载荷

Command: SFTRAN

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Surface Loads

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Surface Loads

执行上述 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现 Tranfer Solid Model Surface Loads to Elements 对话框，如图 3-23 所示，单击 OK 按钮可把实体模型上的对流载荷转变到相应的有限元模型上。



图 3-23 将实体模型上的对流载荷转变到有限元模型上

(4) 热流密度

- 在有限元模型上施加热流密度载荷

- 在节点上施加热流密度载荷

Command: SF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Nodes

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HFLUX on nodes 对话框，如图 3-24 所示，在文本框中输入热流密度。

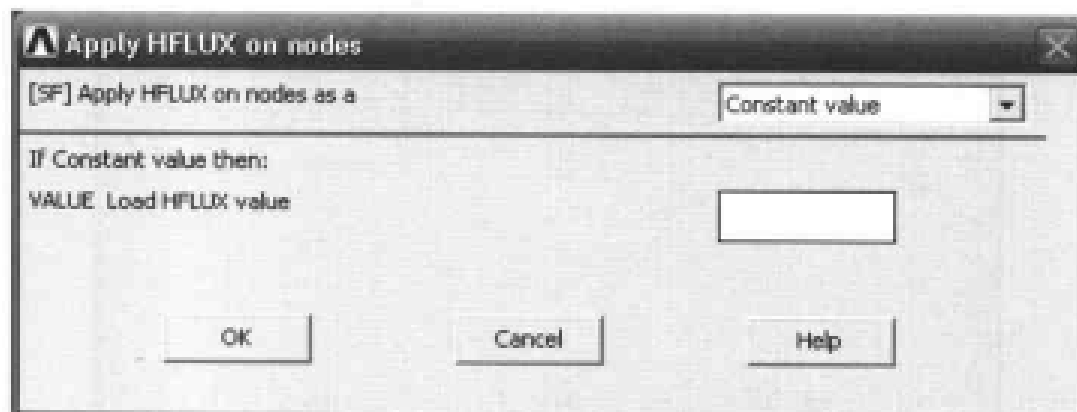


图 3-24 在节点上施加热流密度对话框

- 在单元上施加热流密度载荷

Command: SFE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Elements

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Elements

执行上述的 GUI 操作后，在模型上选择相应的单元，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HFLUX on elemnts 对话框，如图 3-25 所示，在文本框中输入单元 4 个节点的热流密度。

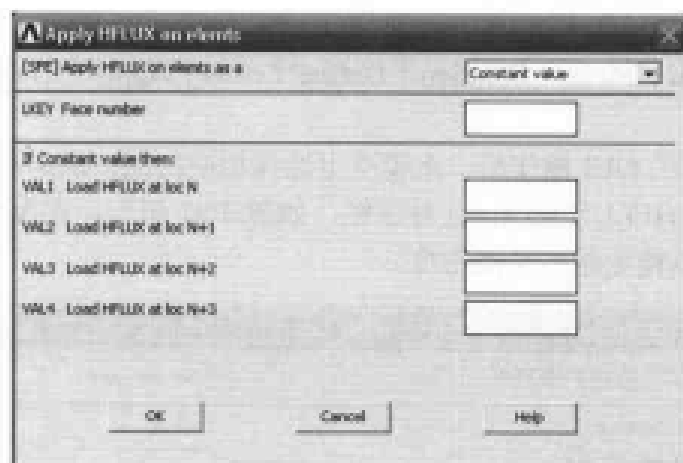


图 3-25 在单元上施加热流密度对话框

- 在实体模型上施加热流密度载荷

- 在线段上施加热流密度载荷

Command: SFL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Lines

执行上述的 GUI 操作后, 在模型上选择相应的线段, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HFLUX on lines 对话框, 如图 3-26 所示, 在 VAL1 Heat flux 文本框中输入热流密度。

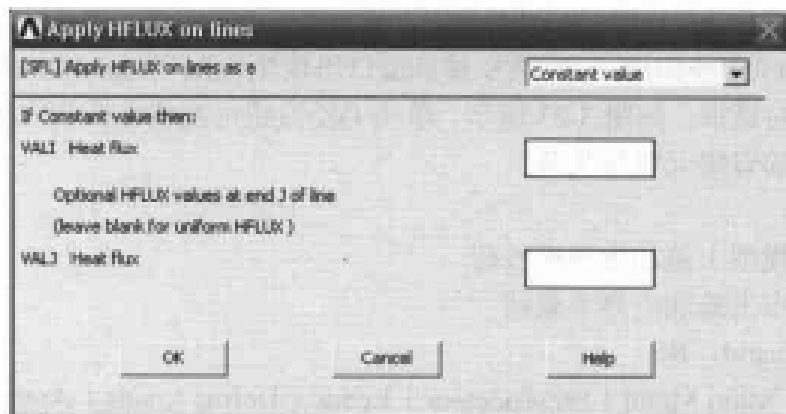


图 3-26 在线段上施加热流密度对话框

提示: 上图中 VAL1 Heat flux 选项表示将实体模型载荷转变为有限元模型载荷后该线段的端点上的热流密度载荷条件, 可输入新的热流密度值, 也可输入与实体模型上相同的热流密度载荷值。

- 在面上施加热流密度载荷

Command: SFA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat

Flux | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Areas

执行上述的 GUI 操作后, 在模型上选择相应的面, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HFLUX on areas 对话框, 如图 3-27 所示, 在 VALUE Load HFLUX value 文本框中输入热流密度。

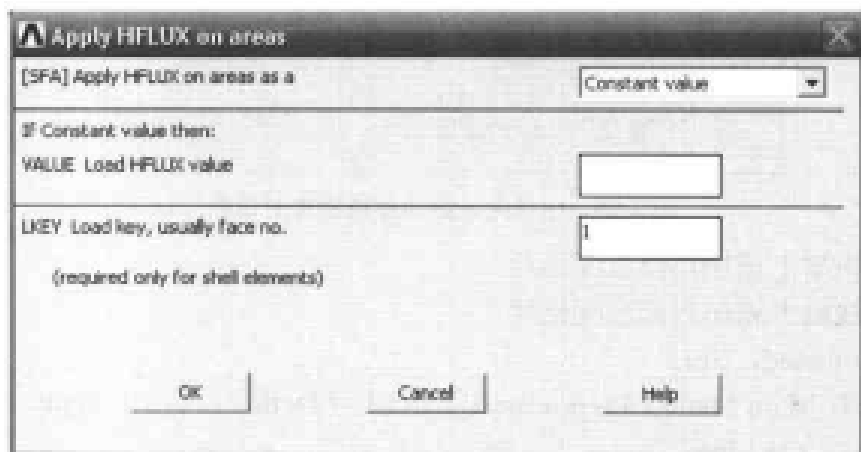


图 3-27 在面上施加热流密度对话框

- 将实体模型载荷转变为有限元模型载荷

Command: SFTRAN

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Surface Loads

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Surface Loads
执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Tranfer Solid Model Surface Loads to Elements 对话框, 如图 3-23 所示。单击 OK 按钮可把实体模型上的热流密度载荷转变为相应的有限元模型载荷。

(5) 生热率

- 在有限元模型上施加生热率载荷

➤ 在节点上施加生热率载荷

Command: BF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Nodes

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的节点, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HGEN on nodes 对话框, 如图 3-28 所示, 在文本框中输入生热率载荷。

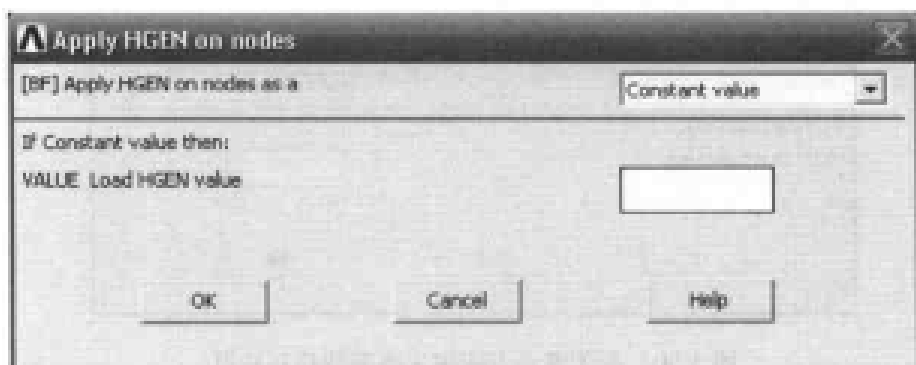


图 3-28 在节点上施加生热率载荷对话框

- 在所有节点上施加均匀生热率载荷

Command: BFUNIF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | Uniform Heat Gen

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | Uniform Heat Gen

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply HGEN on nodes 对话框, 如图 3-29 所示, 在文本框中输入生热率载荷。

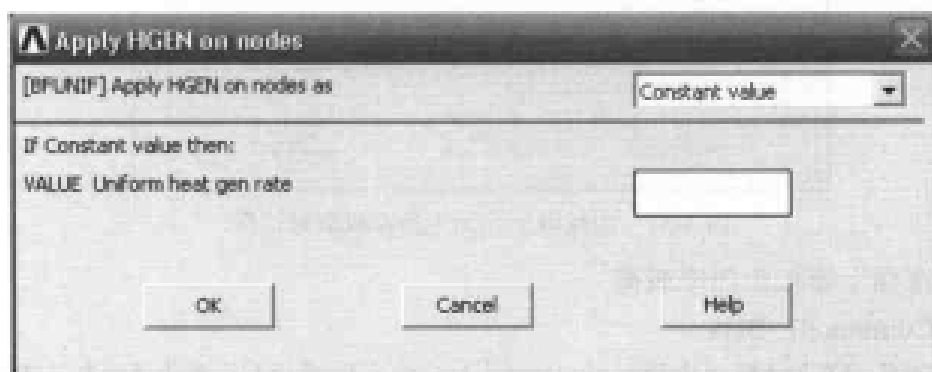


图 3-29 施加均匀生热率载荷对话框

- 在实体模型上施加生热率载荷

- 在关键点上施加生热率载荷

Command: BFK

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Keypoints

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Keypoints

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的关键点, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HGEN on Keypt 对话框, 如图 3-30 所示, 在文本框中输入生热率载荷。



图 3-30 在关键点上施加生热率载荷对话框

- 在线段上施加生热率载荷

Command: BFL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Lines

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的线段，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HGEN on lines 对话框，如图 3-31 所示，在文本框中输入生热率载荷。

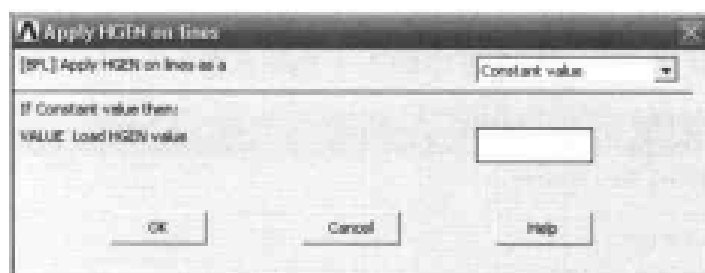


图 3-31 在线段上施加生热率载荷对话框

- 在面上施加生热率载荷

Command: BFA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Areas

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的面，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply HGEN on areas 对话框，如图 3-32 所示，在文本框中输入生热率载荷。

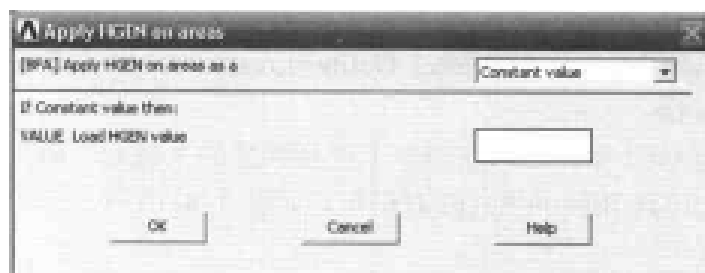


图 3-32 在面上施加生热率载荷对话框

- 在体上施加生热率载荷

Command: BFV

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat
Generat | On Volumes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat |
On Volumes

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的体, 确定后 ANSYS 显示窗口出现
Apply HGEN on volume 对话框, 如图 3-33 所示, 在文本框中输入生热率载荷。



图 3-33 在体上施加生热率载荷对话框

- 将实体模型载荷转变为有限元模型载荷

Command: BFTRAN

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Operate | Transfer to FE |
Body Loads

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Body Loads

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Tranfer Keypoint Body Loads to Nodes
对话框, 如图 3-34 所示, 单击 OK 按钮可把实体模型上所选关键点的生热率载荷转
变为相应的节点载荷。

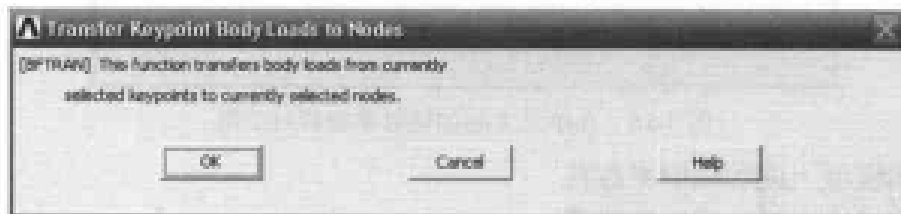


图 3-34 将关键点上的体载荷转变到节点上

(6) 辐射率

- 在有限元模型上施加辐射率载荷

- 在节点上施加辐射率载荷

Command: SF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal |
Radiation | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On
Nodes

热分析教程与实例解析

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply RDSF on Nodes 对话框，如图 3-35 所示，在 VALUE Emissivity 文本框中输入辐射率。

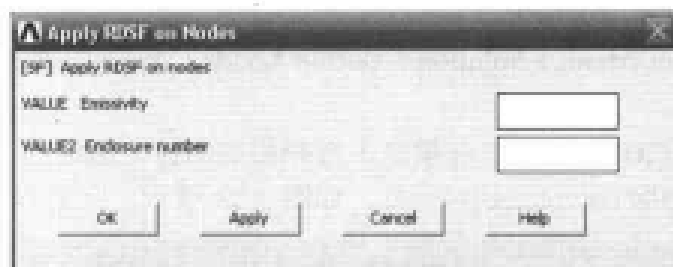


图 3-35 在节点上施加辐射率载荷对话框

➤ 在单元上施加辐射率载荷

Command: SFE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Elements

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Elements

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的单元，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply RDSF on Elems 对话框，如图 3-36 所示，在 VALUE Emissivity 文本框中输入辐射率。

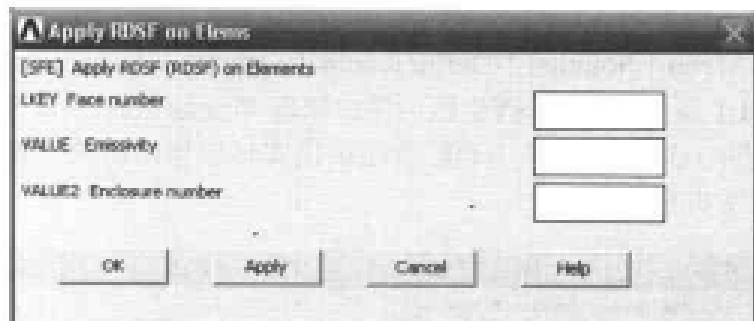


图 3-36 在单元上施加辐射率载荷对话框

● 在实体模型上施加辐射率载荷

➤ 在线段上施加辐射率载荷

Command: SFL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Lines

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的线段，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply RDSF on Lines 对话框，如图 3-37 所示，在 VALUE Emissivity 文本框中输入辐射率。

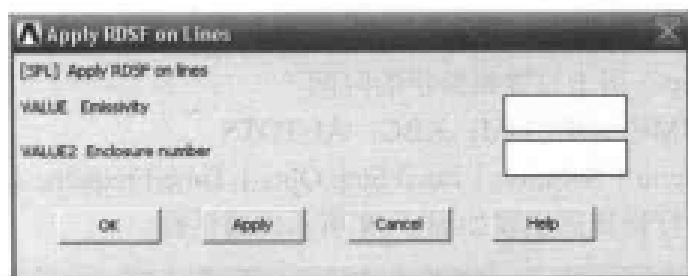


图 3-37 在线段上施加辐射率载荷对话框

➤ 在面上施加辐射率载荷

Command: BFA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Areas

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的面, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply RDSF on Areas 对话框, 如图 3-38 所示, 在 VALUE Emissivity 文本框中输入辐射率。

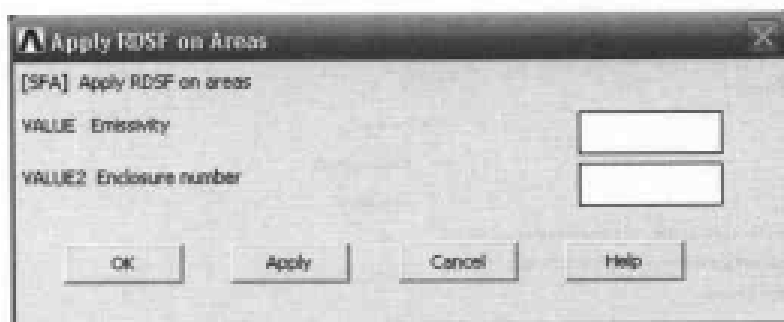


图 3-38 在面上施加辐射率载荷对话框

➤ 将实体模型载荷转变为有限元模型载荷

Command: SFTRAN

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Surface Loads

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Operate | Transfer to FE | Surface Loads

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Transfer Solid Model Surface Loads to Elements 对话框, 如图 3-23 所示。单击 OK 按钮可把实体模型上的对流载荷转变为相应的单元载荷。

3-3-3 求解

在对一个稳态热分析问题进行求解时, 通常需要设定 Time/Frequenc 选项、非线性选项和输出控制等载荷步选项。

1. Time/Frequenc 选项

- Time-Time Step: 用于设置载荷步的时间

Command: TIME; DELTIM; KBC; AUTOTS

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step

按上述步骤进行操作后出现如图 3-39 所示的对话框。

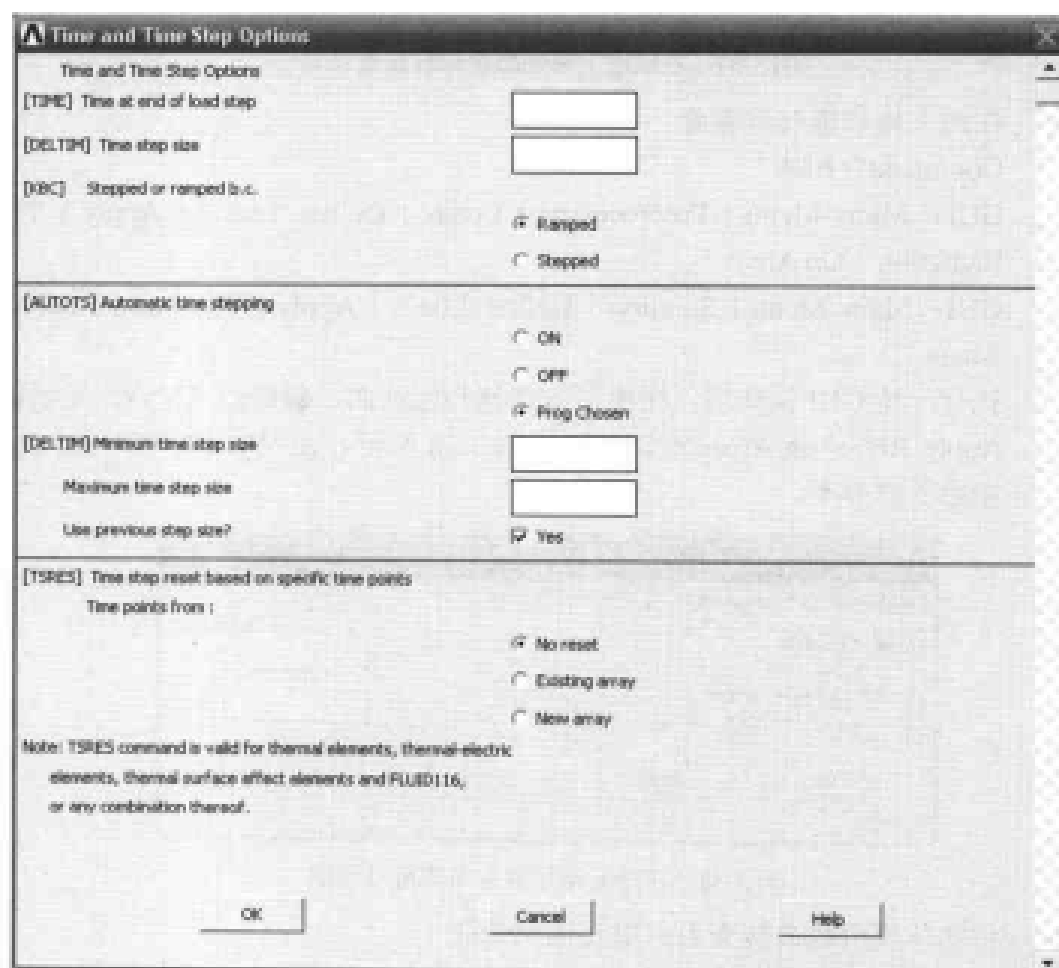


图 3-39 Time and Time Step Options 选项设置对话框

上图中，在 Time at end of load step 文本框中输入计算终止时间；在 Time step size 文本框中输入时间步长；在 Stepped or ramped b.c.选项组中若选中 Ramped 单选按钮，表示载荷值随每一子步呈线性变化，若选中 Stepped 单选按钮，表示载荷值在该载荷步内保持不变；在 Automatic time stepping 选项组中选择是否启动自动时间步长；在 Minimum time step size 与 Maximum time step size 文本框中输入最大时间步和最小时间步。

- Time and Substps: 确定每载荷步中子步的数量或时间步大小

Command: TIME; NSUBST; KBC; AUTOTS

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time and Substps

按上述步骤进行操作后出现如图 3-40 所示的对话框。

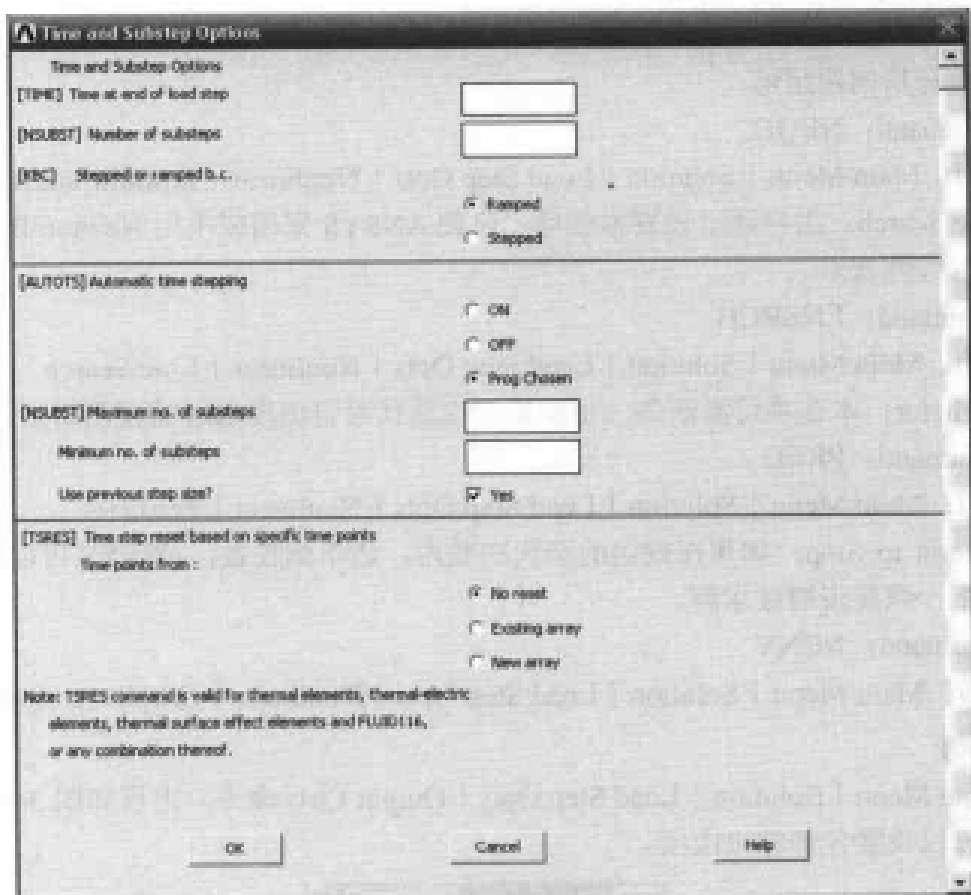


图 3-40 Time and Substps Options 选项设置对话框

2. 非线性选项

单击 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear 命令, 出现如图 3-41 所示的菜单, 在此处可以设置各种非线性选项。

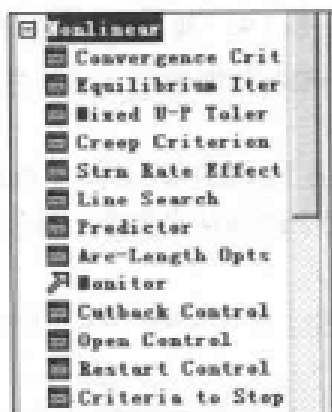


图 3-41 非线性选项菜单

- **Convergence Crit:** 可根据温度、热流率等指标设置热分析的收敛标准, 检验热分析的收敛性。

Command: CNVTOL

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Convergence Crit

- **Equilibrium Iter:** 本选项设置每一子步允许的最大迭代次数。默认值为 25, 对大多数热分析问题足够。
Command: NEQIT
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Equilibrium Iter
- **Line Search:** 用户通过设置本选项, 可使 ANSYS 采用或不用 Newton-Raphson 方法进行线性搜索。
Command: LNSRCH
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Line Search
- **Predictor:** 本选项可激活每一子步第一次迭代对自由度求解的预测矫正。
Command: PRED
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Predictor
- **Criteria to Stop:** 如果在规定的迭代次数内, 达不到收敛, ANSYS 可以停止求解或到下一载荷步继续求解。
Command: NCNV
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Criteria to Stop

3. 输出控制

单击 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrls 命令, 出现如图 3-42 所示的菜单, 在此处可以设置各种输出选项。



图 3-42 输出控制菜单

- **Solu Printout:** 此选项用于控制打印输出, 可将任何结果数据输出到*.out 文件中。
Command: OUTPR
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrls | Solu Printout
- **DB/Results File:** 此选项用于控制结果文件, 即用于控制*.rth 的内容中。
Command: OUTRES
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrls | DB/Results File

4. 确定分析选项

单击 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options 命令, 出现如图 3-43 所示的分析选项设置对话框。

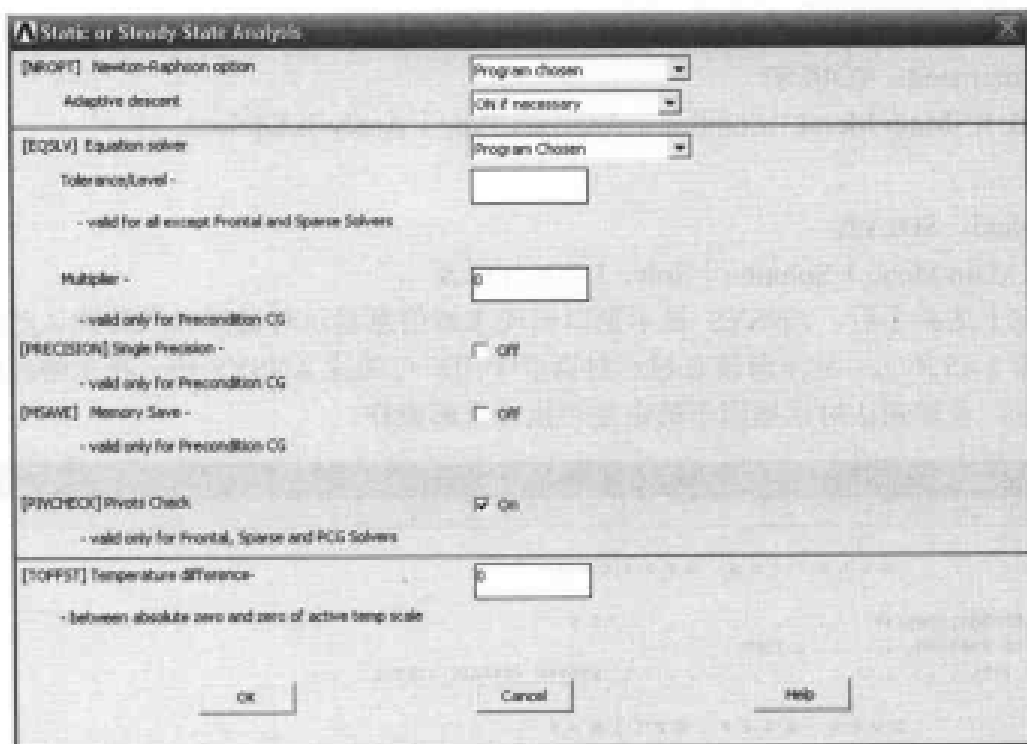


图 3-43 分析选项设置对话框

- **Newton-Raphson 选项**

该选项仅对非线性分析有用，其中包含 5 个子选项，说明如下：

Program Chosen: 由 ANSYS 自动选择。

Full N-R: 使用完全的 Newton-Raphson。

Modified N-R: 使用改进的 Newton-Raphson。

Initial Stiffness: 使用上次计算的矩阵。

Full N-R unsymm: 使用具有单元不对称矩阵的完全 Newton-Raphson。

Command: NROPT

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options

- **Equation solver 选项**

该选项用于选择求解器，可供选择的求解器有：Frontal direct equation solver (默认)、Sparse direct equation Solver、Jacobi Conjugate Gradient (JCG) iterative equation solver、JCG out-of-core solver、Incomplete Cholesky Conjugate Gradient (ICCG) solver、Pre-Conditioned Conjugate Gradient Iterative equation Solver (PCG)、Pre-Conditioned Conjugate Gradient Iterative equation Solver, out-of-memory option (PCGOUT)、Algebraic Multigrid Iterative equation solver (AMG)、Distributed Domain solver (DDS)、Distributed Pre-conditioned Conjugate Gradient Iterative equation solver (DPCG)、Distributed Jacobi Conjugate Iterative equation solver (DJCG)。

Command: EQSLV

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options

- **Temperature difference 选项**

该选项用于确定绝对零度。在进行热辐射分析时，需要将目前的温度值换算为绝对

热分析教程与实例解析

温度。如果在热分析过程中使用的温度单位是摄氏度，则该值应设定为 273。

Command: TOFFST

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options

5. 求解

Command: SOLVE

GUI: Main Menu | Solution | Solve | Current LS

执行完上述命令后，ANSYS 显示窗口出现求解信息显示对话框和求解确认对话框，如图 3-44、图 3-45 所示。从求解信息显示对话框中用户可阅读 ANSYS 热分析求解过程中的一些基本信息，求解确认对话框用于确定是否执行求解操作。

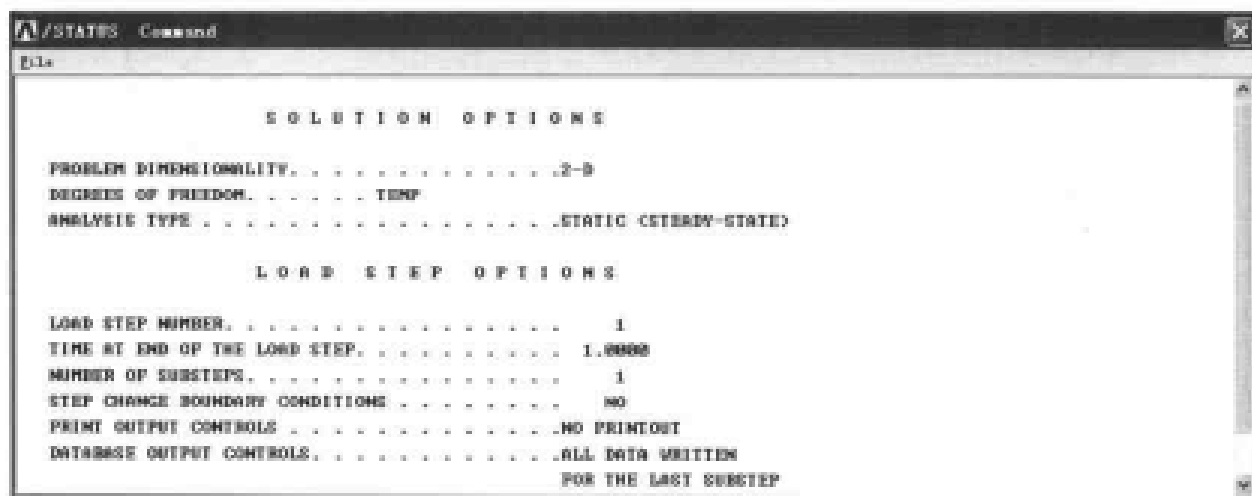


图 3-44 求解信息显示对话框

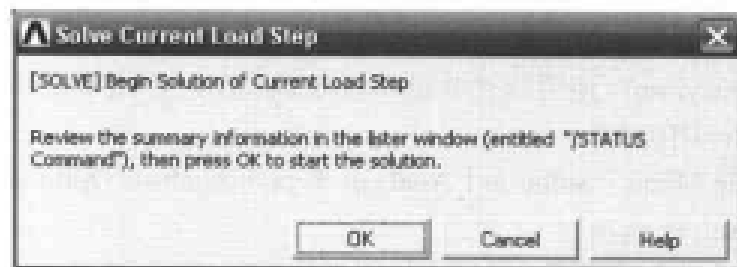


图 3-45 求解确认对话框

3-3-4 后处理

ANSYS 热分析的结果写入*.rth 文件中，它包含如下数据：

基本数据：

- 节点温度

导出数据：

- 节点及单元的热流密度
- 节点及单元的热梯度
- 单元热流率

- 节点的反作用热流率等
- 其他

对于稳态热分析，可以使用 POST1 进行后处理。

- 进入 POST1 后，读入载荷步和子步：

Command: SET

GUI: Main Menu | General Postproc | Read Results

可以通过以下 3 种方式查看结果：

- 彩色云图显示

Command: PLNSOL; PLESOL; PLETAB 等

GUI: Main Menu | General Postproc | Plot Results

- 矢量图显示

Command: PLVECT

GUI: Main Menu | General Postproc | Plot Results | Vector Plot

- 列表显示

Command: PRNSOL; PRESOL; PRRSOL 等

GUI: Main Menu | General Postproc | List Results

[illegible]

Chapter

4

瞬态热分析

本章提示:

本章向读者介绍瞬态热分析的基本知识, 主要包括: 瞬态热分析应用、瞬态热分析单元、瞬态热分析过程相关命令以及瞬态热分析基本步骤。

学习目标:

通过本章的学习, 要求读者了解瞬态热分析的应用, 熟悉瞬态热分析单元, 掌握 ANSYS 10.0 瞬态热分析的基本过程、基本步骤以及瞬态热分析过程中的相关命令和界面操作。

4-1 瞬态热分析的应用

温度场随时间发生变化的传热过程称为非稳态传热。实际上,无论是在自然界还是在工程中,绝大部分传热过程都是非稳态传热。这类传热按照其过程进行的特点,可分为周期性传热和非周期性传热两种。在周期性的传热过程中,导热物体内的温度以一定的规律,随时间周期性地变化。如自然界大地表层土壤在一昼夜和一年四季中,它的温度场都是周期性变化的。又如在稳定工况下运行中的往复式热机,汽缸壁内的导热也是周期性的。而在非周期性的传热过程中,物体内的温度随时间不断升高或降低,并在经历相当长时间后逐渐趋于周围介质的温度而最终达到平衡。这类传热过程又称为瞬态传热。如热力机械的启动过程和停机过程,各种热处理过程中的工件被加热或被冷却时,都是瞬态传热。

瞬态热分析与稳态热分析主要的区别是瞬态热分析中的载荷是随时间变化的。为了表达随时间变化的载荷,首先必须将载荷-时间曲线分为载荷步。载荷-时间曲线中的每一个拐点为一个载荷步,如图 4-1 所示。

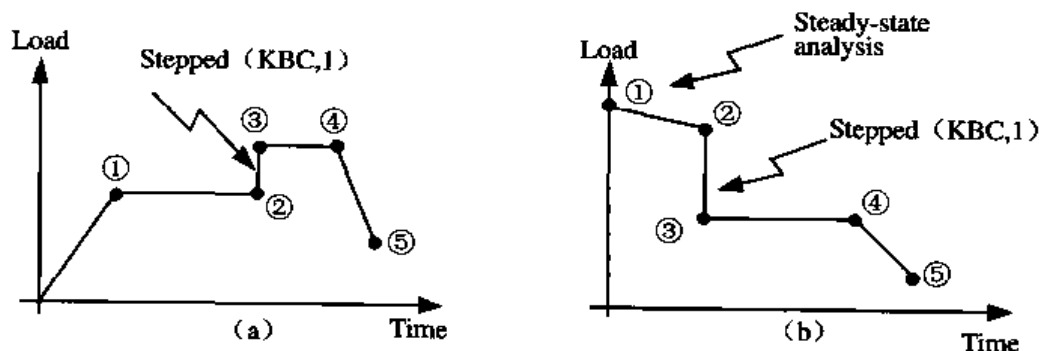


图 4-1 瞬态热分析载荷-时间曲线

对于每一个载荷步,必须定义载荷值及时间值,同时必须选择载荷步为渐变或阶跃。

4-2 瞬态热分析单元

瞬态热分析中使用的单元与稳态热分析相同。

4-3 瞬态热分析基本步骤

ANSYS10.0 瞬态热分析的基本步骤包括建立有限元模型、施加载荷、求解与后处理。

4-3-1 建立有限元模型

建立有限元模型的步骤如下:

- (1) 过滤图形用户界面。
- (2) 确定工作文件名,工作标题与单位制。
- (3) 进入 PREP7 前处理器。

- (4) 选择单元类型, 设置单元选项, 定义单元实常数。
- (5) 定义材料热性能参数。
- (6) 创建几何模型。
- (7) 划分网格。

若材料性能参数是随温度变化的, 则需要定义不同温度下对应材料的属性表。其命令流方式和 GUI 操作方式如下:

Command: MPTEMP、MPDATA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Material Models

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Loads Step Opts | Other | Change Mat Props | Material Models

GUI: Main Menu | Solution | Loads Step Opts | Other | Change Mat Props | Material Models

进行完上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Define Material Model Behavior 对话框, 用户可在该对话框中对材料性能参数进行设置。如图 4-2 所示。例如, 要输入材料比热, 可依次双击该对话框中的 Thermal、Specific Heat 选项, ANSYS 显示窗口出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 如图 4-3 (a) 所示, 若材料比热在热分析过程中为恒定值, 在 C 文本框中输入比热; 若材料比热随温度的变化而变化, 此时单击 Specific Heat for Material Number 1 对话框中的 Add Temperature 按钮, ANSYS 在该对话框中添加温度, 如图 4-3 (b) 所示。多次单击 Add Temperature 按钮, 获得多个温度与比热的对应关系值。同理可进行其他材料性能参数的设置。

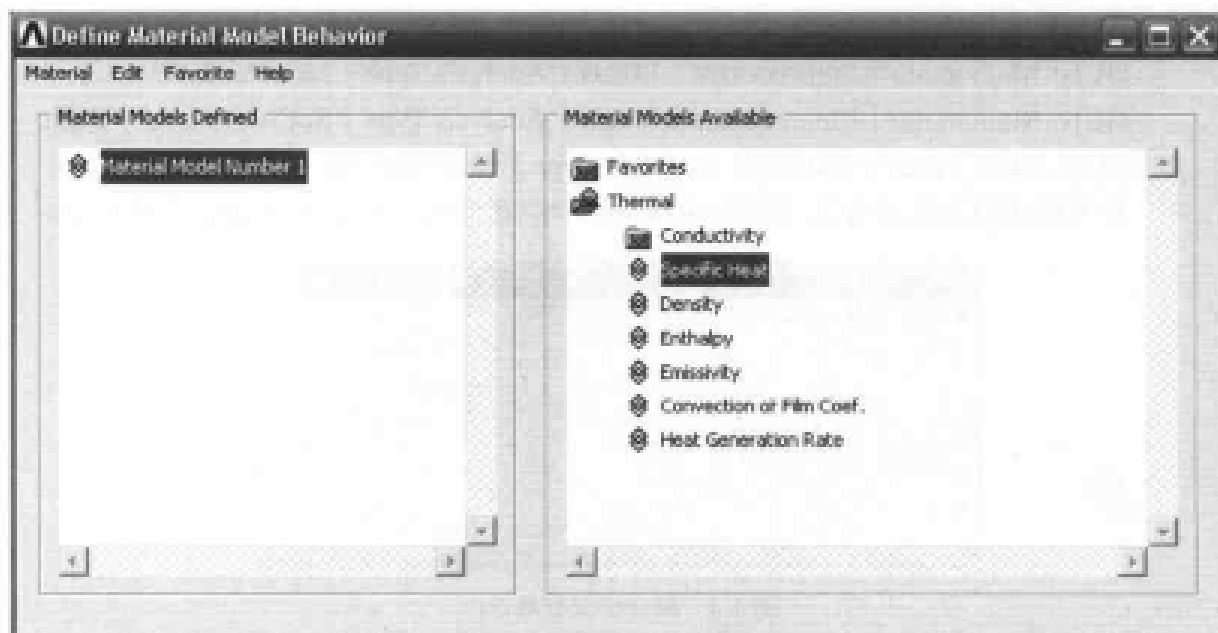


图 4-2 定义材料模型属性

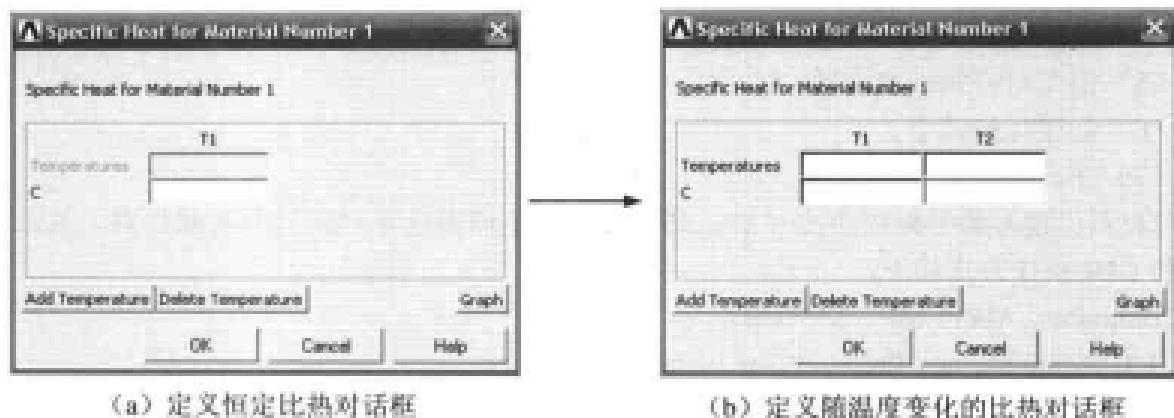


图 4-3 定义材料比热对话框

提示：输入材料参数后，可单击上述对话框中的 Graph 按钮显示材料参数随温度的变化关系曲线图。

4-3-2 施加载荷计算

1. 定义分析类型

- 定义新的分析类型

其命令形式为：

Command: ANTYPE, TRANSIENT, NEW

Command: ANTYPE, 4, NEW

图形界面操作过程为：

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | New Analysis

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | Sol'n Controls | Basic

GUI: Main menu | Solution | Analysis Type | New Analysis

按上述步骤进行操作后出现如图 4-4 所示的对话框，选中 Transient 单选按钮。

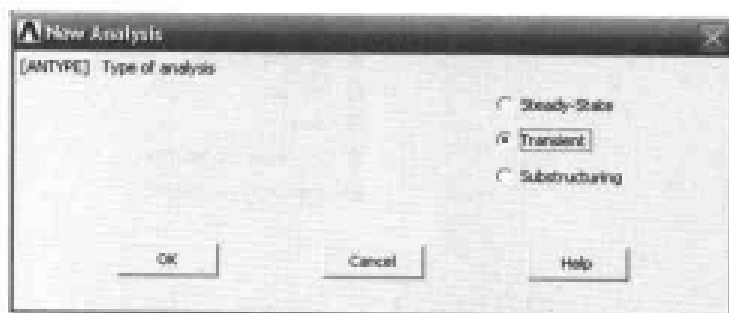


图 4-4 热分析类型对话框

- 如果继续上一次分析，比如增加边界条件等

Command: ANTYPE, STATIC, REST

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | Restart

GUI: Main menu | Preprocessor | Loads | Analysis Type | Sol'n Controls | Basic

GUI: Main menu | Solution | Analysis Type | Restart

2. 设置瞬态热分析的初始条件

- 设置均匀温度场

如果已知模型的初始温度是均匀的, 可设定所有节点的初始温度值。

Command: TUNIF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Setting | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Loading Options | Uniform Temp

该命令可以在模型所有节点上施加均匀温度载荷, 执行该命令后 ANSYS 显示窗口出现 Uniform Temperature 对话框, 在该对话框中的文本框中输入温度载荷。

提示: 均匀温度若没有定义, 则默认为参考温度值。

- 设置参考温度

定义参考温度是用于热应变的计算, 热应变在数值上等于 $\alpha \times (T - TREF)$, 其中 α 为热膨胀系数, TREF 为参考温度。参考温度默认值为零, 但可通过如下方法进行设定:

Command: TREF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Setting | Reference Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Reference Temp

执行完上述操作之后, ANSYS 显示窗口出现 Reference Temperature 对话框, 如图 4-5 所示, 在文本框中输入参考温度值。

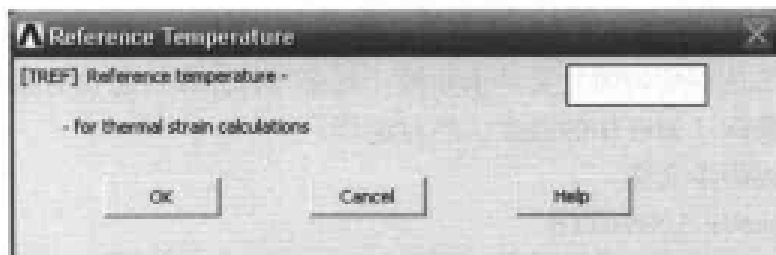


图 4-5 设置参考温度值对话框

- 设置节点温度

- 节点温度的设定

Command: D

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes

执行上述的命令后, ANSYS 显示窗口出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 如图

热分析教程与实例解析

3-9 所示。在第 1 个列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入所需要施加的温度载荷值。

➤ 节点温度的删除

Command: DDELE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Delete | Thermal | Temperature | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Delete | Thermal | Temperature | On Nodes

● 设置节点初始温度

在瞬态热分析中，若节点温度的初始值是已知的，则可通过如下方法进行设定：

Command: IC

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Initial Condit'n | Define

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Initial Condit'n | Define

执行完上述操作之后，根据提示在模型上选择需要施加初始温度的节点，确定后在 ANSYS 显示窗口出现 Define Initial Conditions 对话框，如图 4-6 所示，在文本框中输入节点初始温度值。

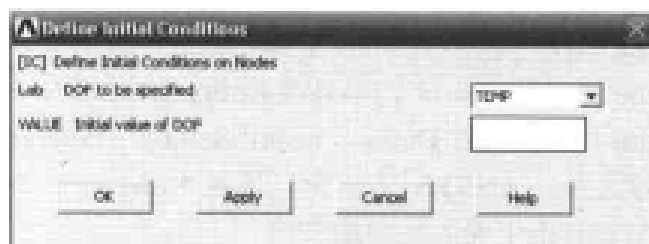


图 4-6 设置节点初始温度对话框

如果初始温度场是不均匀的且又是未知的，就必须首先作稳态热分析建立初始条件：

- 设定载荷（如已知的温度、热对流等）
- 写入载荷步文件

Command: LSWRITE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Load Step Opts | Write LS File

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Write LS File

执行完上述操作之后，ANSYS 显示窗口出现 Write Load Step File 对话框，如图 4-7 所示，在文本框中输入载荷步文件序号。

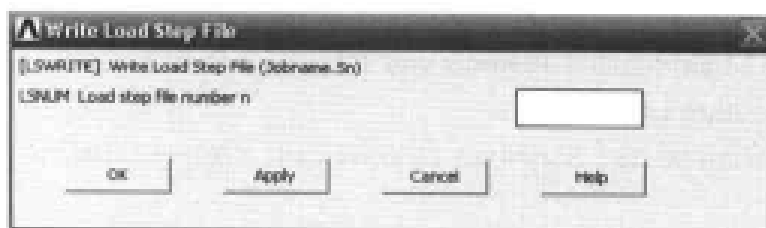


图 4-7 写载荷步文件对话框

提示:瞬态热分析中的载荷类型与施加方法与稳态热分析完全相同,读者可参考相应章节的内容。

4-3-3 求解

在对一个瞬态热分析问题进行求解时,与稳态热分析类似,通常也需要指定一些关键的载荷步选项。其中包括:Time/Frequenc 选项、非线性选项以及输出选项。

1. Time/Frequenc 选项

- 设置计算终止时间

Command: TIME

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time and Substps

- 设置载荷步的载荷子步数(或时间增量)

对于非线性分析,每个载荷步需要多个载荷子步。时间步长的大小关系到计算的精度。步长越小,计算精度越高,同时计算的时间越长。根据线性传导热传递,可以按如下公式估计初始时间步长:

$$ITS = \delta^2 / 4\alpha$$

其中 δ 为沿热流方向热梯度最大处的单元长度, α 为导温系数,它等于导热系数除以密度与比热的乘积。

Command: DELTIM

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step

Command: NSUBST

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time and Substps

- 设置 Stepped 选项与 Ramped 选项

如果载荷在这个载荷步中是恒定的,需要设定为 Stepped;如果载荷值随时间线性变化,则要设定为 Ramped。

Command: KBC

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time and Substps

- 自动时间步长设置

Command: AUTOTS

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time and Substps

本选项为 ON 时,ANSYS 在求解过程中自动调整时间步长。

- 时间积分效果如果此选项设定为 OFF,进行稳态热分析

Command: TIMINT

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration

2. 非线性选项

- **Convergence Crit:** 可根据温度、热流率等指标设置热分析的收敛标准, 检验热分析的收敛性。
Command: CNVTOL
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Convergence Crit
- **Equilibrium Iter:** 本选项设置每一子步允许的最大迭代次数。默认值为 25, 对大多数热分析问题足够。
Command: NEQIT
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Equilibrium Iter
- **Line Search:** 通过设置本选项, 可达到使 ANSYS 采用或不用 Newton-Raphson 方法进行线性搜索的目的。
Command: LNSRCH
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Line Search
- **Predictor:** 本选项可激活每一子步第一次迭代对自由度求解的预测矫正。
Command: PRED
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Predictor
- **Criteria to Stop:** 如果在规定的迭代次数内, 达不到收敛, ANSYS 可以停止求解或到下一载荷步继续求解。
Command: NCNV
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Criteria to Stop

3. 输出控制

- **Solu Printout:** 此选项用于控制打印输出, 可将任何结果数据输出到 *.out 文件中。
Command: OUTPR
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | Solu Printout
- **DB/Results File:** 此选项用于控制结果文件, 即用于控制 *.rth 的内容。
Command: OUTRES
GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | DB/Results File

4. 求解

Command: SOLVE
GUI: Main Menu | Solution | Solve | Current LS

4-3-4 后处理

对于瞬态热分析问题, ANSYS 提供了两种后处理方式, 即 POST1 和 POST26。
POST1 用于对整个模型在某一载荷步 (时间点) 的结果进行后处理。

Command: POST1

GUI: Main Menu | General Postproc

POST26 用于对模型中特定点在所有载荷步 (整个瞬态过程) 的结果进行后处理。

Command: POST26

GUI: Main Menu | TimeHist Postproc

1. 用 POST1 进行后处理

进入 POST1 后, 读入载荷步和子步

Command: SET

GUI: Main Menu | General Postproc | Read Results

可以通过如下 3 种方式查看结果:

- 彩色云图显示

Command: PLNSOL; PLESOL; PLETAB 等

GUI: Main Menu | General Postproc | Plot Results

- 矢量图显示

Command: PLVECT

GUI: Main Menu | General Postproc | Plot Results | Vector Plot

- 列表显示

Command: PRNSOL; PRESOL; PRRSOL 等

GUI: Main Menu | General Postproc | List Results

2. 用 POST26 进行后处理

- 定义变量

Command: NSOL; ESOL; RFORCE 等

GUI: Main Menu | TimeHist Postproc | Define Variables

执行上述命令或操作后 ANSYS 窗口显示 Define Time-History Variables 对话框, 如图 4-8 所示, 通过单击 Add 按钮添加时间历程变量, 单击 Edit 按钮对变量进行编辑。

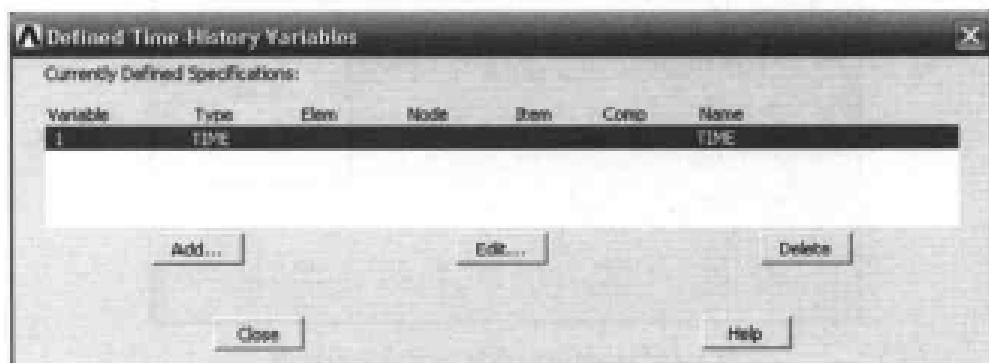


图 4-8 定义时间历程变量对话框

- 绘制时间历程变量随时间的变化曲线

Command: PLVAR

GUI: Main Menu | TimeHist Postproc | Graph Variables

执行上述命令或操作后 ANSYS 窗口显示 Graph Time-History Variables 对话框, 如图 4-9 所示, 在文本框中依次输入需要曲线显示的变量名。

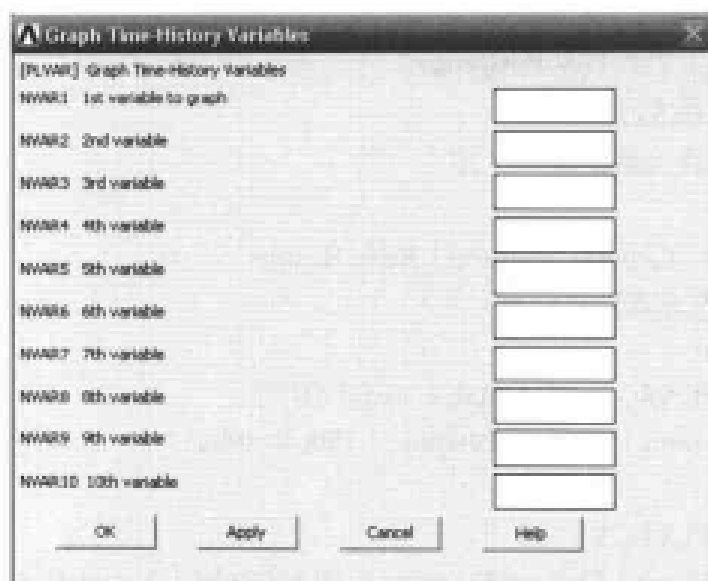


图 4-9 绘制时间历程变量随时间的变化曲线对话框

- 时间历程变量列表显示

Command: PRVAR

GUI: Main Menu | TimeHist Postproc | List Variables

执行上述命令或操作后 ANSYS 窗口显示 List Time-History Variables 对话框，如图 4-10 所示，在文本框中依次输入需要列表显示的变量名。

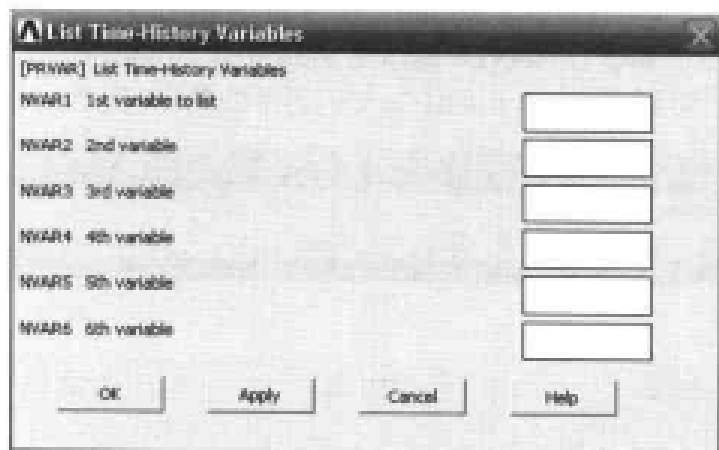


图 4-10 时间历程变量列表显示对话框

Chapter

5

辐射热分析

本章提示:

本章向读者介绍稳态热分析的基本知识, 主要包括: 辐射热分析应用、辐射热分析单元、辐射热分析基本概念、辐射热分析公式以及辐射热分析基本方法与步骤。

学习目标:

通过本章的学习, 要求读者了解辐射热分析的应用, 熟悉辐射热分析单元、辐射热分析基本概念及辐射热分析公式, 掌握 ANSYS 10.0 辐射热分析的基本方法和基本步骤。

5-1 辐射热分析的应用

热辐射是借助于电磁波的能量传播的过程。无论是在日常生活中还是在工程技术中,辐射换热都是非常普遍的一种现象。比如太阳对大地的辐射,高炉中灼热火焰对人体的辐射以及汽车发动机的高温部件对汽车内部相邻部件的辐射等。尤其是在工程技术上,辐射换热直接影响着一些基本构件的结构与强度设计。由于热辐射引起的热流与物体表面绝对温度的4次方成正比,因此热辐射分析是高度非线性的。

5-2 辐射热分析常用单元

ANSYS10.0中常见的辐射热分析单元包括LINK31, SURF151和SURF152。各单元的几何形状及基本说明如下:

- LINK31

维度: 2D 或 3D

节点数: 2

自由度: 温度

- SURF151

维度: 2D

节点数: 2~4

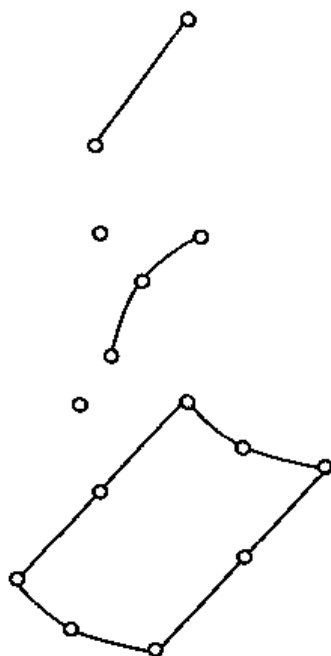
自由度: 温度

- SURF152

维度: 3D

节点数: 4~9

自由度: 温度



5-3 辐射热分析基本概念

5-3-1 黑体

当热辐射电磁波投射到物体表面上时会发生吸收、反射和透射现象。如果用 ϕ 表示外界投射到物体表面上的总辐射能,如图5-1所示,其中一部分 ϕ_a 被物体吸收,一部分 ϕ_b 被物体所反射,而另一部分 ϕ_c 则穿透过物体。根据能量平衡原理可得:

$$\phi = \phi_a + \phi_b + \phi_c$$

上式两边同除以 ϕ , 则得:

$$\frac{\phi_a}{\phi} + \frac{\phi_b}{\phi} + \frac{\phi_c}{\phi} = 1$$

若令:

$$\frac{\phi_a}{\phi} = A; \quad \frac{\phi_b}{\phi} = B; \quad \frac{\phi_c}{\phi} = C$$

则:

$$A+B+C=1$$

其中, A 、 B 、 C 分别称为吸收率、反射率和透射率。

如果 $A=1$, 即 $B=C=0$, 表示投射在物体上的能量全部被吸收, 则称这种物体为黑体。

黑体在单位时间内发出 (或吸收) 的热辐射热量可由 Stefan-Boltzmann 定律表示:

$$\phi = S \cdot \sigma \cdot T^4$$

这里 S 为辐射表面积; T 为温度; σ 为 Stefan-Boltzmann 常数, 又称为黑体辐射常数, 其数值为 $5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

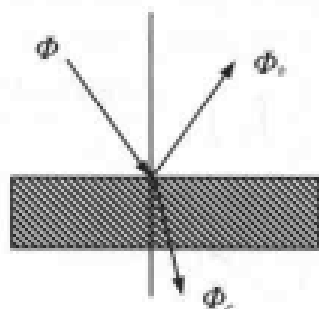


图 5-1 热射线的吸收、反射和透射

5-3-2 灰体

自然界中黑体是不存在的, 建立这种概念仅仅是为了研究的方便。所以, 通常的物体被称为灰体, 即 $A < 1$ 。

不过实际物体的吸收率要根据吸收与发射两方面的性质来确定, 并且还是温度的函数。而灰体的吸收率被定义为常数, 只取决于物体本身的情况, 与投入辐射无关。所以, 灰体同黑体一样, 也只是一种理想物体。引入灰体这一概念具有重要的实际意义。比如在工业上, 大多数材料当作灰体处理时, 引起的误差是很小的。因此在辐射热分析过程中采用这种简化处理方式。

对于灰体, 其辐射的热量可表示为:

$$\phi = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

ε 称为实际物体的辐射率, 或称为黑度, 它的数值处于 $0 \sim 1$ 之间。物体的辐射率表示了实际物体的辐射能力接近黑体的程度。

5-3-3 角系数

在分析两个表面之间的辐射换热时，常常需要求解一个重要的参量——角系数。角系数 F_{ij} 表示了表面 J 吸收的由表面 I 发出的辐射能与表面 I 所发出的总辐射能的比值。用公式可表示为：

$$F_{ij} = \frac{F_j}{F_i}$$

上式中： F_{ij} 表示角系数； F_j 表示表面 J 吸收的由表面 I 发出的辐射能； F_i 表示表面 I 所发出的总辐射能。

5-4 热辐射公式

5-4-1 角系数的计算

角系数是关于表面面积、面的取向及面间距离的函数。图 5-2 为与角系数相关的各参量示意图。角系数 F_{ij} 表示了离开表面 I 到达表面 J 的能量分数，可用下式表示：

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i$$

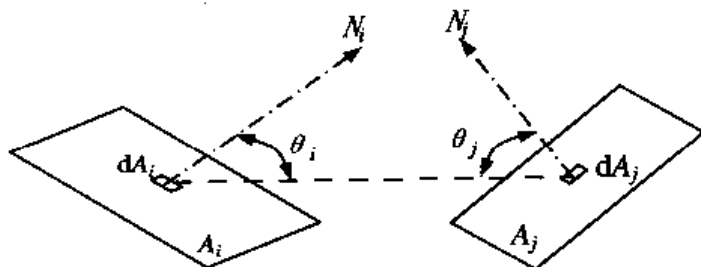


图 5-2 角系数计算参量示意图

上式中： A_i 、 A_j 表示表面 I 与表面 J 的面积； r 表示面单元 dA_i 与面单元 dA_j 之间的距离； θ_i 表示面单元 dA_i 的法线 N_i 与两面单元连线的夹角； θ_j 表示面单元 dA_j 的法线 N_j 与两面单元连线的夹角； N_i 表示面单元 dA_i 的法线； N_j 表示面单元 dA_j 的法线。

从角系数的表示式中可以看出，角系数 F_{ij} 具有以下特征：

- 与面距离的平方成反比。
- 与 $\cos \theta_i$ 成正比，在 $\theta_i = 0$ 时表面 I 辐射出最大的热量。
- 与 $\cos \theta_j$ 成正比，在 $\theta_j = 0$ 时表面 J 吸收最大的能量。
- 若两表面彼此“看不见”（即 $\cos \theta_i = 0$ 且 $\cos \theta_j = 0$ ），则彼此的角系数等于零。
- 根据相互作用原理，对于任意两表面均有 $A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$ 。

5-4-2 热辐射计算方程

两个表面之间的热辐射计算公式为：

$$Q_i = \sigma \varepsilon_i F_{ij} A_i (T_i^2 + T_j^2)(T_i + T_j)(T_i - T_j)$$

上式中各参量的物理意义如下：

Q_i ：表面 I 的传热率；

σ ：Stefan-Boltzman 常数；

ε_i ：有效热辐射率；

A_i ：表面 I 的面积；

T_i, T_j ：表面 I 与表面 J 的绝对温度值。

提示：ANSYS 10.0 进行热辐射求解时，温度的单位对于分析有着重要的影响。由于是采用绝对温度值，因此若使用摄氏度则应指定温度偏移量为 273° 。设置温度偏移量的命令为 TOFFST。

5-5 辐射热分析求解方法

5-5-1 非隐藏法与隐藏法

非隐藏法 (Non-hidden Method) 和隐藏法 (Hidden Method) 是计算角系数的两种不同的方法。

非隐藏法在计算过程中，无论单元是否被阻挡，都计算该单元与其他表面上单元的角系数，具体方程如下：

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^n \left(\frac{\cos \theta_{ip} \cos \theta_{jq}}{\pi r^2} \right) A_{ip} A_{jq}$$

上式中： m 表示面单元 i 上的积分点数； n 表示面单元 j 上的积分点数。

定义两表面间的无量纲距离为：

$$D = \frac{d_{\min}}{\sqrt{A_{\max}}}$$

上式中： d_{\min} 表示表面 A_1 与表面 A_2 之间的最短距离； $A_{\max} = \max(A_1, A_2)$ 。

计算时，面积分的阶数由一阶向高阶自适应逐渐增加，而 D 值则逐渐降低。由于当 $D < 0.1$ 时所计算的角系数的准确性比较差，所以当 $D < 0.5$ 时，采用围道积分 (Contour Integration)，以保证计算的准确性。随着围道积分的阶数逐渐增加， D 值也逐渐逼近于零。

提示：只有所有辐射面可以完全看到对方时，才能使用非隐藏方法，否则热分析的结果不正确。

隐藏法同非隐藏法相比是一种简化的计算方法，采用此法计算时所有变量均视为常数。

具体方程如下：

$$F_{ij} = \frac{A_j}{\pi r^2} \cos \theta_i \cos \theta_j$$

计算时，首先要用“隐藏线”算法确定两个单元之间是否“可见”。所谓“可见”是指目标单元与辐射单元的辐射方向互相指向对方，而没有其他单元阻碍。如图 5-3 所示，如果辐射单元 i 是“可见”的，则被封闭在一个单位半径的半球（3D 情况下）或半圆（2D 情况下）内。半球或半圆采用局部坐标系，其原点位于该单元表面的中心。所有目标单元向这个半球或半圆投影。在图 5-3 中，角系数 F_{ij} 在数值上等于表面 J 所接收到的射线数与表面 I 发出的总的射线数的比值。这种方法可能会违反热辐射相互作用原理，即 $A_i F_{ij} \neq A_j F_{ji}$ 。

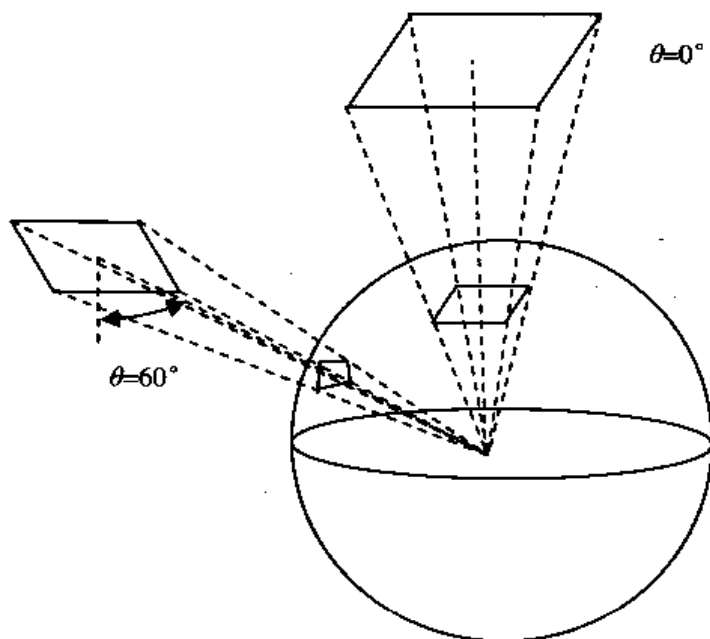


图 5-3 隐藏法示意图

提示：ANSYS 10.0 中默认的射线数为 20。通常设定的射线数量越多，形状系数的精度就越高。读者可通过设定 NZONE 来改变射线的数量。

提示：隐藏法需要明显较长的计算时间，所以仅当辐射面之间有障碍存在或辐射面无法分组计算时才选用。

5-5-2 点-点问题

ANSYS 10.0 模拟两节点或多对节点的热辐射时，应使用热辐射单元 LINK31。LINK31 作为两节点非线性单元可以计算两点之间因辐射引起的热交换。使用此单元时应指明以下单元实常数：

- 有效的辐射表面面积
- 角系数
- 辐射率

● Stefan-Boltzmann 常数

提示：若采用国际单位制，Stefan-Boltzmann 常数数值为 $5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

5-5-3 点-面问题

ANSYS 10.0 中模拟点-面之间的热辐射问题时，通常采用表面效应单元——SURF151 和 SURF152。其中，SURF151 用于 2D 分析，SURF152 用于 3D 分析。

表面效应单元利用实体表面的节点形成单元，并且直接覆盖在实体单元的表面。使用表面效应单元可以更灵活地在实体表面施加热载荷。例如，热流密度与对流可以施加在同一外表面，但 ANSYS 在计算过程中仅读取最后施加的面载荷进行计算。为避免 ANSYS 只读取一种载荷，可以利用实体单元承受热流密度，而表面效应单元承受对流载荷。

关于各单元主要的实常数、材料属性、表面载荷及体载荷，具体说明如下：

(1) SURF151

实常数：FORMF（角系数）、SBCONST（Stefan-Boltzmann 常数）

材料属性：DENS（密度）、EMIS（辐射率）

表面载荷：对流、热流密度

体载荷：生热率

(2) SURF152

实常数：FORMF（角系数）、SBCONST（Stefan-Boltzmann 常数）

材料属性：DENS（密度）、EMIS（辐射率）

表面载荷：对流、热流密度

体载荷：生热率

通常利用表面效应单元进行热辐射分析的步骤如下：

- 设置表面效应单元对应的材料属性。

提示：必须设置辐射率 EMIS，要求 $\text{keyopt}(9) > 0$ 。

- 利用实体单元表面的现有节点生成表面效应单元。

Command: ESURF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Surf/Contact | Node to Surf

- 设置表面效应单元的实常数，包括角系数 FORMF 及 Stefan-Boltzman 常数。
- 设置表面效应单元的单元选项，如自由度等。

提示：若未设置各单元中的关键选项 KEYOPT(9) 或其设置为 KEYOPT(9)=0 时，则不能用于热辐射分析。

5-5-4 面-面问题及 AUX12 矩阵生成器

热辐射分析过程中，常常出现面与面之间的辐射问题。对于这类问题，角系数往往比较

复杂。为此, ANSYS 10.0 采用了 AUX12 矩阵生成器, 用于生成各辐射面之间的角系数矩阵, 并将其作为超单元进行热分析。

提示: ANSYS 10.0 中, 只有 ANSYS/Multiphysics, ANSYS/Mechanical 和 ANSYS/Thermal 3 个模块具备 AUX12 矩阵生成器。

利用 AUX12 进行辐射热分析需按以下 3 个步骤: 定义辐射面、生成角系数矩阵、角系数矩阵用于热分析。

1. 定义辐射面

所谓定义辐射面, 是指在原有限元模型表面覆盖一层新的单元以进行辐射热分析。若原模型为 2D, 则应覆盖 LINK32 单元; 若原模型为 3D, 则覆盖 SHELL57 单元。具体步骤如下:

- 在前处理器 (PREP7) 中构建有限元模型。

提示: 由于 LINK32 单元与 SHELL57 单元不支持几何对称性, 因此必须构建完整的几何模型。

- 在 2D 实体模型的边上覆盖 LINK32 单元, 在 3D 实体模型的表面覆盖 SHELL57 单元, 如图 5-4 所示。

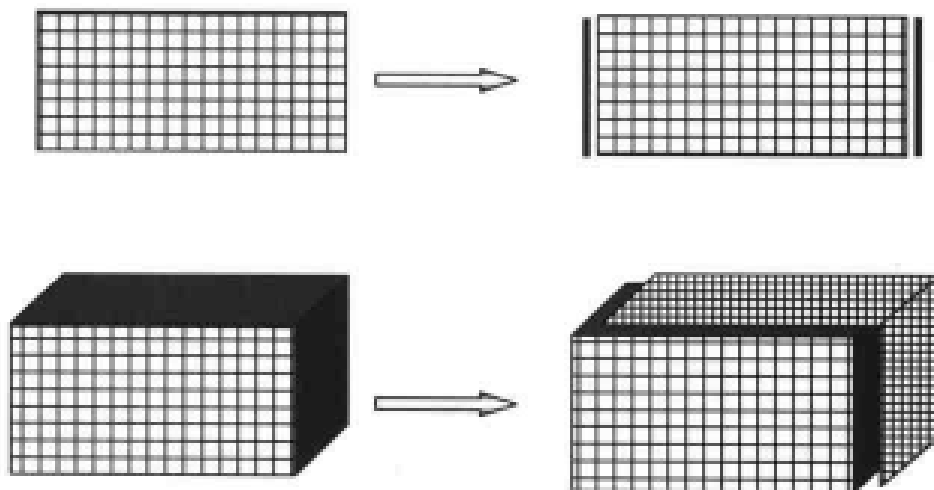


图 5-4 在模型上覆盖新的单元

Command: ESURF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Surf/Contact | Surf Effect | General Surface | Extra Node

提示: 注意所覆盖单元的节点一定要与相应实体单元的对应节点编号重合。

AUX12 规定辐射方向是 SHELL57 的正 Z 向或 LINK32 的正 Y 向, 面与面之间的辐射方向应该是相对的。此外, 节点的排列顺序决定了单元的方向。

可按以下两种方法检验单元的辐射方向是否相对:

Command: /PSYMB, ESYS, 1

GUI: Utility Menu | PlotCtrls | Symbols

执行上述 GUI 操作之后, ANSYS 显示窗口出现 Symbols 对话框, 将 ESYS Element coordinate sys 选项设置为 On, 如图 5-5 所示。

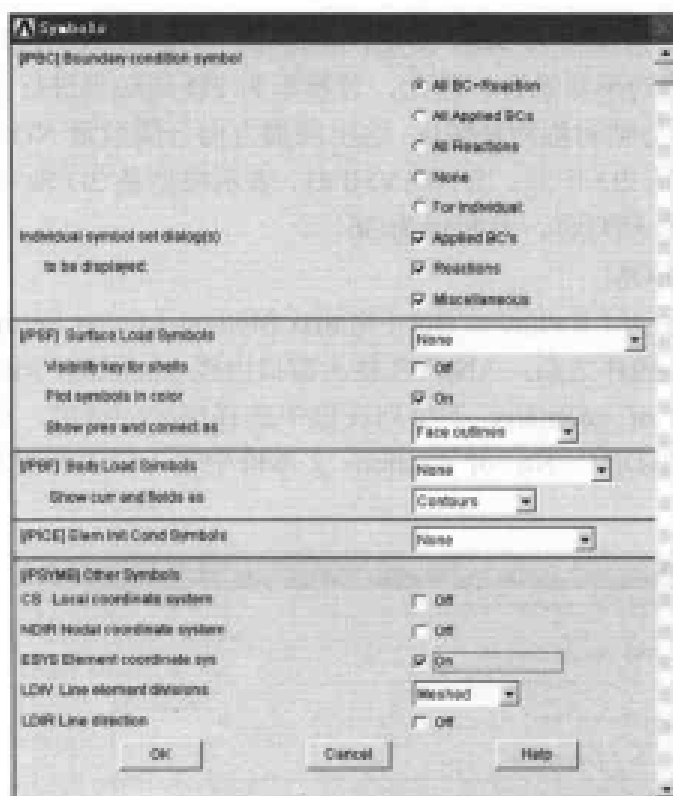


图 5-5 记号显示对话框

- 定义一个空间节点

如果所分析的系统是一个开放系统, 尤其是系统中含有灰体 (辐射率 <1) 时, 必须定义一个空间节点, 用于吸收没有被模型中其他辐射面所吸收的辐射能量, 以保证能量守恒。

2. 生成角系数矩阵

生成角系数矩阵需输入如下信息:

- 组成辐射面的节点和单元
- 模型的维度 (2D 或 3D)
- 辐射率及 Stefan-Boltzmann 常数
- 计算角系数的方法 (隐藏法或非隐藏法)
- 空间节点 (封闭系统不需要定义空间节点)

生成角系数矩阵的具体步骤如下:

- 进入 AUX12
Command: /AUX12
GUI: Main Menu | Radiation Opt
- 选择组成辐射面的节点和单元
Command: ESEL, S, TYPE
GUI: Main Menu | Select | Entities

提示：若定义了空间节点，必须选择此节点。

- 指定模型的维度

AUX12 在默认情况下为 3D，指定模型的维度是因为 AUX12 采用不同的算法计算 2D 或 3D 模型的形状系数。因此，若模型为 2D 则必须进行指定。对于 2D 模型，又可分为平面与轴对称两种情况，这由圆周方向分隔数量 NDIV 来确定。当 NDIV=0 时，表示模型是 2D 平面；当 NDIV>0 时，表示模型是 2D 轴对称。例如，NDIV=10，表示模型为 2D 轴对称，且每段为 36° 。

Command: GEOM

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Other Settings

执行上述 GUI 操作之后，ANSYS 显示窗口出现 Radiation Matrix Settings 对话框，在 K2D Type of geometry 下拉列表框中选择模型的维度，如果模型维度选为 2D geometry，在 NDIV No. of divisions 文本框中输入轴对称模型的等份数，如图 5-6 所示。

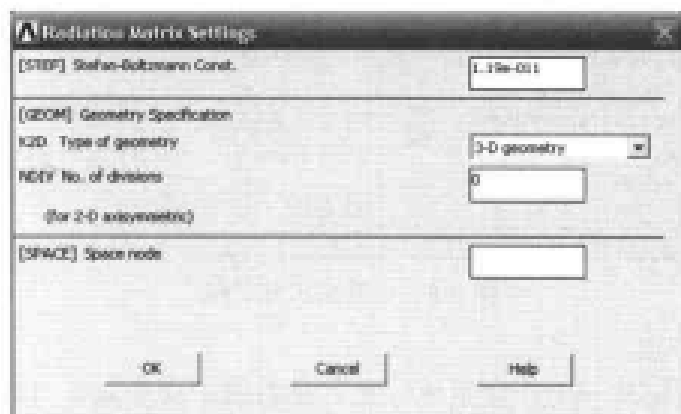


图 5-6 辐射矩阵设置对话框

- 设置辐射率

Command: EMIS

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Emissivities

执行上述 GUI 操作之后，ANSYS 显示窗口出现 Define Emissivities 对话框，如图 5-7 所示，在 MAT Material number 文本框中输入材料参考号，在 EVALU Emissivity value 文本框中输入辐射率。



图 5-7 定义辐射率对话框

提示：ANSYS 10.0 中，辐射率的默认值为 1。

- 定义 Stefan-Boltzmann 常数

Command: STEF

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Other Settings

执行上述 GUI 操作之后, ANSYS 显示窗口出现 Radiation Matrix Settings 对话框, 在 Stefan-Boltzmann Const. 文本框中输入 Stefan-Boltzmann 常数。

- 指定计算角系数的方法

如前所述, 角系数计算的方法有两种: 隐藏法与非隐藏法。

Command: VTYPE

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Write Matrix

执行上述 GUI 操作之后, ANSYS 显示窗口出现如图 5-8 所示的 Write Radition Matrix To File 对话框, 在 NOHID Type of procedure 下拉列表框中选择角系数的计算方法。

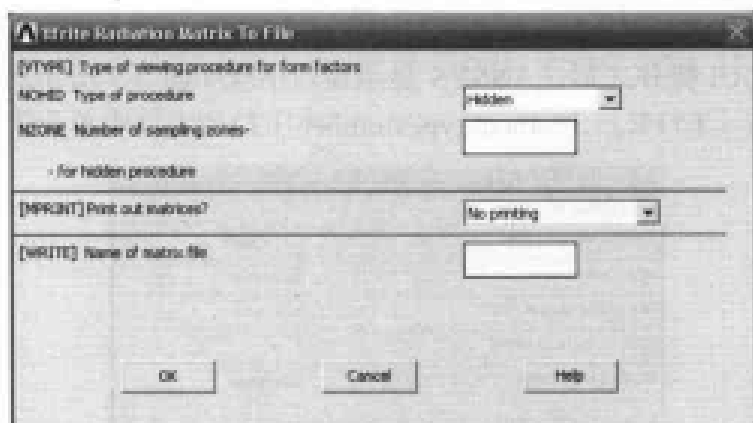


图 5-8 辐射矩阵写入到文件选项设置对话框

- 指定空间节点

如果系统为开放式系统, 则必须指定所定义的空间节点。

Command: SPACE

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Other Settings

执行上述 GUI 操作之后, ANSYS 显示窗口出现如图 5-6 所示的 Radiation Matrix Settings 对话框, 在 [SPACE] Space node 文本框中输入指定的空间节点数。

提示: 封闭系统无须指定空间节点。

- 写辐射矩阵文件

辐射矩阵写入到扩展名为.SUB 的文件。如果有多个辐射矩阵, 则应分别写入到各自的文件中。

Command: WRITE

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Write Matrix

提示: 理论上讲, 对于封闭式系统, 由任意一个辐射表面到所有其他辐射面的形状系数和为 1; 对于开放式系统则小于 1。可通过执行 MPRINT11 命令, 打印出辐射矩阵以检验每个面角系数的计算是否正确。

- 重新选择所有的节点与单元

Command: ALLSEL

GUI: Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Write Matrix

3. 角系数矩阵用于热分析

生成辐射矩阵并将其写入到相应文件以后，可进入 ANSYS 前处理器并以超单元的形式读取该矩阵。具体步骤如下：

- 进入前处理器

Command: /PREP7

GUI: Main Menu | Preprocessor

- 设置单元类型为超单元

Command: TYPE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes

执行上述 GUI 操作之后，ANSYS 显示窗口出现如图 5-9 所示的 Element Attributes 对话框，在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中单元类型选择为超单元。

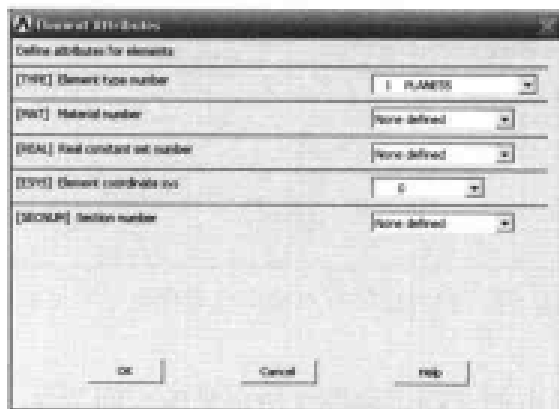


图 5-9 单元属性设置对话框

- 从 SUB 文件读入辐射矩阵

Command: SE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Superelements | From.SUB File

执行上述 GUI 操作之后，ANSYS 显示窗口出现 Read in Superelement From Matrix File 对话框，如图 5-10 所示，在 File Jobname of matrix file 文本框中输入工作文件名。

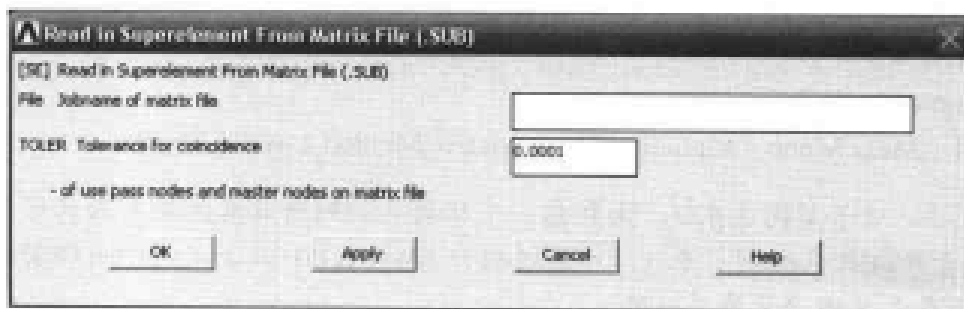


图 5-10 从矩阵文件中读取超单元对话框

- 删除原来覆盖的 LINK32 单元或 SHELL57 单元

由于 LINK32 单元或 SHELL57 单元覆盖在单元表面仅仅是为了生成角系数矩阵，并不真正参与热分析的计算，因此在读入辐射矩阵以后应删除原来覆盖的单元。

Command: EDELE

GUI: Main Menu | Preprocessor | Modeling | Delete | Elements

- 退出前处理器并进入求解器

Command: /SOLU

GUI: Main Menu | Solution

- 分配已知的边界条件到空间节点

空间节点的边界条件通常是指实际的环境条件，如空气温度、热流率等。

Command: D

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes

Command: IC

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Initial Condit'n | Define

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Initial Condit'n | Define

Command: TUNIF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Setting | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Uniform Temp

GUI: Main Menu | Solution | Loading Options | Uniform Temp

Command: TREF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Setting | Reference Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Reference Temp

- 进行热分析

此后的热分析步骤与常规热分析步骤相同，读者可参考第 3 章和第 4 章所作的介绍。

5-6 空间节点的使用

虽然空间节点不是在任何场合都是必须的，但是使用或不使用空间节点可能会明显影响计算的精度。

1. 非隐藏法中空间节点的使用

用非隐藏法计算角系数时,若处于无须考虑空间节点的系统中,计算通常是能满足精度要求的。一般的原则是,对于封闭系统不应定义空间节点;而对于开放系统则应定义空间节点。

提示:若开放系统中含有灰体(辐射率 <1),则必须定义一个空间节点。

2. 隐藏法中空间节点的使用

若采用隐藏法计算角系数,AUX12 的计算精度会影响空间节点对辐射的计算精度。由于计算误差在空间节点上逐渐积累,在封闭或接近封闭的系统中,空间节点角系数计算的相对误差可能会过大。

为保证隐藏法计算角系数的精度,可以考虑增加射线数量,或者细化网格。此外,还应注意以下 4 点:

- 由于封闭系统不向外界辐射,所以封闭系统不必使用空间节点。
- 对于黑体,其辐射率为 1,可以不考虑使用空间节点。
- 对于接近封闭的系统,如果必须考虑对外界的辐射,则应在未封闭处划分网格,并约束该处各节点的温度自由度,以提高该处角系数的计算精度。
- 若开放系统有明显的能量损失,可以使用有特定边界条件的空间节点,用于吸收辐射损失。

Chapter 6

相变分析

本章提示:

本章向读者介绍相变过程分析的基本知识, 主要包括: 相变分析简介、材料焓值的物理意义及计算公式、相变分析过程中应注意的问题。

学习目标:

通过本章的学习, 要求读者了解相变分析的应用, 掌握材料焓值的物理意义及输入方法, 熟悉 ANSYS 10.0 相变分析过程中应注意的基本问题。

6-1 相变分析简介

在分析传热问题时，常常会碰到诸如凝固、熔化等相变问题。ANSYS 热分析最强大的功能之一就是分析相变问题。无论是金属的铸造过程、合金的热加工过程还是材料热处理问题中的复杂相变问题，都可用 ANSYS 轻松地进行求解。

相变问题实际上是一种非线性的瞬态热分析问题。非线性与线性问题的唯一差别在于非线性问题需要考虑相变过程中吸收或释放的潜热 (Latent Heat)。ANSYS 通过定义材料随温度变化的焓来考虑潜热。图 6-1 表示了由固态到液态的相变过程中焓值的变化曲线。

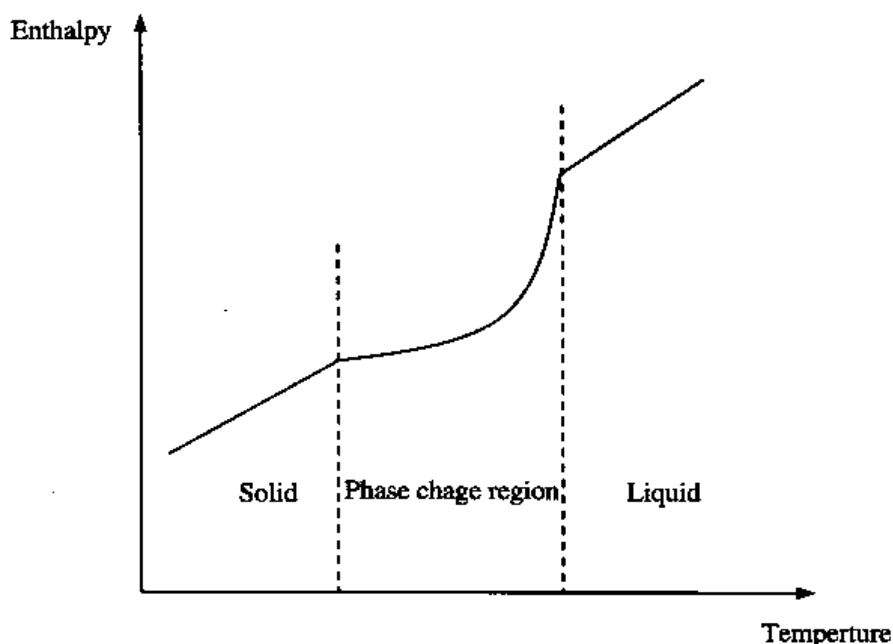


图 6-1 由固态到液态的相变过程中焓值的变化曲线

焓值的变化 ΔH 可描述为密度、比热以及温度的函数，并存在如下关系式：

$$\Delta H = \int \rho C(T) dT$$

可见， ΔH 是密度与比热乘积对温度的积分，其单位为 J/m^3 。

6-2 相变分析应注意的问题

利用 ANSYS 10.0 进行相变求解时，需注意以下几点：

- 由于相变问题是非线性问题，为保证计算结果准确，时间步长应足够小。
- 在进行相变分析时，必须设置材料的焓值。

Command: MPTEMP; MPDATA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models

- 求解前，应将自动时间步长打开，这样程序在相变发生过程中能够自动调节时间步长。

Command: AUTOTS, ON

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time—Time Step

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time—Time Step

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Time and Time Step Options 对话框, 在 [AUTOTS] Automatic time stepping 选项组中选中 ON 单选按钮, 如图 6-2 所示。

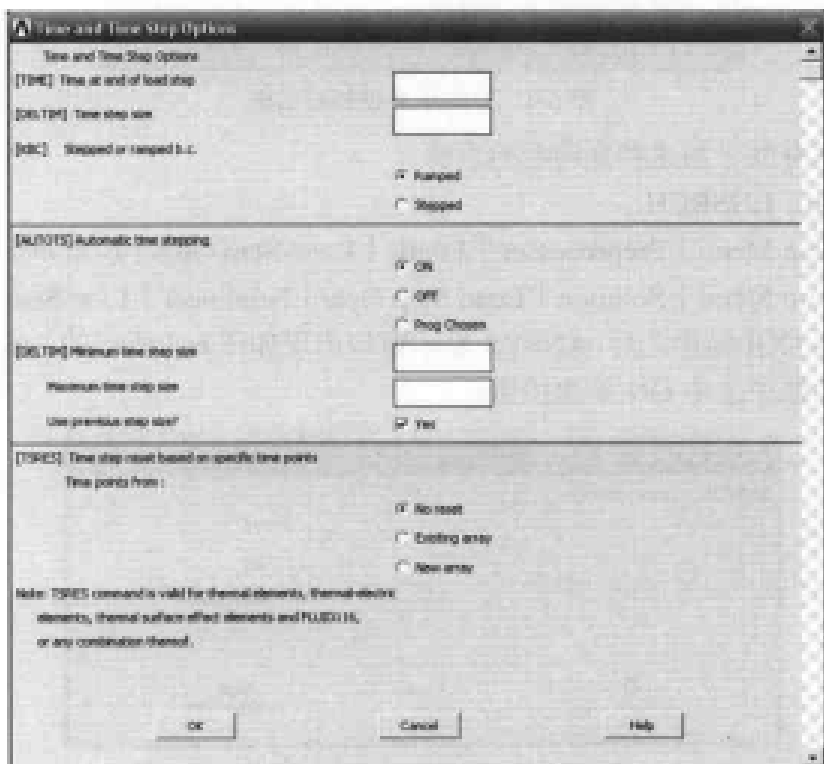


图 6-2 时间与时间步设置对话框

- 应尽量采用低阶单元, 如 PLANE55、SOLID70 等。若必须采用高阶单元, 也应选择使用对角线比热矩阵。

提示: 可通过设置单元关键选项来选择对角线比热矩阵。

- 设定瞬态积分参数时, 应将 THETA 设置为 1 (默认值为 -1) 以采用欧拉向后差分法。

Command: TINTP

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration | Newmark Parameters

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration | Newmark Parameters

执行上述 GUI 操作之后, ANSYS 显示窗口出现如图 6-3 所示的 Time Integration Controls 对话框, 在 THETA Transient integ param 文本框中输入 1。

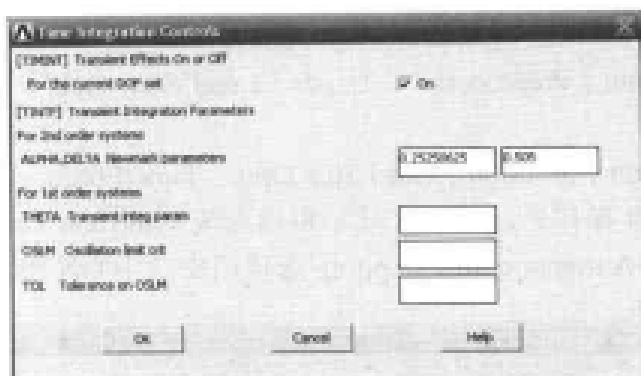


图 6-3 时间积分控制对话框

- 线性搜索有助于加速相变问题的求解。

Command: LNSRCH

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Load Step Opts | Nonlinear | Line Search

GUI: Main Menu | Solution | Load Step Opts | Nonlinear | Line Search

执行上述 GUI 操作之后, ANSYS 显示窗口出现如图 6-4 所示的 Line Search 对话框, 在该对话框中选中 ON 单选按钮。

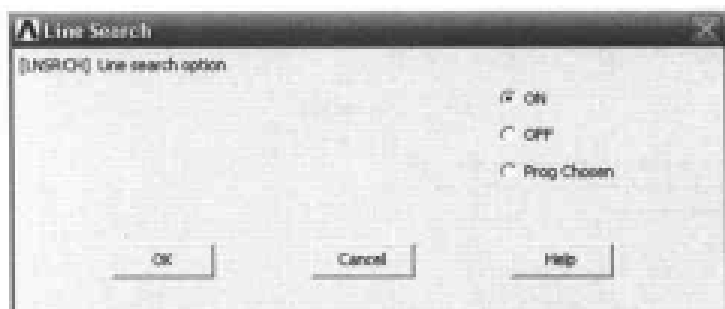


图 6-4 线性搜索设置对话框

例如, 有一半径为 2mm 的圆柱形试管, 管内盛放着高度为 15mm 的水, 其初始温度为 0℃, 现在水面上施加一大小为 -10℃ 的均布温度载荷, 如图 6-5 所示, 试求解需要多长时间水才能完全结冰 (冰中各点温度在 -1℃ 以下) 以及在时间 $t=200s$ 时水内部的温度场分布 (试管材料对水温的影响忽略不计)。

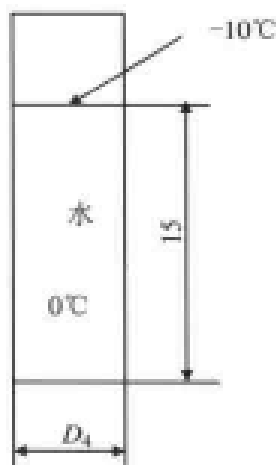


图 6-5 试管纵截面示意图

在求解此问题时，光靠给出的条件是不够的，还必须知道水的焓值随温度变化的情况。在 ANSYS 中，是通过输入离散的点值来表示可变的材料属性的，其余点上的值 ANSYS 会自动进行插值。比如水在 -1°C 、 0°C 、 1°C 的焓值相对于 -10°C 焓值的变化分别为 $37.8 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ 、 $79.8 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ 、 $121.8 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ ，如图 6-6 所示。

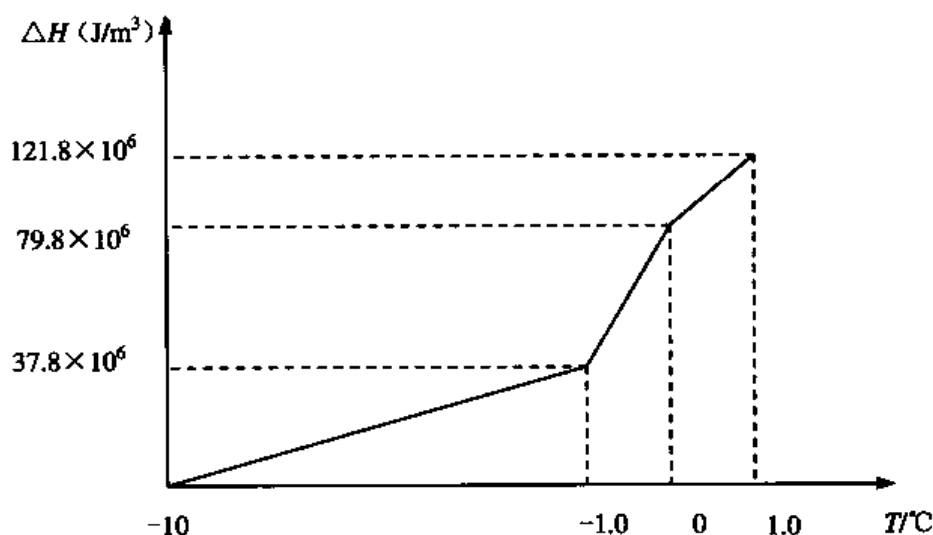


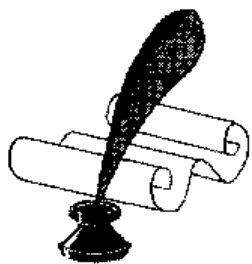
图 6-6 水在不同温度相对于 -10°C 的 ΔH 值

在 ANSYS 中输入可变的材料属性可通过建立温度表的方法，比如此题中的相关命令流为：

```
MPTEMP, 1, -10, -1, 0, 1
MPDATA, ENTH, 1, 1, 0, 37.8E6, 79.8E6, 121.8E6
```

提示：此题 GUI 方式的详细求解及完整的命令流请参看本书第 10 章的相关例题。

相变问题的其余具体计算步骤，如加载、求解、后处理等，均与普通瞬态热分析问题相同，读者可参阅第 4 章的相关内容。



Chapter 7

热应力分析

本章提示:

本章向读者介绍热应力分析的基本知识, 主要包括: 热应力分析简介、热应力分析单元、热应力分析的基本方法和基本步骤。

学习目标:

通过本章的学习, 要求读者熟悉 ANSYS 10.0 热应力分析单元, 掌握热应力分析的基本方法和基本步骤以及热应力分析过程中的相关命令和界面操作。

7-1 热应力分析简介

由于相互接触的不同结构体或同一结构体的不同部分之间的热膨胀系数不匹配，在加热或冷却时彼此的膨胀或收缩程度不一致，从而导致热应力的产生。

热应力问题实际上是热和应力两个物理场之间的相互作用，故属于耦合场分析问题。与其他耦合场的分析方法类似，ANSYS 提供了两种分析热应力的方法：直接法和间接法。

直接法是指直接采用具有温度和位移自由度的耦合单元，同时得到热分析和结构应力分析的结果；间接法则是指先进行热分析，然后将求得的节点温度作为体载荷施加到结构应力分析中（关于直接耦合法及间接耦合法的详细阐述参见 1-4 节）。

7-2 热应力分析单元

本节按照热应力求解的两种方法来阐述相应的热应力分析单元。

7-2-1 直接法进行热应力分析单元

ANSYS 运用直接法进行热应力分析主要采用耦合单元，其中包括热-应力耦合单元、热-应力-电和热-应力-磁耦合单元，表 7-1 显示了不同类型的热-应力耦合单元。

表 7-1 ANSYS 10.0 热耦合单元

单元类型	单元名称
热-应力-电耦合单元	PLANE13、SOLID5、SOLID98、TARGE169、TARGE170、CONTA171、CONTA172、CONTA173、CONTA174、CONTA175、PLANE223、SOLID226、SOLID227

7-2-2 间接法进行热应力分析单元

间接法一般是先采用常规热单元进行热分析，然后将热单元转换为相应的结构单元，并将求得的节点温度作为体载荷施加到模型上再进行结构应力分析，因此在整个分析过程中存在热单元与结构单元的转换问题，表 7-2 列出了热单元与相应的结构单元的对应关系。

表 7-2 热单元与结构单元的转换表

热单元	结构单元
LINK32	LINK1
LINK33	LINK8
PLANE35	PLANE2
PLANE55	PLANE42
SHELL57	SHELL63
PLANE67	PLANE42
LINK68	LINK8
SOLID69	SOLID45
SOLID70	SOLID45
MASS71	MASS21
PLANE75	PLANE25

续上表

热单元	结构单元
PLANE77	PLANE82
PLANE78	PLANE83
SOLID87	SOLID92
SOLID90	SOLID95
SHELL131	SHELL181
SHELL132	SHELL91/SHELL93
SURF151	SURF153
SURF152	SURF154
SHELL157	SHELL63

7-3 热应力分析基本步骤

7-3-1. 直接法进行热应力分析基本步骤

ANSYS 10.0 直接法进行热应力分析的基本步骤包括建立有限元模型、施加载荷、求解与后处理。

1. 建立有限元模型

- 过滤图形用户界面

Command: KEYW

GUI: Main menu | Preferences

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Structural 和 Thermal 复选框, 如图 7-1 所示。

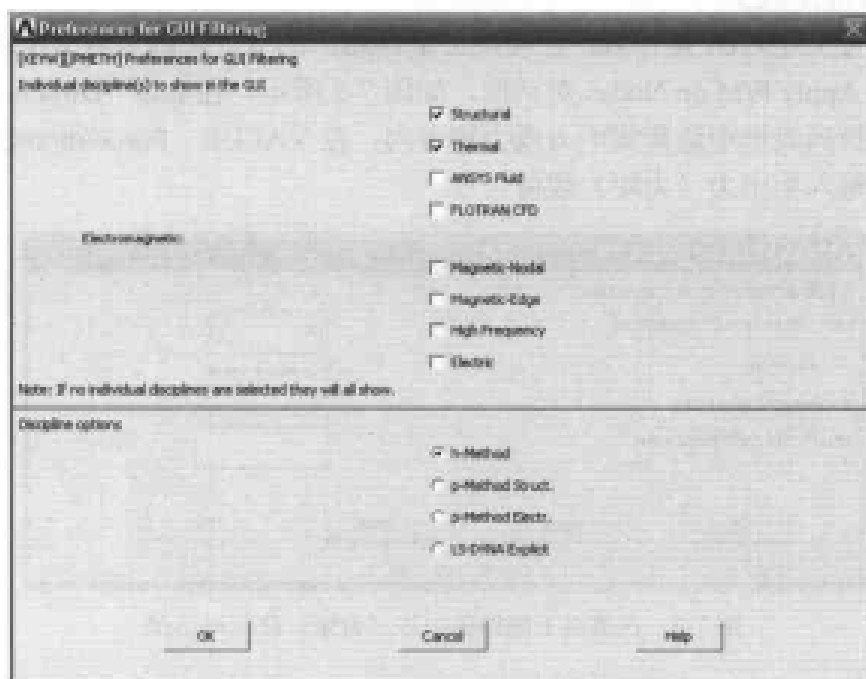


图 7-1 过滤图形用户界面对话框

热分析教程与实例解析

- 确定工作文件名，工作标题与单位制
- 进入 PREP7 前处理器
- 选择单元类型，设置单元选项，定义单元实常数

提示：必须选择与热分析相关的耦合单元。

- 定义材料性能参数

提示：需要定义材料热性能参数及结构性能参数（弹性模量、泊松比、线膨胀系数等）。

- 创建几何模型
- 划分网格

2. 施加载荷

在采用直接法进行热应力分析过程中，不仅可以在模型上施加温度、热流率、对流、热流密度、生热率以及热辐射率 6 种基本热载荷外，还可以在模型上施加集中力（力矩）、压力、位移、角速度等基本结构载荷。热载荷的施加方法在第 3 章已经介绍过，下面介绍结构载荷的施加方法。

（1）集中力（力矩）载荷

- 在有限元模型上施加集中力（力矩）载荷
 - 在单个或多个节点上施加集中力（力矩）载荷

Command: F

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Force/Moment | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Force/Moment | On Nodes

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply F/M on Nodes 对话框，如图 7-2 所示，在 Lab Direction of force/mom 下拉列表框中选择集中力或力矩方向，在 VALUE Force/moment value 文本框中输入集中力（力矩）载荷。

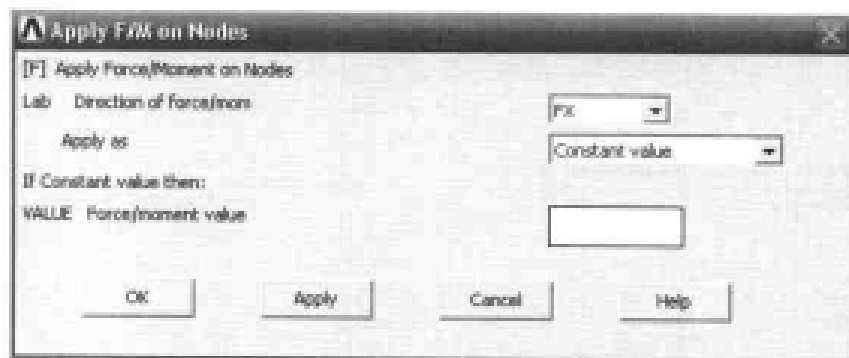


图 7-2 在节点上施加集中力（力矩）载荷对话框

提示：在图 7-2 中的 Apply as 下拉列表框中选择 Constant Value 选项，表示输入集中力（力矩）为常量；若选择 Existing Table 选项，表示可输入已列表（*DIM 命令定义）的集

中力（力矩）值；若选择 New Table 选项，表示先建立新的集中力（力矩）列表，然后再将列表集中力（力矩）值输入。

- 在节点组元上施加集中力（力矩）载荷

Command: F

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Force/Moment | On Nodes Component

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Force/Moment | On Nodes Component

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点组元，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply F/M on Node Component 对话框，如图 7-3 所示，在 Lab Direction of force/mom 下拉列表框中选择集中力或力矩方向，在 VALUE Force/moment value 文本框中输入集中力（力矩）载荷。

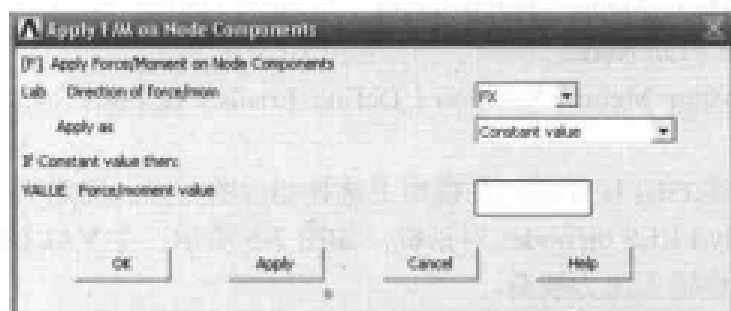


图 7-3 在节点组元上施加集中力（力矩）载荷对话框

提示：节点组元需事先定义。其定义方法如下：

Command: CM

GUI: Utility Menu | Select | Comp/Assembly | Create Component

- 在实体模型上施加集中力（力矩）载荷

- 在关键点上施加集中力（力矩）载荷

Command: FK

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Keypoints

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Keypoints

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的关键点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply F/M on KPs 对话框，如图 7-4 所示，在 Lab Direction of force/mom 下拉列表框中选择集中力或力矩方向，在 VALUE Force/moment value 文本框中输入集中力（力矩）载荷。

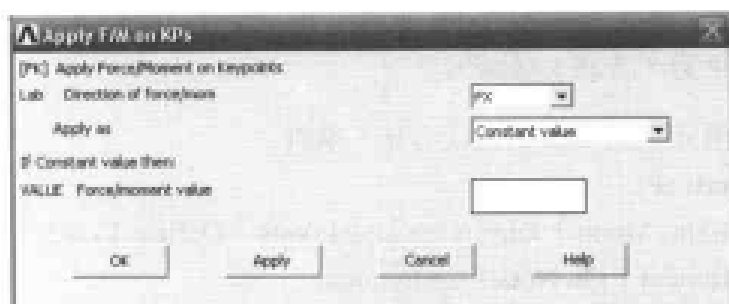


图 7-4 在关键点上施加集中力（力矩）载荷对话框

(2) 压力载荷

● 在有限元模型上施加压力载荷

➤ 在节点上施加压力载荷

Command: SF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Nodes

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply PRES on nodes 对话框，如图 7-5 所示，在 VALUE Load PRES value 文本框中输入压力载荷。

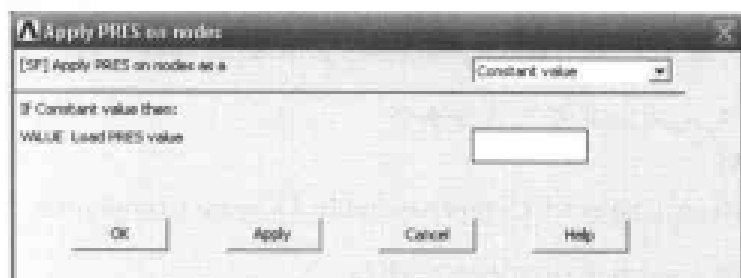


图 7-5 在节点上施加压力载荷对话框

➤ 在节点组元上施加压力载荷

Command: SF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Node Component

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Node Component

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的节点组元，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply PRES on Node Component 对话框，在 VALUE Load PRES value 文本框中输入压力载荷。

➤ 在单元上施加压力载荷

Command: SF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Elements

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Elements

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的单元, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply PRES on elems 对话框, 如图 7-6 所示, 在文本框中输入单元不同节点上的压力载荷。

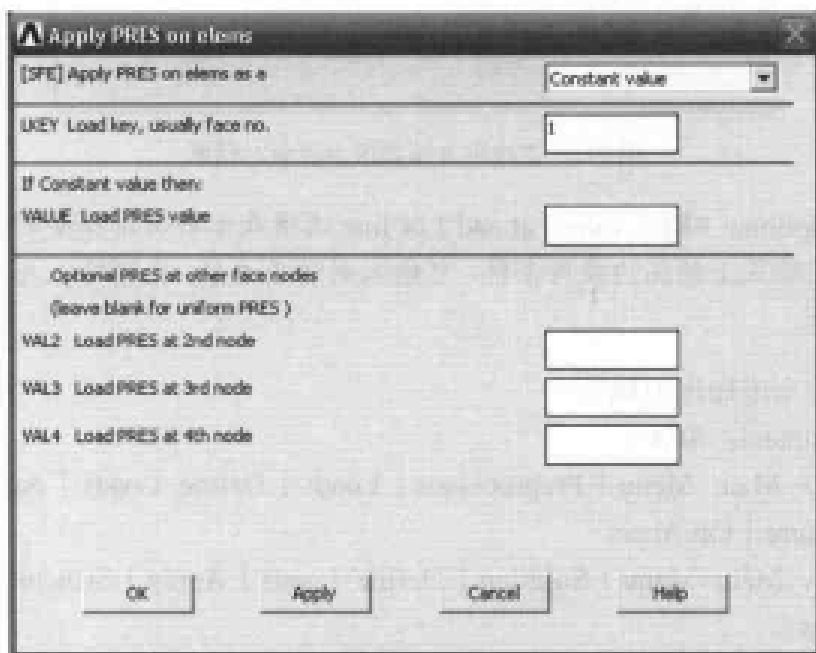


图 7-6 在单元上施加压力载荷对话框

提示: 若单元各节点具有不同压力载荷, 则需在该对话框中的 VAL2 Load PRES at 2nd node、VAL3 Load PRES at 3rd node 及 VAL4 Load PRES at 4th node 文本框中输入。

- 在实体模型上施加压力载荷

- 在线段上施加压力载荷

Command: SFL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Lines

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的线段, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply PRES on lines 对话框, 如图 7-7 所示, 在 VALUE Load PRES value 文本框中输入压力载荷。

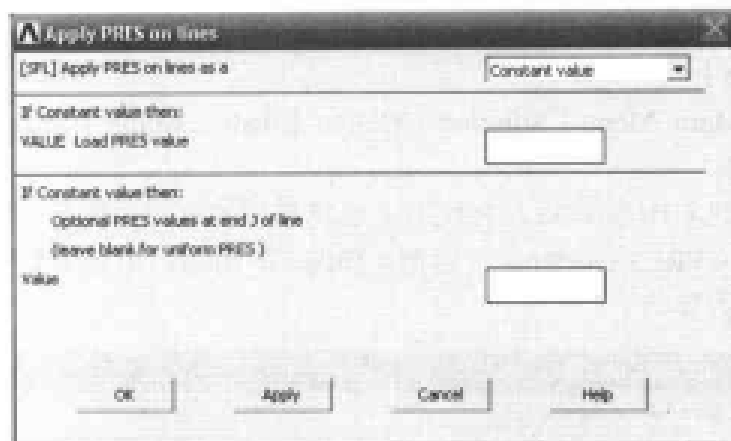


图 7-7 在线段上施加压力载荷对话框

提示：图 7-7 中 Optional PRES values at end J of line 选项表示将实体模型转变为有限元模型后该线段的端点上的压力载荷条件，可输入新的压力值，也可输入与实体模型上相同的压力载荷。

➤ 在面上施加压力载荷

Command: SFA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Areas

执行上述 GUI 操作后，在模型上选择相应的面，确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply PRES on areas 对话框，如图 7-8 所示，在 VALUE Load PRES value 文本框中输入压力载荷。

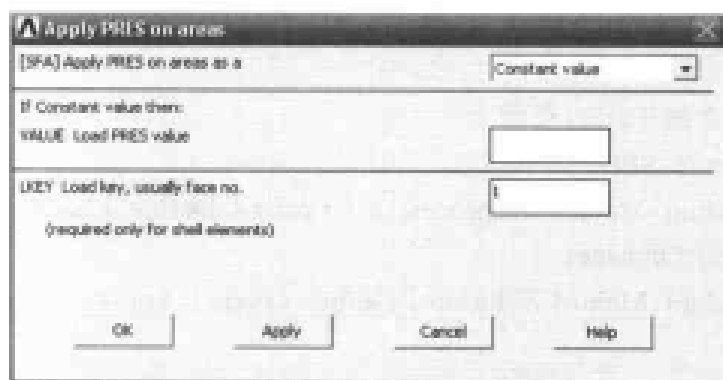


图 7-8 在面上施加压力载荷对话框

(3) 位移载荷

● 在有限元模型上施加位移载荷

➤ 在节点上施加位移载荷

Command: D

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的节点, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply U,ROT on Nodes 对话框, 如图 7-9 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择位移方向, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入位移载荷。

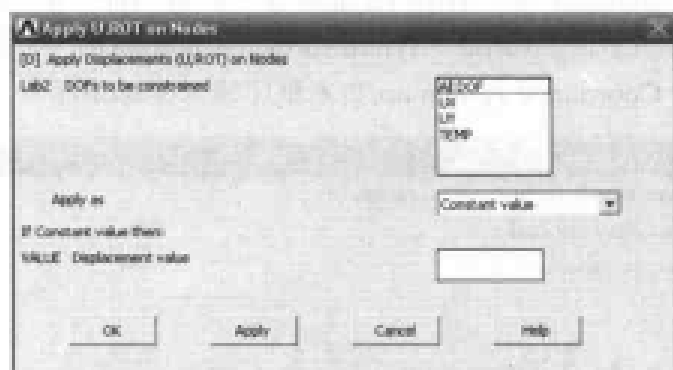


图 7-9 在节点上施加位移载荷对话框

➤ 在节点组元上施加位移载荷

Command: D

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Node Component

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Node Component

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的节点组元, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply U,ROT on Node Component 对话框, 如图 7-10 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择位移方向, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入位移载荷。

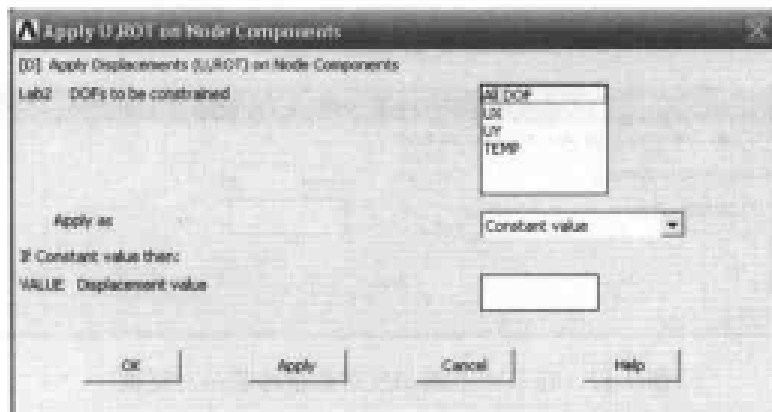


图 7-10 在节点组元上施加位移载荷对话框

提示：节点组元的定义方法如前所述。

- 在节点上施加对称位移载荷

Command: DSYM

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Symmetry B.C. | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Symmetry B.C. | On Nodes

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply SYMM on Nodes 对话框, 如图 7-11 所示, 在 Norml Symm surface is normal to 下拉列表框中选择对称轴, 在 KCN Coordinate system no. 文本框中输入坐标系序号。



图 7-11 在节点上施加对称位移载荷对话框

提示：在施加对称位移载荷之前，需选择相应的节点作为施加对称位移载荷的对象。

- 在节点上施加反对称位移载荷

Command: DSYM

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Antisymm B.C. | On Nodes

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Antisymm B.C. | On Nodes

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply ASYM on Nodes 对话框, 如图 7-12 所示, 在 Norml Antisym surf is normal to 下拉列表框中选择对称轴, 在 KCN Coordinate system no. 文本框中输入坐标系序号。

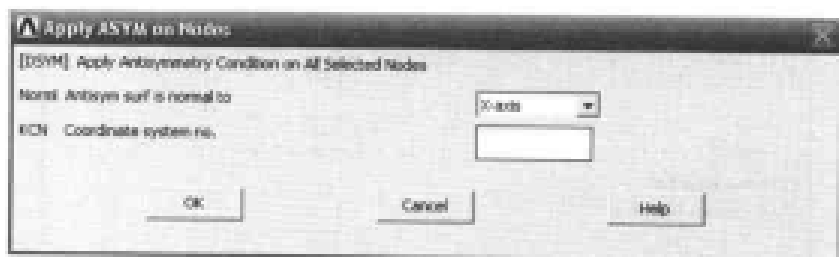


图 7-12 在节点上施加反对称位移载荷对话框

- 在实体模型上施加位移载荷

- 在关键点上施加位移载荷

Command: DK

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Keypoints

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Keypoints

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的关键点, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply U,ROT on KPs 对话框, 如图 7-13 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择位移方向, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入位移载荷。

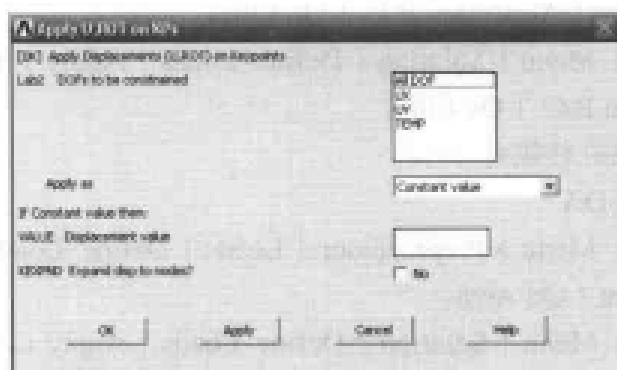


图 7-13 在关键点上施加位移载荷对话框

➤ 在线段上施加位移载荷

Command: DL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Lines

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的线段, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply U,ROT on Lines 对话框, 如图 7-14 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择位移方向, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入位移载荷。

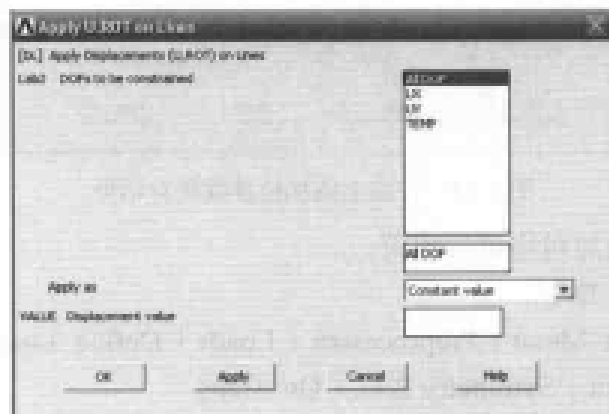


图 7-14 在线段上施加位移载荷对话框

- 在线段上施加对称位移载荷

Command: DL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Symmetry B.C. | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Symmetry B.C. | On Lines

- 在线段上施加反对称位移载荷

Command: DL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Antisymm B.C. | On Lines

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Antisymm B.C. | On Lines

- 在面上施加位移载荷

Command: DA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Areas

执行上述 GUI 操作后, 在模型上选择相应的面, 确定后 ANSYS 显示窗口出现 Apply U,ROT on Areas 对话框, 如图 7-15 所示, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择位移方向, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入位移载荷。

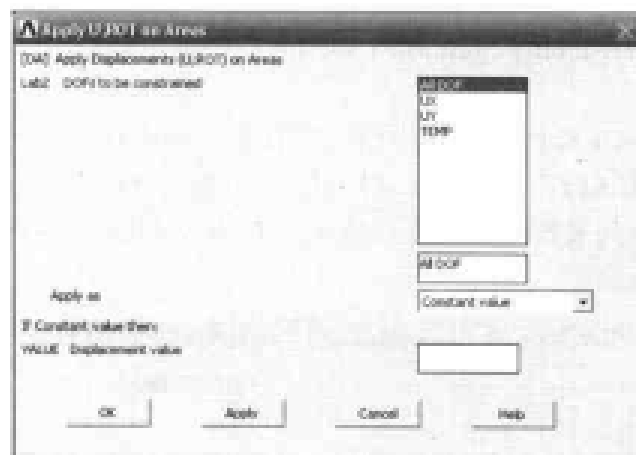


图 7-15 在面上施加位移载荷对话框

- 在线段上施加对称位移载荷

Command: DA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Symmetry B.C. | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement
| Symmetry B.C. | On Areas

- 在线段上施加反对称位移载荷

Command: DA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural |
Displacement | Antisymm B.C. | On Areas

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement
| Antisymm B.C. | On Areas

(4) 惯性载荷

● 角速度

- 施加整体角速度

Command: OMEGA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural |
Inertia | Angular Velocity | Global

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular
Velocity | Global

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply Angular Velocity 对话框, 如图 7-16 所示, 在文本框中分别输入不同方向的角速度值。

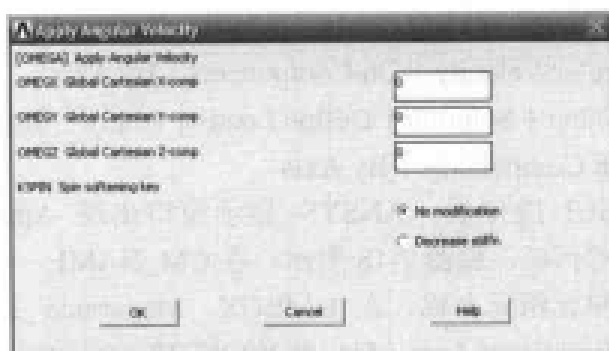


图 7-16 在模型上施加角速度对话框

提示: 上述对话框中的 KSPIN Spin softening key 选项为旋转衰减选项, 选中 No modification 单选按钮表示旋转刚度矩阵不衰减, 选中 Decrease stiffn 单选按钮表示旋转刚度矩阵衰减。

- 在单元组元上施加角速度

Command: CMOMEGA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural |
Inertia | Angular Velocity | On Components | By origin

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia |
Angular Velocity | On Components | By origin

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply Angular Velocity on

热分析教程与实例解析

Component 对话框, 如图 7-17 所示。在 CM_NAME Component Name 下拉列表框中选择单元组元名称, 在 OMEGX Global Cartesian X、OMEGY Global Cartesian Y、OMEGZ Global Cartesian Z 文本框中分别输入不同方向的角速度, 在 X1,Y1,Z1 Point on the rot. axis 文本框分别输入旋转轴上某一点坐标的坐标值。

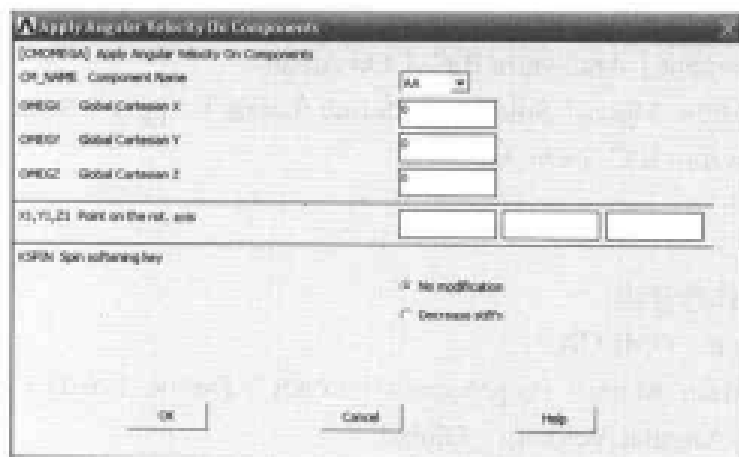


图 7-17 在单元组元上施加角速度对话框

提示: 上述操作过程中的旋转轴是由原点和对话框中的定义点构成的。

Command: CMOMEGA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Velocity | On Components | By Axis

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Velocity | On Components | By Axis

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply Angular Velocity on Component 对话框, 如图 7-18 所示, 在 CM_NAME Component Name 下拉列表框中选择单元组元名称, 在 OMEGX Magnitude 文本框中输入角速度, 在 X1,Y1,Z1 Rotational Axis / Pt 1 和 X2,Y2,Z2 Rotational Axis / Pt 2 文本框分别输入旋转轴上某两点的坐标值。

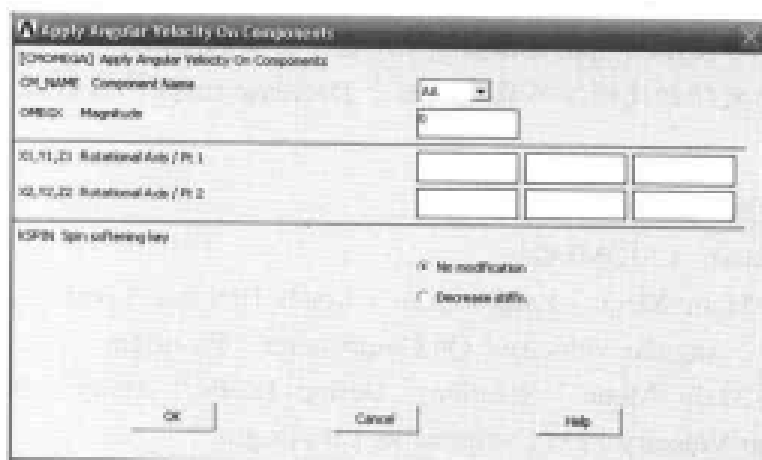


图 7-18 在单元组元上施加角速度对话框

提示：上述操作过程中的旋转轴是由对话框中的两个定义点构成的。

- 角加速度

- 施加整体角加速度

Command: DOMEQA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Accel | Global

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Accel | Global

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply Angular Acceleration 对话框, 如图 7-19 所示, 在文本框中分别输入不同方向的角加速度值。



图 7-19 在模型上施加角加速度对话框

- 在单元组元上施加角加速度

Command: CMDOMEQA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Accel | On Components | By origin

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Accel | On Components | By origin

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply Angular Acceleration on Component 对话框, 如图 7-20 所示, 在 CM_NAME Component Name 下拉列表框中选择模型组元名称, 在 DOMGX Global Cartesian X、DOMGY Global Cartesian Y、DOMGZ Global Cartesian Z 文本框中分别输入不同方向的角速度, 在 X1, Y1, Z1 Point on the rot. axis 文本框分别输入旋转轴上某一点的坐标值。

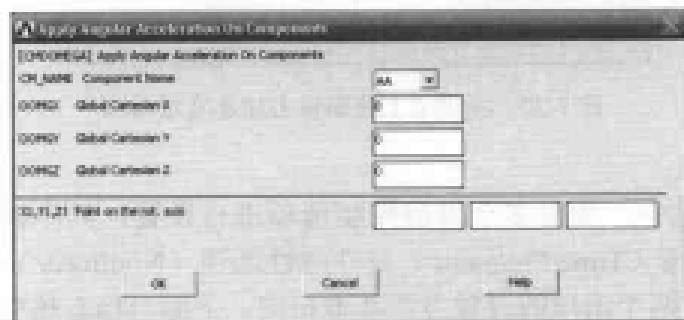


图 7-20 在模型组元上施加角加速度对话框

热分析教程与实例解析

Command: CMDOMEGA

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Accel | On Components | By Axis

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Angular Accel | On Components | By Axis

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply Angular Acceleration on Component 对话框, 如图 7-21 所示, 在 CM_NAME Component Name 下拉列表框中选择模型组元名称, 在 DOMGX Magnitude 文本框中输入角速度值, 在 X1, Y1, Z1 Rotational Axis / Pt1 和 X2, Y2, Z2 Rotational Axis / Pt2 文本框中分别输入旋转轴上某两点的坐标值。

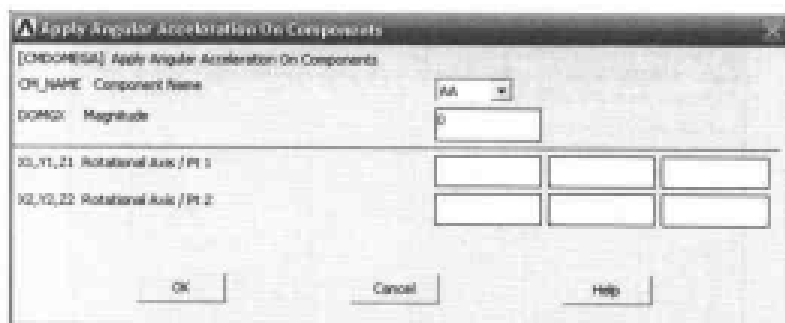


图 7-21 在模型组元上施加角加速度对话框

- 重力加速度

Command: ACEL

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Gravity

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Inertia | Gravity

执行上述 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Apply (Gravitational) Acceleration 对话框, 如图 7-22 所示, 在文本框中分别输入不同方向的加速度值。



图 7-22 在模型上施加重力加速度对话框

3. 求解

在热应力求解过程中, 需对多个求解控制选项进行设置, 其中输出控制选项 (Output Ctrl's)、时间 / 频率选项 (Time/Frequenc) 及非线性选项 (Nonlinear) 的设置方法与稳态热分析及瞬态热分析中这两个选项的设置方法基本相同。下面对稳态热应力分析和瞬态热应力分析的求解选项设置分别进行阐述。

(1) 稳态热应力分析

● 选择分析类型

Command: ANTYPE

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 New Analysis 对话框, 如图 7-23 所示, 选择分析类型为 Static。

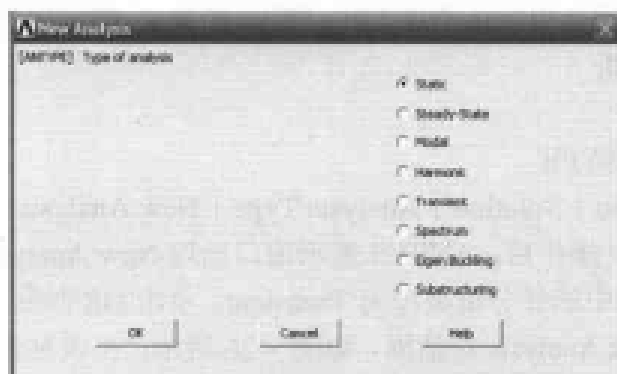


图 7-23 选择新的分析类型

● 分析属性设置

Command: NLGEOM; NROPT; LUMPM; EQSLV; PRECISION; MSAVE; PIVCHECK; SSTIF; PSTRES; TOFFST

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Static or Steady-State Analysis 对话框, 如图 7-24 所示, 对稳态热应力分析属性进行设置。

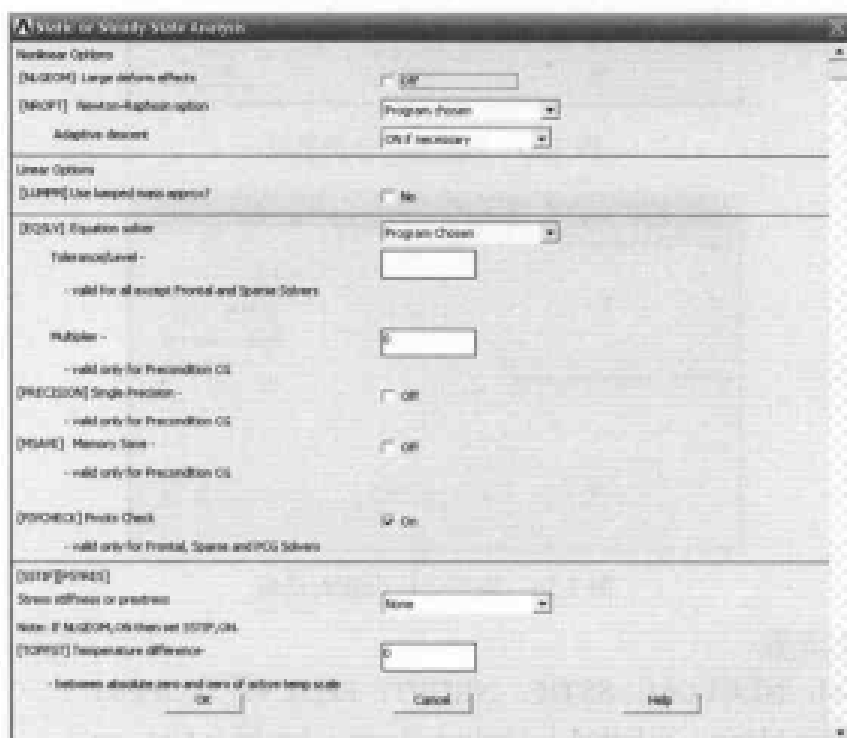


图 7-24 静态或稳态分析属性设置对话框

热分析教程与实例解析

该对话框中的[NROPT] Newton-Raphson option 选项、[EQSLV] Equation solver 选项和[TOFFST] Temperature difference 选项，其设置方法在第三章已介绍过，下面重点介绍[NLGEOM] Large deform effects 选项和[LUMPM] Use lumped mass approx 选项。[NLGEOM] Large deform effects 选项为大变形效应选项，若选择 On，则表示求解过程中允许模型出现大变形；若选择 Off，则表示求解过程中不允许模型出现大变形。[LUMPM] Use lumped mass approx 选项为指定集中质量矩阵表述方法选项，若选择 Yes，则表示使用集中质量估算方法；若选择 No，表示使用缺省的单元质量矩阵。

(2) 瞬态热应力分析

● 选择分析类型

Command: ANTYPE

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis

执行上述的 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现 New Analysis 对话框，如图 7-25 所示，在该对话框中选择分析类型为 Transient。单击 OK 按钮确定后，ANSYS 显示窗口出现 Transient Analysis 对话框，如图 7-26 所示，在该对话框中确定求解方法和指定集中质量矩阵表述方法。

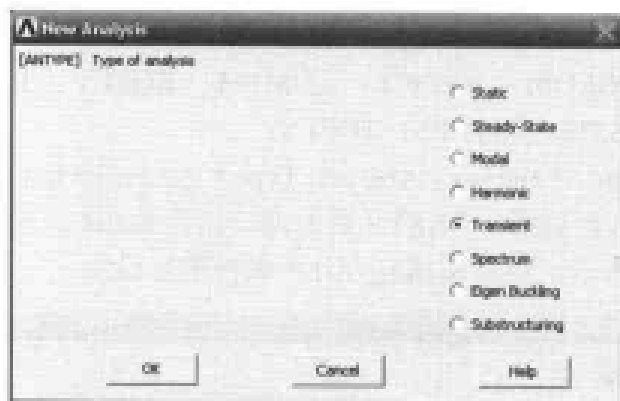


图 7-25 选择新的分析类型

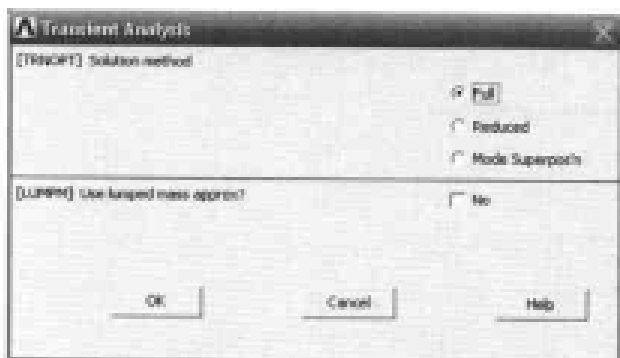


图 7-26 瞬态分析设置对话框

● 分析属性设置

Command: NLGEOM; SSTIF; NROPT; EQSLV; TOFFST

GUI: Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Full Transient Analysis 对话框, 如图 7-27 所示, 在该对话框对稳态热应力分析属性进行设置。

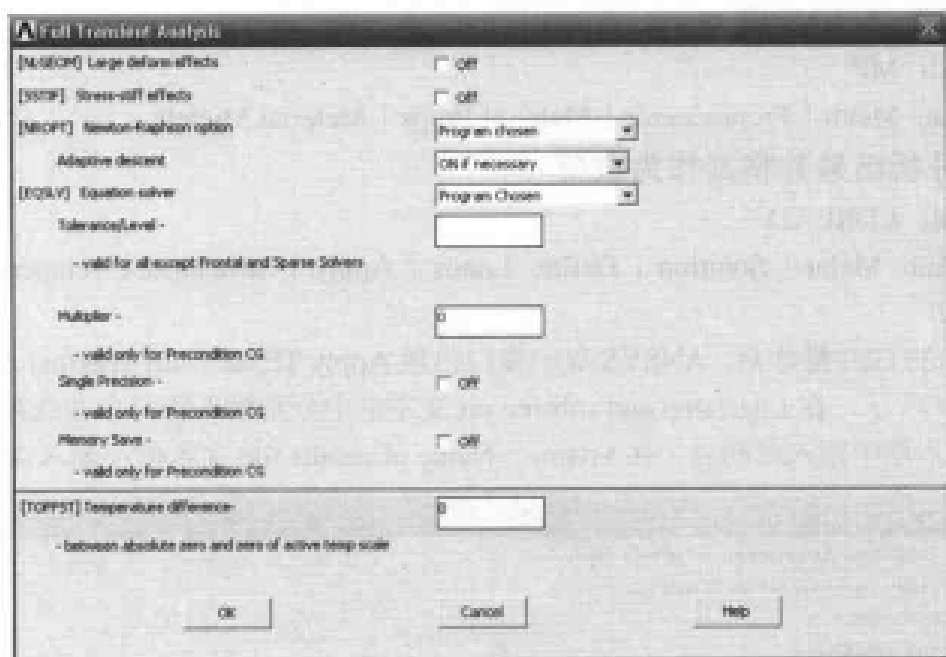


图 7-27 瞬态分析属性设置对话框

4. 后处理

后处理过程和稳态及瞬态热分析的后处理过程类似。

7-3-2 间接法进行热应力分析基本步骤

1. 进行热分析

具体分析过程可参阅稳态热分析与瞬态热分析过程。

提示: 此步可使用热分析的所有功能, 包括传导、对流、辐射等进行稳态或瞬态热分析。

2. 重新进入前处理器, 转换单元类型

热分析求解完毕后, 应重新进入前处理器, 热单元转换为相应的结构单元。

Command: ETCHG, TTS

GUI: Main Menu | Preprocessor | Element Type | Switch Elem Type

执行上述的 GUI 操作后, ANSYS 显示窗口出现 Switch Elem Type 对话框, 在 Change element type 下拉列表框中选择 Thermal to Struc 选项, 如图 7-28 所示。

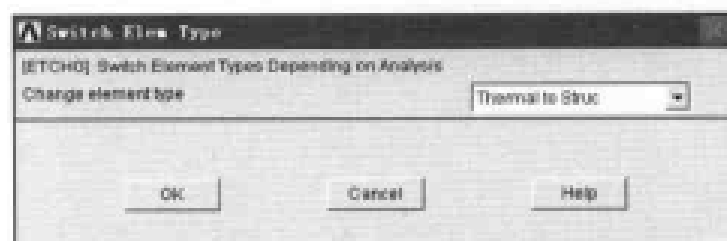


图 7-28 转变单元类型对话框

3. 设置结构分析中的材料属性

当将热单元转换为结构单元后，应设置结构分析中的材料属性，如弹性模量、线膨胀系数、泊松比等。

Command: MP

GUI: Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models

4. 读入热分析结果并将其作为载荷

Command: LDREAD

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Temperature | From Thermal Analy

执行上述的 GUI 操作后，ANSYS 显示窗口出现 Apply TEMP from Thermal Analysis 对话框，如图 7-29 所示，在 Load step and substep no. 文本框中分别输入载荷步和载荷子步数，在 Time-point 文本框中输入时间点，在 Fname Name of results file 文本框中输入结果文件名。

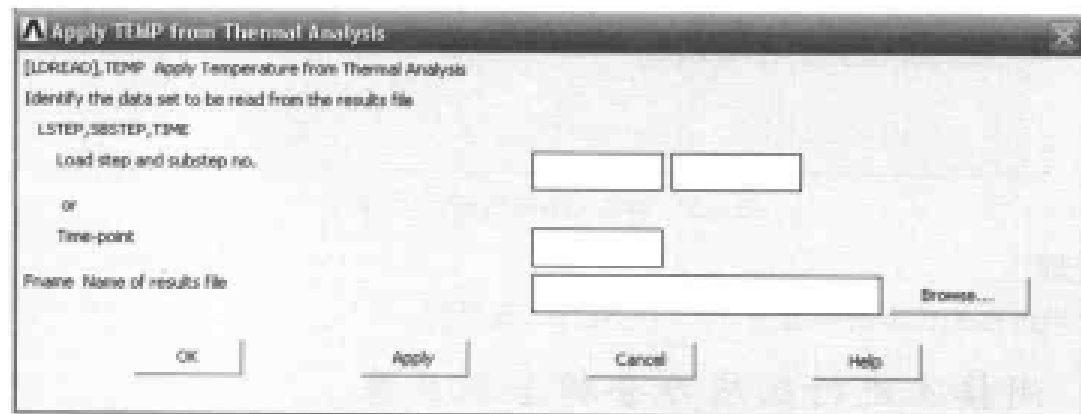


图 7-29 热分析结果作为载荷施加到模型上

提示：结果文件的扩展名为*.rth。

如果热分析是瞬态的，还需要输入热梯度最大时的时间点或载荷步。

5. 指定参考温度

计算热应力时，应指定参考温度。在参考温度处，热应力值为零。

Command: TREF

GUI: Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Setting | Reference Temp

GUI: Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Reference Temp

6. 求解及后处理

可参阅热应力直接法求解及后处理过程。

Chapter

8

流体热分析

本章提示:

本章向读者介绍 FLOTRAN 热分析的基本知识, 主要包括: FLOTRAN 热分析简介、FLOTRAN 热分析基本步骤以及 FLOTRAN 热分析过程应注意的主要问题。

学习目标:

通过本章的学习, 要求读者了解 FLOTRAN 热分析的基本知识, 掌握 FLOTRAN 热分析的基本步骤, 熟悉 FLOTRAN 热分析过程中应注意的基本问题。

8-1 FLOTRAN 热分析简介

FLOTRAN CFD 是 ANSYS 10.0 用来分析计算流体动力学过程或热力学过程的专用模块，可以分析 2D 及 3D 流体流动场，其专用单元为 FLUID141 和 FLUID142。

8-1-1 FLOTRAN 热分析的功能

FLOTRAN 具有以下热分析功能：

- 计算管路系统中热的层化及分离；
- 计算发动机排气系统中气体的压力及温度场分布；
- 使用混合流研究估计热冲击的可能性；
- 用自然对流分析来计算电子封装芯片的热性能；
- 研究含有多种流体的热交换器。

8-1-2 FLOTRAN 热分析的基本要求

1. 网格划分的要求

在流体热分析中，由于在热的边界附近，尤其是在指定热通量的边界附近存在极大的热梯度，因此热边缘附近的网格应该具有足够的密度。

2. 流体性质的指定和控制

在流体热分析过程中，不仅要指定流体的密度和粘性，而且还必须指定材料的导热系数。

3. 温度载荷和边界条件

FLOTRAN 热分析主要支持 5 种热边界条件：

- 恒定温度；
- 常热温度；
- 施加与环境温度相关的对流换热系数；
- 与表面载荷和环境载荷相关的辐射；
- 绝热边界。

表 8-1 列出了 FLOTRAN 热分析中能够施加的载荷信息。

表 8-1 FLOTRAN 热分析中能够施加的载荷

载荷类型	载 荷	命 令	GUI 途径
Constraints	Temperature (TEMP)	D	Main Menu Solution Define Loads Apply Temperature
Surface Loads	Convection (CONV) Heat Flux (HFLUX) Radiation (RAD)	SF	Main Menu Solution Define Loads Apply Convection Main Menu Solution Define Loads Apply Heat Flux Main Menu Solution Define Loads Apply Radiation
Body Loads	Heat Generation Rates (HGEN)	BF	Main Menu Solution Define Loads Apply Heat Generat

8-2 FLOTRAN 热分析求解

8-2-1 FLOTRAN 热分析求解内容

在 FLOTRAN 热分析的求解运算中, 作为指定边界的函数, 需要明确已知的量和所求的量。如下所示:

- 对于温度边界条件, 计算热通量和对流换热系数;
- 对于热通量边界条件, 计算温度和对流换热系数;
- 对于辐射边界条件, 计算温度和热通量;
- 对于传热边界条件, 计算温度和热通量;
- 对于绝热边界条件, 计算温度。

另外, 在指定了对流换热系数时, 还需要指定环境温度, ANSYS 使用该环境温度和表面温度一起来计算热通量。热通量和对流换热系数可以直接施加在固体材料或液体材料的外边界上, 而不能直接施加在内边界上。如果一定要在内部边界上指定热通量和换热系数, 则 FLOTRAN 会把该条件看作是一个线或面热源。

在计算表面对流换热系数时, ANSYS 程序使用表面温度和平均温度来进行计算, 平均温度通过下列方法进行设定:

Command: FLDATA14, TEMP, BULK, Value

GUI: Main Menu | Preprocessor | FLOTRAN Set Up | Flow Environment | Ref Conditions

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Flow Environment | Ref Conditions

如果分析对象为可压缩流体, 则温度边界条件是以总温度来表示的, 温度方程也是以总温度的形式进行表达和求解的。

FLOTRAN 辐射面载荷可以模拟在常温条件下流体表面的辐射能向空间的辐射传热过程。由于辐射可以穿透流体区域作用在固体上, 因此可以在流-固交界面和模型的外边缘上施加辐射面载荷。也就是说这种辐射面载荷既可以施加在流体单元表面上, 也可以施加在固体单元表面上, 还可以施加在实体模型上。

8-2-2 FLOTRAN 热分析方法

求解热-流动耦合问题最有效的方法取决于流体性质对温度的依赖程度, 可分为以下 4 种情况:

1. 常流体性质

在这种情况下, 流场的解答和流体性质对温度的依赖程度无关, 而且求解在没有激活温度方程的条件下就可以收敛。一旦完成了流动解, 温度方程就变为线性。因此温度松弛因子设置为 1 之后, 在一个全局迭代中就可以求解温度方程。具体操作方法如下:

Command: FLDATA25, RELX, TEMP, 1.0

GUI: Main Menu | Preprocessor | FLOTRAN Set Up | Relax/Stab/Cap | DOF Relaxation

GUI: Main Menu | Preprocessor | FLOTRAN Set Up | Relax/Stab/Cap | Prop Relaxation

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Relax/Stab/Cap | DOF Relaxation

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Relax/Stab/Cap | Prop Relaxation

2. 强制对流与温度相关的物性

在大多情况下, 流动模式和温度场相关性不大, 可以在每一个全局迭代过程中选择求解温度方程, 或者在激活求解温度方程之前, 先进行流场的计算。在后一种情况下, 还需同时求解流动和温度方程。

3. 自然对流与温度相关的物性

在这种情况下, 流动的驱动力来源于由温度变化而引起的流体密度的变化。此时必须激活求解流动和温度选项。具体操作方法如下:

指定重力加速度

Command: ACEL

GUI: Main Menu | Preprocessor | FLOTRAN Set Up | Flow Environment | Gravity

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Flow Environment | Gravity

激活可变密度选项

Command: FLDATA13, VARY, Label, TRUE

GUI: Main Menu | Preprocessor | FLOTRAN Set Up | Fluid properties

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Fluid properties

4. 共轭传热

当非流体材料的热物理性能参数与流体热物理性能参数相差较大(达到几个数量级)时, 就是病态的共轭传热问题。在这种条件下, 不论推进多少步, TDMA 方法都不会产生有用的效果。

选取 TDMA 的具体操作方法如下:

Command: FLDATA18, METH, TEMP, 1

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | CFD Solver Controls | Temp Solver CFD

对于温度方程的求解, TDMA 方法是隐含的选项。与 TDMA 方法相比较, 共轭残差法提供了更多的函数, 且需要较少的内存空间。选取共轭残差法的具体操作方法如下:

Command: FLDATA18, METH, TEMP, 2

GUI: Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | CFD Solver Controls | Temp Solver CFD

8-2-3 FLOTRAN 热分析的基本步骤

一个典型的 FLOTRAN 热分析包含以下 7 个主要步骤:

(1) 确定问题的区域

用户必须首先确定所分析问题的范围, 一般问题的边界设置在边界条件已知或通过分析可以得到边界条件的地方, 如果无法得到精确的边界条件时, 尽量不要边界设置在求解变量变化梯度较大的区域。用户可以先做一次试探性的分析, 然后根据分析结果来调整分析区域。

(2) 确定流体的状态

流体的特征是流体性质、边界条件及流场速度的函数。FLOTRAN 能求解的流体包括气流和液流, 而气体只能是理想气体。在分析过程中用户必须确定温度对流体的密度、粘性及

热传导系数的影响的程度,在大多数情况下,认为流体性质不随温度的变化而变化,即可得到足够精确的解答。

通常用雷诺数来判断流体流动是层流或紊流,用马赫数来判别流体是否可压缩。马赫数是指流场中任意一点流体速度与该点音速的比值,当马赫数大于 0.3 时,就应考虑用可压缩算法进行求解。

(3) 生成有限元模型

在生成有限元模型的过程中,用户必须事先确定流场中流体梯度变化较大的地方,从而对这些地方的网格进行适当的调整。例如,如果采用了紊流模型,在靠近壁面区域的网格密度就必须比层流模型的网格密度大,如果网格太疏就不能在求解过程中捕捉到由于巨大梯度变化对流动造成的显著影响。

为了得到精确的计算结果,应使用映射网格划分,因为映射网格能在边界上更好地保持恒定的网格特性。

(4) 施加边界条件

前已述及,可以在实体模型或有限元模型上施加边界条件,此时应将模型所有的边界条件都考虑进去,如果与某个变量相关的边界条件没有加上去,则该变量沿边界的法向值的梯度被假定为 0。

(5) 设置 FLOTRAN 热分析参数

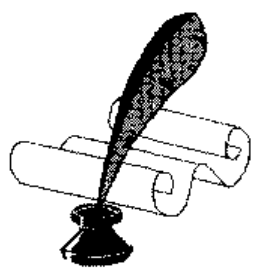
在使用诸如紊流模型或求解温度方程等选项时,用户必须激活它们。而诸如流体性质等特定项目的设置,是与所求解的流体问题的类型相关的。

(6) 求解计算

通过观察求解过程中相关变量的改变率,可以监视求解的收敛性和稳定性。这些变量包括速度、压力、温度、动能和动能耗散率等紊流量以及有效粘性。

(7) 查看求解结果

可以通过通用后处理器 POST1 和时间历程后处理器 POST26 查看求解结果,也可以在打印输出文件里对求解结果进行检查,此时用户需借助于工程经验或相关资料来对所用的求解方法、所定义的流体性质以及所施加的边界条件的可靠性进行评估。



1. **NAME** _____
 2. **DATE** _____
 3. **TIME** _____
 4. **LOCATION** _____
 5. **WEATHER** _____
 6. **MOON** _____
 7. **STARS** _____
 8. **PLANETS** _____
 9. **OTHER** _____
 10. **REMARKS** _____
 11. **SKETCH** _____
 12. **DESCRIPTION** _____
 13. **DETAILS** _____
 14. **CONCLUSION** _____
 15. **SIGNATURE** _____
 16. **INITIALS** _____
 17. **DATE** _____
 18. **TIME** _____
 19. **LOCATION** _____
 20. **WEATHER** _____
 21. **MOON** _____
 22. **STARS** _____
 23. **PLANETS** _____
 24. **OTHER** _____
 25. **REMARKS** _____
 26. **SKETCH** _____
 27. **DESCRIPTION** _____
 28. **DETAILS** _____
 29. **CONCLUSION** _____
 30. **SIGNATURE** _____
 31. **INITIALS** _____
 32. **DATE** _____
 33. **TIME** _____
 34. **LOCATION** _____
 35. **WEATHER** _____
 36. **MOON** _____
 37. **STARS** _____
 38. **PLANETS** _____
 39. **OTHER** _____
 40. **REMARKS** _____
 41. **SKETCH** _____
 42. **DESCRIPTION** _____
 43. **DETAILS** _____
 44. **CONCLUSION** _____
 45. **SIGNATURE** _____
 46. **INITIALS** _____
 47. **DATE** _____
 48. **TIME** _____
 49. **LOCATION** _____
 50. **WEATHER** _____
 51. **MOON** _____
 52. **STARS** _____
 53. **PLANETS** _____
 54. **OTHER** _____
 55. **REMARKS** _____
 56. **SKETCH** _____
 57. **DESCRIPTION** _____
 58. **DETAILS** _____
 59. **CONCLUSION** _____
 60. **SIGNATURE** _____
 61. **INITIALS** _____
 62. **DATE** _____
 63. **TIME** _____
 64. **LOCATION** _____
 65. **WEATHER** _____
 66. **MOON** _____
 67. **STARS** _____
 68. **PLANETS** _____
 69. **OTHER** _____
 70. **REMARKS** _____
 71. **SKETCH** _____
 72. **DESCRIPTION** _____
 73. **DETAILS** _____
 74. **CONCLUSION** _____
 75. **SIGNATURE** _____
 76. **INITIALS** _____
 77. **DATE** _____
 78. **TIME** _____
 79. **LOCATION** _____
 80. **WEATHER** _____
 81. **MOON** _____
 82. **STARS** _____
 83. **PLANETS** _____
 84. **OTHER** _____
 85. **REMARKS** _____
 86. **SKETCH** _____
 87. **DESCRIPTION** _____
 88. **DETAILS** _____
 89. **CONCLUSION** _____
 90. **SIGNATURE** _____
 91. **INITIALS** _____
 92. **DATE** _____
 93. **TIME** _____
 94. **LOCATION** _____
 95. **WEATHER** _____
 96. **MOON** _____
 97. **STARS** _____
 98. **PLANETS** _____
 99. **OTHER** _____
 100. **REMARKS** _____
 101. **SKETCH** _____
 102. **DESCRIPTION** _____
 103. **DETAILS** _____
 104. **CONCLUSION** _____
 105. **SIGNATURE** _____
 106. **INITIALS** _____
 107. **DATE** _____
 108. **TIME** _____
 109. **LOCATION** _____
 110. **WEATHER** _____
 111. **MOON** _____
 112. **STARS** _____
 113. **PLANETS** _____
 114. **OTHER** _____
 115. **REMARKS** _____
 116. **SKETCH** _____
 117. **DESCRIPTION** _____
 118. **DETAILS** _____
 119. **CONCLUSION** _____
 120. **SIGNATURE** _____
 121. **INITIALS** _____
 122. **DATE** _____
 123. **TIME** _____
 124. **LOCATION** _____
 125. **WEATHER** _____
 126. **MOON** _____
 127. **STARS** _____
 128. **PLANETS** _____
 129. **OTHER** _____
 130. **REMARKS** _____
 131. **SKETCH** _____
 132. **DESCRIPTION** _____
 133. **DETAILS** _____
 134. **CONCLUSION** _____
 135. **SIGNATURE** _____
 136. **INITIALS** _____
 137. **DATE** _____
 138. **TIME** _____
 139. **LOCATION** _____
 140. **WEATHER** _____
 141. **MOON** _____
 142. **STARS** _____
 143. **PLANETS** _____
 144. **OTHER** _____
 145. **REMARKS** _____
 146. **SKETCH** _____
 147. **DESCRIPTION** _____
 148. **DETAILS** _____
 149. **CONCLUSION** _____
 150. **SIGNATURE** _____
 151. **INITIALS** _____
 152. **DATE** _____
 153. **TIME** _____
 154. **LOCATION** _____
 155. **WEATHER** _____
 156. **MOON** _____
 157. **STARS** _____
 158. **PLANETS** _____
 159. **OTHER** _____
 160. **REMARKS** _____
 161. **SKETCH** _____
 162. **DESCRIPTION** _____
 163. **DETAILS** _____
 164. **CONCLUSION** _____
 165. **SIGNATURE** _____
 166. **INITIALS** _____
 167. **DATE** _____
 168. **TIME** _____
 169. **LOCATION** _____
 170. **WEATHER** _____
 171. **MOON** _____
 172. **STARS** _____
 173. **PLANETS** _____
 174. **OTHER** _____
 175. **REMARKS** _____
 176. **SKETCH** _____
 177. **DESCRIPTION** _____
 178. **DETAILS** _____
 179. **CONCLUSION** _____
 180. **SIGNATURE** _____
 181. **INITIALS** _____
 182. **DATE** _____
 183. **TIME** _____
 184. **LOCATION** _____
 185. **WEATHER** _____
 186. **MOON** _____
 187. **STARS** _____
 188. **PLANETS** _____
 189. **OTHER** _____
 190. **REMARKS** _____
 191. **SKETCH** _____
 192. **DESCRIPTION** _____
 193. **DETAILS** _____
 194. **CONCLUSION** _____
 195. **SIGNATURE** _____
 196. **INITIALS** _____
 197. **DATE** _____
 198. **TIME** _____
 199. **LOCATION** _____
 200. **WEATHER** _____
 201. **MOON** _____
 202. **STARS** _____
 203. **PLANETS** _____
 204. **OTHER** _____
 205. **REMARKS** _____
 206. **SKETCH** _____
 207. **DESCRIPTION** _____
 208. **DETAILS** _____
 209. **CONCLUSION** _____
 210. **SIGNATURE** _____
 211. **INITIALS** _____
 212. **DATE** _____
 213. **TIME** _____
 214. **LOCATION** _____
 215. **WEATHER** _____
 216. **MOON** _____
 217. **STARS** _____
 218. **PLANETS** _____
 219. **OTHER** _____
 220. **REMARKS** _____
 221. **SKETCH** _____
 222. **DESCRIPTION** _____
 223. **DETAILS** _____
 224. **CONCLUSION**

[illegible]

Chapter 9

稳态热分析实例详解

本章提示:

在本章中,向读者介绍各种不同类型的稳态热分析的工程应用实例,包括轴对称问题的求解、平面问题的求解、三维问题的求解,通过对各种实例进行具体的求解,不仅加深读者对稳态热分析过程及其分析步骤的进一步理解,而且也为读者提供了大量的工程传热问题的求解思路。

学习目标:

通过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 稳态热分析的基本步骤,熟悉相应的界面操作步骤及相关命令,并掌握实际稳态热分析问题的建模方法、求解思路与操作技巧。



热分析教程与实例解析

9-1 实例 1——短圆柱体的热传导过程

9-1-1 问题描述

有一短圆柱体，直径和长度均为 1m，其结构如图 9-1 所示，现在其上端面施加大小为 100°C 的均匀温度载荷，圆柱体下端面及侧面的温度均为 0°C ，试求圆柱体内部的温度场分布（假设圆柱体不与外界发生热交换）。

圆柱体材料的热传导系数为 $30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

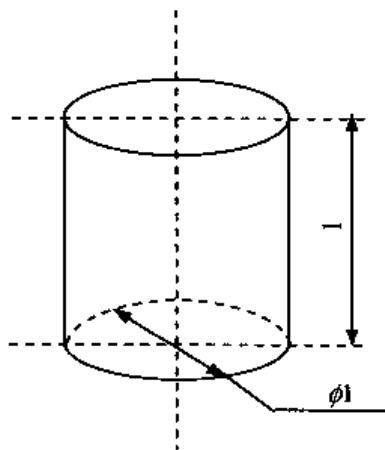


图 9-1 圆柱体结构示意图

9-1-2 问题分析

该问题属于稳态热传导问题。根据问题的轴对称性（几何结构轴对称，载荷轴对称，边界条件轴对称），可以选择过圆柱体纵剖面的一半建立平面有限元模型，并选择相应的平面热分析单元（PLANE55）进行求解；也可选择 1/4 个圆柱体建立体有限元模型并选择相应的体单元（SOLID90）进行求解。下面分别采用这两种建模方法进行求解。

9-1-3 2D 建模求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

（1）选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。

（2）在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE11，并将 New log and error files 选项设置为 Yes，如图 9-2 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

（3）选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A SHORT SOLID CYLINDER-2D SOLUTION，如图 9-3 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 9-2 输入工作文件名对话框



图 9-3 输入工作标题对话框

(4) 选择 Main Menu | Preferences 命令, 出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Thermal 复选框, 如图 9-4 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

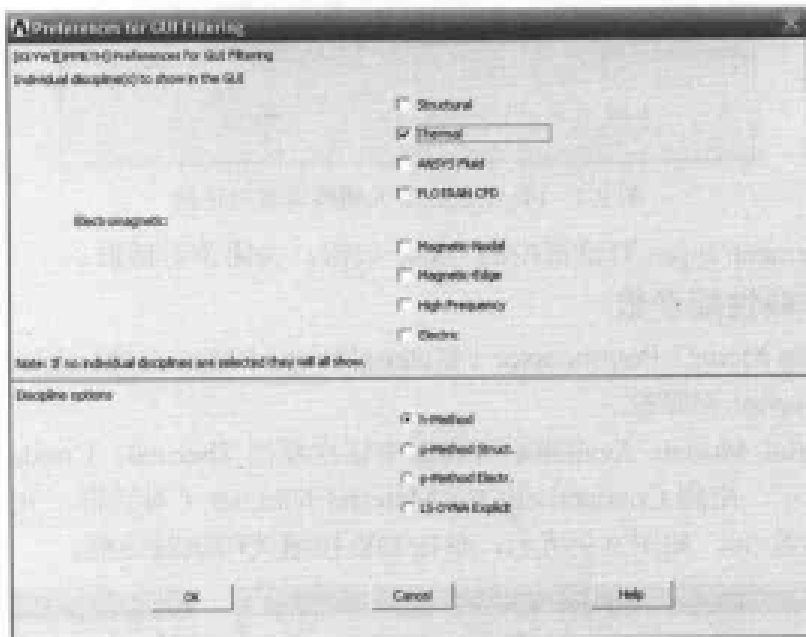


图 9-4 过滤图形用户界面对话框

第二步: 定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 如图 9-5 所示, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 两个列表框中分别选择 Thermal Solid 和 Quad 4node 55 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 9-6 所示, 单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

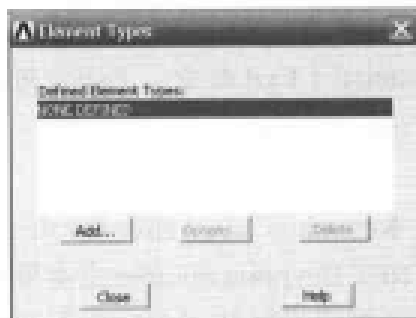


图 9-5 设置单元类型对话框

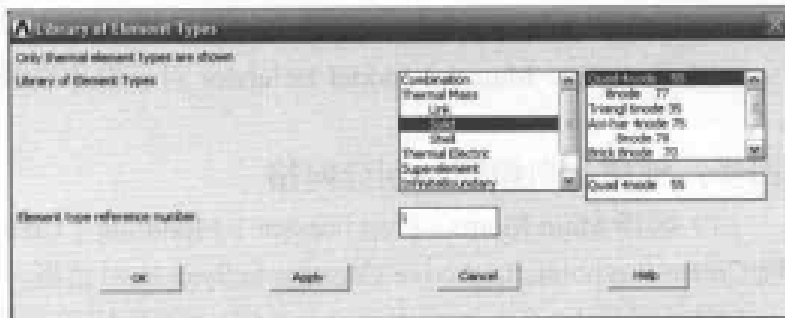


图 9-6 单元类型列表对话框

(3) 单击 Element Types 对话框中的 Options 按钮, 出现 PLANE55 element type options 对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 9-7 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

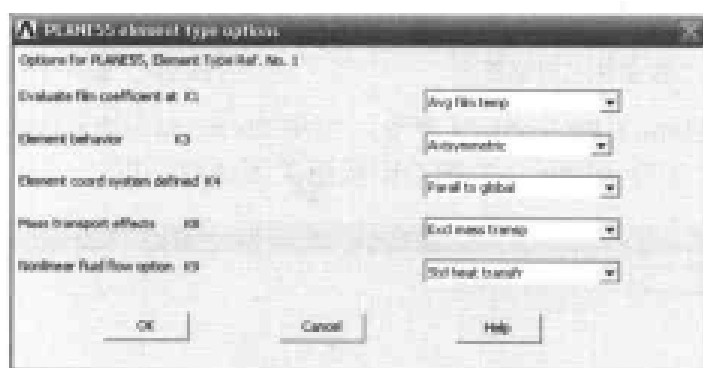


图 9-7 PLANE55 单元属性设置对话框

(4) 单击 Element Types 对话框中的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 如图 9-8 所示, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入圆柱体的导热系数 30, 如图 9-9 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

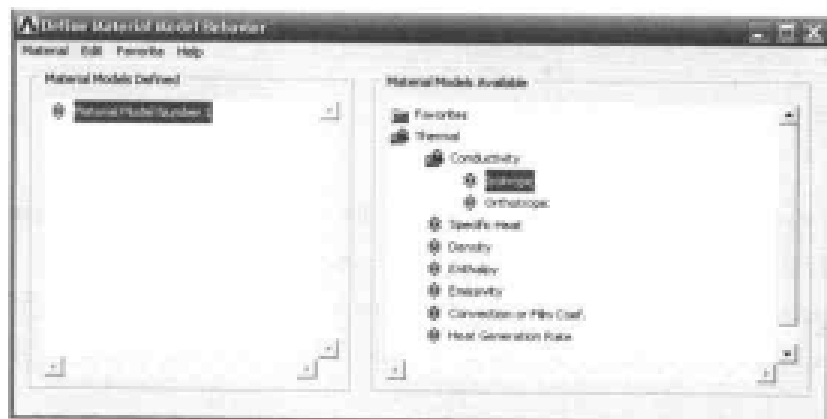


图 9-8 定义材料模型参数对话框

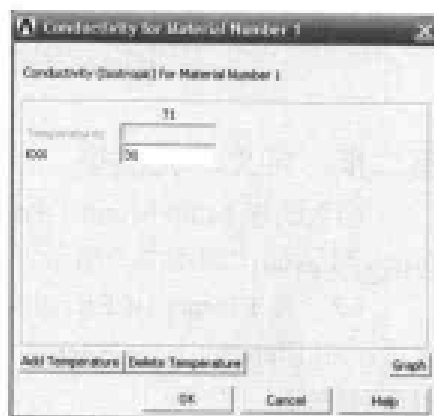


图 9-9 输入热导率对话框

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints In Active Coordinate System 对话框, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入关键点编号 1, 在 Location in active CS 文本框中分别输入关键点坐标 0、0、0, 如图 9-10 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

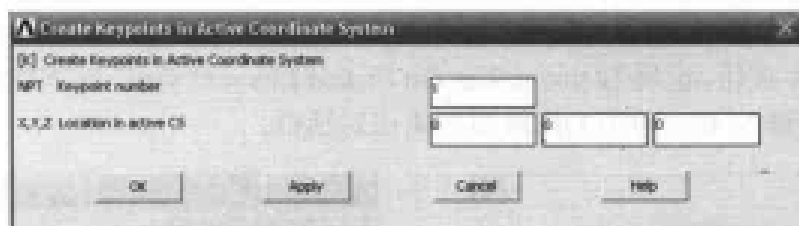


图 9-10 创建关键点对话框

提示：采用国际单位制。

(2) 参照第 1 步的操作，分别创建以下关键点：

2 (0.5, 0, 0) ; 3 (0.5, 1, 0) ; 4 (0, 1, 0)

提示：必须要输入关键点的编号。

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，分别选择 KP Keypoint numbers、LINE Line numbers、AREA Area numbers，使其状态从 Off 变为 On，其余选项均采用默认设置，如图 9-11 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | Straight Line 命令，出现 Create Straight Line 菜单，如图 9-12 所示，在文本框中输入 1, 2，单击 Apply 按钮；在文本框中输入 2, 3，单击 Apply 按钮；在文本框中输入 3, 4，单击 Apply 按钮；在文本框中输入 4, 1，单击 OK 按钮关闭该菜单。

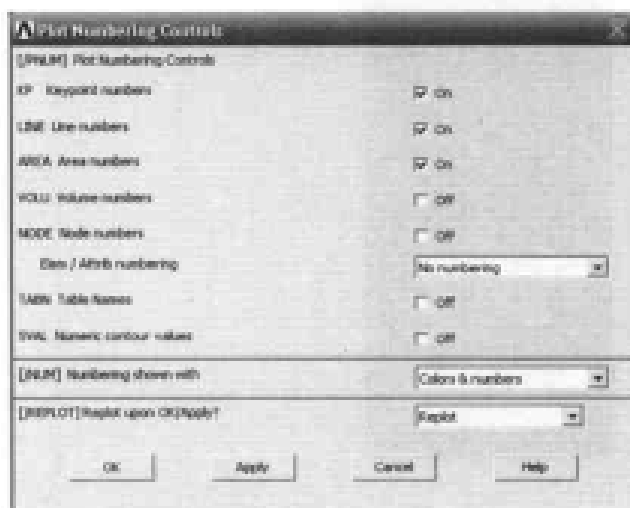


图 9-11 编号显示控制对话框

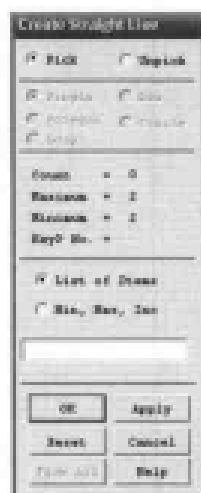


图 9-12 创建直线段菜单

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | By Lines 命令，出现 Create Area by L 菜单，在文本框中输入 1, 2, 3, 4，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令，生成的几何模型如图 9-13 所示。

(7) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size cntrls | ManualSize | Lines | Picked lines 命令，出现 Element Size on Picked Lines 菜单。在文本框中输入 1, 3，单击 OK 按钮，出现 Element Size on Picked Lines 对话框，在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入

20, 如图 9-14 所示, 单击 Apply 按钮, 再次出现 Element Size On Picked 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 40, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

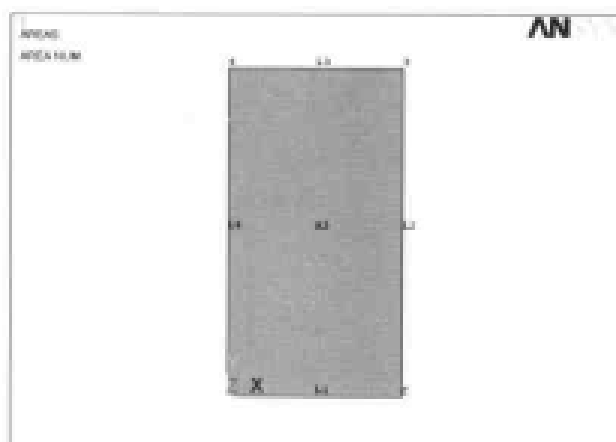


图 9-13 生成的几何模型结果显示

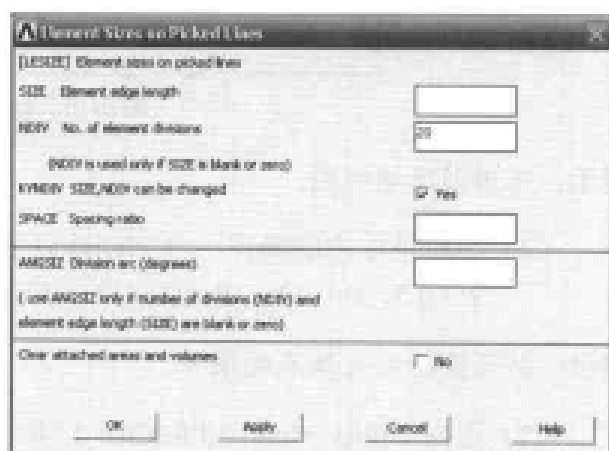


图 9-14 线段单元等份数设置对话框

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Area | free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 划分网格后的结果如图 9-15 所示。

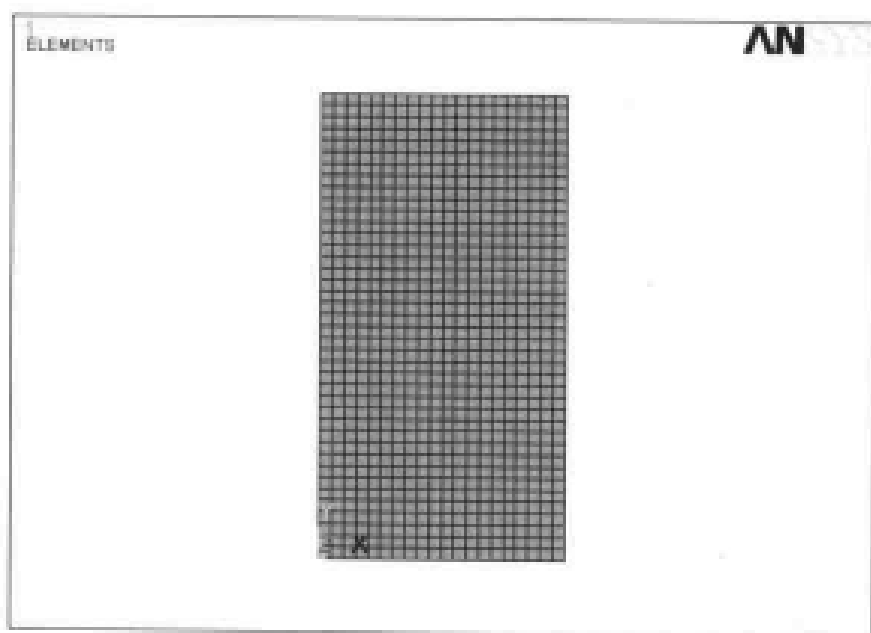


图 9-15 网格划分后的结果显示

(10) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise111.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 如图 9-16 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

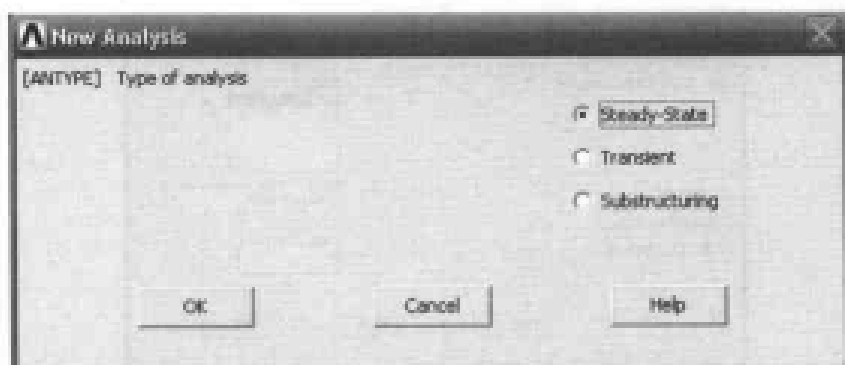


图 9-16 求解类型设置对话框

(2) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项，在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮，如图 9-17 所示，单击 OK 按钮，出现 Select lines 菜单，在文本框中输入 1, 2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to，在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮，如图 9-18 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

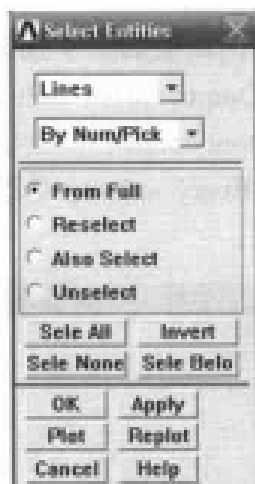


图 9-17 选择线段对话框

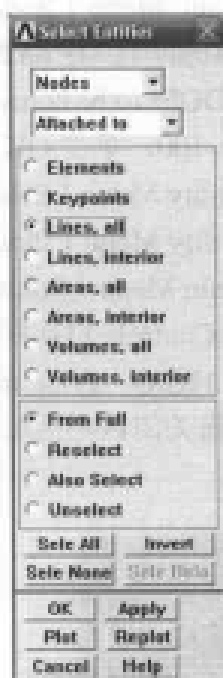


图 9-18 选择节点对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令，出现 Apply TEMP on Nodes 菜单，单击 pick all 按钮，出现 Apply TEMP on Nodes 对话框，在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 0，如图 9-19 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

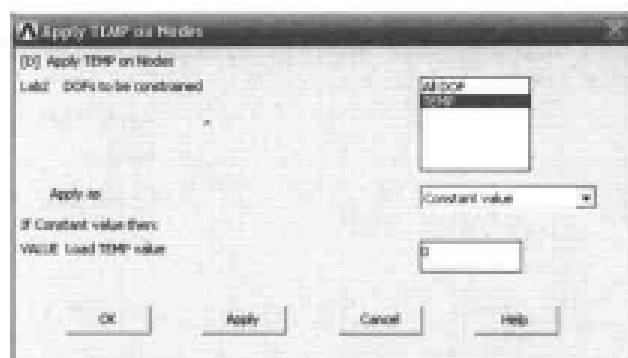


图 9-19 施加温度载荷对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select lines 对话框, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 100, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Utility Menu | Plot | Replot 命令, 加载后的结果如图 9-20 所示。

(12) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | Solu Printout 命令, 出现 Solution Printout Controls 对话框, 在 Item Item for printout control 下拉列表框中选择 Basic quantities 选项, 在 FREQ Print frequency 选项组中选中 Every substep 单选按钮, 如图 9-21 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

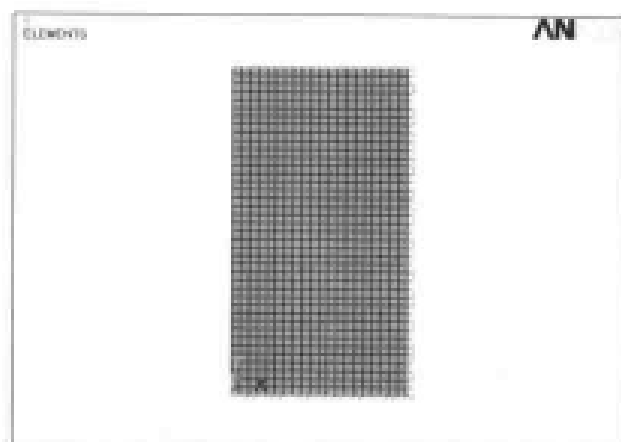


图 9-20 加载后的结果显示

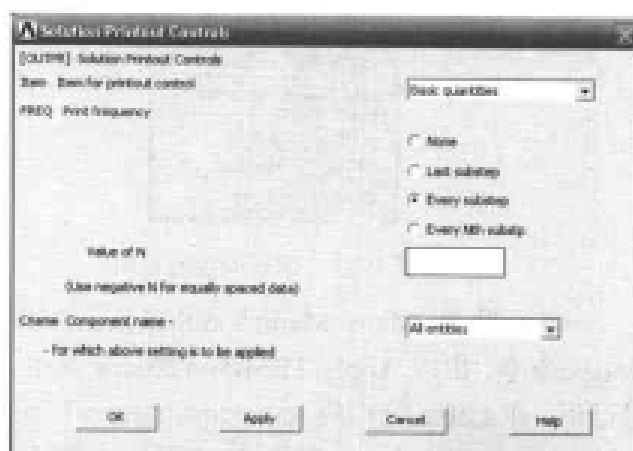


图 9-21 求解输出控制对话框

(13) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(14) 求解结束时, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise112.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 如图 9-22 所示, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图, 如图 9-23 所示。

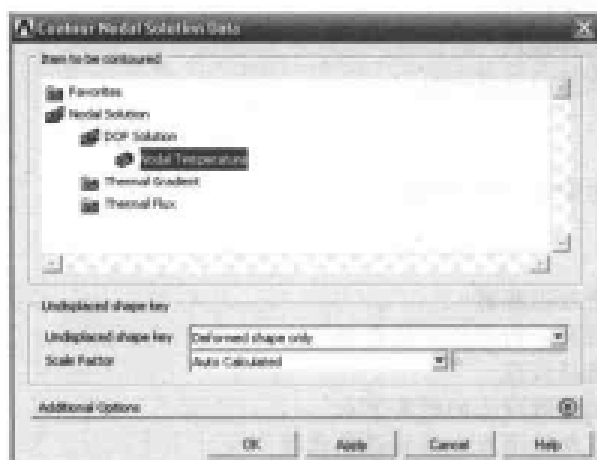


图 9-22 显示节点求解结果对话框

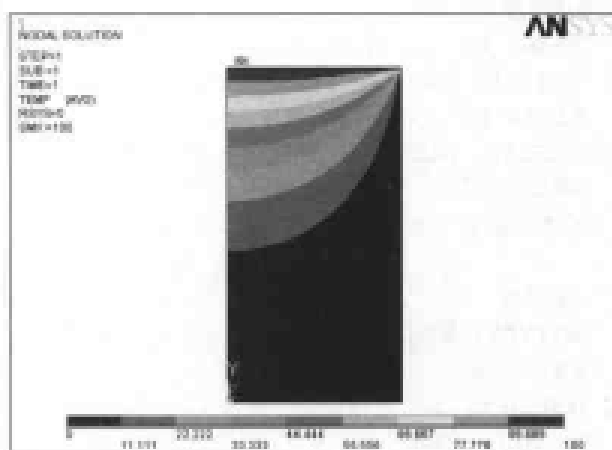


图 9-23 温度场分布等值线图

(2) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 如图 9-24 所示, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。



图 9-24 退出 ANSYS 对话框

2D 求解命令流文件

/FILNAME, EXERCISE11	! 定义工作文件名
/TITLE, TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A SHORT SOLID CYLINDER-2D SOLUTION	! 定义工作标题
/PREP7	! 进入前处理器
KEYW, PR_THERM, 1	
ET, 1, PLANE55	! 定义单元类型
KEYOPT, 1, 3, 1	! 设置单元关键字
MP, KXX, 1, 30	! 定义材料热传导系数

热分析教程与实例解析

```
K, 1                                ! 创建关键点
K, 2, 0.5
K, 3, 0.5, 1
K, 4, 0, 1
LSTR, 1, 2                          ! 通过关键点生成直线段
LSTR, 2, 3
LSTR, 3, 4
LSTR, 4, 1
/PNUM, KP, 1                        ! 显示关键点编号
/PNUM, LINE, 1                      ! 显示线段编号
/PNUM, AREA, 1                      ! 显示面编号
AL, ALL                             ! 通过线段生成面
LPPLOT                              ! 显示线段
LSEL, S, , , 1, 3, 2               ! 选择线段
LESIZE, ALL, , , 20                ! 设置线段等份数
LSEL, S, , , 2, 4, 2
LESIZE, ALL, , , 40
AMESH, 1                            ! 对面进行网格划分
FINISH

/SOLU                               ! 进入求解器
ANTYPE, STATIC                     ! 指定分析类型为稳态分析
LSEL, S, , , 1, 2                  ! 选择线段
NSLL, S, 1                          ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP                        ! 在所选节点上施加温度载荷
LSEL, S, , , 3
NSLL, S, 1
D, ALL, TEMP, 100
ALLSEL                             ! 选择所有实体
SOLVE                              ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                             ! 进入后处理器
PLNSOL, TEMP                       ! 绘制温度场等值线图
FINISH
/EXIT                              ! 退出 ANSYS
```

9-1-4 3D 建模求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE12, 并将 New log and error files 设置为 Yes, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A SHORT SOLID CYLINDER-3D SOLUTION, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令, 出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Thermal 复选框, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Type 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 两个列表框中分别选择 Thermal Solid 和 Brick 20node 90 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 9-25 所示, 单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

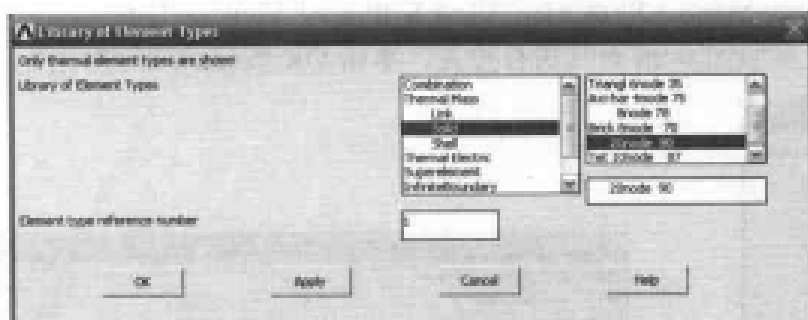


图 9-25 单元类型列表对话框

(2) 单击 Close 按钮, 关闭 Element Types 对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入圆柱体的导热系数 30, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Utility Menu | Workplane | Change Active CS to | Global Cylindrical 命令, 将当前激活坐标系转变为柱坐标系。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints In Active Coordinate System 对话框。

(3) 在 NPT Keypoints number 文本框中输入 1, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中分别输入 0、0、0, 如图 9-26 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

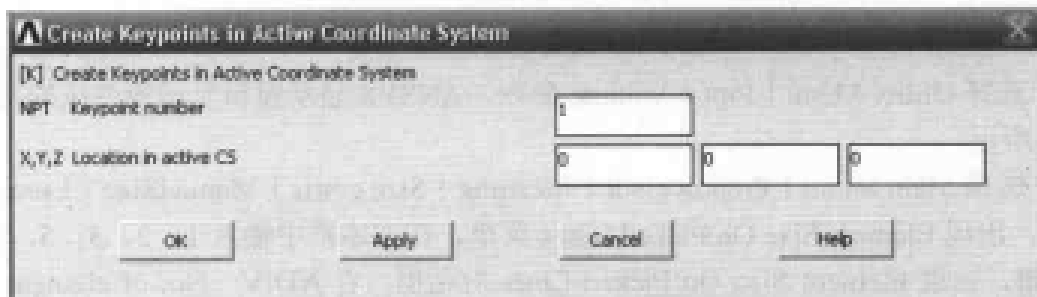


图 9-26 创建关键点对话框

(4) 参照第 2、3 步的操作, 分别创建以下关键点:

2 (0.5, -22.5, 0); 3 (0.5, 22.5, 0); 4 (0, 0, 1)

5 (0.5, -22.5, 1); 6 (0.5, 22.5, 1)

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Volumes | Arbitrary | Through KPs 命令, 出现 Create Volume thru KPs 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 1, 4, 5, 6, 4, 如图 9-27 所示, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 参照图 9-28 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

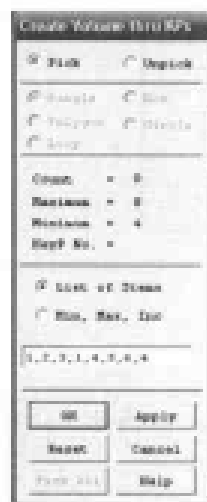


图 9-27 通过关键点创建体菜单

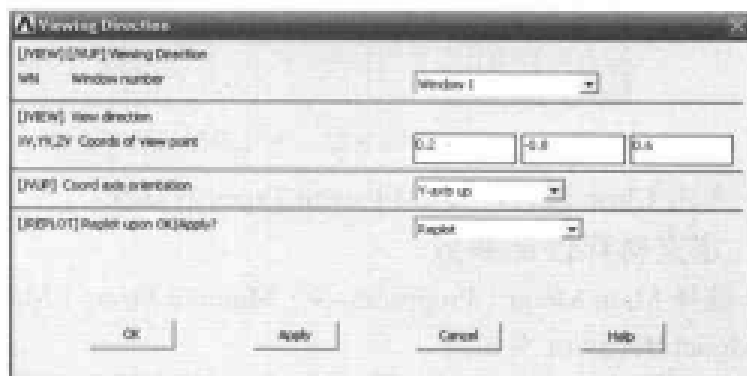


图 9-28 设置视图显示方向对话框

(7) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Angle of Rotation 命令, 出现 Angle of Rotation 对话框, 参照图 9-29 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

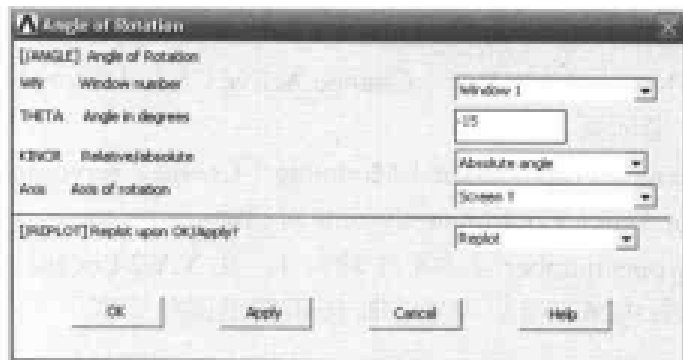


图 9-29 设置视图转角对话框

(8) 选择 Utility Menu | Plot | Volume 命令, ANSYS 显示窗口显示所生成的几何模型, 如图 9-30 所示。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size cntrls | Manual Size | Lines | Picked lines 命令, 出现 Element Size On Picked Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 5, 7, 9, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 10。

(10) 单击 Apply 按钮, 出现 Element Size On Picked 菜单, 在文本框中输入 4, 6, 8, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions

文本框中输入 20, 结果如图 9-30 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Volume | free 命令, 出现 Mesh Volumes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 划分网格后的结果如图 9-31 所示。

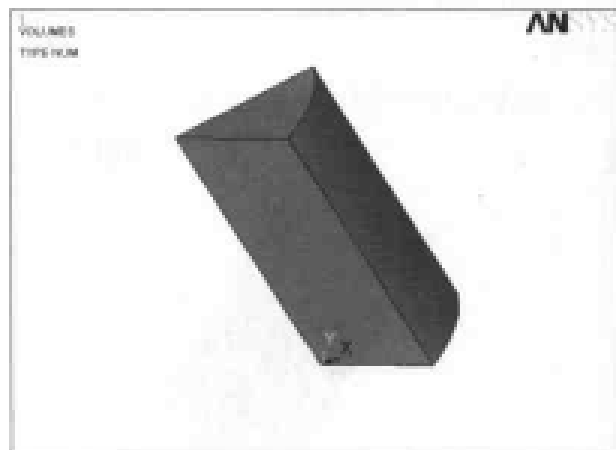


图 9-30 生成的几何模型结果显示

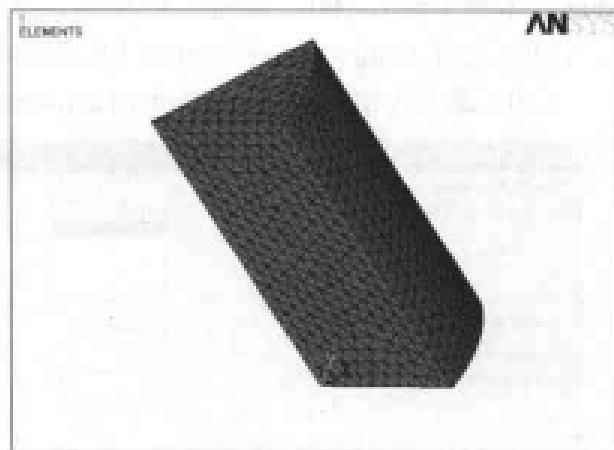


图 9-31 网格划分后的结果显示

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise121.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Areas 菜单在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 100, 如图 9-32 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(10) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令, 加载后的结果如图 9-33 所示。

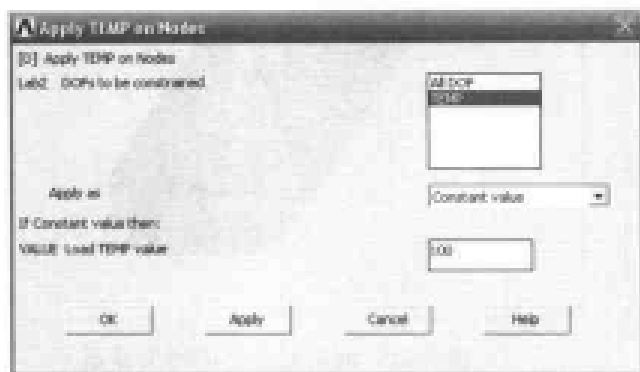


图 9-32 施加温度载荷对话框

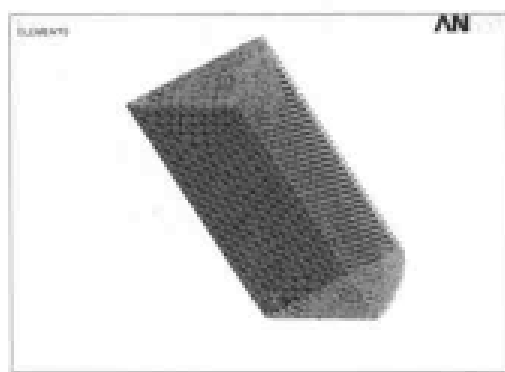


图 9-33 加载后的结果显示

(11) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | Solu Printout 命令, 出现 Solution Printout Controls 对话框。在 Item Item for printout control 下拉列表框中选择 Basic quantities, 在 FREQ Print frequency 选项组中选中 Every substep 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(13) 求解结束时, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise122.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 双击选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图, 如图 9-34 所示。

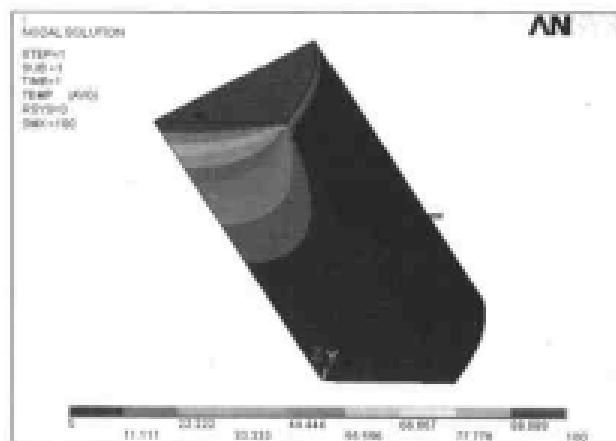


图 9-34 温度场分布等值线图

(2)选择Utility Menu | File | Exit命令,出现Exit from ANSYS对话框,选中Quit-No Save! 单选按钮,单击OK按钮,关闭ANSYS。

3D 求解命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE12          ! 定义工作文件名
/TITLE, TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A SHORT SOLID CYLINDER-3D SOLUTION
                                ! 定义工作标题

/PREP7                          ! 进入前处理器
KEYW, PR_THERM, 1
SMRT, OFF                      ! 关闭自动网格划分
ET, 1, SOLID87                 ! 定义单元类型
MP, KXX, 1, 30                 ! 定义材料热传导系数
CSYS, 1                        ! 将当前坐标系转变为柱坐标系
K, 1                           ! 定义关键点
K, 2, 0.5, -22.5
K, 3, 0.5, 22.5
K, 4, , , 1
K, 5, 0.5, -22.5, 1
K, 6, 0.5, 22.5, 1
V, 1, 2, 3, 1, 4, 5, 6, 4     ! 通过关键点生成体
VPLOT                          ! 显示体
/VIEW, 1, 0.2, -0.8, 0.6      ! 设置视图观测方向
/ANG, 1, -15, YS, 0           ! 设置视图转角
LPLLOT                          ! 显示线段
/PNUM, LINE, 1                ! 显示线段编号
/REPLOT

LSEL, S, , , 1, 3              ! 选择线段
LSEL, A, , , 5, 9, 2
LESIZE, ALL, , , 10           ! 设置线段等份数
LSEL, S, , , 4, 8, 2
LESIZE, ALL, , , 20

VMESH, 1                       ! 对编号为 1 的体进行网格划分
ALLSEL                         ! 选择所有实体
FINISH

/SOLU                          ! 进入求解器
ANTYPE, STATIC                 ! 设置求解类型为稳态分析
NSEL, S, LOC, Z                ! 选择 Z 坐标为 0 的所有节点
NSEL, A, LOC, X, 0.5           ! 选择 X 坐标为 0.5 的所有节点
D, ALL, TEMP                   ! 在节点上施加温度载荷
NSEL, S, LOC, Z, 1             ! 选择 Z 坐标为 1 的所有节点
D, ALL, TEMP, 100              ! 在节点上施加温度载荷
ALLSEL
SOLVE                          ! 开始求解
FINISH

/POST1                         ! 进入 POST1 后处理器
PLNSOL, TEMP                   ! 绘制温度场等值线图
FINISH
/EXIT                          ! 退出并关闭 ANSYS

```


9-2 实例 2——长空心圆柱体的热传导过程

9-2-1 问题描述

有一空心钢圆柱体，内半径与外半径分别为 0.2m、0.6m，长度为 10m，钢的导热系数为 $70\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。现在柱体的外表面施加均匀温度载荷 80°C ，假设柱体内表面温度为恒定值 20°C ，试求钢柱体内部的温度场分布。

9-2-2 问题分析

该问题属于稳态热力学问题。由于柱体的长度远大于其直径，可忽略其终端效应，同时根据问题的对称性，在求解过程中取圆柱体横截面的 1/4 建立几何模型，如图 9-35 所示。

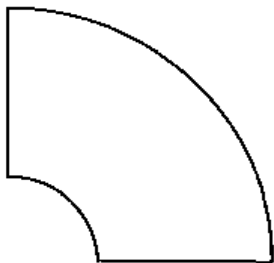


图 9-35 几何模型

9-2-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 THERMAL CONDUCTIVITY IN A LONG CYLINDER，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Types 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框，在 Library of Element Types 列表框中选择 Thermal Solid Quad 4node 55 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 9-36 所示，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

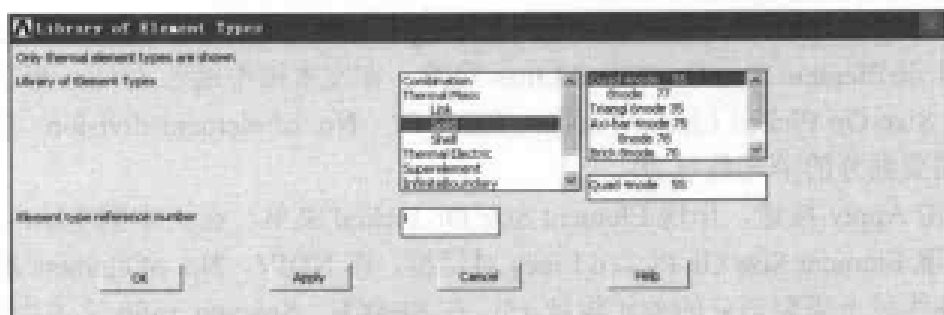


图 9-36 单元类型列表对话框

(2) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入钢的导热系数 70, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Circle | By Dimensions 命令, 出现 Circular Area by Dimensions 对话框。

(2) 在 RAD1 Outer radius 文本框中输入外径 0.6, 在 RAD2 Optional inner radius 文本框中输入内径 0.2, 在 THETA1 Starting angle 文本框中输入起始角度 0, 在 THETA2 Ending angle 文本框中输入终止角度 90, 如图 9-37 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | Plot | Area 命令, ANSYS 显示窗口显示所生成的几何模型, 如图 9-38 所示。

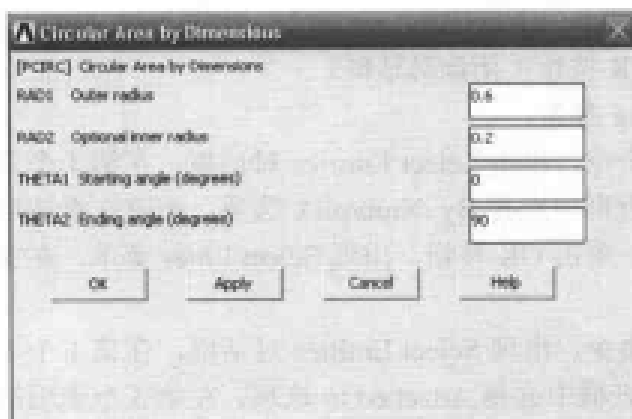


图 9-37 生成圆环面对话框

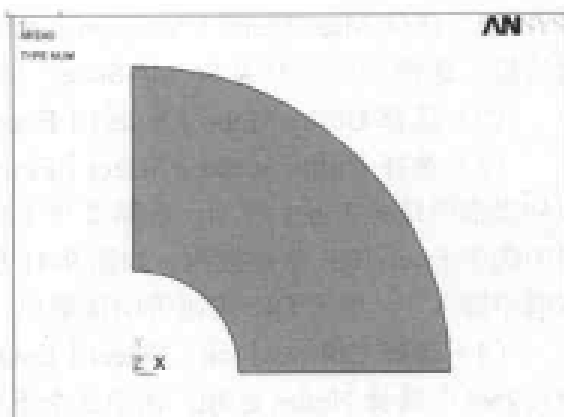


图 9-38 生成的几何模型结果显示

(4) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size cntrls | ManualSize | Lines | Picked lines 命令, 出现 Element Size On Picked Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入每条线段上需要划分的单元数目 20。

(6) 单击 Apply 按钮, 出现 Element Size On Picked 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入每条线段上需要划分的单元数目 15, 在 SPACE Spacing ratio 文本中输入 0.5, 如图 9-39 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Area | free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮, 网格划分后的结果如图 9-40 所示。

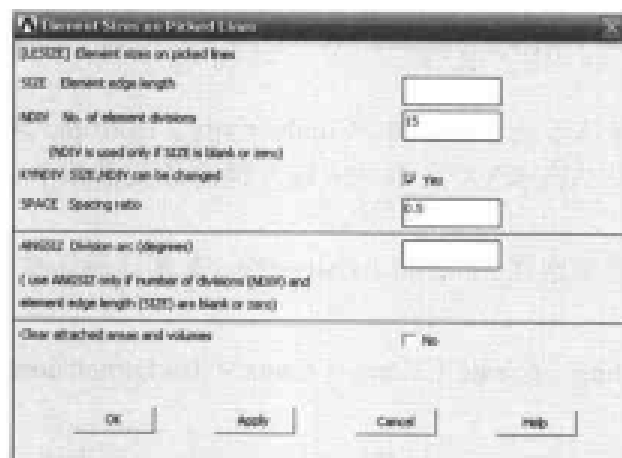


图 9-39 单元大小设置对话框

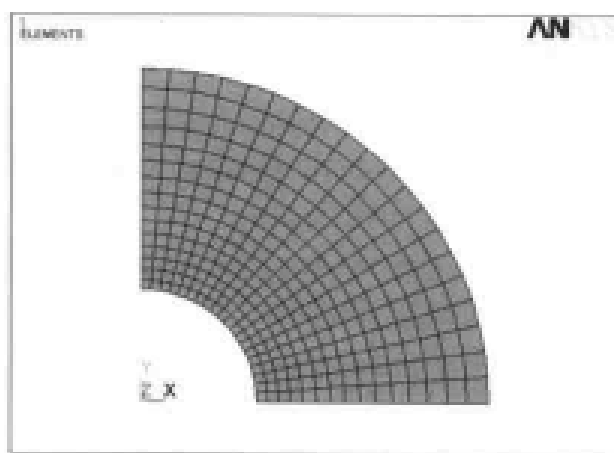


图 9-40 网格划分后的结果显示

(8) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise21.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 如图 9-41 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 如图 9-42 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

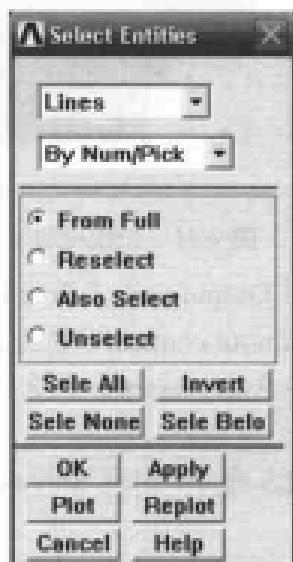


图 9-41 选择线段对话框

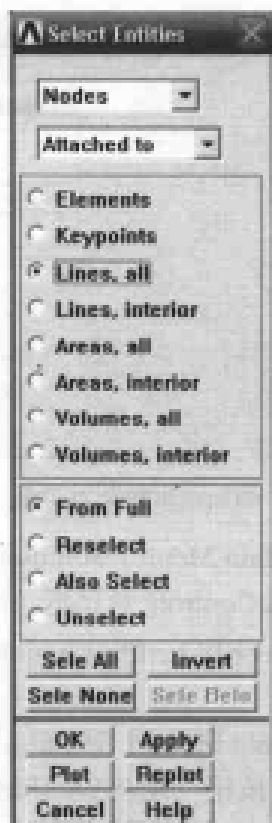


图 9-42 选择节点对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 80, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 20, 如图 9-43 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令。加载后的结果如图 9-44 所示。

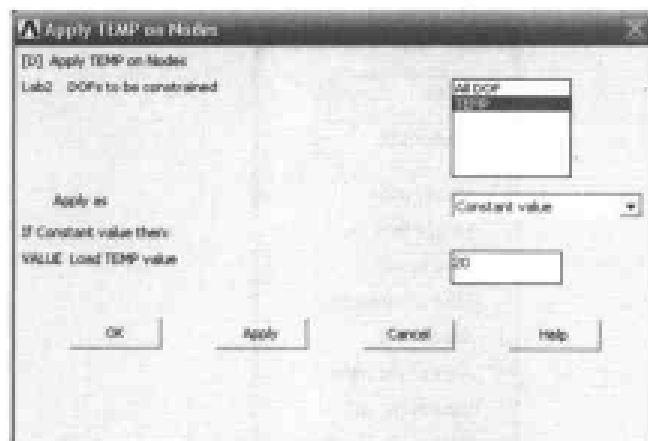


图 9-43 施加温度载荷对话框

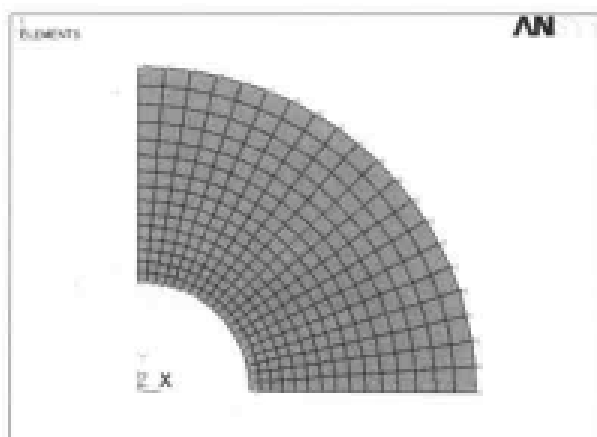


图 9-44 加载后的结果显示

(12) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | Solu Printout 命令, 出现 Solution Printout Controls 对话框, 在 Item Item for printout control 下拉列表框中选择 Basic quantities 选项, 在 FREQ Print frequency 选项组中选中 Every substep 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(14) 求解结束时, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise22.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 依次选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图, 如图 9-45 所示。

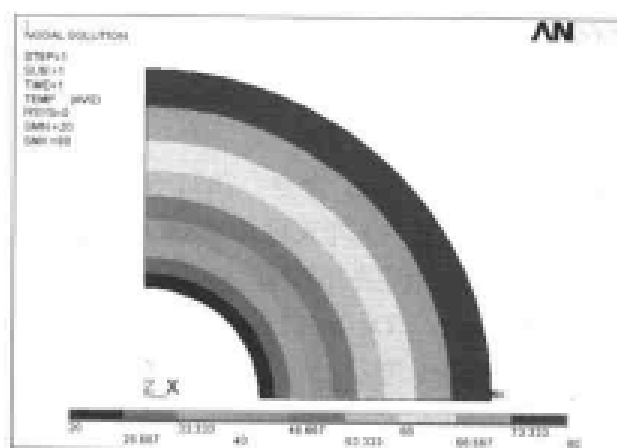


图 9-45 温度场分布等值线图

(2) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流形式

```

/FILNAME, EXERCISE2          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL CONDUCTIVITY IN A SPHERE ! 定义工作标题

/PREP7                        ! 进入前处理器
KEYW, PR_THERM, 1
ET, 1, PLANE55                ! 选择单元类型
MP, KXX, 1, 70                ! 输入材料参数
PCIRC, 0.2, 0.6, 0, 90       ! 生成 1/4 圆面
LSEL, S, LINE, , 1, 3, 2     ! 选择编号为 1、3 的线段
LESIZE, ALL, , , 20          ! 设置线段等份数
LSEL, S, LINE, , 2, 4, 2     ! 选择编号为 2、4 的线段
LESIZE, ALL, , , 15, 0.5
AMESH, 1                      ! 对编号为 1 的面进行网格划分
FINISH

/SOLU                         ! 进入求解器
ANTYPE, STATIC                ! 设指定求解类型为稳态分析
LSEL, S, LINE, , 1           ! 选择编号为 1 的线段
NSLL, S, 1                    ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 80              ! 在节点上施加温度载荷
ALLSEL                        ! 选择所有实体
LSEL, S, LINE, , 3           ! 选择编号为 3 的线段
NSLL, S, 1                    ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 20              ! 在节点上施加温度载荷
ALLSEL
OUTPR, BASIC, ALL             ! 设置输出格式
SOLVE                         ! 开始求解计算
FINISH

/POST1
PLNSOL, TEMP                  ! 绘制温度场等值线图
FINISH
/EXIT                          ! 退出 ANSYS

```

9-3 实例 3——保温筒的对流传热过程

9-3-1 问题描述

有一保温筒，共由 4 层组成，最外层为钢外套，次外层为铝，中间层为由玻璃纤维与环氧树脂组成的起隔热作用的树脂基复合材料，里层为铝，筒内为热水，筒外为空气，筒壁结构如图 9-46 所示，求在下列条件下筒壁的温度场分布。

筒的内半径 0.1m，筒长度为 0.2m；4 层的厚度分别为：0.01m，0.02m，0.01m，0.005m；

钢、树脂基复合材料以及铝的导热系数分别为：70、0.055、236 W/(m·℃)；

筒外空气的温度为 20℃，筒内水的温度为 80℃；

空气对流系数为 12.5 W/(m²·℃)。

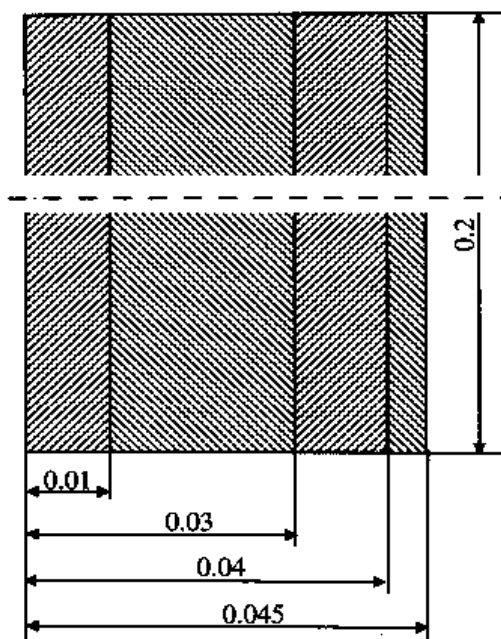


图 9-46 筒壁结构示意图

9-3-2 问题分析

该问题所研究的对象为圆柱形水筒筒壁，从几何形状上来讲满足轴对称条件；筒壁受到相同的温度载荷及边界条件，即载荷与边界条件也是轴对称的，因此该问题可以按照轴对称问题进行求解，取圆筒纵截面的 1/2，建立相应的几何模型进行分析求解。

9-3-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 STEADY-STATE THERMAL ANALYSIS OF A VACUUM FLASK，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Types 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。在 Library of Element Types 列表框中选择 Thermal Solid, Quad 4node 55 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 9-47 所示，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

(2) 单击 Element Type 对话框中的 Options 按钮，出现 PLANE55 element type options

对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 9-48 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

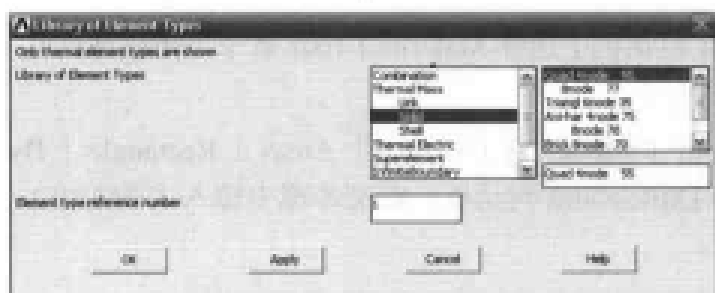


图 9-47 单元类型列表对话框

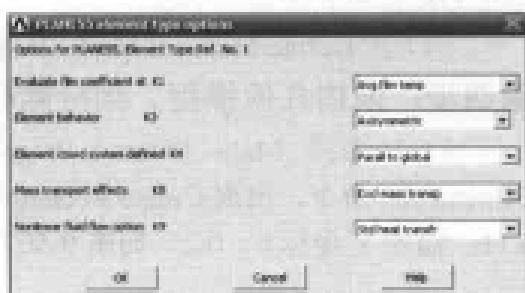


图 9-48 PLANE55 单元属性设置对话框

(3) 单击 Close 按钮, 关闭 Element Types 对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入铝的导热系数 236, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在文本框中输入材料参考号 2, 如图 9-49 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

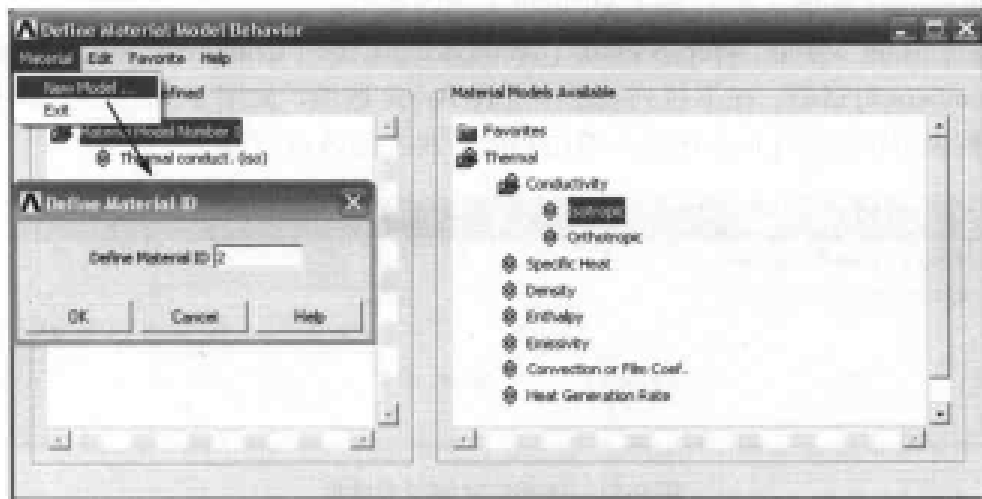


图 9-49 定义材料性能参数对话框

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在 KXX 文本框中输入树脂基复合材料的导热系数 0.055, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在文本框中输入材料参考号 3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 3 对话框, 在 KXX 文本框中输入钢的导热系数 70, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 在文本框中输入 X 坐标 0.1、0.11, 输入 Y 坐标 0、0.2, 如图 9-50 所示。

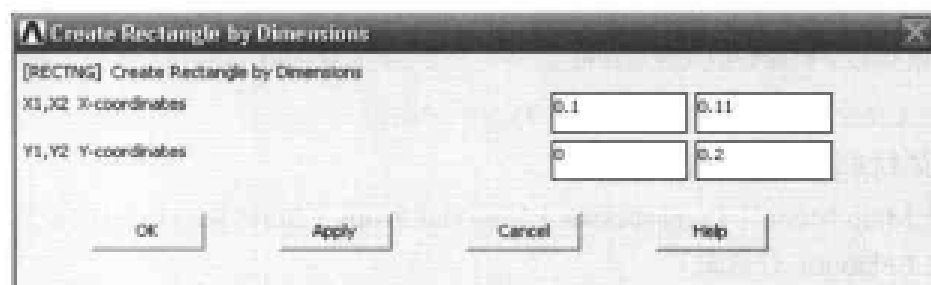


图 9-50 生成矩形面对话框

(2) 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 X 坐标 0.11、0.13, 输入 Y 坐标 0、0.2; 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 X 坐标 0.13、0.14, 输入 Y 坐标 0、0.2; 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 X 坐标 0.14、0.145, 输入 Y 坐标 0、0.2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Glue | Areas 命令, 出现 Glue Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | NumberingCtrls | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在下拉列表框中选择 Areas 选项, 如图 9-51 所示, 单击 Apply 按钮。在下拉列表框中选择 Lines 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

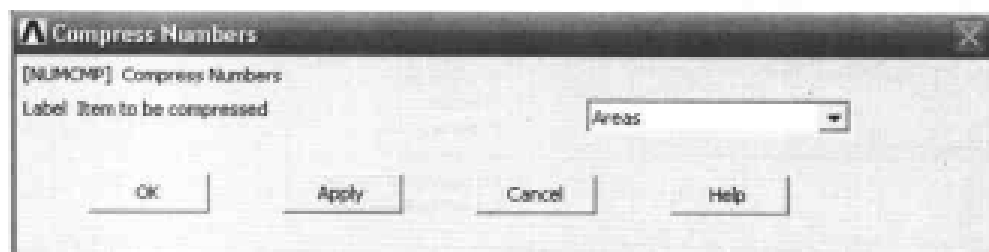


图 9-51 压缩实体编号对话框

(5) 选择 Utility Menu | Plot | Area 命令, ANSYS 显示窗口显示所生成的几何模型, 如图 9-52 所示。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Picked Areas 命令, 出现 Area Attributes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Area Attributes 对话框。在 MAT Material number 下拉列表框中选择材料参考号 1, 其余选项均采用默认设置, 如图 9-53 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

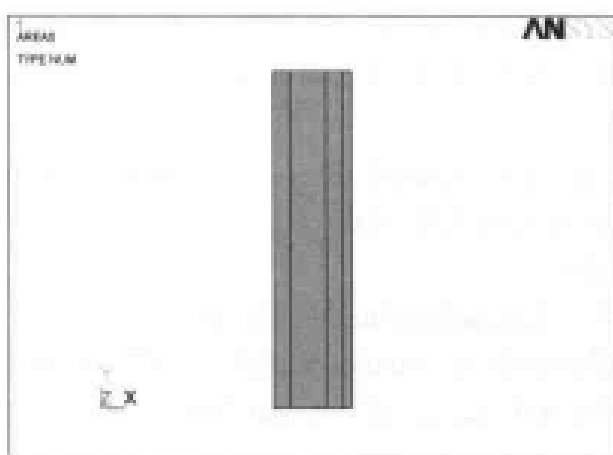


图 9-52 生成的几何模型结果显示

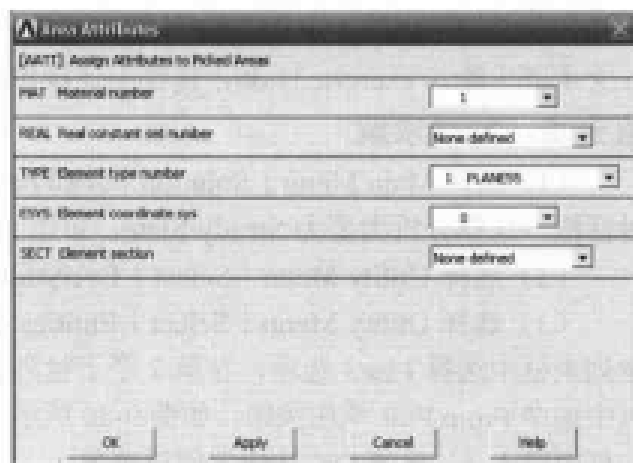


图 9-53 面属性设置对话框

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Picked Areas 命令，出现 Area Attributes 菜单，在文本框中输入 2，单击 OK 按钮，出现 Area Attributes 对话框，在 MAT Material number 下拉列表框中选择材料参考号 2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Picked Areas 命令，出现 Area Attributes 菜单，在文本框中输入 3，4，单击 OK 按钮，出现 Area Attributes 对话框，在 MAT Material number 下拉列表框中选择材料参考号 3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size cntrls | ManualSize | Lines | Picked lines 命令，出现 Element Size On Picked Lines 菜单，在文本框中输入 2，4，5，6，7，单击 OK 按钮，出现 Element Size On Picked Lines 对话框，在 SIZE Element edge length 文本框中输入单元长度 0.004，如图 9-54 所示。

(10) 单击 Apply 按钮，出现 Element Size on Picked Lines 菜单，在文本框中输入 1，3，8，9，10，11，12，13，单击 OK 按钮，出现 Element Size on Picked Lines 对话框，在 SIZE Element edge length 文本框中输入单元长度 0.002，单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示：单元尺寸越小，网格划分越细密，计算精度也越高，但计算时间将越长。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Area | free 命令，出现 Mesh Areas 菜单，单击 Pick All 按钮，网格划分后的结果如图 9-55 所示。

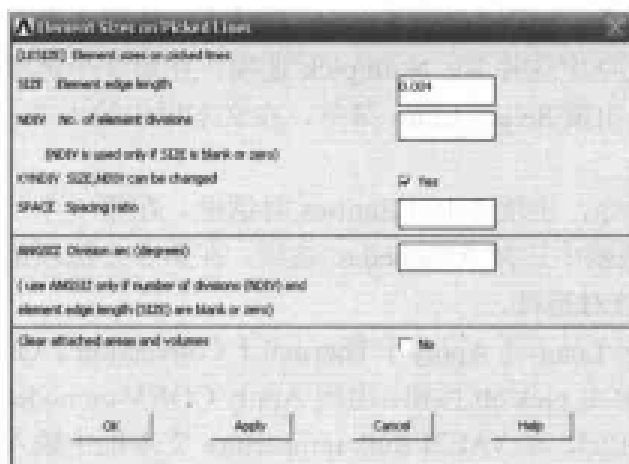


图 9-54 线段单元大小设置对话框

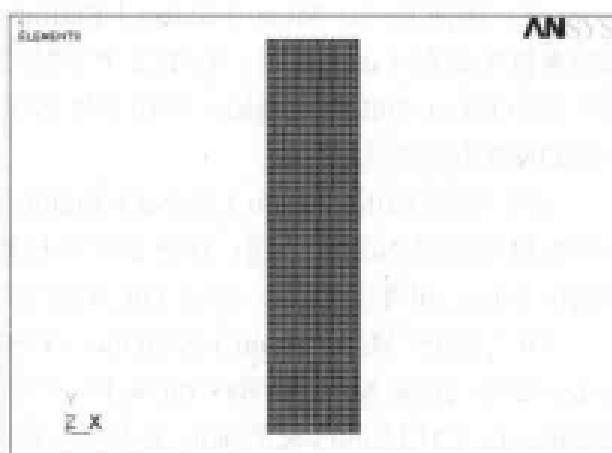


图 9-55 网格划分结果显示

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise31.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 如图 9-56 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 80, 如图 9-57 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 9-56 选择线段对话框

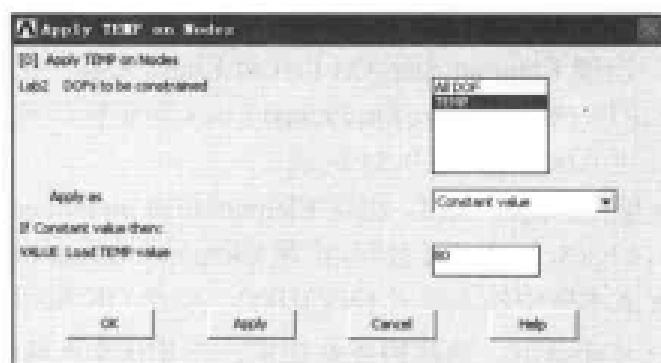


图 9-57 施加温度载荷对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 7, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply CONV on nodes 对话框, 在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 12.5, 在 VAL2I Bulk temperature 文本框中输入 20, 如图 9-58 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令, 加载后的结果如图 9-59 所示。

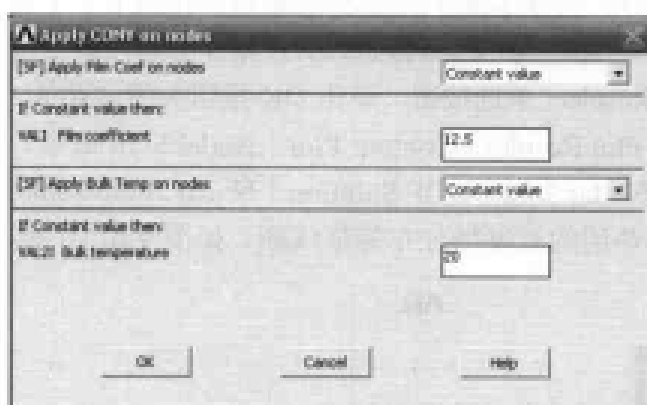


图 9-58 在节点上施加对流载荷对话框

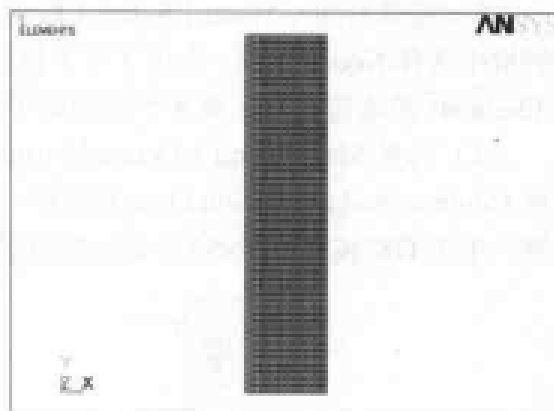


图 9-59 加载后结果显示

(12) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | Solu Printout 命令, 出现 Solution Printout Controls 对话框, 在 Item Item for printout control 下拉列表框中选择 Basic quantities 选项, 在 FREQ Print frequency 选项组中选中 Every substep 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(14) 求解结束时, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise32.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图, 如图 9-60 所示。

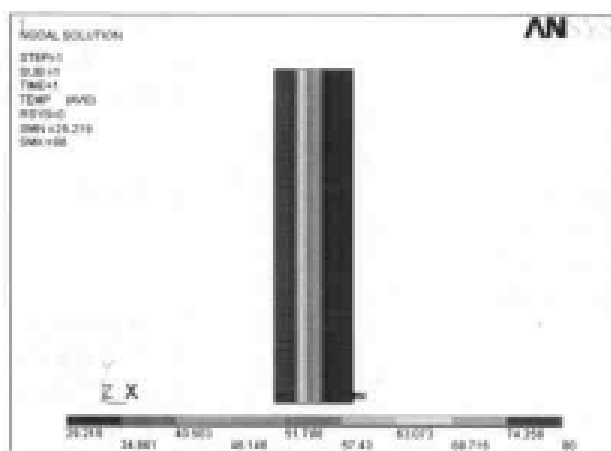


图 9-60 筒壁温度场分布等值线图

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下

拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选择 Material num 选项, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选择 Elements 单选按钮, 在第 4 个选项组中选择 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示隔热层的温度场分布等值线图, 如图 9-61 所示。

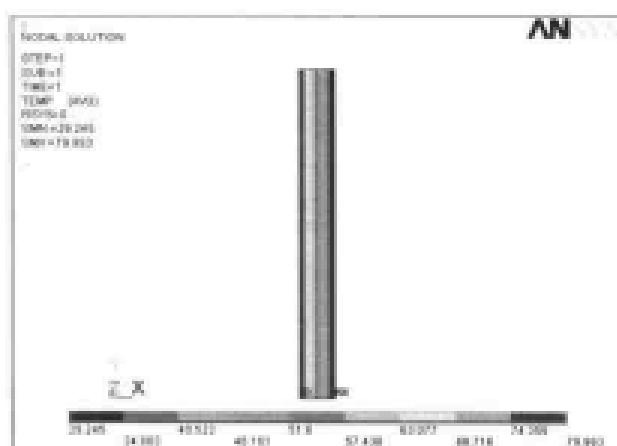


图 9-61 隔热层温度场分布等值线图

(5) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流形式

/FILNAME, EXERCISE3	! 定义工作文件名
/TITLE, STEADY-STATE THERMAL ANALYSIS OF A VACUUM FLASK	! 定义工作标题
/PREP7	! 进入前处理器
KEYW, PR_THERM, 1	
ET, 1, PLANE55	! 定义单元类型
KEYOPT, 1, 3, 1	! 定义单元关键字 (指定为轴对称单元)
MP, KXX, 1, 236	! 输入材料导热系数
MP, KXX, 2, 0.055	
MP, KXX, 3, 70	
RECTNG, 0.1, 0.11, 0, 0.2	! 生成矩形面
RECTNG, 0.11, 0.13, 0, 0.2	
RECTNG, 0.13, 0.14, 0, 0.2	
RECTNG, 0.14, 0.145, 0, 0.2	
AGLUE, ALL	! 面粘合操作
NUMCMP, AREA	! 压缩面编号
NUMCMP, LINE	! 压缩线段编号
APLOT	! 显示面
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
/REPLOT	
LSEL, S, LINE, , 2, 4, 2	! 选择编号为 2、4 的线段
LSEL, A, LINE, , 5, 7	! 选择编号为 5、6、7 的线段
LESIZE, ALL, 0.004	! 定义单元尺寸

LSEL, S, LINE, , 1, 3, 2	! 选择编号为 1、2 的线段
LSEL, A, LINE, , 8, 13	! 选择编号为 8~13 的线段
LESIZE, ALL, 0.002	! 定义单元尺寸
MAT, 1	! 指定材料参考号
AMESH, 1	! 对面 1 进行网格划分
MAT, 2	
AMESH, 2	! 对面 2 进行网格划分
MAT, 3	
AMESH, 3	! 对面 3 进行网格划分
AMESH, 4	! 对面 4 进行网格划分
ALLSEL	
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 指定求解类型为稳态分析
LSEL, S, LINE, , 4	! 选择编号为 4 的线段
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 80	! 施加温度载荷
ALLSEL	! 选择所有实体
LSEL, S, , , 7	! 选择编号为 7 的线段
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
SF, ALL, CONV, 12.5, 20	! 在节点上施加对流载荷
ALLSEL	! 选择所有的点、线、面
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最后的求解结果
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
ESEL, S, MAT, , 2	! 选择材料号为 2 的所有单元
NSLE, S	! 选择单元上的所有节点
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
ALLSEL	! 选择所有实体
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

9-4 实例 4——高温炉炉壁的热传导过程

9-4-1 问题描述

有一高温熔炼炉，有内外两层组成，内层为耐火层，外层为隔热层，其几何形状如图 9-62 所示。炉内气体温度为 T_i ，对流系数为 h_i ，炉外空气温度为 T_o ，对流系数为 h_o ，耐火层与隔热层的导热系数分别为 K_1 、 K_2 。材料参数及载荷如表 9-1 所示。求解炉内壁与外壁的温度。

表 9-1 材料参数及载荷

材 料	导热系数 K Btu/(hr · ft · °F)	热对流系数 h Btu/(hr · ft ² · °F)	周围气体温度 T °F	厚度 a ft
耐火层	1.2	12.5	3000	0.75
隔热层	0.1	2	80	0.5

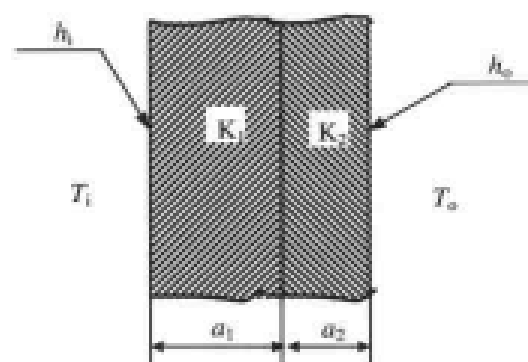


图 9-62 炉壁结构示意图

9-4-2 问题分析

该问题属于稳态热分析问题，由于温度仅沿炉壁厚度方向变化，所以选择单轴热对流单元和单轴热传导单元进行求解。

9-4-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE4，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 INSULATED WALL TEMPERATURE，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Types 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框，在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Link、3D Convection 34 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 9-63 所示。

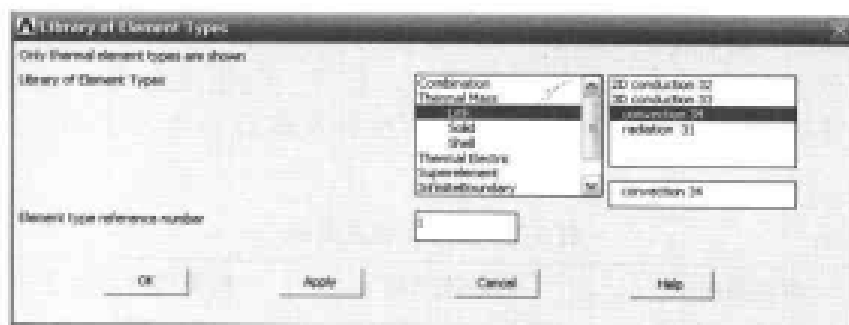


图 9-63 单元类型列表对话框

(2) 单击 Apply 按钮，在 Library of Element Types 列表框中分别选择 Thermal Link、2D

Conduction 32 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Real Costants | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Real Costants 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Element Type for Real Constants 窗口, 选择 Type 1 LINK34 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Real Contant Set Number 1,for LINK34 对话框, 在 Convection surface area AREA 文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。实常数的设置过程如图 9-64 所示。

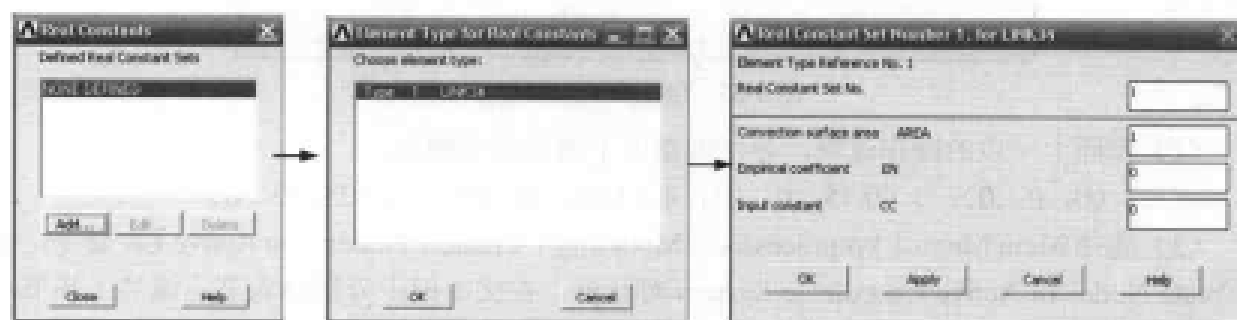


图 9-64 LINK34 单元实常数设置过程

(5) 单击 Real Costants 对话框上的 Add 按钮, 出现 Element Type 对话框, 选中 Type 2 LINK32, 单击 OK 按钮, 出现 Real Contant Set Number 2, for LINK32 对话框, 在 Cross-sectional area AREA 文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 单击 Real Costants 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入耐火层的导热系数 1.2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Convection or Film Coef. 选项, 出现 Convection or Film Coefficient for 对话框, 在文本框中输入耐火层的对流系数 12.5, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在文本框中输入材料参考号 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Material Models Available 列表框中双击 Conductivity 选项下的 Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入隔热层的导热系数 0.1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 双击 Define Material Model Behavior 对话框中的 Convection or Film Coef. 选项, 出现 Convection or Film Coefficient for 对话框, 在文本框中输入隔热层的对流系数 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令，出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框，在文本框中分别输入关键点编号 1 和关键点坐标 0、0、0，如图 9-65 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

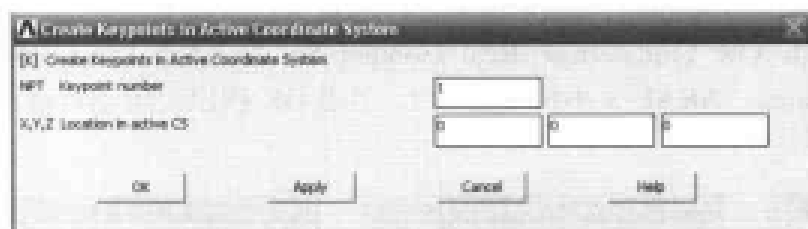


图 9-65 创建关键点对话框

(2) 参照上一步的操作过程，分别创建以下编号的关键点：

2 (0, 0, 0); 3 (0.75, 0, 0); 4 (1.25, 0, 0); 5 (1.25, 0, 0)

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Nodes | In Active CS 命令，出现 Create Nodes In Active Coordinate System 对话框，在文本框中分别输入节点编号 1 和节点坐标 0、0、0，如图 9-66 所示，单击 Apply 按钮，重新输入节点编号 2 和节点坐标 1.25、0、0，单击 OK 按钮关闭该对话框。

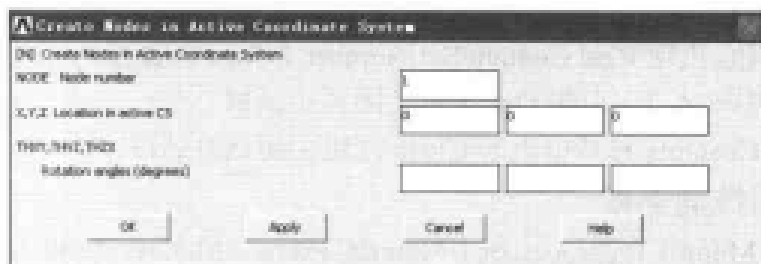


图 9-66 生成节点对话框

(4) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 KP Keypoint numbers，使其状态从 Off 变为 On，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令，出现 Lines In Active 菜单，在文本框中输入 2, 3，单击 Apply 按钮，再输入 3, 4，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令，出现 Global Element Sizes 对话框，在 SIZE Element edge length 文本框中输入单元尺寸 0.125，如图 9-67 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

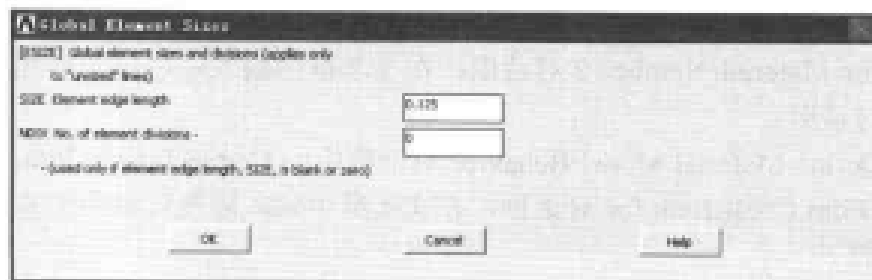


图 9-67 定义单元尺寸对话框

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attrbts 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 LINK32 选项, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 1, 其余选项均采用默认设置, 如图 9-68 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

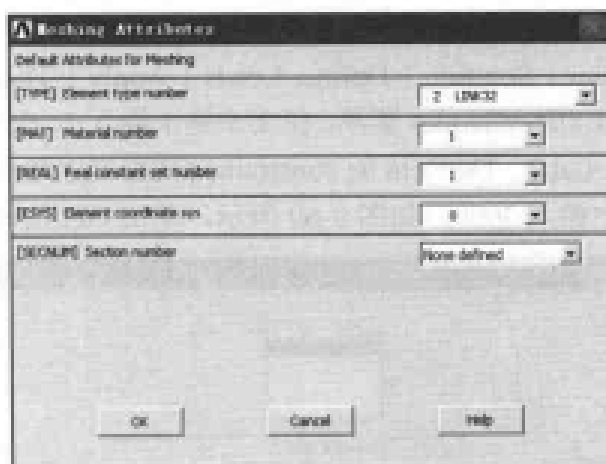


图 9-68 网格划分属性设置对话框

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Lines 命令, 出现 Mesh Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 单击菜单上的 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attrbts 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 LINK32 选项, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Lines 命令, 出现 Mesh Lines 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes 命令, 出现 Elements Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 1 LINK34, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 1, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Numbered 命令, 出现 Elements from Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes 命令, 出现 Elements Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 1 LINK34, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Numbered 命令, 出现 Elements from Nodes 菜单, 在文本框中输入 2, 10, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(15) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise41.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 3000, 如图 9-69 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

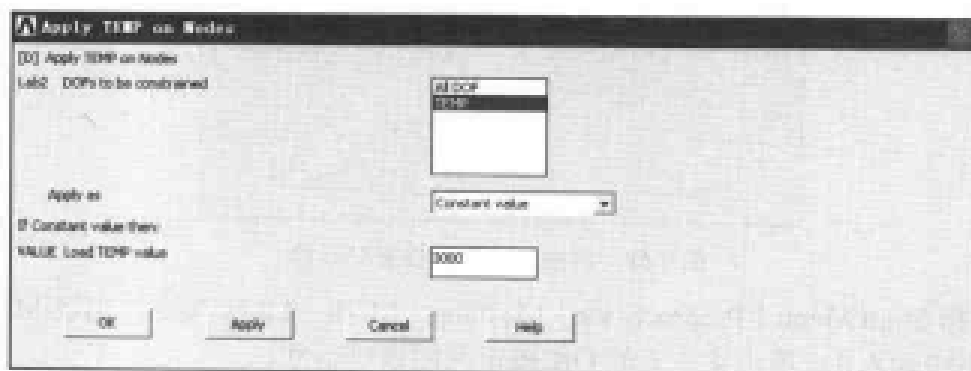


图 9-69 施加温度载荷对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 80, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 9-70 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

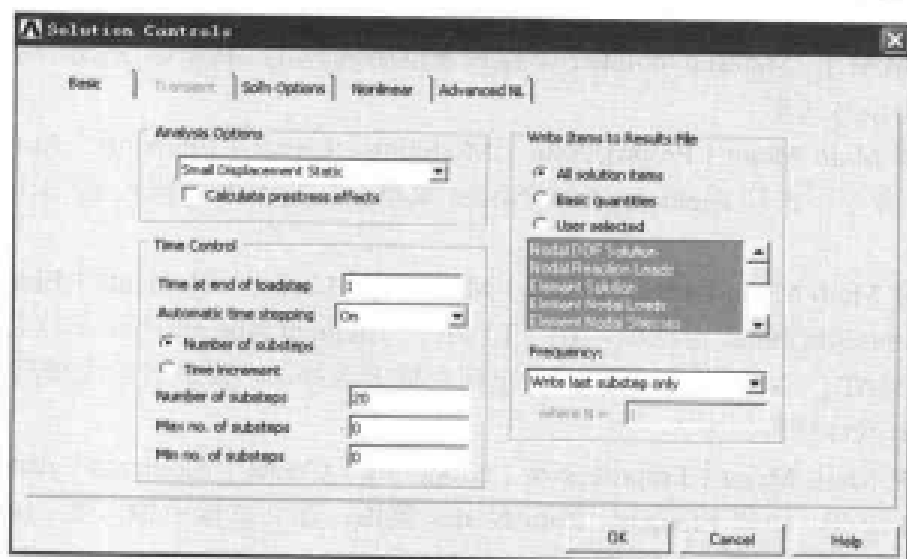


图 9-70 求解控制对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

提示: 求解开始时, 若出现 Verify 对话框, 可单击其上的 Yes 按钮继续。

(6) 求解结束时, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise42.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | List Results | Nodal Solution 命令, 出现 List Nodal Solution 对话框, 在列表框中选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 如图 9-71 所示, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口将显示各节点的温度求解结果, 如图 9-72 所示。

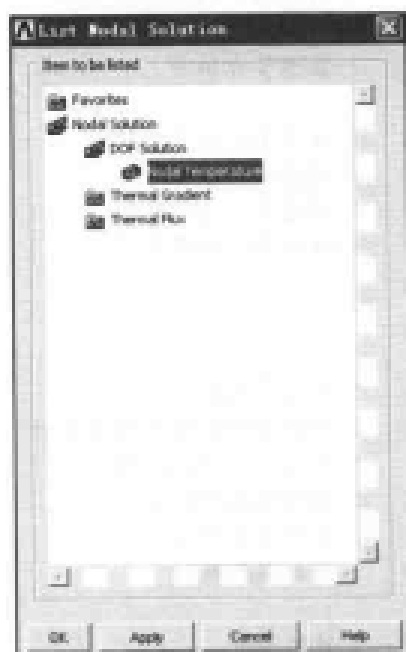


图 9-71 列表显示节点求解结果

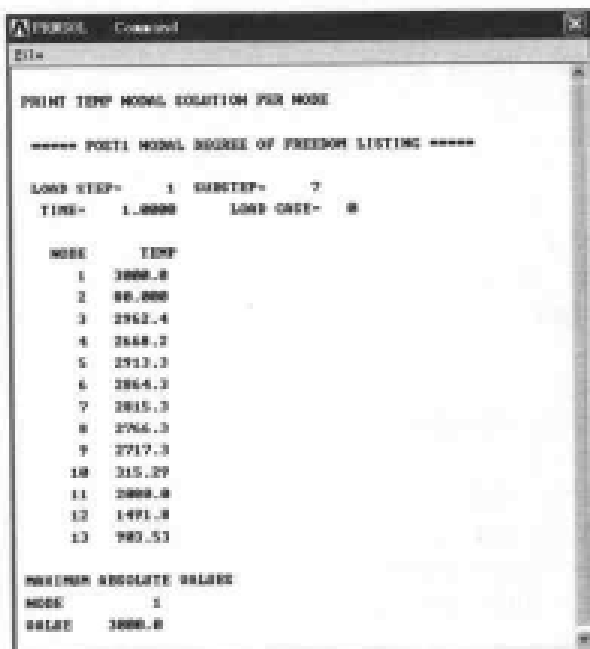


图 9-72 节点温度求解结果显示

(2) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE4          ! 定义工作文件名
/TITLE, INSULATED WALL TEMPERATURE ! 定义工作标题

/PREP7                        ! 进入前处理器

KEYW, PR_THERM, 1            ! 选择单元类型
ET, 1, LINK34
ET, 2, LINK32
R, 1, 1                        ! 定义单元实常数 (面积设为 1)
MP, KXX, 1, 1.2              ! 定义导热系数
MP, HF, 1, 12.5              ! 定义对流系数
MP, KXX, 2, .1

```


MP, HF, 2, 2	
K, 1	! 定义关键点
K, 2	
K, 3, 0.75	
K, 4, 1.25	
K, 5, 1.25	
N, 1	! 定义节点
N, 2, 1.25	
L, 2, 3	! 通过关键点生成线段
L, 3, 4	
ESIZE, 0.125	! 定义单元尺寸
TYPE, 2	! 设置单元参考号为 2
LMESH, 1	! 对线段 1 进行网格划分
MAT, 2	! 设置材料参考号为 2
LMESH, 2	! 对线段 2 进行网格划分
NPLOT	! 显示节点
/PNUM, NODE, 1	! 显示节点编号
/REPLLOT	
TYPE, 1	! 设置单元参考号为 1
MAT, 1	! 设置材料参考号为 1
E, 1, 3	! 通过节点生成单元
MAT, 2	! 设置材料参考号为 2
E, 2, 10	
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 指定求解类型为稳态分析
TIME, 1	! 定义计算终止时间
NSUBST, 20	! 指定求解子步数
AUTOTS, ON	! 打开自动步长
D, 1, TEMP, 3000	! 施加温度载荷
D, 2, TEMP, 80	
SOLVE	! 开始求解
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
PRNSOL, TEMP	! 列表显示节点温度
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

9-5 实例 5——自适应网格法分析矩形截面梁的对流传热过程

9-5-1 问题描述

有一矩形截面梁，其截面几何形状与所受载荷如图 9-73 所示，材料参数及载荷如表 9-2 所示，求矩形梁内部的温度场分布。

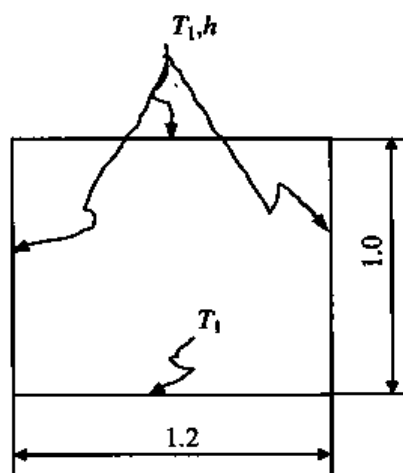


图 9-73 矩形梁横截面结构示意图

表 9-2 材料参数及载荷

导热系数 K $W/(m \cdot ^\circ C)$	热对流系数 h $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	温度载荷 T_1 $^\circ C$	温度载荷 T_2 $^\circ C$
52.0	75.0	100	0

9-5-2 问题分析

该问题属于稳态热分析问题，根据问题的对称性，选择矩形梁横截面的 1/2 建立有限元模型，并采用自适应网格划分方法进行分析求解。

9-5-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE5，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 HEAT TRANSFER WITH CONVECTION IN A BEAM，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框，在 Library of Element Types 列表框中选择 Thermal Solid 选项，Quad 4node 55，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 9-74 所示，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

(2) 单击 Close 按钮，关闭 Element Types 对话框。

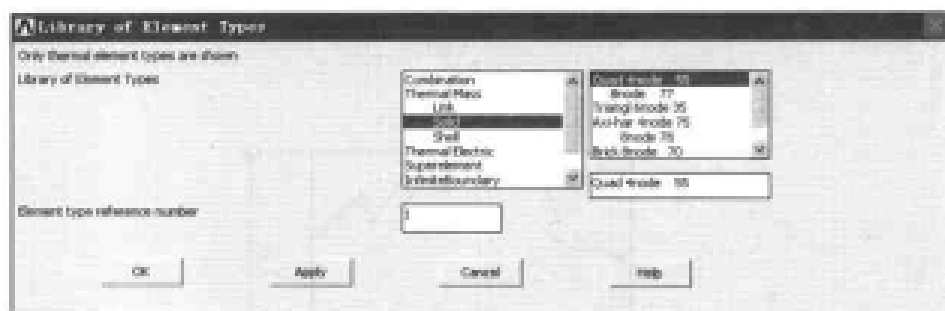


图 9-74 单元类型列表对话框

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在 KXX 文本框中输入导热系数 52，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令关闭该对话框。

第四步：创建几何模型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令，出现 Create Keypoints In Active Coordinate System 对话框，在文本框中分别输入关键点编号 1 和关键点坐标 0、0、0，如图 9-75 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 9-75 创建关键点对话框

(2) 参照上一步的操作过程，分别创建以下编号的关键点：

2 (0.6, 0, 0); 3 (0.6, 1.0, 0); 4 (0, 1.0, 0)

(3) 选择 Utility Menu | Plot | Keypoints | Keypoints 命令。

(4) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 KP Keypoint numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令，出现 Lines In Active 菜单，用鼠标在 ANSYS 显示窗口选择编号为 1、2 的关键点，生成第 1 条线段；选择编号为 2、3 的关键点，生成第 2 条线段；选择编号为 3、4 的关键点，生成第 3 条线段；选择编号为 4、1 的关键点，生成第 4 条线段，单击 OK 按钮，关闭该菜单。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令，出现 Create Area by L 菜单。在文本框中输入 1, 2, 3, 4，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令。ANSYS 窗口显示如图 9-76 所示的几何模型。

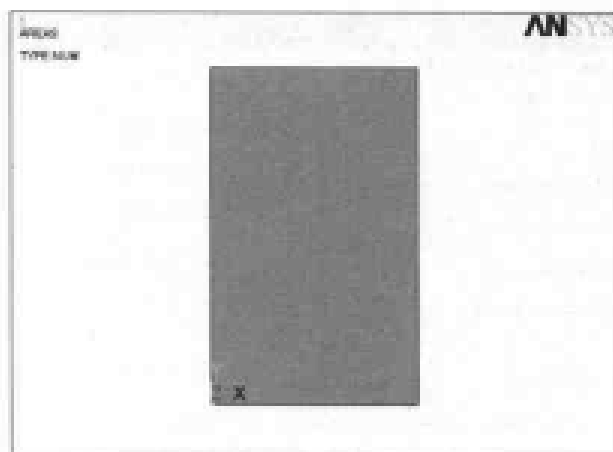


图 9-76 生成的几何模型结果显示

(8) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise51.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Keypoints 命令, 出现 Apply TEMP on KPs 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮, 出现 Apply TEMP on Keypoints 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在文本框中输入 100, 将 KEXPND Apply TEMP to nodes 选项设置为 Yes, 如图 9-77 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Lines 命令, 出现 Apply CONV on lines 菜单, 在文本框中输入 2, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Apply CONV on lines 对话框, 参照图 9-78 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

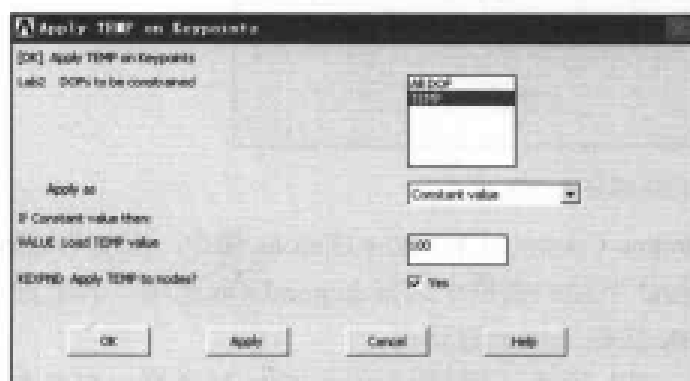


图 9-77 在关键点上施加温度载荷对话框

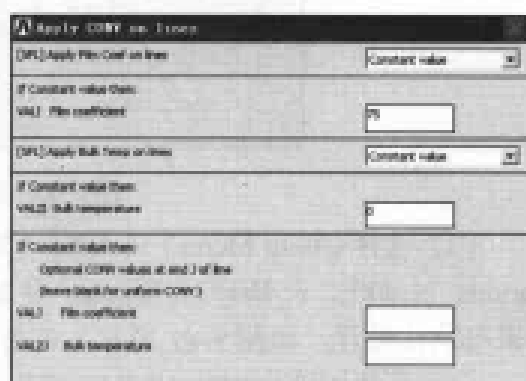


图 9-78 在线段上施加对流载荷对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Adaptive Mesh 命令, 出现 Adaptive Meshing and Solution 对话框, 参照图 9-79 对其进行设置, 单击 OK 按钮, ANSYS 将开始求解计算。

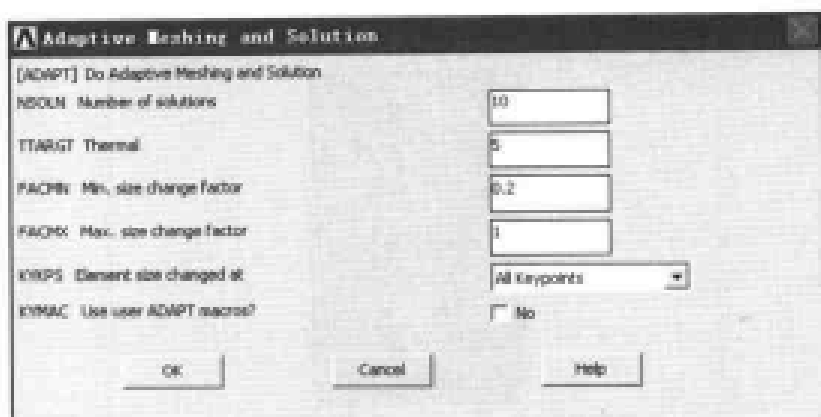


图 9-79 自适应网格划分与求解设置对话框

(5) 求解结束时, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise52.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Edge Options 命令, 出现 Edge Options 对话框, 在[/EDGE] Element outlines for non-contour/contour plots 下拉列表框中选择 Edge Only/All 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 9-80 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

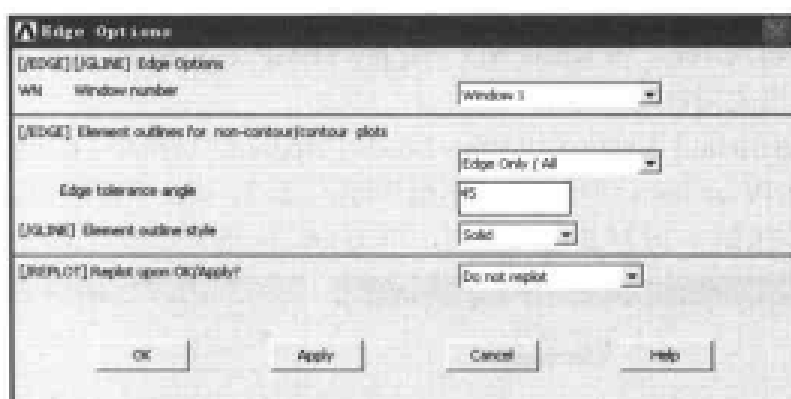


图 9-80 单元轮廓显示设置对话框

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Window Controls | Window Options 命令, 出现 Window Options 对话框, 在 INFO Display of legend 下拉列表框中选择 Legend On 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 9-81 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 TEMPERATURE CONTOURS IN THE BEAM, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图, 如图 9-82 所示。

(6) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

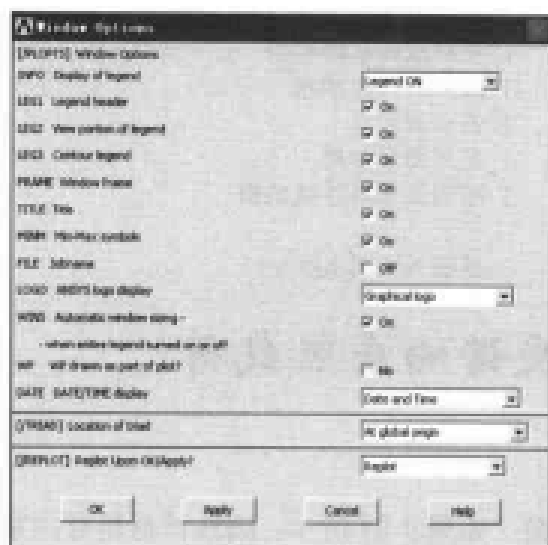


图 9-81 窗口显示设置对话框

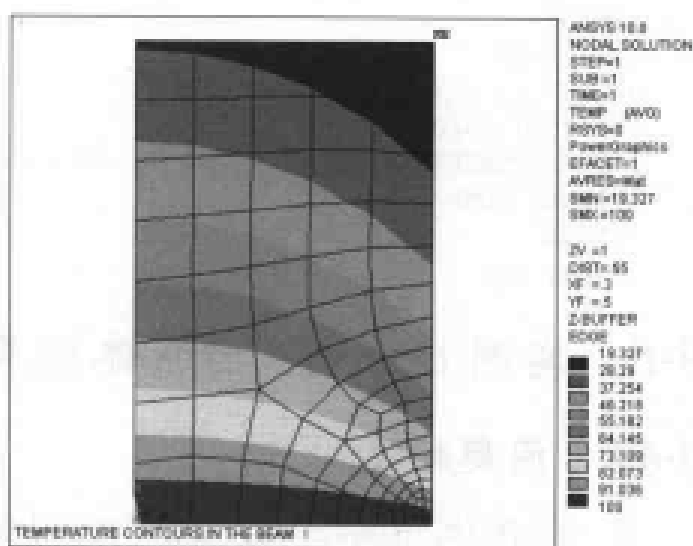


图 9-82 梁横截面温度场分布等值线图

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE5          ! 定义工作文件名
/TITLE, HEAT TRANSFER WITH CONVECTION IN A BEAM
                                ! 定义工作标题
                                ! 进入前处理器
/PREP7
KEYW, PR_THERM, 1
SMRT, OFF                    ! 关闭自动网格划分
ET, 1, PLANE55               ! 定义单元类型
MP, KXX, 1, 52.0             ! 输入材料导热系数
K, 1                          ! 生成关键点
K, 2, 0.6
K, 3, 0.6, 1.0
K, 4, , 1.0
L, 1, 2                      ! 通过关键点生成线段
L, 2, 3
L, 3, 4
L, 4, 1
AL, ALL                      ! 通过线段生成面
APLOT                        ! 显示面
/PNUM, LINE, 1              ! 显示线段编号
/PNUM, KP, 1                ! 显示关键点编号
/REPLOT                      ! 重新显示
FINISH

/SOLU                        ! 进入求解器
ANTYPE, STATIC              ! 指定求解类型为稳态分析
DK, 1, TEMP, 100, , 1      ! 在关键点上施加温度载荷
DK, 2, TEMP, 100, , 1
SFL, 2, CONV, 75.0, , 0.0  ! 在线段上施加对流载荷
SFL, 3, CONV, 75.0, , 0.0
ADAPT, 10, , 5, 0.2, 1     ! 自适应网格划分设置
FINISH
    
```


/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
/EDGE, , 1	! 显示单元轮廓线
/PLOPTS, INFO, ON	! 显示图列栏
/TITLE, TEMPERATURE CONTOURS IN THE BEAM	! 定义图形标题
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出并关闭 ANSYS

9-6 实例 6——长圆柱体圆周受谐响应热载荷

9-6-1 问题描述

有一长圆柱体，在其圆周方向承受谐响应温度载荷，如图 9-83 所示，圆柱体材料导热系数为 $K=1\text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F})$ 。求圆柱体内部在 θ 为 0° 和 90° 时的温度场分布（图中长度单位为 ft）。

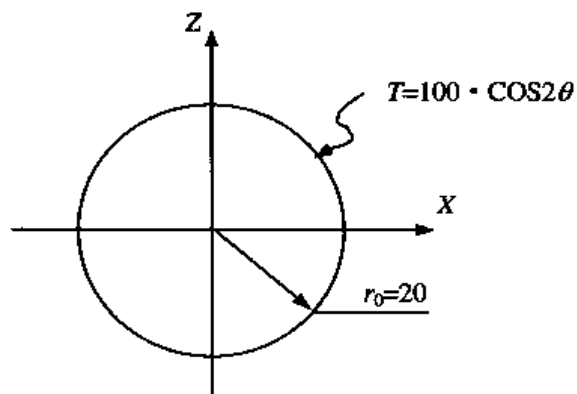


图 9-83 圆柱体承载示意图

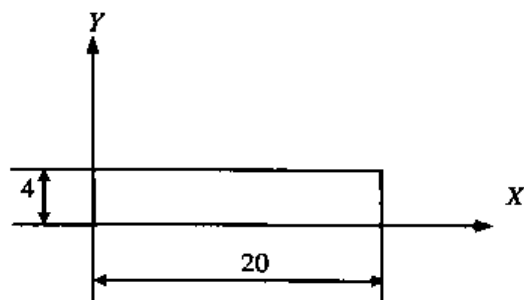


图 9-84 几何模型

9-6-2 问题分析

该问题属于稳态热分析问题，由于圆柱体在其圆周方向承受谐响应温度载荷，所以选择轴对称谐响应单元 PLANE78 进行分析求解，在圆柱体纵截面上选取高度为 4ft 的矩形面建立几何模型，如图 9-84 所示。

提示：矩形面的高度选取对计算结果无影响。

9-6-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE6，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框

中输入 SOLID CYLINDER WITH HARMONIC TEMPERATURE LOAD, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令, 出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Thermal 复选框, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步: 定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 两个列表框中分别选择 Thermal Solid, Axi-har 8node 78 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 9-85 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

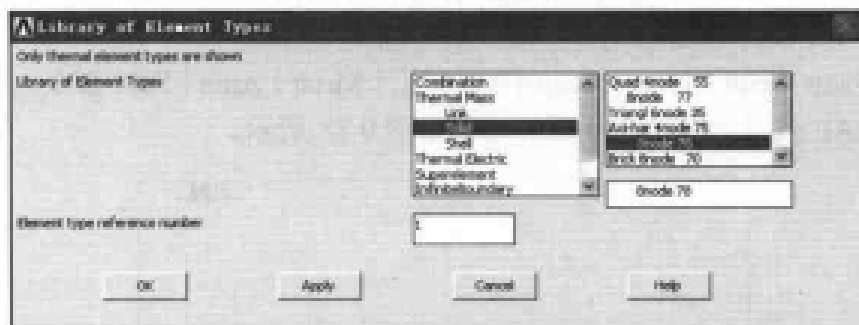


图 9-85 单元类型列表对话框

(2) 单击 Close 按钮, 关闭 Element Types 对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入导热系数 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 参照图 9-86 对其进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

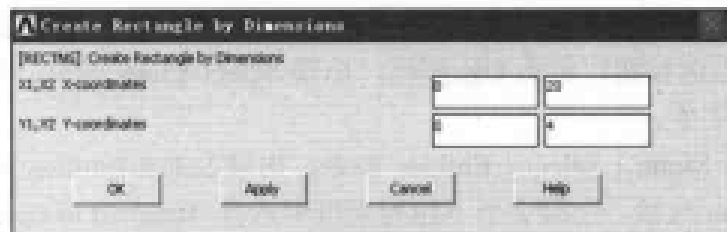


图 9-86 生成矩形面对话框

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入单元尺

寸 4, 如图 9-87 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

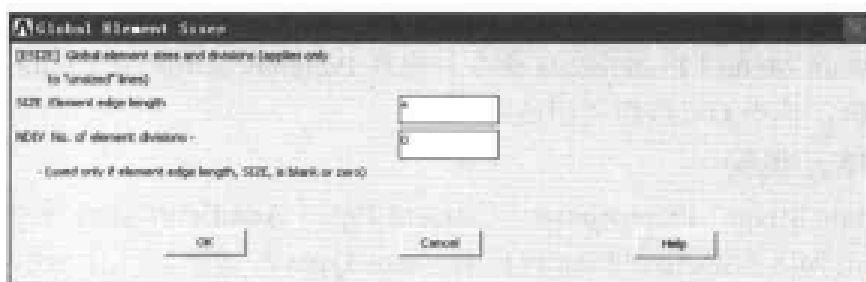


图 9-87 单元尺寸设置对话框

(3) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Area | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮, 网格划分后的结果如图 9-88 所示。

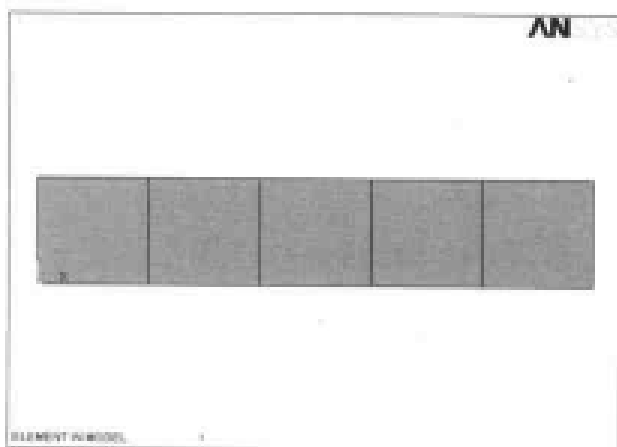


图 9-88 网格划分结果显示

(5) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise61.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选择 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Apply

TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 100, 如图 9-89 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

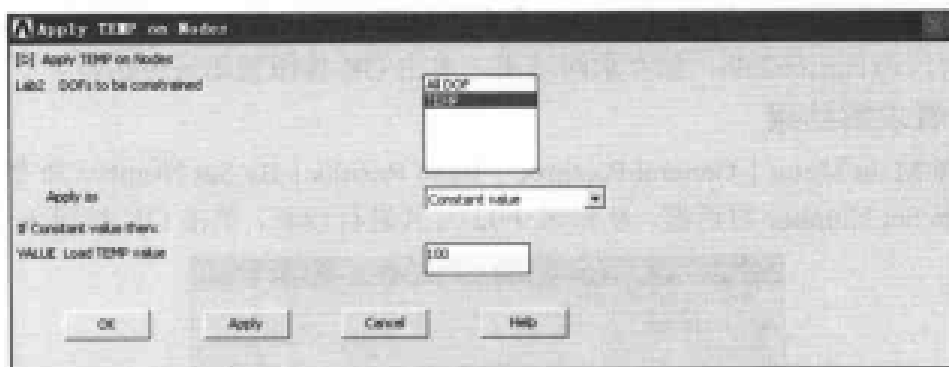


图 9-89 施加温度载荷对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Other | For Harmonic Ele 命令, 出现 Loading Term for Harmonic Elements 对话框, 参照图 9-90 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

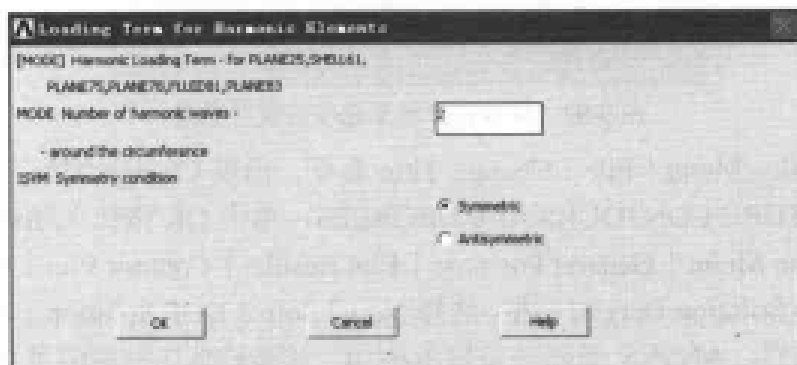


图 9-90 谐单元载荷选项设置对话框

(6) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | Solu Printout 命令, 出现 Solution Printout Controls 对话框, 参照图 9-91 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

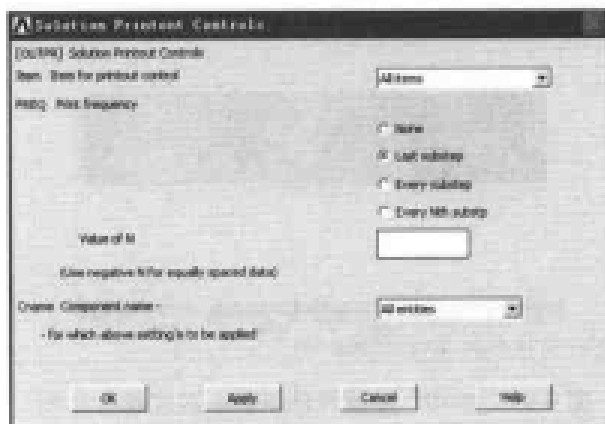


图 9-91 输出控制对话框

(7) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(8) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step

对话框，单击 OK 按钮，ANSYS 开始求解计算。

(9) 求解结束时，出现 Note 提示框，单击 Close 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令，出现 Save Database 对话框，在 Save Database to 文本框中输入 exercise62.db，保存求解结果，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步：查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | By Set Number 命令，出现 Read Results by Data Set Number 对话框，参照图 9-92 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

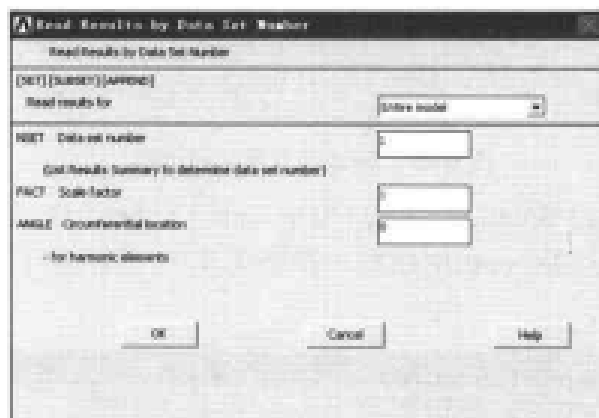


图 9-92 读取计算结果选项设置对话框

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 TEMPERATURE CONTOURS AT 0 DEGREES，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框，选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示 $\theta=0^\circ$ 时圆柱体纵截面温度场等值线图，如图 9-93 所示。

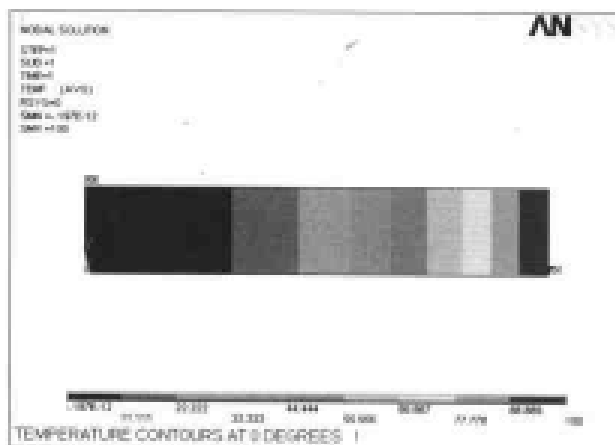


图 9-93 $\theta=0^\circ$ 时圆柱体纵截面温度场分布图

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | By Set Number 命令，出现 Read Results by Data Set Number 对话框，在 ANGLE Circumferential location 文本框中输入 90，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 TEMPERATURE CONTOURS AT 90 DEGREES, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示 $\theta=90^\circ$ 时圆柱体纵截面温度场等值线图, 如图 9-94 所示。

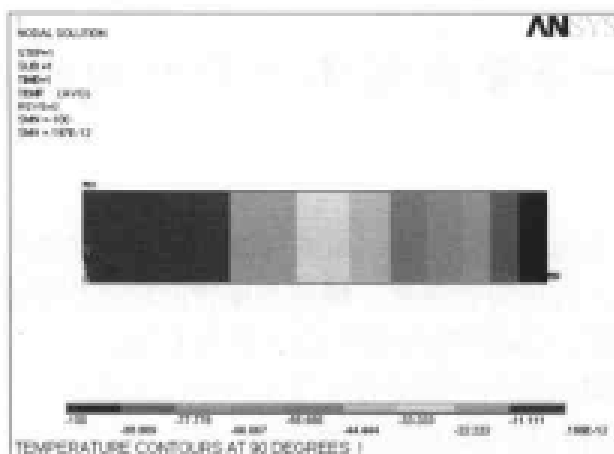


图 9-94 $\theta=90^\circ$ 时圆柱体纵截面温度场分布图

(7) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE6                ! 定义工作文件名
/TITLE, SOLID CYLINDER WITH HARMONIC TEMPERATURE LOAD    ! 定义工作标题
/PREP7                              ! 进入前处理器
KEYW, PR_THERM, 1
SMRT, OFF                          ! 关闭自动网格划分
ET, 1, PLANE78                     ! 定义单元类型
MP, KXX, 1, 1                      ! 定义材料导热系数
RECTNG, 0, 20, 0, 4               ! 生成矩形面
ESIZE, 4                           ! 定义单元尺寸
AMESH, 1                           ! 对面 1 进行网格划分
/TITLE, ELEMENT IN MODEL           ! 设置图形标题
EPLOT                              ! 显示单元
FINISH

/SOLU                               ! 进入求解器
ANTYPE, STATIC                     ! 指定求解类型为稳态分析
LSEL, S, , , 2                     ! 选择编号为 2 的线段
NSLL, S, 1                         ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 100                  ! 施加温度载荷
MODE, 2, 1                         ! 施加对称谐波载荷
OUTPR, ALL, LAST                   ! 输出选项设置
ALLSEL                             ! 选择所有实体
SOLVE                              ! 开始求解计算
FINISH

```



```

/POST1                                ! 进入 POST1 后处理器
SET, 1, 1, . . . , 0.0               ! 读取  $\theta = 0^\circ$  时的求解结果
/TITLE, TEMPERATURE CONTOURS AT 0 DEGREES ! 指定输出图形标题
PLNSOL, TEMP                          ! 绘制温度场等值线图
SET, 1, 1, . . . , 90.0              ! 读取  $\theta = 90^\circ$  时的求解结果
/TITLE, TEMPERATURE CONTOURS AT 90 DEGREES ! 指定输出图形标题
PLNSOL, TEMP                          ! 绘制温度场等值线图
FINISH
/EXIT, ALL                             ! 退出 ANSYS

```

9-7 实例 7——导管和罐体结合处的稳态热分析

9-7-1 问题描述

有一圆筒形罐体，其上与一接管连接，如图 9-95 所示。筒的外径为 6 英尺，内径为 5 英尺；接管外径为 2.6 英尺，内径为 2 英尺。罐体与接管的轴线相互垂直，接管远离罐体的端部。罐内流体温度为 450°F ，与罐壁的对流换热系数为 $1.75\text{Btu/hr} \cdot \text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ ；接管内流体的温度为 100°F ，与管壁的对流换热系数随管壁温度而变。罐体与接管的材料热物理性能参数如表 9-3、9-4 所示。求罐体与接管的温度场分布。

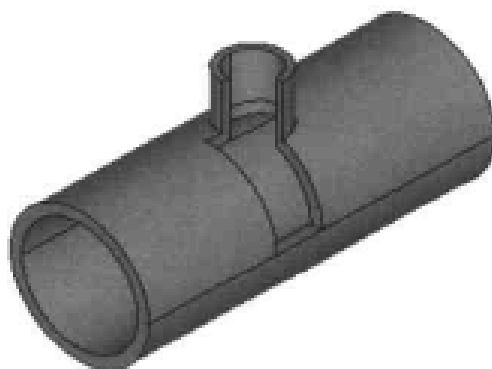


图 9-95 圆筒形罐体与接管示意图

表 9-3 罐的热物理性能参数

温度 $^\circ\text{F}$	70	200	300	400	500
密度 lbm/in^3	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285
导热系数 $\text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{in} \cdot ^\circ\text{F})$	0.696	0.741	0.779	0.817	0.853
比热 $\text{Btu}/(\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F})$	0.113	0.117	0.119	0.122	0.125

表 9-4 接管的热物理性能参数

温度 $^\circ\text{F}$	70	200	300	400	500
密度 lbm/in^3	0.305	0.305	0.305	0.305	0.305
导热系数 $\text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{in} \cdot ^\circ\text{F})$	0.832	0.881	0.925	0.957	0.996
比热 $\text{Btu}/(\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F})$	0.121	0.124	0.127	0.131	0.135
对流系数 $\text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{in}^2 \cdot ^\circ\text{F})$	3.16	3.02	2.84	2.51	2.05

9-7-2 问题分析

该问题所研究的对象为圆筒形罐体及接管, 根据问题的对称性, 选择接口处的部分体 (见图 9-95) 建立有限元模型进行分析求解, 在求解过程中选择英制单位制。

9-7-3 求解步骤

第一步: 建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE7, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 STEADY-STATE THERMAL ANALYSIS OF PIPE JUNCTION, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令, 出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Thermal 复选框, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Library | Select Units 命令, 出现 Select Filtering Units for Material Library 对话框, 选中 BIN 单选按钮, 如图 9-96 所示。单击 OK 按钮关闭该对话框。

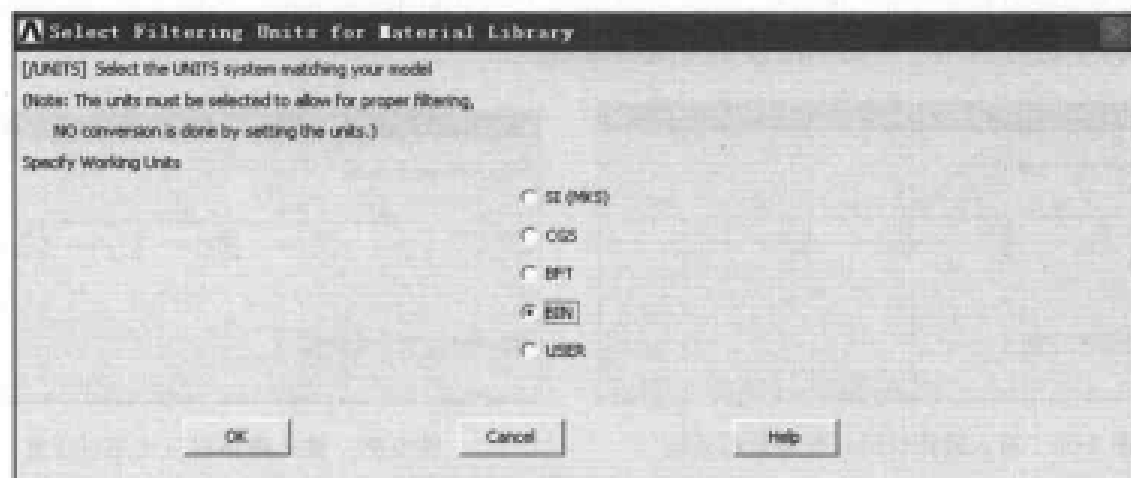


图 9-96 选择单位制对话框

第二步: 定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Brick 20node 90 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 9-97 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

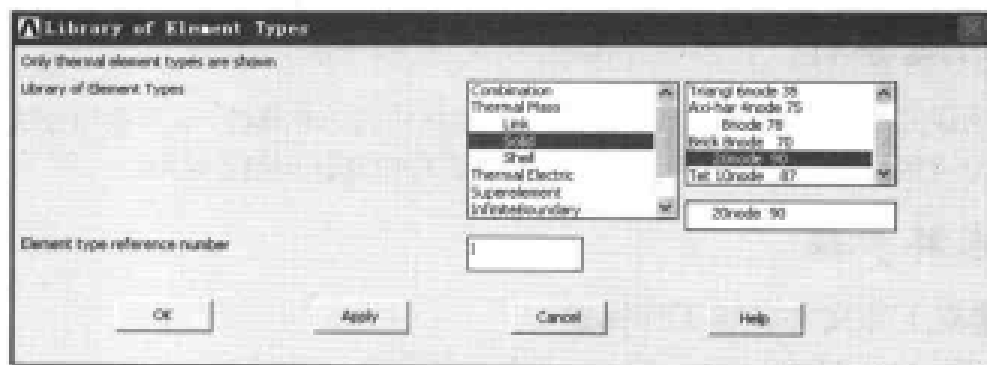


图 9-97 单元类型列表对话框

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框。

(3) 单击该对话框上的 Add Temperature 按钮 4 次，参照图 9-98 在文本框中进行输入，单击 OK 按钮关闭 Conductivity for Material Number 1 对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 选项，出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框，单击该对话框上的 Add Temperature 按钮 4 次，参照图 9-99 在文本框中进行输入，单击 OK 按钮关闭该对话框。

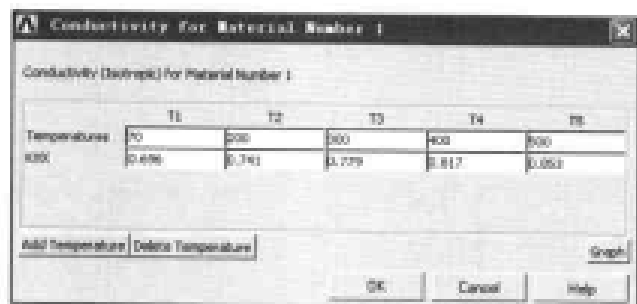


图 9-98 输入罐体材料导热系数对话框

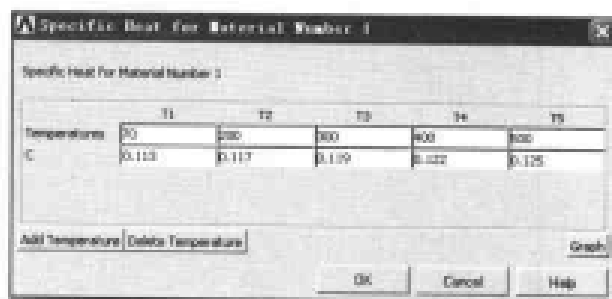


图 9-99 输入罐体材料比热对话框

(5) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 选项，出现 Density for Material Number 1 对话框，在文本框中输入罐体密度 0.285，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令，出现 Define Material ID 对话框，在文本框中输入材料参考号 2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上 Conductivity 选项下的 Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 2 对话框。

(8) 单击该对话框上的 Add Temperature 按钮 4 次，参照图 9-100 在文本框中进行输入，单击 OK 按钮关闭 Conductivity for Material Number 2 对话框。

(9) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮，出现 Specific Heat for Material Number 2 对话框，单击该对话框上的 Add Temperature 按钮 4 次，参照图 9-101 在文本框中进行输入，单击 OK 按钮关闭该对话框。

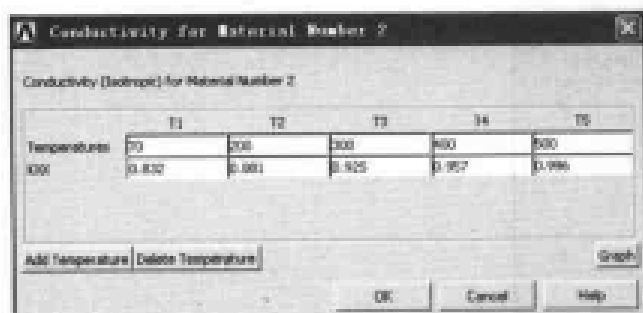


图 9-100 输入接管材料导热系数对话框

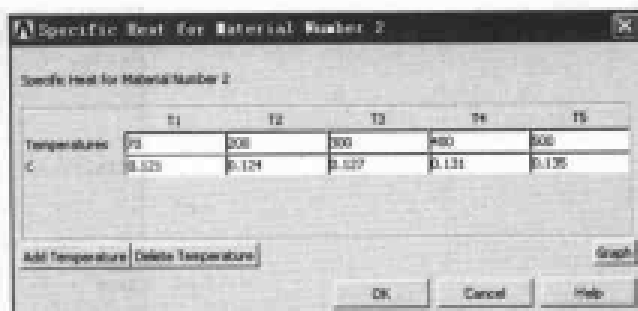


图 9-101 输入接管材料比热对话框

(10) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Convection or Film Coef 按钮, 出现 Convection or Film Coefficient for Material Number 2 对话框, 单击该对话框上的 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 9-102 在文本框中进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

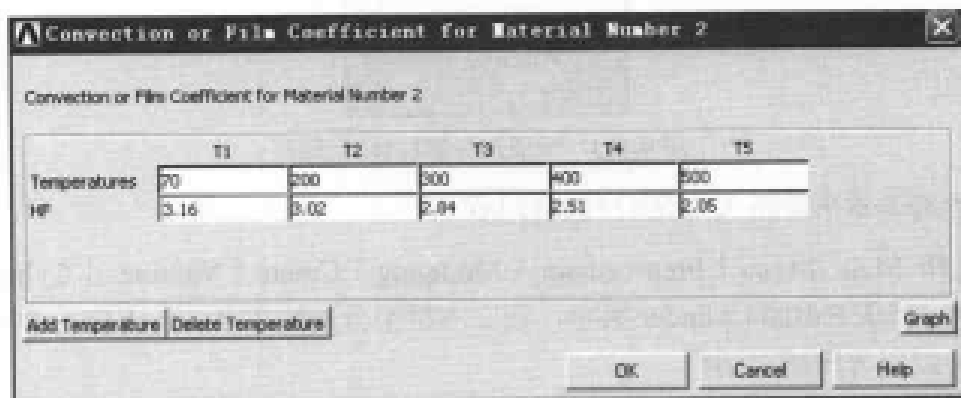


图 9-102 输入接管材料对流系数对话框

(11) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入接管密度 0.305, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 建立几何模型、划分网格

(1) 选择 Utility Menu | Parameters | Scalar Parameters 命令, 出现 Scalar Parameters 对话框, 在文本框中输入 RI1=2.5, 单击 Accept 按钮。

(2) 参照第 1 步的操作, 分别输入以下参数值:

RO1=3; Z1=4; RI2=1; RO2=1.3; Z2=4

提示: 每次输入一个等式, 必须单击 Accept 按钮。

(3) 单击 Close 按钮, 关闭 Scalar Parameters 对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Volumes | Cylinder | Partial Cylinder 命令, 出现 Partial Cylinder 菜单, 参照图 9-103 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset Wp by Increments 命令, 出现 Offset WP 菜单, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 0, -90, 0, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

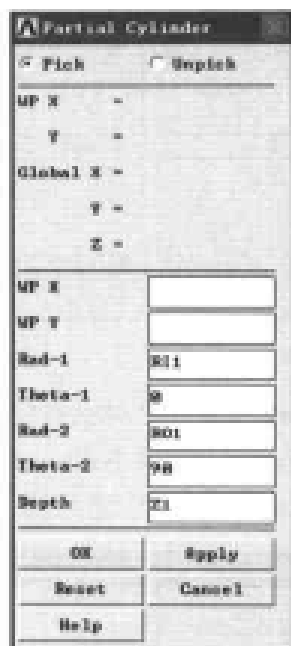


图 9-103 生成部分圆柱体对话框

提示：该操作将工作平面沿 X 轴逆时针旋转 90°。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Volumes | Cylinder | Partial Cylinder 命令，出现 Partial Cylinder 菜单，在文本框中分别输入 0、0、R12、-90、R02、0、Z2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Settings 命令，出现 Booleans Operation Settings 对话框，在 NWARN If operation has no effect 下拉列表框中选择 No messages 选项，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 VOLU Volume numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，其余选项均采用默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令，出现 Viewing Direction 对话框，参照图 9-104 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Angle of Rotation 命令，出现 Angle of Rotation 对话框，在 THETA Angle in degrees 文本框中输入 -30，其余选项均采用默认设置，如图 9-105 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

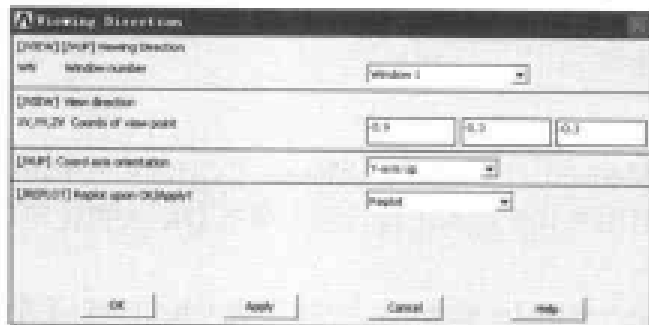


图 9-104 设置视图观测方向对话框

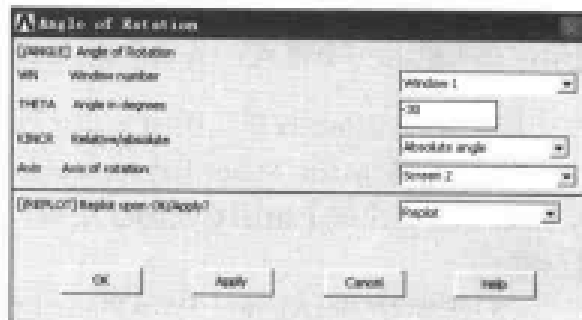


图 9-105 设置视图转角对话框

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Overlap | Volumes 命令, 出现 Overlap Volumes 菜单, 单击 Pick All 按钮。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Delete | Volumes and Below 命令, 出现 Delete Volume 菜单, 在文本框中输入 3, 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Utility Menu | Plot | Volume 命令, ANSYS 显示窗口将显示生成的几何模型, 如图 9-106 所示。

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numberig Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在下拉列表框中选择 All 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesher Opts 命令, 出现 Mesher Options 对话框, 在 KEY Mesher Type 选项组中选择 Mapped, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮, 出现 Set Element Shape 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 8, 10, 12, 13, 18, 22, 24, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元等份数 12, 如图 9-107 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

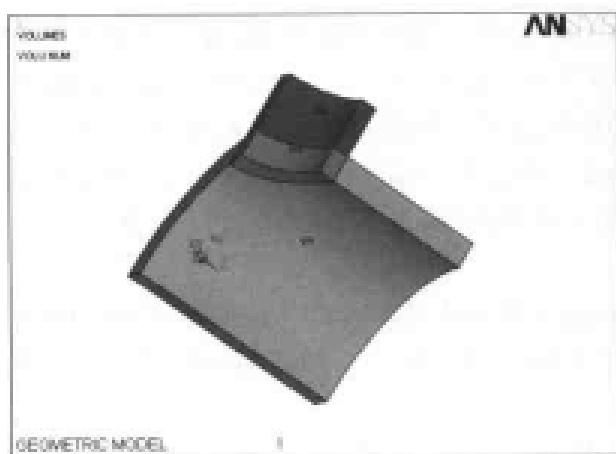


图 9-106 生成的几何模型结果显示

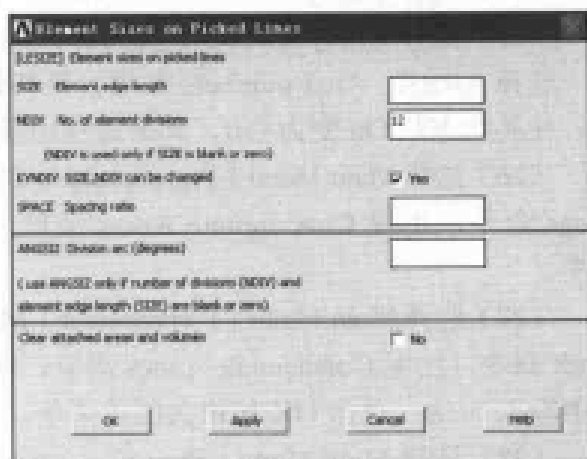


图 9-107 线段单元等份数设置对话框

提示: 也可以用鼠标在几何模型上选择相应的线段。

(19) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 9, 11, 16, 17, 23, 25, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元等份数 4, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines |

Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 14, 15, 26, 27, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元等份数 6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attrbs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2, 如图 9-108 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

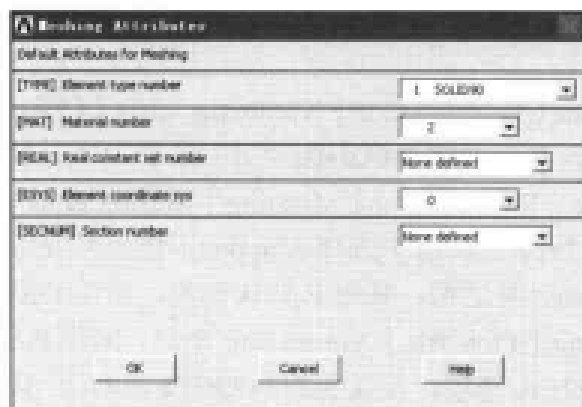


图 9-108 网格划分属性设置对话框

(22) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 菜单, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Volumes 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(23) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(24) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令。

(25) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 AREA Area numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 On 变为 Off, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(26) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Volumes | Mapped | Concatenate | Areas 命令, 出现 Concatenate Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(27) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Volumes | Mapped | Concatenate | Lines 命令, 出现 Concatenate Lines 菜单, 在文本框中输入 6, 2, 单击 Apply 按钮; 在文本框中输入 7, 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(28) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attrbs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(29) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge size 文本框中输入单元尺寸 0.2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(30) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(31) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 菜单,

单击其上的 Mesh 按钮, 出现 Mesh Volumes 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(32) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令, ANSYS 显示窗口将显示网格划分后的结果, 如图 9-109 所示。

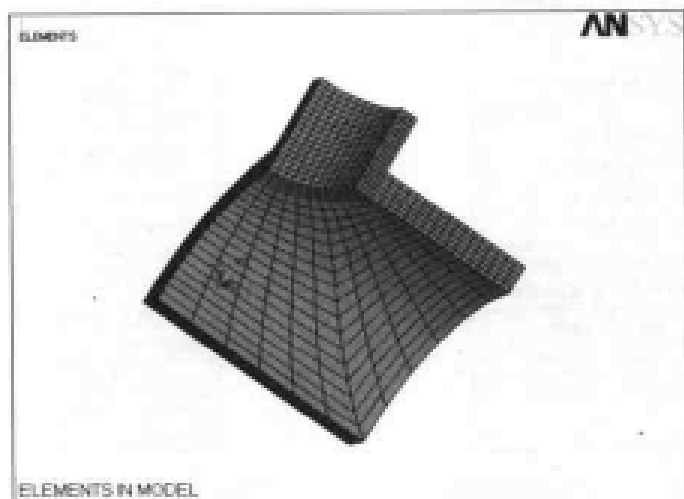


图 9-109 网格划分结果显示

(33) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise71.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-State, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Settings | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框。在文本框中输入 450, 如图 9-110 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

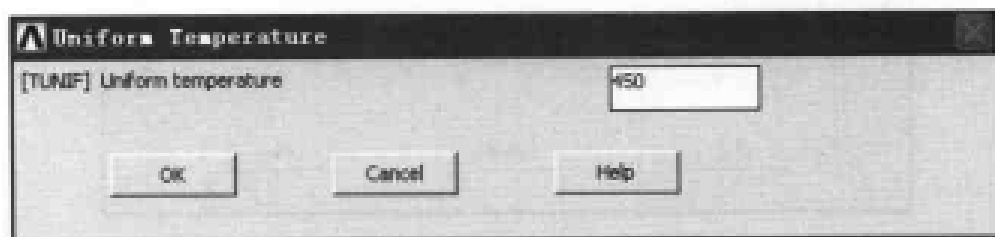


图 9-110 施加均匀温度载荷对话框

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 9-111 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Select Areas 菜单, 在文本框中输入 5, 17, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Areas, all 单选按钮, 如图 9-112 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 9-111 选择面对话框

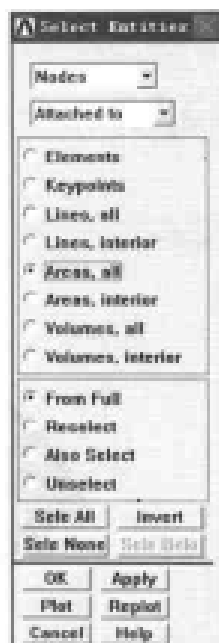


图 9-112 选择节点对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply CONV on nodes 对话框, 在文本框中分别输入 1.75、450, 如图 9-113 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

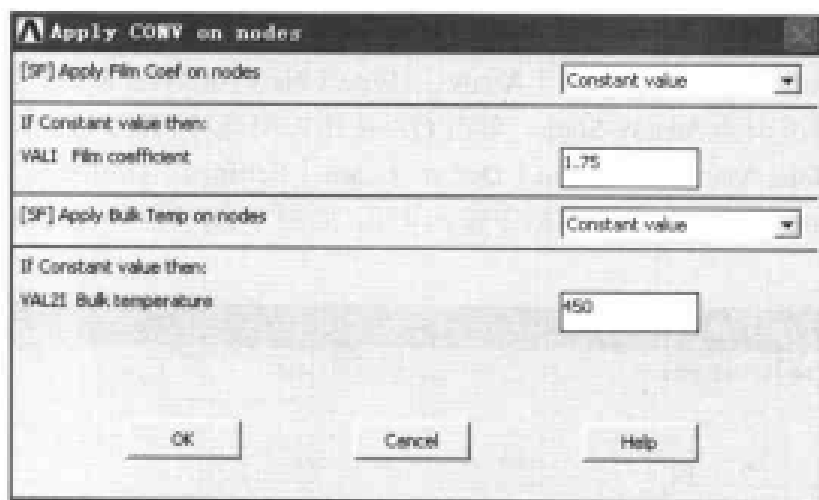


图 9-113 施加对流载荷对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在文本框中输入 450, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Areas 菜单, 在文本框中输入 4, 8, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas, al 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply CONV on nodes 对话框, 在文本框中分别输入 -2、100, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 输入负值表示对流系数为温度的函数。

(14) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(15) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令, 施加载荷后的结果如图 9-114 所示。

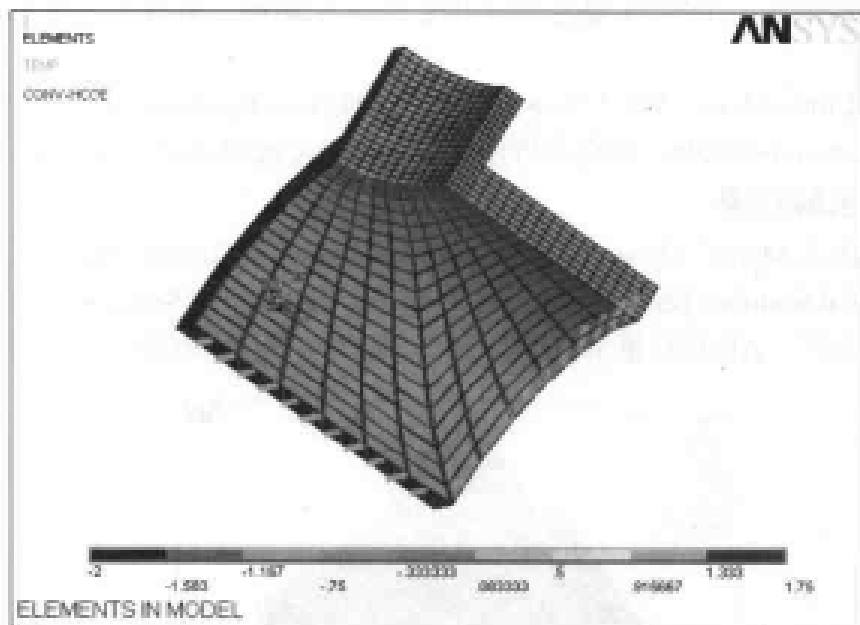


图 9-114 施加载荷后的结果显示

(16) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time and Substps 命令, 出现 Time and Substep Options 对话框, 参照图 9-115 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

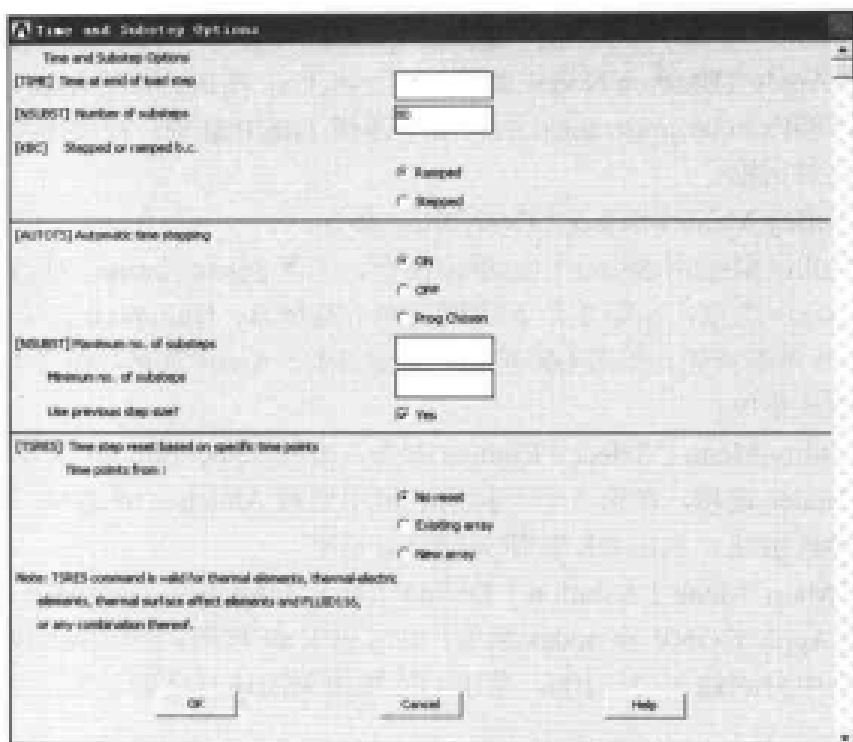


图 9-115 时间和步长设置对话框

(17) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令，出现 Solve Current Load Step 对话框，单击 OK 按钮，ANSYS 开始求解计算。

(18) 求解结束后，ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框，单击其上的 Close 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令，出现 Save Database 对话框，在 Save Database to 文本框中输入 exercise72.db，保存求解结果，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步：查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图，如图 9-116 所示。

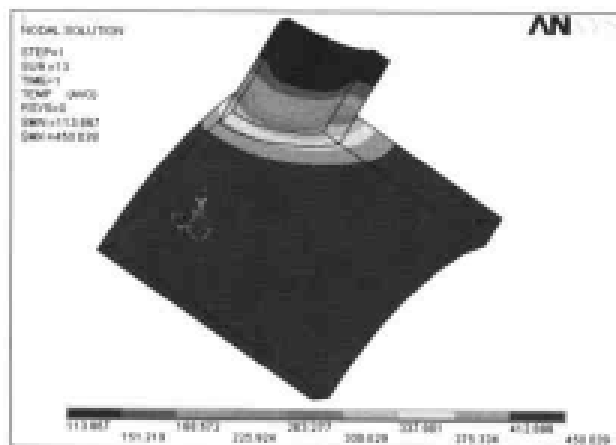


图 9-116 温度场分布等值线图

(2) 单击 ANSYS Toolbar 上的 QUIT 按钮, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 退出并关闭 ANSYS。

命令流文件

/FILNAME, EXERCISE7	! 定义工作文件名
/TITLE, STEADY-STATE THERMAL ANALYSIS OF PIPE JUNCTION	! 定义工作标题
/UNIT, BIN	! 选择单位制为英制
/PREP7	! 进入前处理器
SMRT, OFF	! 关闭自动网格划分
KEYW, PR_THERM, 1	
ET, 1, SOLID90	! 定义单元类型
MP, DENS, 1, 0.285	! 输入罐体材料密度
MPTEMP, , 70, 200, 300, 400, 500	! 设置温度点
MPDATA, KXX, 1, , 0.696, 0.741, 0.779, 0.817, 0.853	! 输入罐体材料导热系数
MPDATA, C, 1, , 0.113, 0.117, 0.119, 0.122, 0.125	! 输入罐体材料比热
MP, DENS, 2, 0.305	! 输入导管材料密度
MPDATA, KXX, 2, , 0.832, 0.881, 0.925, 0.957, 0.996	! 输入导管材料导热系数
MPDATA, C, 2, , 0.121, 0.124, 0.127, 0.131, 0.135	! 输入导管材料比热
MPDATA, HF, 2, , 3.16, 3.02, 2.84, 2.51, 2.05	! 输入导管对流系数
RI1=2.5	! 输入参数
RO1=3	
Z1=4	
RI2=1	
RO2=1.3	
Z2=4	
CYLID, RI1, RO1, , Z1, , 90	! 生成四分之一圆柱体
WPROTA, 0, -90	! 转动工作坐标系
CYLID, RI2, RO2, , Z2, -90	
BOPT, NWARN, 1	! 关闭布尔操作提示
/PNUM, VOLU, 1	! 显示体编号
/REPLOT	
/VIEW, 1, -0.9, -0.3, -0.3	! 设置视图观测方向
/ANG, 1, -30	! 设置视图观测角度
/REPLOT	
VOVLAP, 1, 2	! 体迭加操作
VDELE, 3, 4, , 1	! 体相减操作
/TITLE, GEOMETRIC MODEL	! 指定图形标题
VPLOT	! 显示体
NUMCMP, VOLU	! 压缩体编号
NUMCMP, AREA	! 压缩面编号
NUMCMP, LINE	! 压缩线段编号
MSHAPE, 0, 3D	! 设置单元划分形状
MSHKEY, 1	
LPLLOT	! 显示线段
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
/REPLOT	
LSEL, S, , , 8, 10, 2	! 选择线段
LSEL, A, , , 12, 13	

热分析教程与实例解析

LSEL, A, , , 18, 22, 4	
LSEL, A, , , 24	
LESIZE, ALL, , , 12	! 设置线段等份数
LSEL, S, , , 9, 11, 2	! 选择线段
LSEL, A, , , 23, 25, 2	
LSEL, A, , , 16, 17	
LESIZE, ALL, , , 4	! 设置线段等份数
LSEL, S, , , 14, 15	! 选择线段
LSEL, A, , , 26, 27	
LESIZE, ALL, , , 6	! 设置线段等份数
MAT, 2	! 设置材料参考号
VMESH, 1	! 对体 1 进行网格划分
VMESH, 2	! 对体 2 进行网格划分
ALLSEL	! 选择所有实体
APLOT	! 显示面
/PNUM, AREA, 1	! 显示面编号
/REPLOT	
ACCAT, 1, 2	! 连接面
LPLOT	! 显示线段
LCCAT, 6, 2	! 连接线段
LCCAT, 7, 4	
ESIZE, 0.2	! 定义单元尺寸
MAT, 1	! 设置材料参考号
VMESH, 3	! 对体 3 进行网格划分
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL	
EPLT	! 显示单元
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 设置求解类型为稳态分析
NROPT, AUTO	! 设置 Newton-Raphson 选项
APLOT	! 显示面
TUNIF, 450	! 施加均匀温度载荷
ASEL, S, , , 5, 17, 12	! 选择编号为 5、17 的面
NSLA, , , 1	! 选择面上所有节点
SF, ALL, CONV, 1.75, 450	! 在节点上施加对流载荷
ALLSEL	
ASEL, S, , , 1, 2	! 选择编号为 1、2 的面
NSLA, , , 1	! 选择面上所有节点
D, ALL, TEMP, 450	! 在节点上施加温度载荷
ALLSEL	
ASEL, S, , , 4, 8, 4	! 选择编号为 4、8 的面
NSLA, , , 1	! 选择面上所有节点
SF, ALL, CONV, -2, 100	! 在节点上施加对流载荷
ALLSEL	
AUTOTS, ON	! 打开自动步长选项
NSUBST, 80	! 指定求解子步数
KBC, 0	! 设置加载方式
OUTPR, NSOL, LAST	! 输出控制选项设置
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
FINISH	
/EXIT	! 退出 ANSYS

Chapter 10

瞬态热分析实例详解

本章提示:

本章向读者介绍瞬态热分析的工程应用实例,通过实例分析与求解的形式加深读者对瞬态热分析过程及其分析步骤的进一步理解。

学习目标:

通过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 瞬态热分析的基本步骤,熟悉相应的界面操作步骤及相关命令,并掌握实际瞬态热分析问题的建模方法、求解思路与技巧。

10-1 实例 1——钢球瞬态传热过程分析

10-1-1 问题描述

一个直径为 0.12m，温度为 900℃ 的钢球突然放入盛满了水的、完全绝热的横截面直径和高度均为 0.6m 的圆柱体水箱中，水的温度为 20℃，材料参数如表 10-1 所示。求解 10 分钟后钢球与水的温度场分布（忽略水的流动，钢球置于水箱正中央）。

表 10-1 材料性能参数

材 料	密度 ρ kg/m ³	导热系数 K W/(m · °C)	比热 C J/(kg · °C)
水	1000	0.61	4185
钢	7800	70	448

10-1-2 问题分析

该问题属于瞬态热传导问题。研究对象为钢球和水，根据轴对称性，在求解过程中取钢球和水中心纵截面的 1/4 建立几何模型，如图 10-1 所示，并选择 PLANE55 轴对称单元进行分析求解。

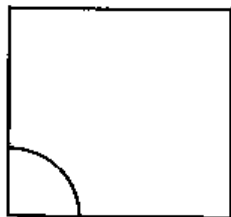


图 10-1 几何模型

10-1-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE1，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 TRANSIENT THERMAL ANALYSIS TO A SPHERE，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55

选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 10-2 所示。单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

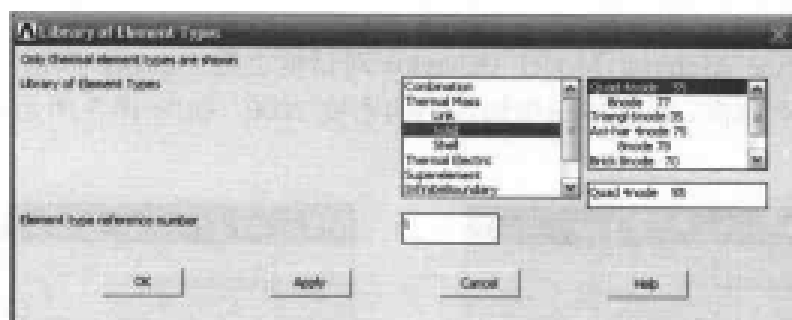


图 10-2 单元类型列表对话框

(3) 单击 Element Type 对话框中的 Options 按钮, 出现 PLANE55 element type options 对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 10-3 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

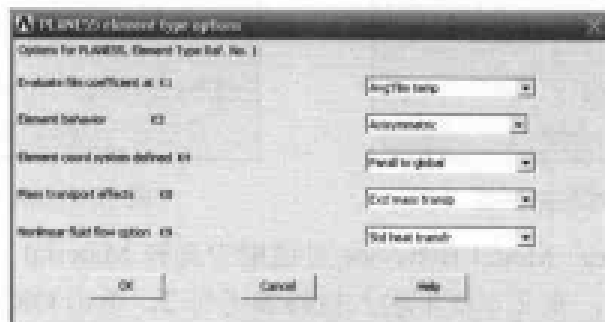


图 10-3 PLANE55 单元属性设置对话框

(4) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框, 如图 10-4 所示。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入钢的导热系数 70, 如图 10-5 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

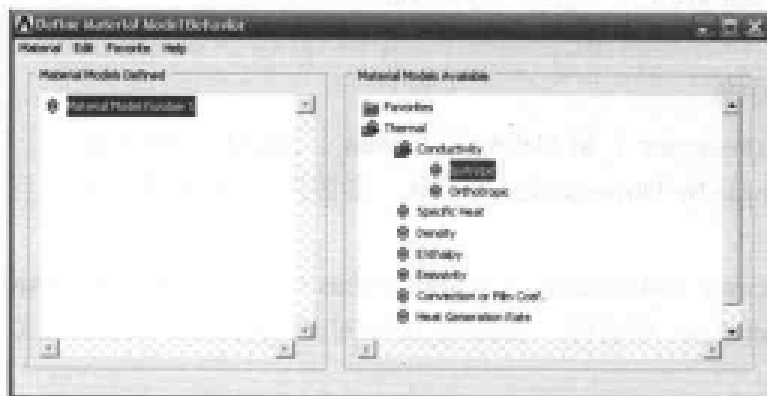


图 10-4 定义材料模型参数对话框

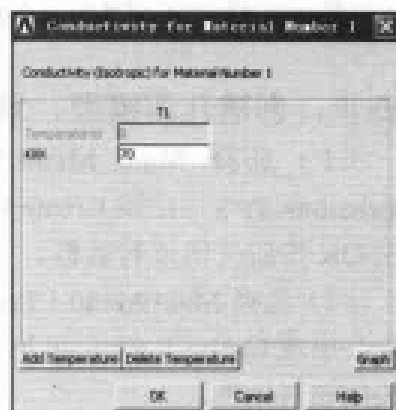


图 10-5 输入导热系数对话框

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入钢的比热 448, 如图 10-6 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入钢的密度 7800, 如图 10-7 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

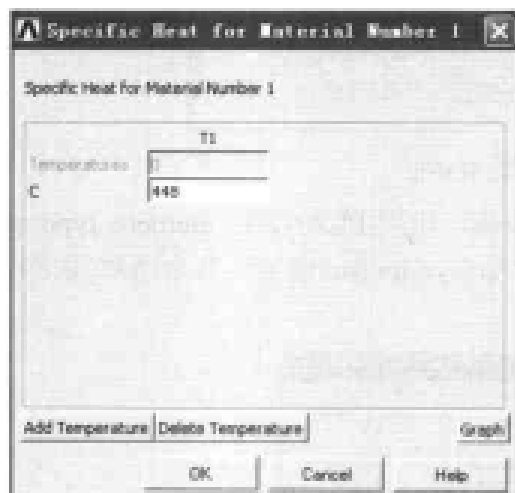


图 10-6 输入比热对话框

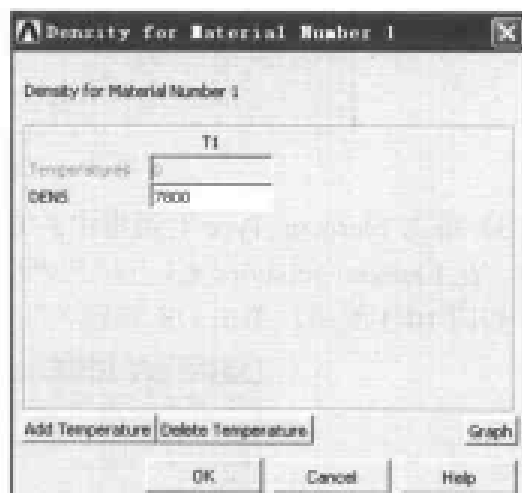


图 10-7 输入密度对话框

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在文本框中输入材料参考号 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入水的导热系数 0.61, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮, 出现 Specific Heat for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入水的比热 4185, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入水的密度 1000, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 10-8 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Circle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 10-9 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

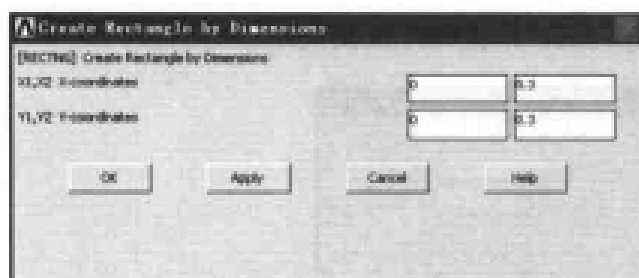


图 10-8 生成矩形面对话框

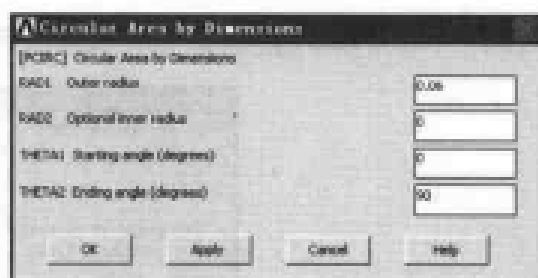


图 10-9 生成圆面对话框

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Overlap | Areas 命令, 出现 Overlap Areas 对话框, 单击 Pick All 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrls | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 All 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, ANSYS 窗口将显示所生成的几何模型, 如图 10-10 所示。

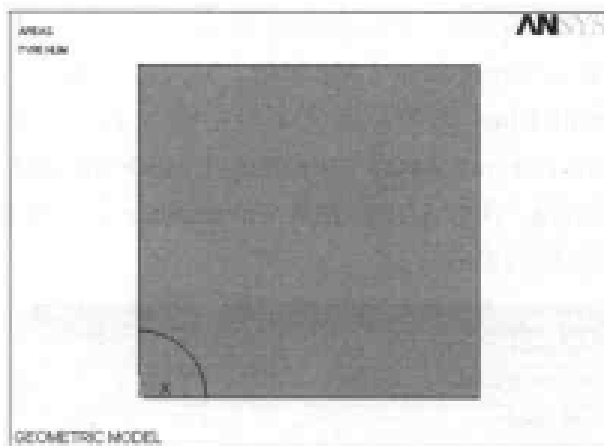


图 10-10 生成的几何模型结果显示

(7) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 4, 5, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 30, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 0.1, 如图 10-11 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 6, 7, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元

个数 32，在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 0.1，单击 OK 按钮关闭该对话框。

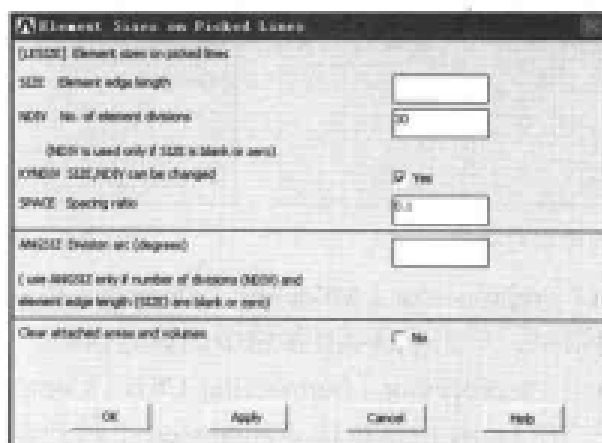


图 10-11 设置单元个数对话框

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令，出现 Element Size on 菜单，在文本框中输入 3，单击 OK 按钮，出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框，在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 30，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Volumes | Mapped | Concatenate | Lines 命令，出现 Concatenate Lines 菜单，在文本框中输入 2，1，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令，出现 Meshing Attributes 对话框，在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 1，如图 10-12 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

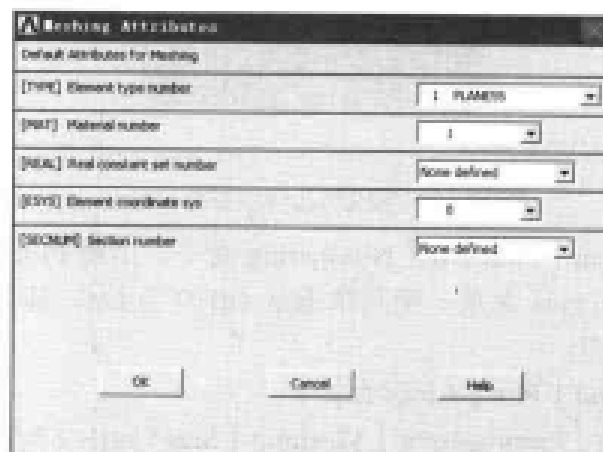


图 10-12 网格划分属性设置对话框

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令，出现 MeshTool 菜单，在 Shape 选项组中选中 Quad 和 Mapped 单选按钮，单击 Mesh 按钮，出现 Mesh Areas 菜单，在文本框中输入 1，单击 OK 按钮关闭该菜单。

提示：一定要选中 Mapped，否则程序默认为自由网格划分。

(16) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(17) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在第 2 个下拉列表框中选择 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 菜单, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(19) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示网格划分结果, 如图 10-13 所示。

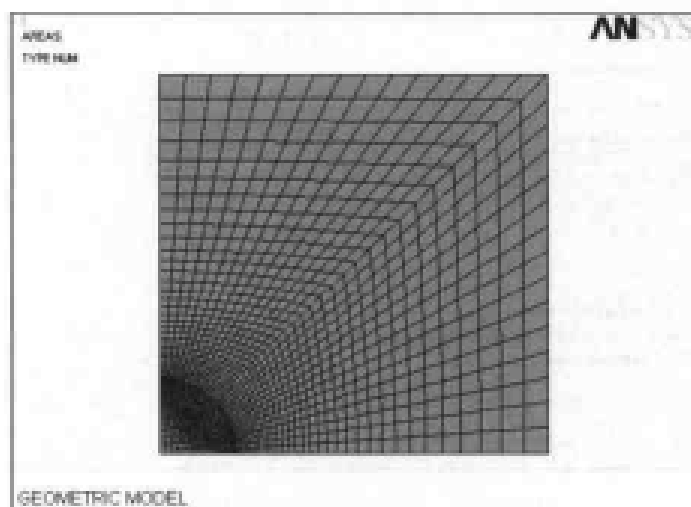


图 10-13 网格划分结果显示

(21) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database 文本框中输入 exercise11.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Transient, 如图 10-14 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 在 [TRNOPT] Solution method 选项组中选中 Full 单选按钮, 如图 10-15 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

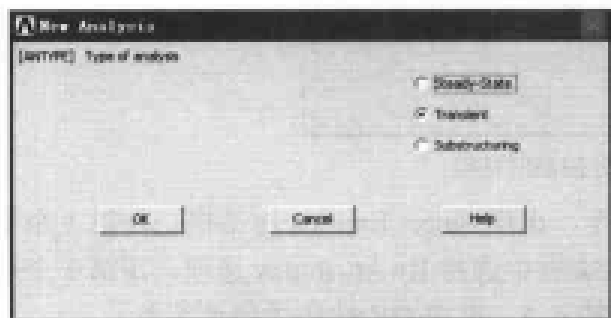


图 10-14 指定分析类型对话框

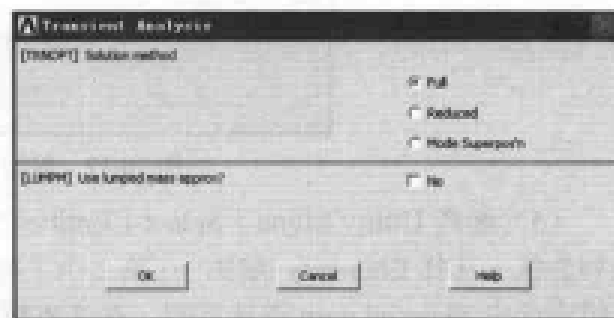


图 10-15 瞬态分析选项设置对话框

(2) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(3) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step 命令, 出现 Time and Time Step Options 对话框, 参照图 10-16 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

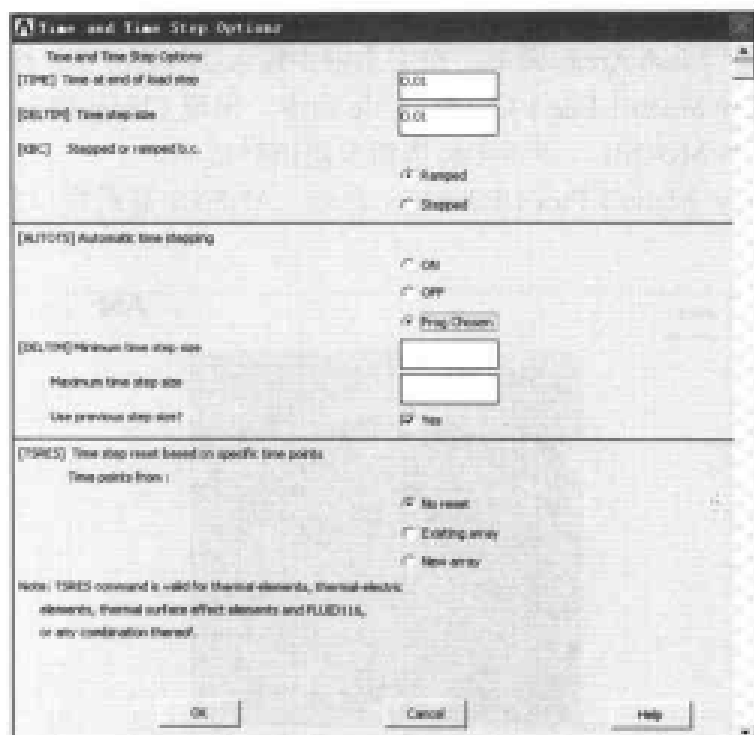


图 10-16 时间和步长设置对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration | Amplitude Decay 命令, 出现 Time Integration Controls 对话框, 参照图 10-17 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

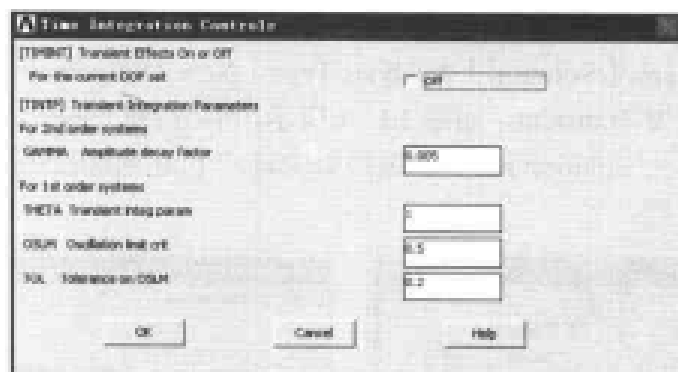


图 10-17 时间积分控制对话框

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选中 Material num 单选按钮, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组

中选中 Elements 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在文本框中输入 900, 如图 10-18 所示。单击 OK 按钮关闭该对话框。

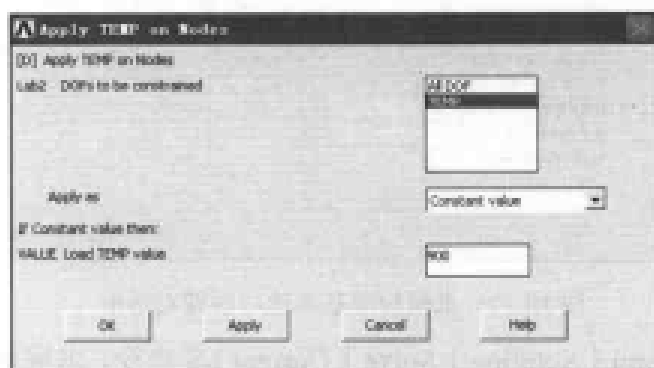


图 10-18 施加温度载荷对话框

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(9) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选中 Material num 单选按钮, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Elements 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在文本框中输入 20, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(13) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(14) 求解结束后, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration | Amplitude Decay 命令, 出现 Time Integration Controls 对话框, 将 TIMINT 选项设置为 On, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 10-19 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Delete | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Delete TEMP on N 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Delete Node Constraints 对话框。在下拉列表框中选择 TEMP 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

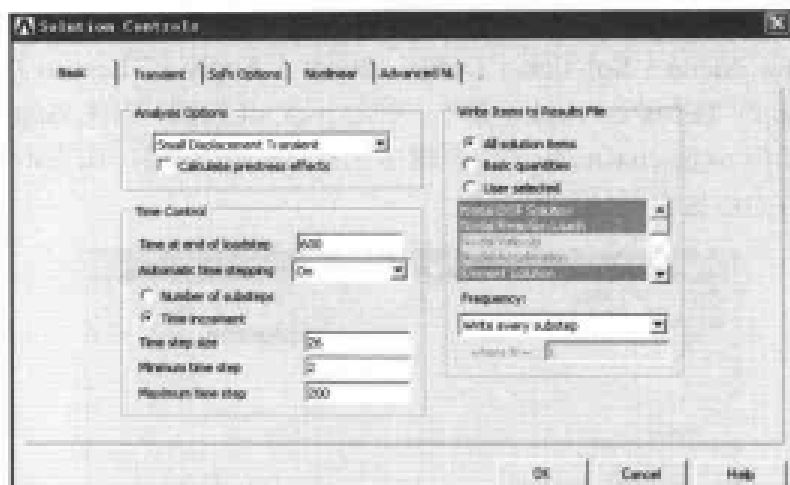


图 10-19 求解控制基本选项设置对话框

(18) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(19) 求解结束后, 出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise12.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选 Material num 单选按钮, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Elements 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示钢球内部温度场等值线图, 如图 10-20 所示。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选 Material num 单选按钮, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Elements 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示水内部温度场等值线图, 如图 10-21 所示。

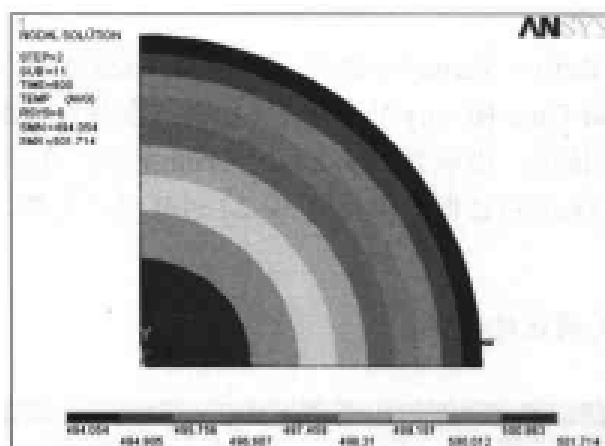


图 10-20 10 分钟后钢球内部温度场分布等值线图

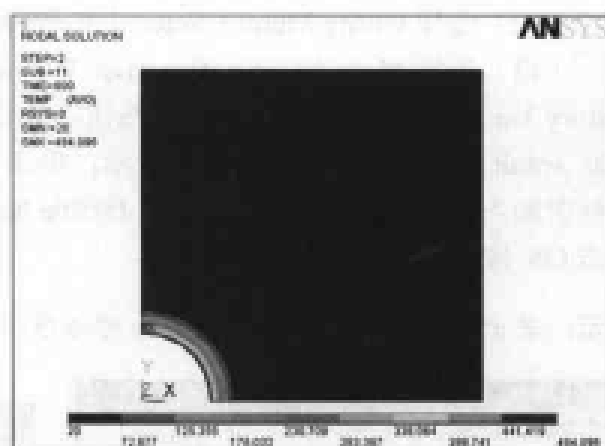


图 10-21 10 分钟后水内部温度场分布等值线图

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 参照图 10-22 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

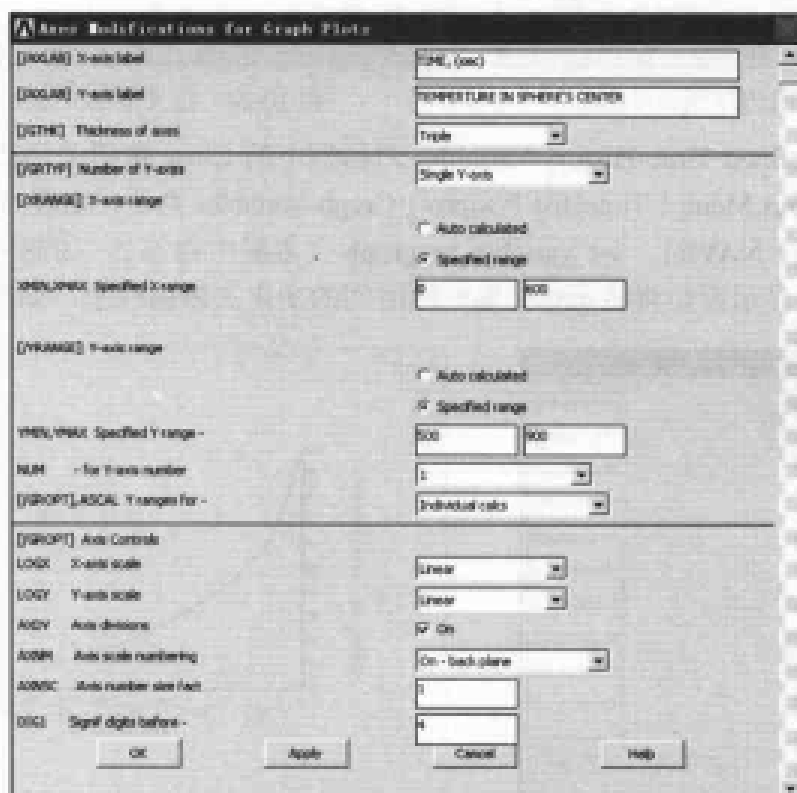


图 10-22 坐标轴设置对话框

(10) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在[/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(13) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 如图 10-23 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 参照图 10-24 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 若出现 Time History Variables 对话框, 可关闭该对话框。

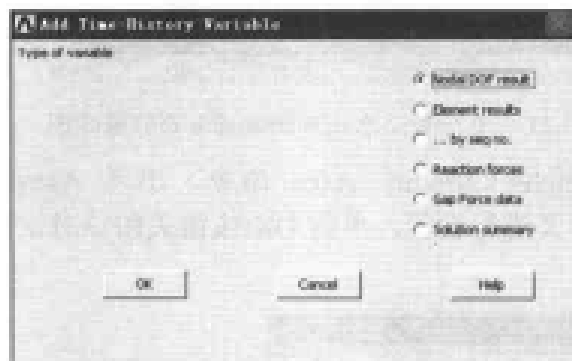


图 10-23 添加时间历程变量对话框

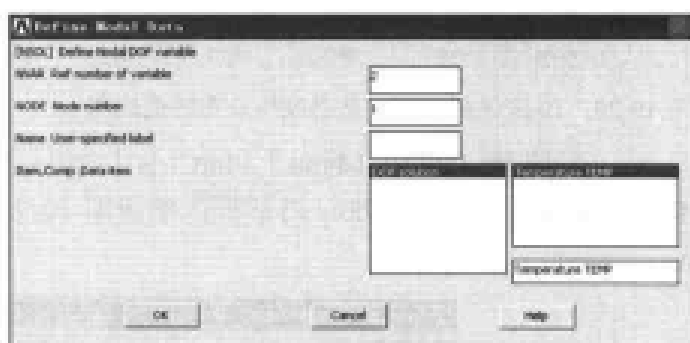


图 10-24 定义节点数据对话框

(14) 单击 Defined Time-History Variables 对话框中的 Close 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NAVR1 1st variable to graph 文本框中输入 2, 如图 10-25 所示, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示球心温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-26 所示。

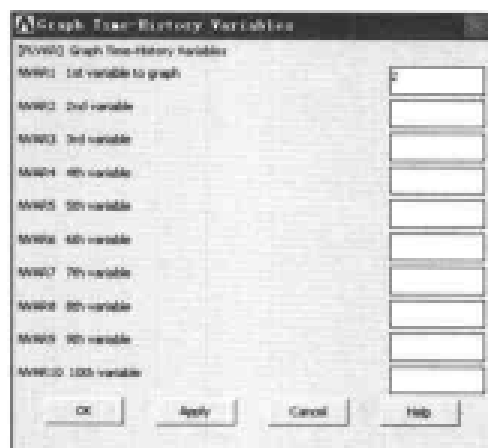


图 10-25 曲线显示时间历程变量对话框

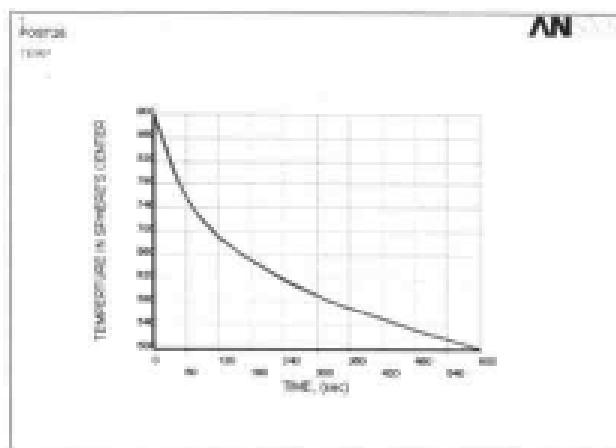


图 10-26 球心温度随时间的变化关系曲线图

(16) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```
/FILNAME, EXERCISE1
```

! 定义工作文件名

```
/TITLE, TRANSIENT THERMAL ANALYSIS TO A SPHERE
```

! 定义工作标题

KEYW, PR_THERM, 1	! 指定分析类型为热分析
/PREP7	! 进入前处理器
ET, 1, PLANE55	! 定义单元类型
KEYOPT, 1, 3, 1	! 定义单元关键字
MP, KXX, 1, 70	! 输入钢的导热系数
MP, DENS, 1, 7800	! 输入钢的密度
MP, C, 1, 448	! 输入钢的比热
MP, KXX, 2, 0.61	! 输入水的导热系数
MP, DENS, 2, 1000	! 输入水的密度
MP, C, 2, 4185	! 输入水的比热
RECTNG, 0, 0.3, 0, 0.3	! 生成矩形面
PCIRC, 0.060, 0, 0, 90	! 生成 1/4 圆面
AOVERLAP, ALL	! 面追加操作
NUMCMP, AREA	! 压缩面编号
NUMCMP, LINE	! 压缩线段编号
/TITLE, GEOMETRIC MODEL	
APLOT	! 显示面
MSHAPE, 0, 2D	! 设置单元形状
MSHKEY, 1	
LPLLOT	! 显示线段
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
/PNUM, AREA, 1	! 显示面编号
/REPLOT	
LSEL, S, LINE, , 4, 5	! 选择线段 4、5
LESIZE, ALL, , , 30, 0.1	! 设置单元数量
LSEL, S, LINE, , 6, 7	! 选择线段 6、7
LESIZE, ALL, , , 32, 0.1	
LSEL, S, LINE, , 3	! 选择线段 3
LESIZE, ALL, , , 30	
ALLSEL	! 选择所有的点、线、面
LCCAT, 2, 1	! 将线段 1、2 连接在一起
MAT, 1	! 选择材料参考号为 1
AMESH, 1	! 对面 1 进行网格划分
MAT, 2	! 选择材料参考号为 2
AMESH, 2	! 对面 2 进行网格划分
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL	
EPLOT	! 显示单元
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, TRANS	! 设置分析类型为瞬态分析
TIMINT, OFF	! 先作稳态分析, 确定初始条件
TIME, 0.01	! 指定计算终止时间
DELTIM, 0.01	! 指定时间步长
ESEL, S, MAT, , 1	! 选择材料参考号为 1 的所有单元
NSLE, S	! 选择单元上的所有节点
D, ALL, TEMP, 900	! 施加温度载荷
ESEL, S, MAT, , 2	! 选择材料参考号为 2 的所有单元

热分析教程与实例解析

```
NSLE, S                                ! 选择单元上的所有节点
D, ALL, TEMP, 20
ALLSEL
SOLVE                                  ! 进行求解, 得到初始温度分布
TIMINT, ON                             ! 打开时间积分选项, 进行瞬态分析
TIME, 600                              ! 设置计算终止时间
DELTIM, 26, 2, 200                    ! 设置时间步长
AUTOTS, ON                             ! 打开自动时间步长
DDELE, ALL, TEMP                       ! 删除稳态分析中定义的节点温度
OUTRES, , ALL
SOLVE                                  ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                                 ! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST                             ! 读取求解结果
ESEL, S, MAT, , 1
NSLE, S
PLNSOL, TEMP                           ! 绘制温度场等值线图
ALLSEL
ESEL, S, MAT, , 2
NSLE, S
PLNSOL, TEMP                           ! 绘制温度场等值线图
ALLSEL
FINISH

/POST26                                ! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)                 ! 指定 X 轴标题
/AXLAB, Y, TEMPERATURE IN SPHERE'S CENTER ! 指定 Y 轴标题
/GTHK, AXIS, 3                         ! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3                        ! 指定曲线粗度
/COLOR, CURVE, MRD, 1                  ! 设置曲线显示颜色
/REPLOT
/XRANGE, 0, 600                        ! 指定 X 坐标轴显示范围
/YRANGE, 500, 900                     ! 指定 Y 坐标轴显示范围
NSOL, 2, 1, TEMP                       ! 定义变量 2
PLVAR, 2                               ! 绘制钢球中心点温度随时间变化规律曲线
FINISH
/EXIT, ALL                             ! 退出 ANSYS
```

10-2 实例 2——型材瞬态传热过程分析

10-2-1 问题描述

有一横截面为矩形的各向异性型材, 如图 10-27 所示。其初始温度为 500°C , 现突然将其置于温度为 20°C 的空气中, 求 1 分钟后该型材的温度场分布及其中心温度随时间的变化规律, 材料性能参数如表 10-2 所示。

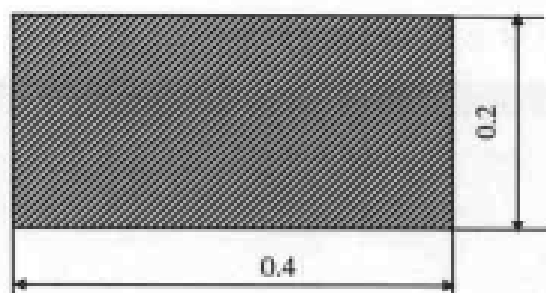


图 10-27 型材横截面示意图

表 10-2 材料性能参数

密度 ρ kg/m^3	导热系数 K_{XX} $\text{W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$	导热系数 K_{YY}, K_{ZZ} $\text{W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$	比热 C $\text{J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$	对流系数 $\text{W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$
2400	30	10	352	110

10-2-2 问题分析

该问题属于瞬态热传导问题。由于材料沿长度方向的尺寸远大于其他两个方向上的尺寸，将其简化为平面应变问题。在分析过程中取型材横截面的 1/4 建立几何模型。

10-2-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 TRANSIENT TEMP. DISTRIBUTION IN AN ORTHOTROPIC METAL BAR，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Orthotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在文本框中输入材料导热系数 30、10、

10, 如图 10-28 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

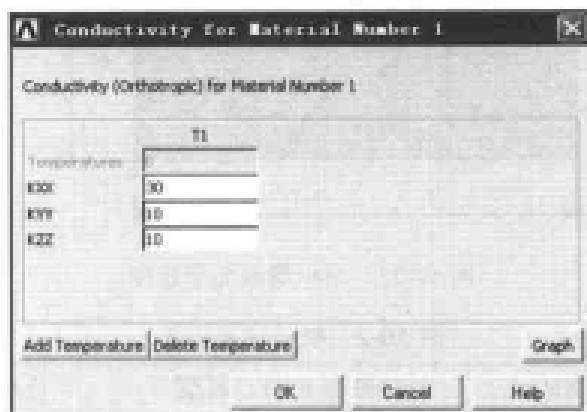


图 10-28 输入材料导热系数对话框

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入材料比热 352, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入材料密度 2400, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 10-29 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

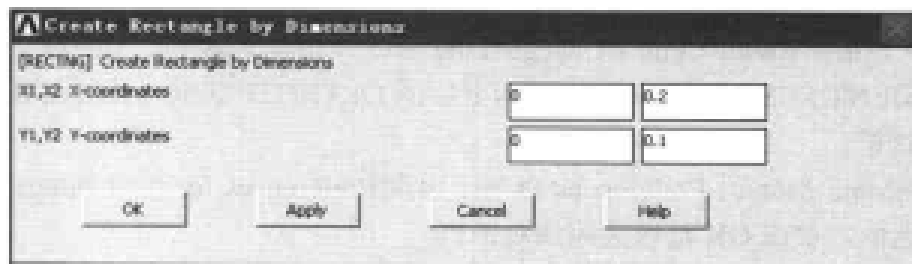


图 10-29 生成矩形面对话框

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 50, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 0.2, 如图 10-30 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 线段上单元尺寸逐渐变小。

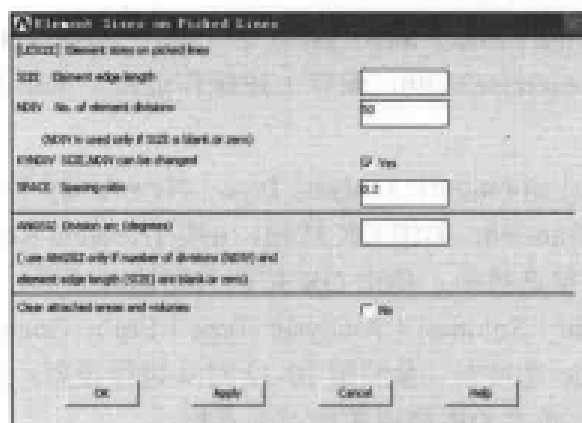


图 10-30 设置单元个数对话框

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 Element Size on 菜单上的 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 50, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 5, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 Element Size on 菜单上的 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 30, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 0.2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 Element Size on 菜单上的 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 30, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 5, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 菜单, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示网格划分结果, 如图 10-31 所示。

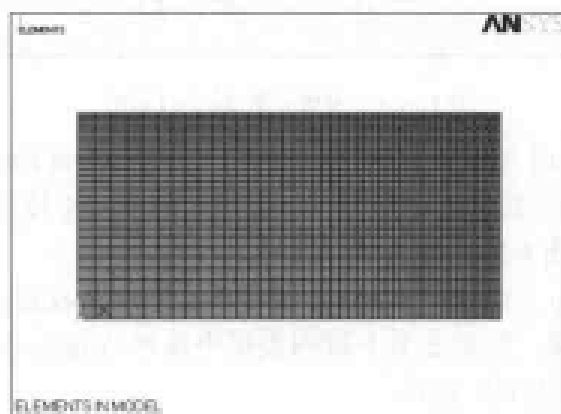


图 10-31 网格划分结果显示

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise21.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient。单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 在 Solution method 选项组中选中 Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 10-32 对其进行设置; 选择 Transient 选项卡, 参照图 10-33 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

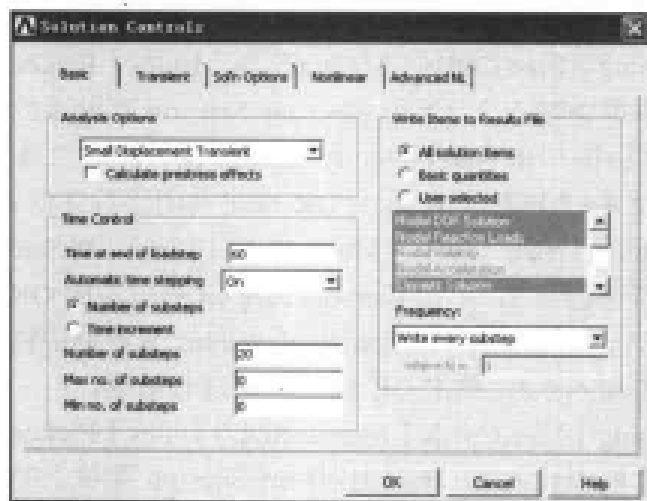


图 10-32 求解基本选项设置对话框

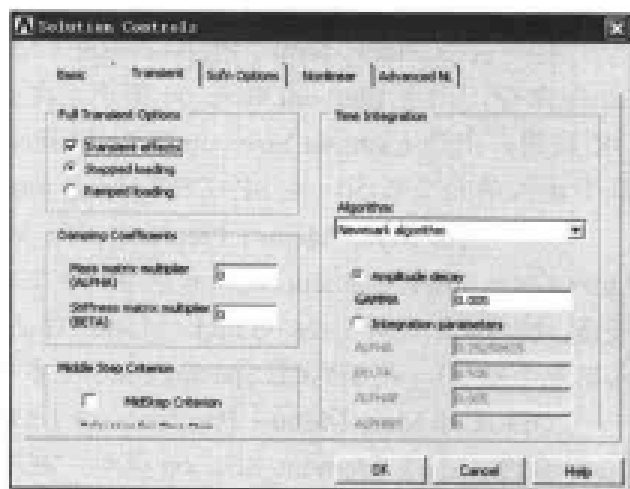


图 10-33 求解瞬态选项设置对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在文本框中输入 500, 如图 10-34 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

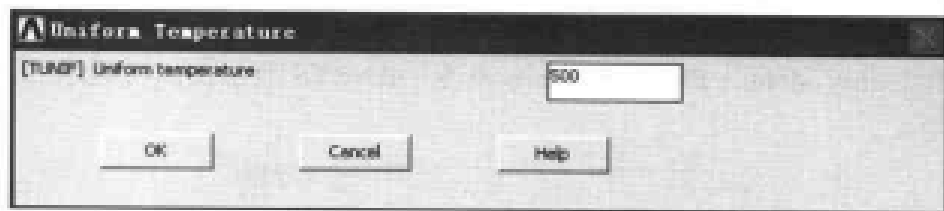


图 10-34 设置初始温度对话框

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 2, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines 单选按钮, 单击 OK 按钮。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply CONV on nodes 对话框。参照图 10-35 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

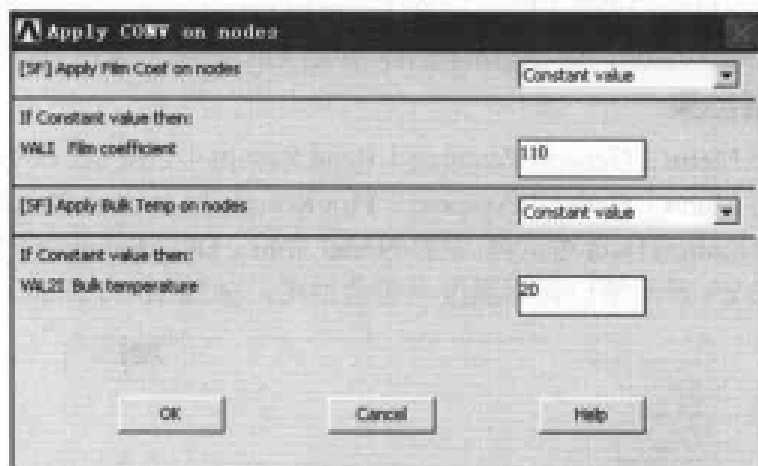


图 10-35 施加对流载荷对话框

(7) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(8) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options 命令, 出现 Full Transient Analysis 对话框。在 Equation solver 下拉列表框中选择 JCG out-of-core 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 10-36 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

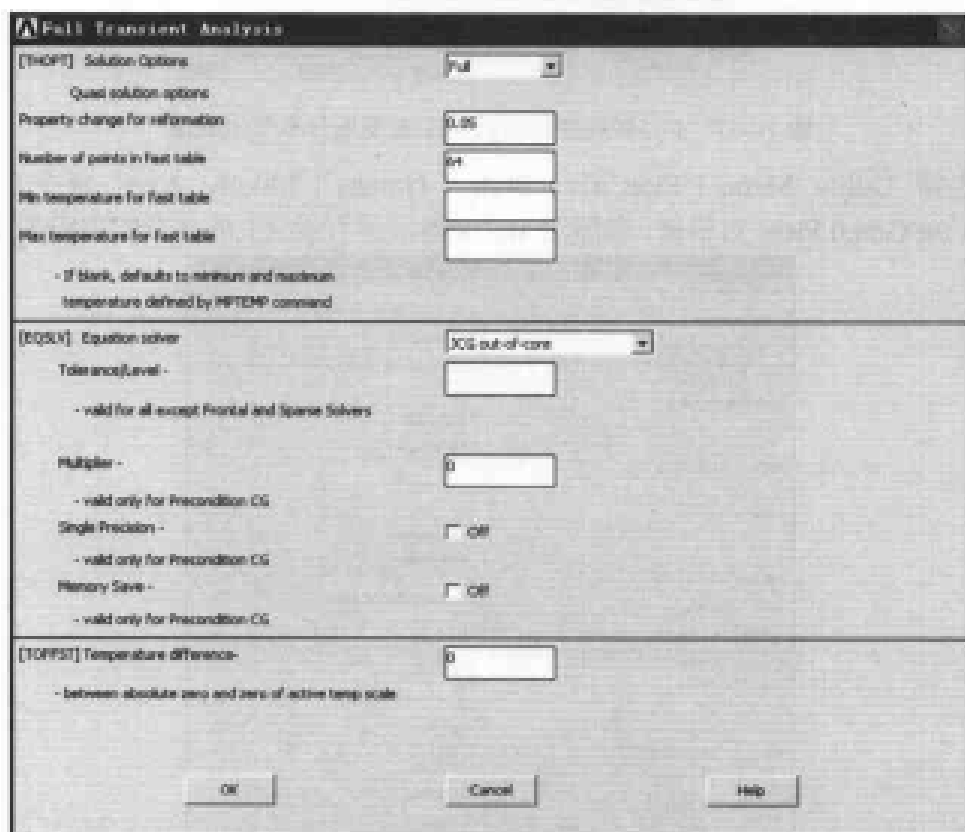


图 10-36 瞬态分析选项设置对话框

(9) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令，出现 Solve Current Load Step 对话框，单击 OK 按钮，ANSYS 开始求解计算。

(10) 求解结束后，ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框，单击 Close 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令，出现 Save Database 对话框，在 Save Database to 文本框中输入 exercise22.db，保存求解结果，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步：查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图，如图 10-37 所示。

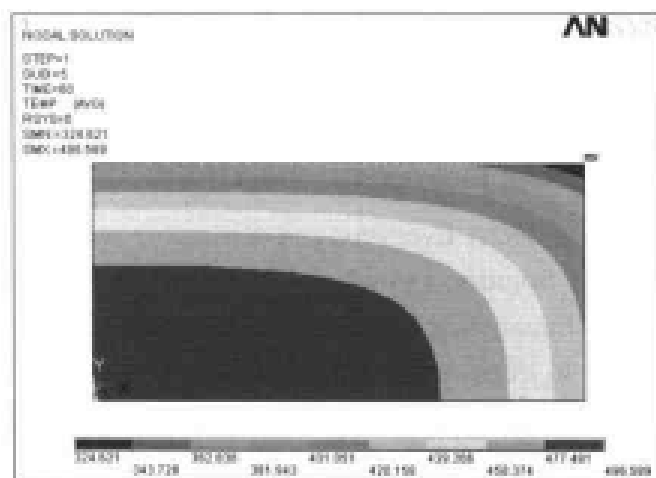


图 10-37 1 分钟后型材横截面上温度场分布等值线图

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令，出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框，参照图 10-38 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

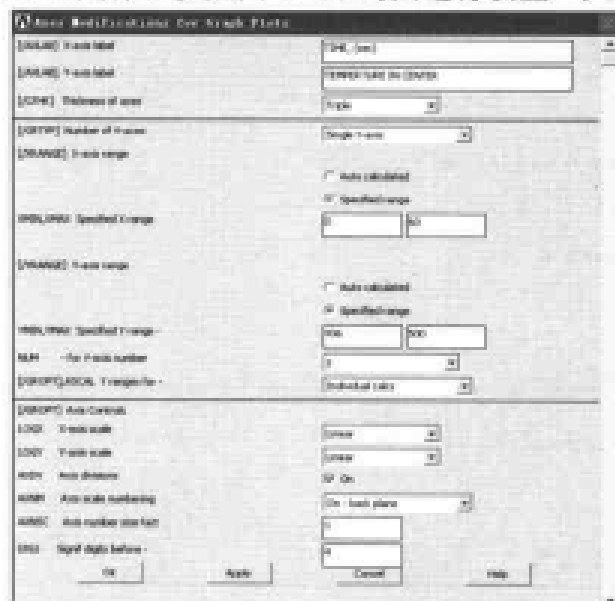


图 10-38 坐标轴设置对话框

(4) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 Add Time-History Variable 对话框上的 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 参照图 10-39 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

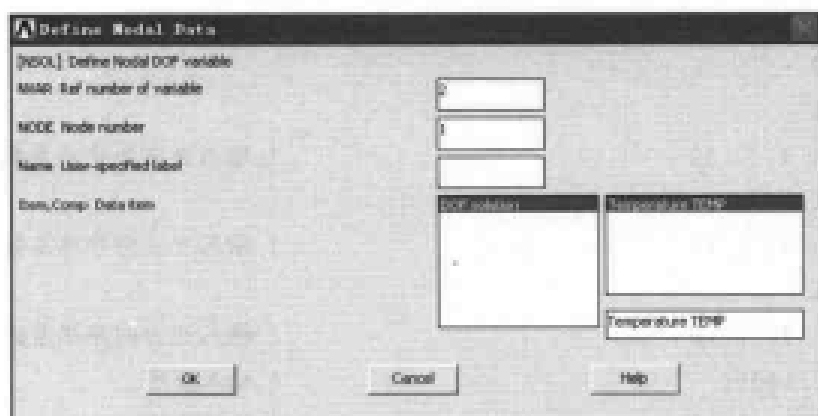


图 10-39 定义节点数据对话框

(7) 单击 DDefined Time-History Variables 对话框中的 Close 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NAVR1 1st variable to graph 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示型材横截面中心温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-40 所示。

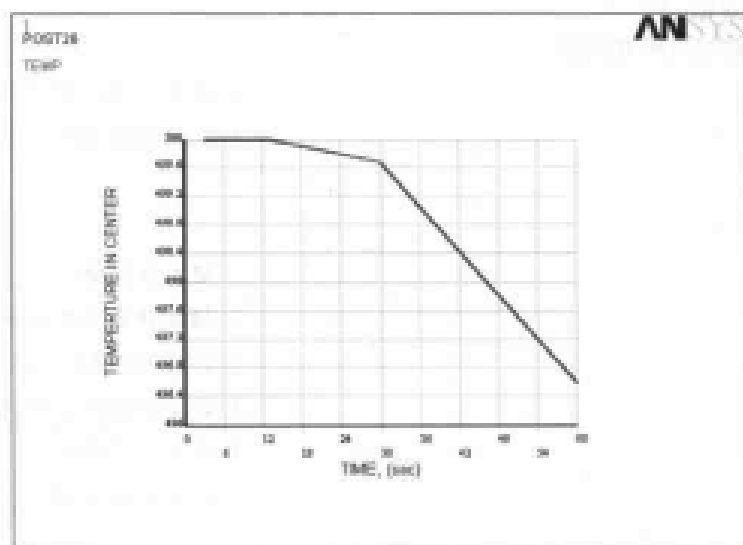


图 10-40 型材横截面中心温度随时间的变化关系曲线图

热分析教程与实例解析

(9) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```
/FILENAME, EXERCISE2                ! 定义工作文件名
/TITLE, TRANSIENT TEMPERATURE. DISTRIBUTION IN AN ORTHOTROPIC METAL BAR
                                         ! 定义工作标题

KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7                                ! 进入前处理器
SMRT, OFF                              ! 关闭自动网格划分
ET, 1, PLANE55                         ! 指定单元类型
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0
MPDE, KXX, 1
MPDATA, KXX, 1, , 30                  ! 输入 X 方向导热系数
MPDE, KYY, 1
MPDATA, KYY, 1, , 10                  ! 输入 Y 方向导热系数
MPDE, KZZ, 1
MPDATA, KZZ, 1, , 10                  ! 输入 Z 方向导热系数
MP, DENS, 1, 2400                      ! 输入密度
MP, C, 1, 352                          ! 输入比热

RECTNG, 0, 0.2, 0, 0.1                ! 生成矩形面
LESIZE, 1, , , 50, 0.2                ! 指定单元数量
LESIZE, 3, , , 50, 5
LESIZE, 2, , , 30, 0.2
LESIZE, 4, , , 30, 5
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL
AMESH, 1                               ! 对面 1 进行网格划分
ALLSEL                                 ! 选择所有的点、线、面
FINISH

/SOLU                                  ! 进入求解器
ANTYPE, TRANS                          ! 指定分析类型为瞬态分析
TIMINT, ON                             ! 打开时间积分选项
TIME, 60                               ! 定义计算终止时间
NSUBST, 20                             ! 定义计算子步数
AUTOTS, ON                             ! 打开自动时间步长
OUTRES, , ALL
BFUNIF, TEMP, 500                      ! 施加均匀温度载荷
```


KBC, 1	! 设定加载方式
LSEL, S, , , 2, 3	! 选择线段 2、3
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
SF, ALL, CONV, 110, 20	! 施加对流载荷
ALLSEL	
EQSLV, JCG	! 选择 JCG 求解器
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取求解结果
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场分布等值线图
FINISH	
/POST26	! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)	! 指定 X 轴标题
/AXLAB, Y, TEMPERATURE IN CENTER	! 指定 Y 轴标题
/GTHK, AXIS, 3	! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3	! 指定曲线粗度
/COLOR, CURVE, MRED, 1	! 设置曲线显示颜色
/REPlot	
/XRANGE, 0, 60	! 设置 X 坐标轴显示范围
/YRANGE, 496, 500	! 设置 Y 坐标轴显示范围
NSOL, 2, 1, TEMP	! 定义变量 2
PLVAR, 2	! 绘制型材中心点温度随时间变化规律曲线
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

10-3 实例 3——平板承受热载荷

10-3-1 问题描述

有一无限大平板，厚度为 1ft，初始温度为 T_0 ，施加表面温度载荷 T_s 和生热率载荷 q ，如图 10-41 所示，求 6 分钟后平板的温度场分布，材料性能参数及载荷如表 10-3 所示。

表 10-3 材料性能参数及载荷

密度 ρ lb/ft ³	导热系数 KX Btu/(hr·ft·°F)	比热 C Btu/(lb·°F)	初始温度 T_0 °F	温度载荷 T_s °F	生热率 q Btu/(hr·ft ³)
480	120	0.35	68	32	3e4

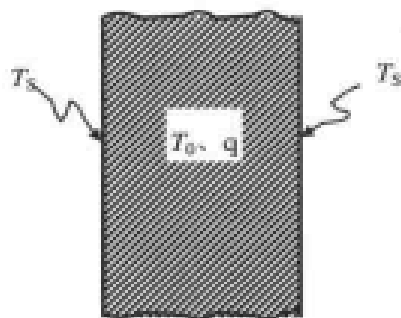


图 10-41 大平板承载示意图

10-3-2 问题分析

该问题属于瞬态热分析问题。在计算过程中取平板表面至中心的一段线段作为几何模型，并选用 LINK32 单轴热传导单元进行求解。

提示：ANSYS 在求解瞬态热分析问题，初始时间步长一般应选为 $\delta^2/4\alpha$ ，其中 δ 为单元长度， α 为热扩散率， $\alpha = k/\rho c$ 。

10-3-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 THERMAL RESPONSE OF A HEAT GENERATING SLAB，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中选择 Thermal Link、2D conduction 32 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 10-42 所示，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

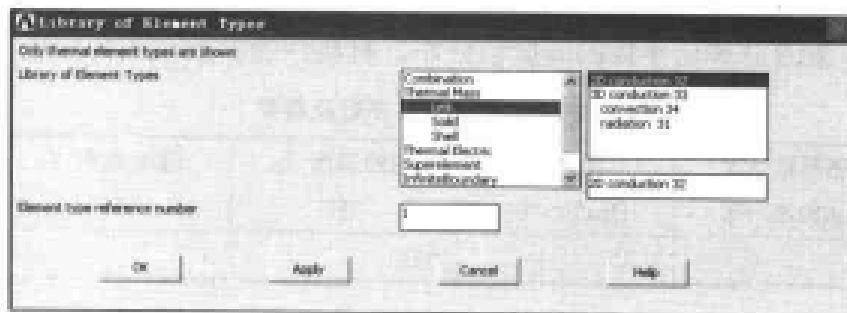


图 10-42 单元类型列表对话框

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Real Constants | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Real Constants 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Element Type for R 对话框, 单击 OK 按钮, 出现 Real Constant Set Number 1, for LINK32 对话框, 在文本框中输入 1, 如图 10-43 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

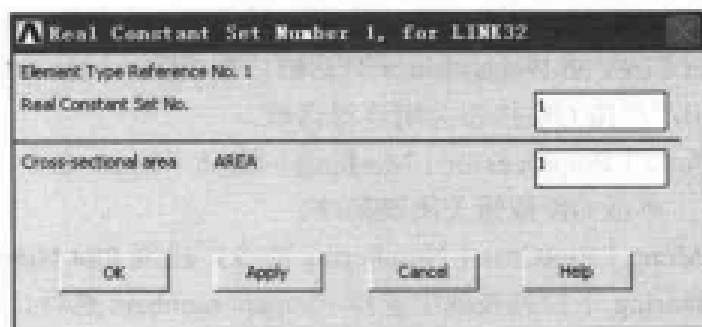


图 10-43 LINK32 单元实常数设置对话框

(5) 单击 Real Constants 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入材料导热系数 120, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入材料比热 0.35, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入材料密度 480, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框, 参照图 10-44 对其进行设置。

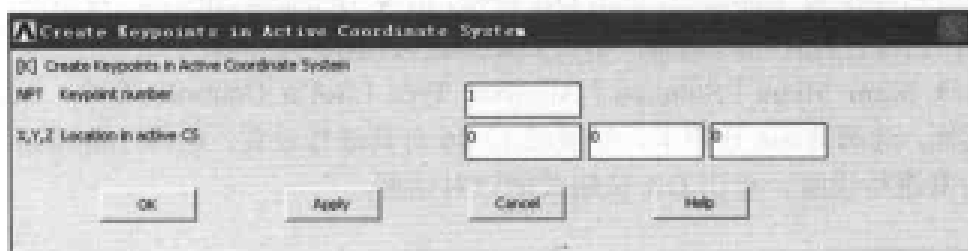


图 10-44 生成关键点对话框

热分析教程与实例解析

(2) 单击 Apply 按钮, 在文本框中依次输入 2、0.5、0、0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令, 出现 Lines in Active 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 Element Size on 菜单上的 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 10, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Lines 命令, 出现 Mesh Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 在 Elem/Attrib numbering 下拉列表框中选择 Element numbers 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令, ANSYS 显示窗口将显示所生成的单元及单元编号, 如图 10-45 所示。

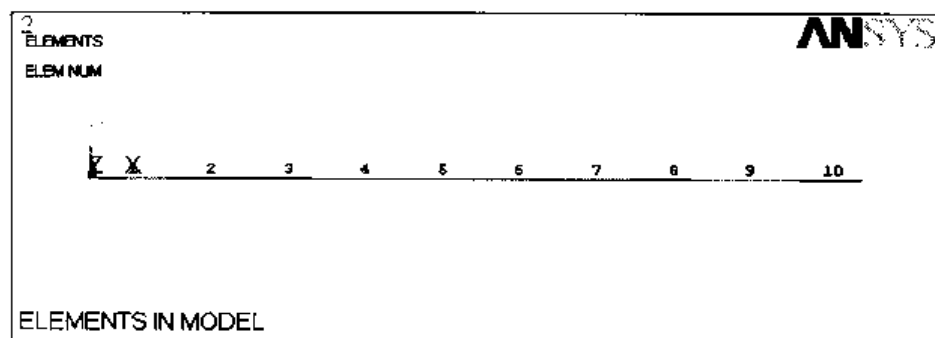


图 10-45 生成的有限元模型结果显示

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise31.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 在 Solution method 选项组中选中 Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 10-46 对其进行设置, 选择 Transient 选项卡, 参照图 10-47 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

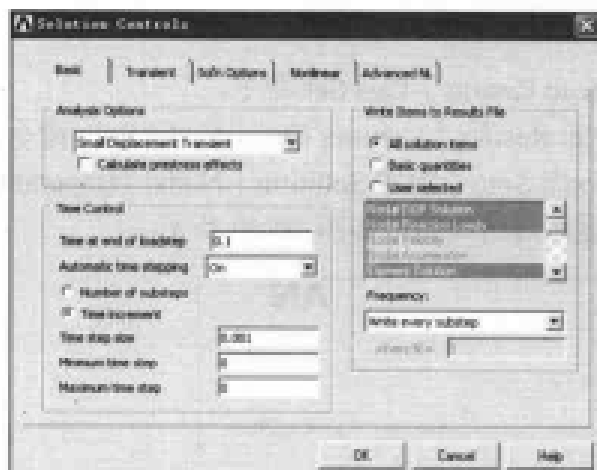


图 10-46 求解控制基本选项设置对话框

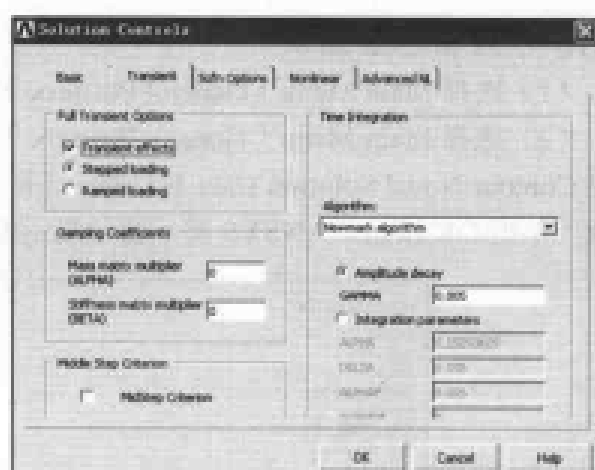


图 10-47 求解控制瞬态选项设置对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在文本框中输入 68, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在文本框中输入 32, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Generat | On Nodes 命令, 出现 Apply HGEN on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply HGEN on nodes 对话框, 在文本框中输入 3E4, 如图 10-48 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

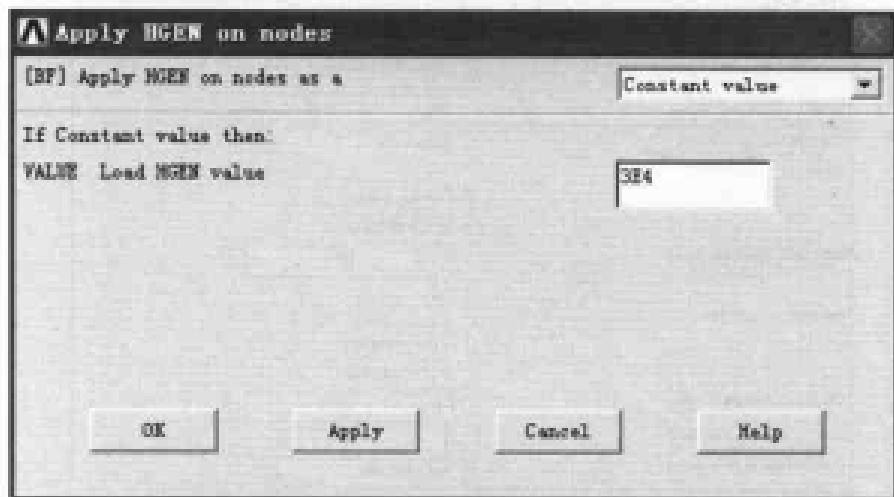


图 10-48 施加生热率载荷对话框

(6) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(7) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise32.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步：查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框，选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图，如图 10-49 所示。

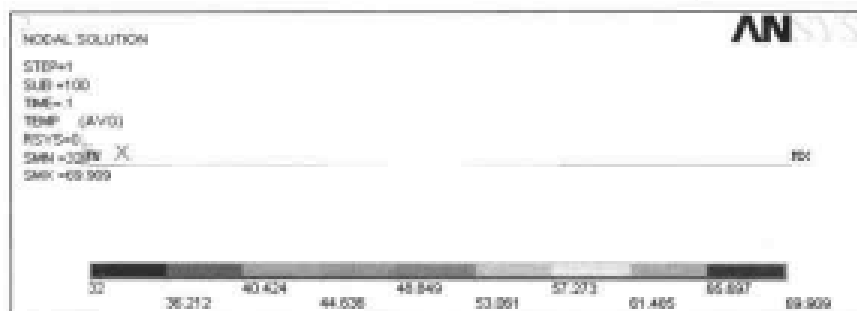


图 10-49 平板沿厚度方向温度场分布等值线图

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令，出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框，参照图 10-50 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Curves 命令，出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框，在[/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令，出现 Graph Colors 对话框，在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色，单击 OK 按钮关闭该对话框。

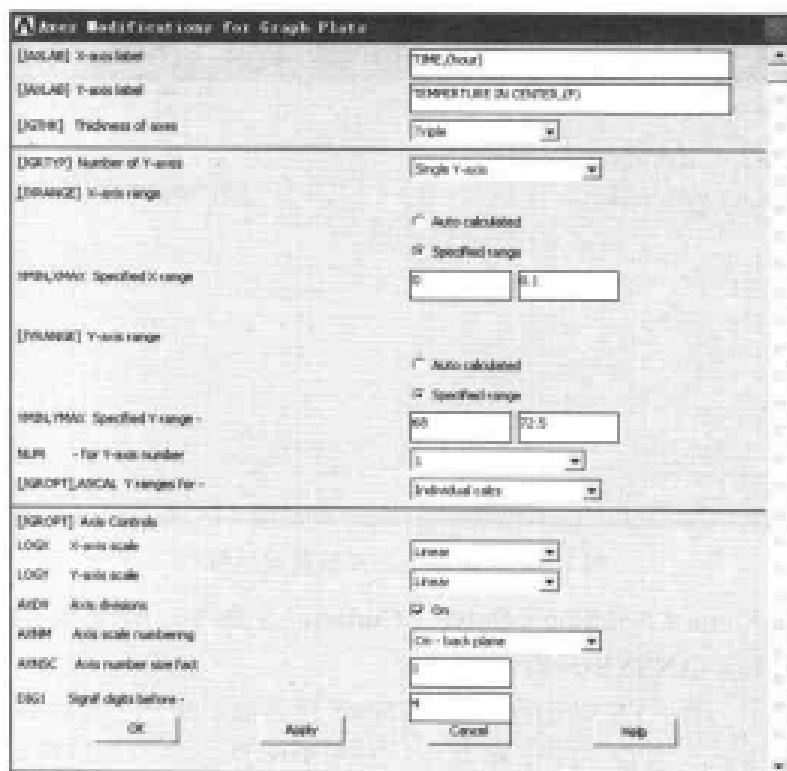


图 10-50 坐标轴选项设置对话框

(6) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 Add Time-History Variable 对话框上的 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 参照图 10-51 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

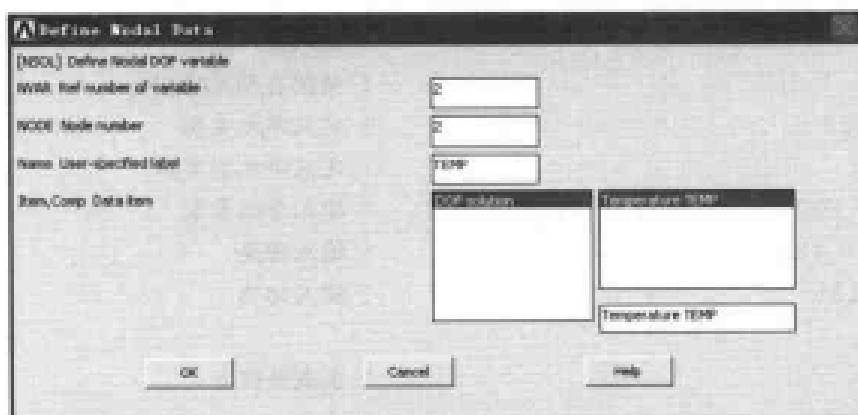


图 10-51 定义节点数据对话框

(7) 单击 Defined Time-History Variables 对话框中的 Close 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NAVR1 1st variable to graph 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示平板中心温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-52 所示。

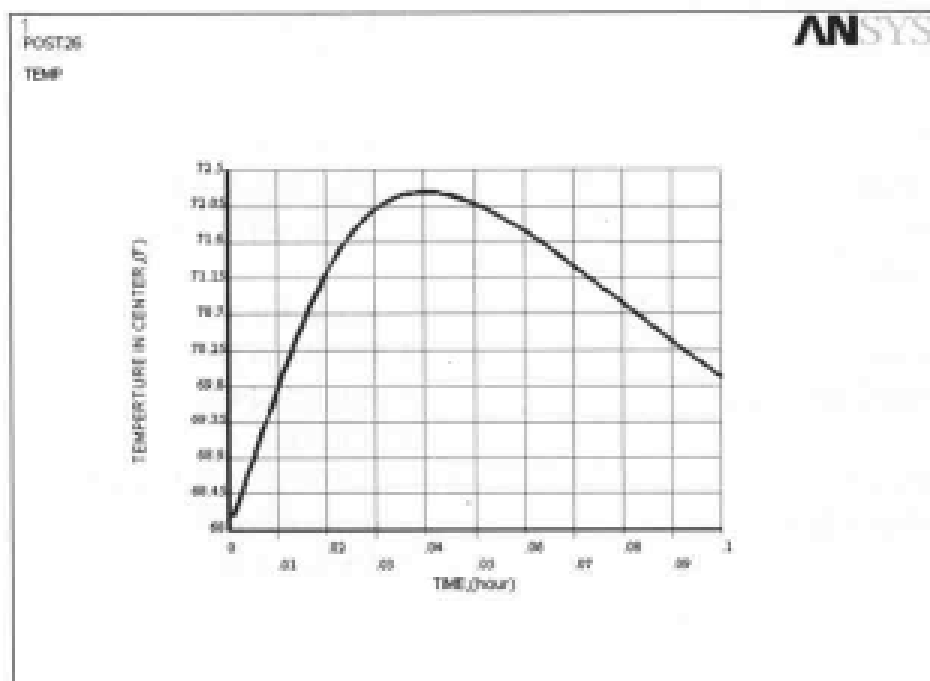


图 10-52 平板中心点温度随时间的变化关系曲线图

(9) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

热分析教程与实例解析

命令流文件

```
/FILENAME, EXERCISE3          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL RESPONSE OF A HEAT GENERATING SLAB
                                ! 定义工作标题

KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7                          ! 进入前处理器
SMRT, OFF                       ! 关闭自动网格划分
ET, 1, LINK32                   ! 定义单元类型
R, 1, 1                         ! 定义单元实常数
MP, KXX, 1, 120                 ! 输入导热系数
MP, DENS, 1, 480                ! 输入密度
MP, C, 1, 0.35                 ! 输入比热

K, 1                             ! 生成关键点
K, 2, 0.5
L, 1, 2                         ! 由关键点生成线段
LESIZE, 1, , , 10              ! 设置单元等份数
LMESH, 1                        ! 对线段进行网格划分
/PNUM, ELEM, 1                 ! 显示单元编号
/REPLOT
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL
EPLOT                           ! 显示单元
FINISH

/SOLU                           ! 进入求解器
ANTYPE, TRANS                   ! 指定分析类型为瞬态分析
AUTOTS, ON                      ! 打开自动时间步长
OUTRES, , ALL
TIME, 0.1                       ! 定义计算终止时间
DELTIM, 0.001                  ! 定义时间步长
BFUNIF, TEMP, 68               ! 施加均匀温度载荷
KBC, 1                          ! 设置加载方式
D, 1, TEMP, 32                 ! 在关键点 1 上施加温度载荷
BF, ALL, HGEN, 3E4             ! 施加生热率载荷
SOLVE                           ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                          ! 进入 POST1 后处理器
PLNSOL, TEMP                   ! 绘制温度场等值线图
FINISH

/POST26                         ! 进入 POST26 后处理器
```



```

/AXLAB, X, TIME, (hour)           ! 定义 X 坐标轴标题
/AXLAB, Y, TEMPERATURE IN CENTER, (°F) ! 定义 Y 坐标轴标题
/GTHK, AXIS, 3                     ! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3                   ! 指定曲线粗度
/COLOR, CURVE, MRD, 1             ! 设置曲线显示颜色
/REPLOT
/XRANGE, 0, 0.1                   ! 指定 X 坐标轴显示范围
/YRANGE, 68, 72.5                 ! 指定 Y 坐标轴显示范围
NSOL, 2, 2, TEMP                  ! 定义变量 2
PLVAR, 2                           ! 绘制平板中心点温度随时间的变化关系曲线
FINISH
/EXIT, ALL                         ! 退出 ANSYS

```

10-4 实例 4——半无限大体受线性变化的温度载荷

10-4-1 问题描述

有一半无限大体，初始温度为 T_0 ，在表面施加随时间呈线性变化的温度载荷 $T_s(t)$ ，如图 10-53 所示，求 2 分钟后体的温度场分布，材料性能参数及载荷如表 10-4 所示。

表 10-4 材料性能参数及载荷

密度 ρ lb/ft ³	导热系数 KX Btu/(hr·ft·°F)	比热 C Btu/(lb·°F)	初始温度 T_0 °F	温度载荷 T_s °F
500	10	0.2	0	$3600 \cdot t$

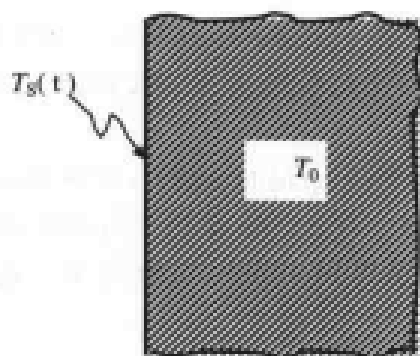


图 10-53 半无限大体承受热载荷

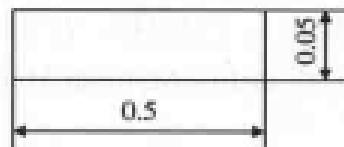


图 10-54 几何模型

10-4-2 问题分析

该问题属于瞬态热分析问题。对于半无限大体，温度仅沿厚度方向变化，选取自体表面向下深度为 0.5ft、宽度为 0.05ft 的矩形面建立几何模型，如图 10-54 所示，选用 PLANE55 单元进行求解。

10-4-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE4，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 THERMAL RESPONSE TO A LINEARLY RISING SURFACE TEMPERATURE，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在文本框中输入材料导热系数 10，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮，出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框，在文本框中输入材料比热 0.2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮，出现 Density for Material Number 1 对话框，在文本框中输入材料密度 500，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令，关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令，出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 10-55 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 LINE Line numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，其余选项均采用默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 10-55 生成矩形面对话框

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 10, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 4, 如图 10-56 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 线段上单元尺寸逐渐变大。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 10, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 0.25, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入单元个数 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 菜单, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示网格划分结果, 如图 10-57 所示。

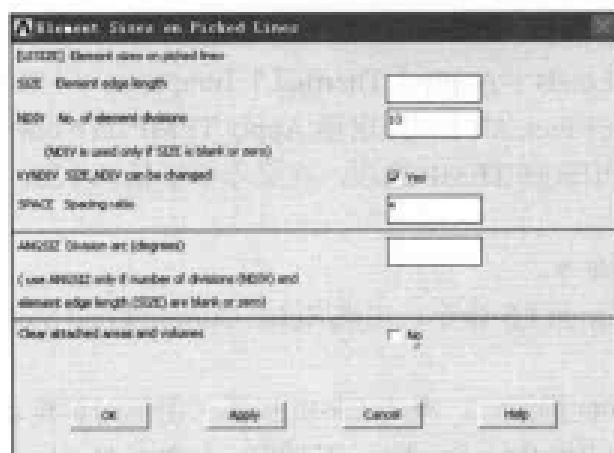


图 10-56 线段单元尺寸设置对话框

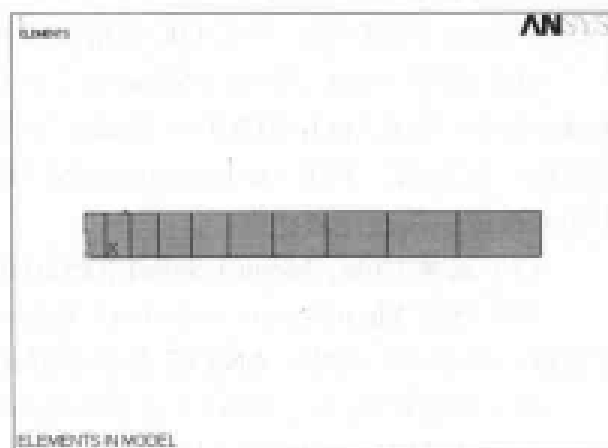


图 10-57 网格划分结果显示

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise41.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 在 Solution method 选项组中选中 Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 10-58 对其进行设置, 选择 Transient 选项卡, 参照图 10-59 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

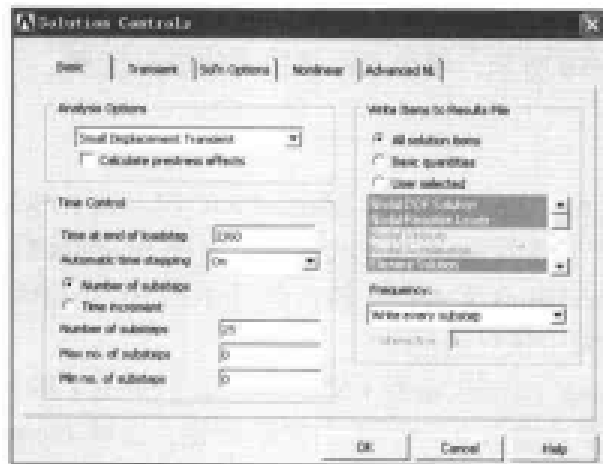


图 10-58 求解控制基本选项设置选项卡

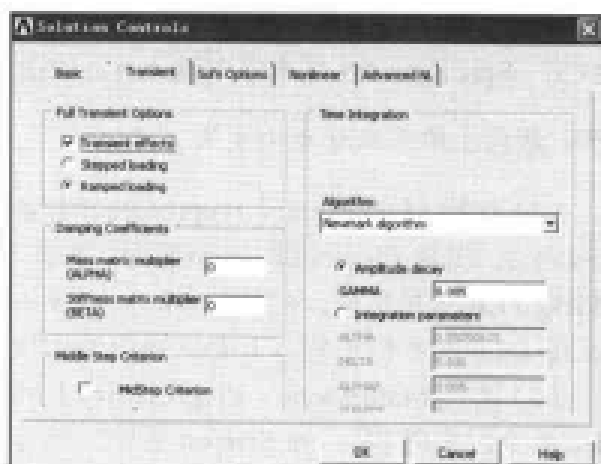


图 10-59 求解控制瞬态选项设置选项卡

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在文本框中输入 0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在文本框中输入 120, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(8) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(9) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise42.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步：查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示温度场等值线图，如图 10-60 所示。

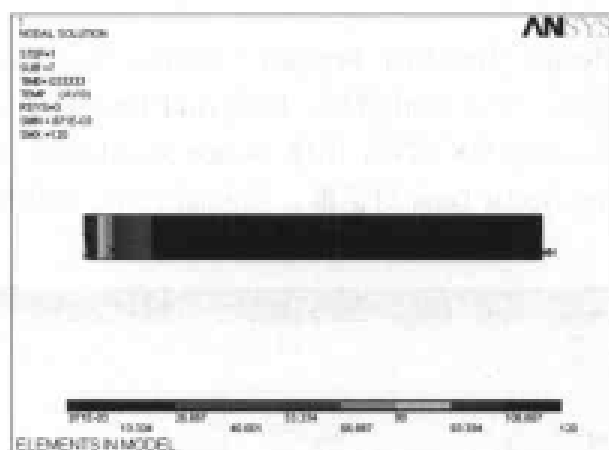


图 10-60 温度场分布等值线图

提示：从上图可以看出，在所建立的几何模型的右端，温度基本为 0，由此可见所建立的矩形面几何模型的长度选择是合理的。

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令，出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框，参照图 10-61 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

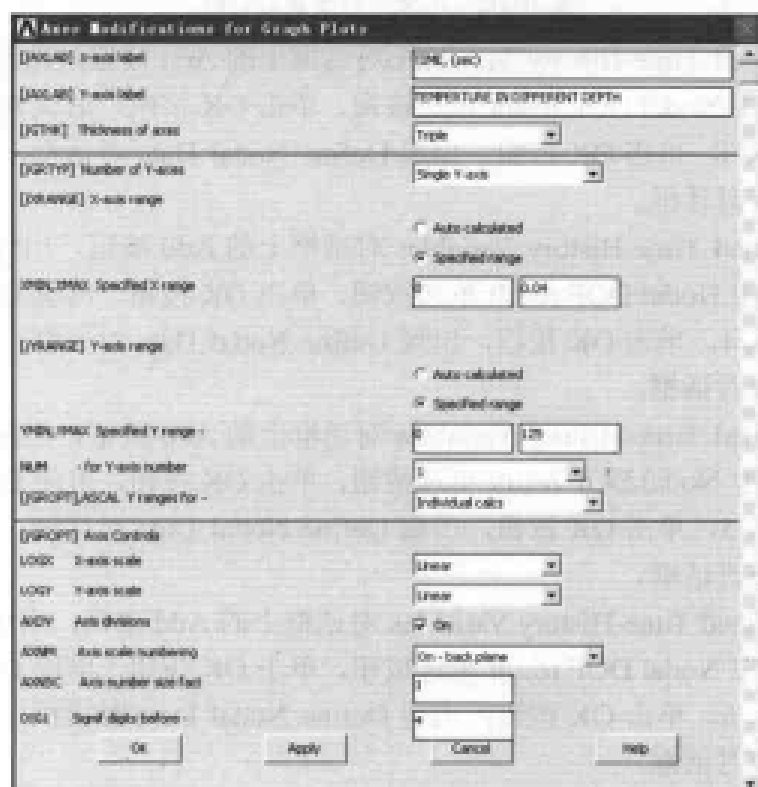


图 10-61 坐标轴选项设置对话框

(4) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选择 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 参照图 10-62 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

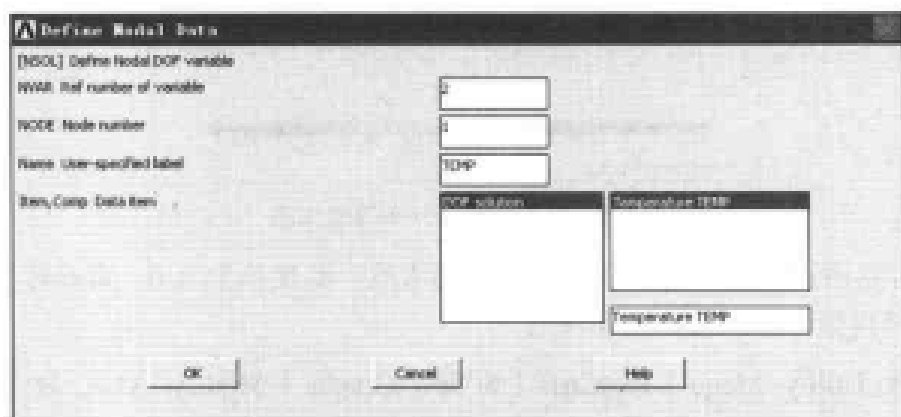


图 10-62 定义节点变量对话框

(7) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 5, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 6, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History

Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 单击 Defined Time-History Variables 对话框中的 Close 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中依次输入 2、3、4、5、6、7, 如图 10-63 所示。单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示不同深度处节点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-64 所示。

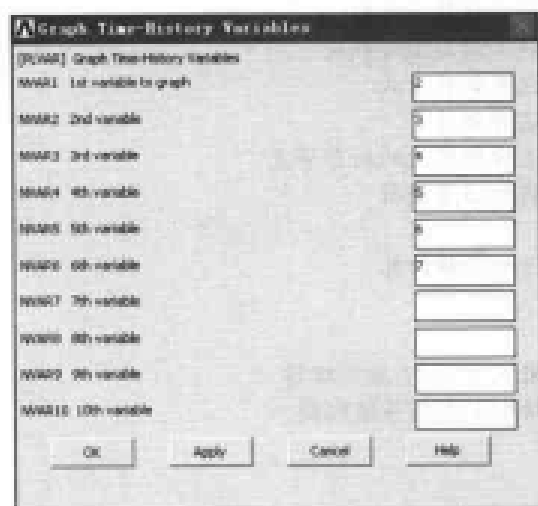


图 10-63 图形显示变量对话框

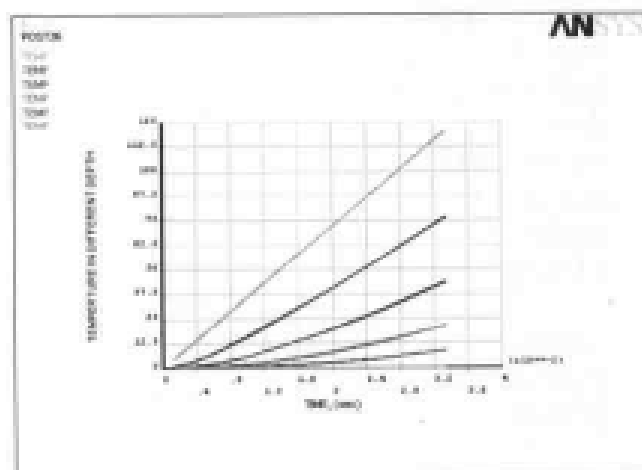


图 10-64 不同深度处节点温度随时间的变化关系曲线

(14) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE4          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL RESPONSE TO A LINEARLY RISING SURFACE TEMPERATURE
! 定义工作标题
KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7                        ! 进入前处理器
SMRT, OFF                     ! 关闭自动网格划分
ET, 1, PLANE55                ! 定义单元类型
MP, KXX, 1, 10                ! 输入导热系数
MP, DENS, 1, 500              ! 输入密度
MP, C, 1, 0.2                 ! 输入比热

RECTNG, 0, 0.5, 0, 0.05      ! 生成矩形面
LSEL, S, , , 1                ! 选择线段 1
LESIZE, ALL, , , 10, 4        ! 指定单元数目
LSEL, S, , , 3                ! 选择线段 3
LESIZE, ALL, , , 10, 0.25     ! 指定单元数目
LSEL, S, , , 2, 4, 2          ! 选择线段 2、4
LESIZE, ALL, , , 1            ! 指定单元数目
AMESH, 1                      ! 对面 1 进行网格划分
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL

```


热分析教程与实例解析

```
EPlot                                ! 显示单元
ALLSEL
FINISH

/SOLU                                ! 进入求解器
ANTYPE, TRANS                        ! 指定分析类型为瞬态分析
AUTOTS, ON                           ! 打开自动时间步长
OUTRES, , ALL
TIME, (2/60)                         ! 定义计算终止时间
NSUBST, 25                           ! 指定计算子步数
BFUNIF, TEMP, 0                     ! 施加均匀温度载荷
KBC, 0                               ! 设置加载方式
LSEL, S, , , 4                       ! 选择线段 4
NSLL, S, 1                           ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 120                   ! 施加温度载荷
ALLSEL
SOLVE                                ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                               ! 进入 POST1 后处理器
PLNSOL, TEMP                         ! 绘制温度场等值线图
FINISH

/POST26                              ! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)              ! 指定 X 轴标题
/AXLAB, Y, TEMPERATURE IN DIFFERENT DEPTH ! 指定 Y 轴标题
/GTHK, AXIS, 3                      ! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3                     ! 指定曲线粗度
/REPLOT
/XRANGE, 0, 0.04                    ! 指定 X 坐标轴显示范围
/YRANGE, 0, 125                     ! 指定 Y 坐标轴显示范围
NSOL, 2, 1, TEMP                    ! 定义变量 2
NSOL, 3, 3, TEMP                    ! 定义变量 3
NSOL, 4, 4, TEMP                    ! 定义变量 4
NSOL, 5, 5, TEMP                    ! 定义变量 5
NSOL, 6, 6, TEMP                    ! 定义变量 6
NSOL, 7, 2, TEMP                    ! 定义变量 7
PLVAR, 2, 3, 4, 5, 6, 7            ! 绘制不同深度处节点温度随时间的变化关系曲线
FINISH
/EXIT, ALL                           ! 退出 ANSYS
```

10-5 实例 5——高温铜导线冷却过程分析

10-5-1 问题描述

求如图 10-65 所示的初始温度为 T_0 的铜导线置于温度为 T_{air} 的空气中 3 分钟后的温度场分布, 材料性能参数及载荷如表 10-5 所示。

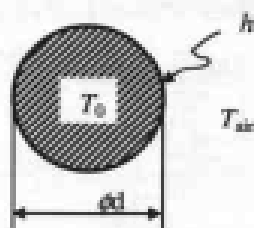


图 10-65 铜导线横截面示意图

表 10-5 材料性能参数及载荷

密度 ρ lb/ft ³	比热 C Btu/(lb·°F)	热对流系数 h Btu/(hr·ft ² ·°F)	初始温度 T_0 °F	温度载荷 T_{∞} °F	直径 d ft
500	0.1	2	300	70	0.0025

10-5-2 问题分析

该问题属于瞬态热分析问题。在计算过程中选用 MASS71 质量单元和 LINK34 单轴热对流单元进行求解。MASS71 质量单元需要输入热容实常数 C_p ，LINK34 单元需要输入面积实常数 A ，计算公式如下：

$$C_p = \rho \cdot C \cdot V = 500 \times 0.1 \times \pi / 4 \times 0.0025^2 = 2.45 \times 10^{-4} \text{ BTU} / ^\circ\text{F}$$

$$A = \pi \cdot d = \pi \times 0.0025 = 7.85 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$$

10-5-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE5，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 TEMPERATURE RESPONSE OF A SUDDENLY COOLED COPPER WIRE，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Mass、3D mass 71 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 10-66 所示。

(3) 单击 Apply 按钮，在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Link、3D convection 34 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 2，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

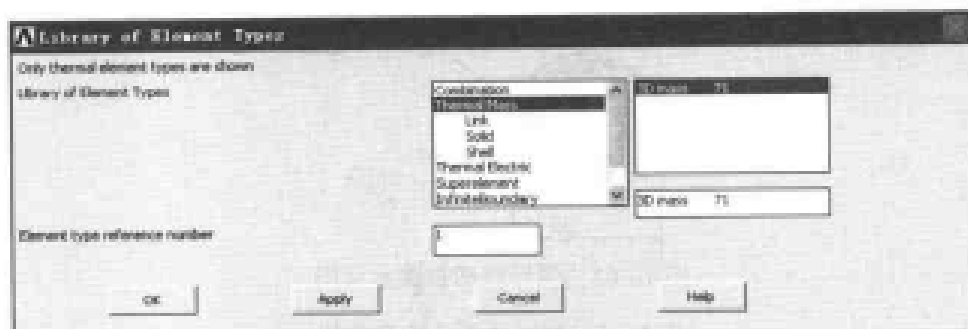


图 10-66 单元类型列表对话框

(4) 在 Element Type 对话框上选择 Type 1 Mass71 选项, 单击 Options 按钮, 出现 MASS71 element type options 对话框, 在 Interpret real const CON1 as K3 下拉列表框中选择 Therm capacitnce 选项, 如图 10-67 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

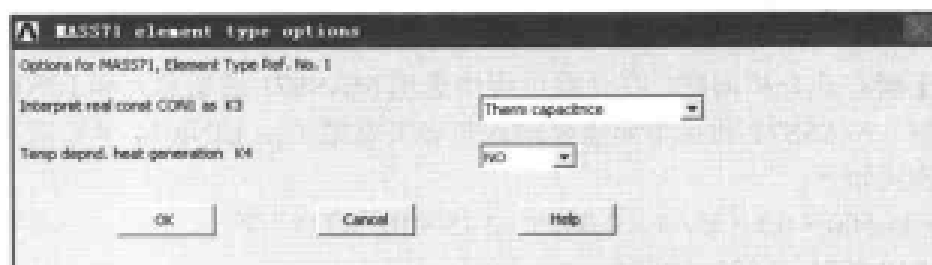


图 10-67 MASS71 单元属性设置对话框

(5) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Real Constants | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Real Constants 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Element Type for R 对话框, 选择 Type 1 MASS71 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Real Constant Set Number 1, for MASS71 对话框, 参照图 10-68 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 单击 Real Constants 对话框上的 Add 按钮, 出现 Element Type for R 对话框, 选择 Type 2 LINK34 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Real Constant Set Number 2, for LINK34 对话框, 参照图 10-69 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

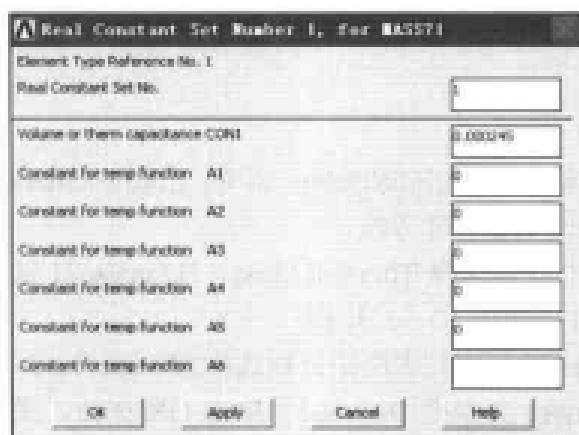


图 10-68 MASS71 单元实常数设置对话框

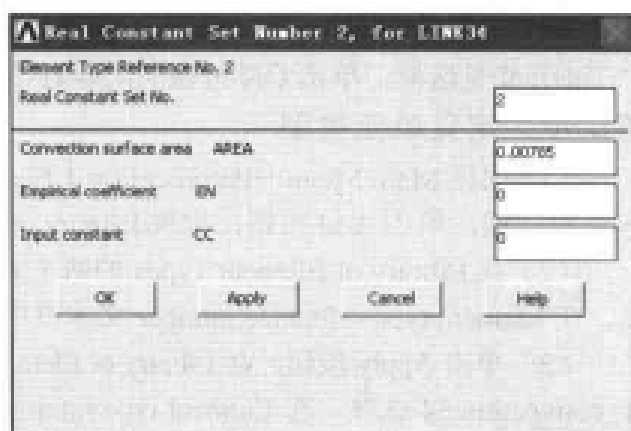


图 10-69 LINK34 单元实常数设置对话框

(8) 单击 Real Constants 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Convection or Film Coef. 选项, 出现 Convection or Film coefficient for Material Number1 对话框, 在 HF 文本框中输入热对流系数 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建有限元模型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Nodes | In Active CS 命令, 出现 Create Nodes in Active Coordinate System 对话框, 在 NODE Node number 文本框中输入 1, 单击 Apply 按钮, 在 NODE Node number 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Nodes 命令, 出现 Elements from Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes 命令, 出现 Elements Attributes 对话框, 参照图 10-70 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Nodes 命令, 出现 Elements from Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise51.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

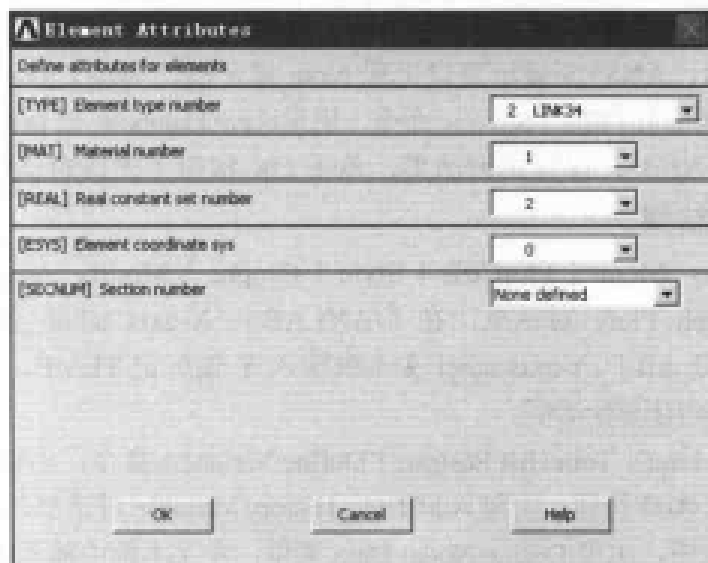


图 10-70 单元属性设置对话框

第五步：加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis

对话框,选择分析类型为 Transient,单击 OK 按钮,出现 Transient Analysis 对话框,在 Solution method 选项组中选中 Full 单选按钮,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令,出现 Solution Controls 对话框,选择 Basic 选项卡,参照图 10-71 对其进行设置,选择 Transient 选项卡,参照图 10-72 对其进行设置,单击 OK 按钮关闭该对话框。

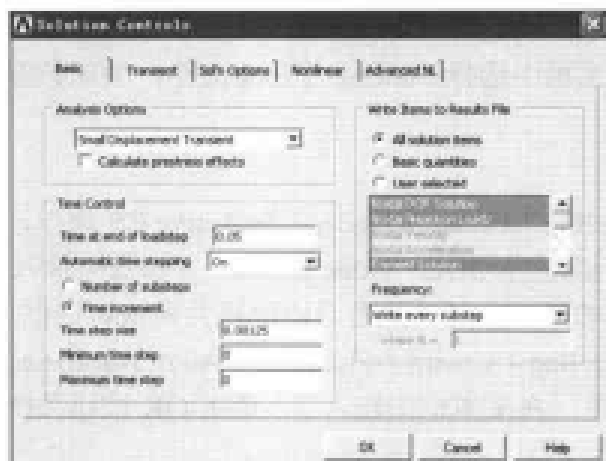


图 10-71 求解控制基本选项设置选项卡

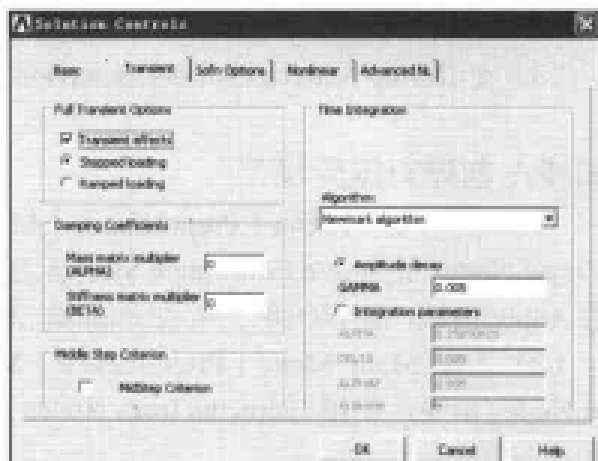


图 10-72 求解控制瞬态选项设置选项卡

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令,出现 Uniform Temperature 对话框,在文本框中输入 300,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令,出现 Apply TEMP on Nodes 菜单,在文本框中输入 2,单击 OK 按钮,出现 Apply TEMP on Nodes 对话框,在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项,在文本框中输入 70,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令,出现 Solve Current Load Step 对话框,单击 OK 按钮,ANSYS 开始求解计算。

(6) 求解结束后,ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框,单击 Close 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令,出现 Save Database 对话框,在 Save Database to 文本框中输入 exercise52.db,保存求解结果,单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步:查看求解结果

(1) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令,出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框,在 [/AXLAB] X-axis label 文本框输入 X 轴标记 TIME(hour),在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框输入 Y 轴标记 TEMP,其余选项均采用默认设置,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令,出现 Defined Time-History Variables 对话框,单击 Add 按钮,出现 Add Time-History Variable 对话框,选中 Nodal DOF result 单选按钮,单击 OK 按钮,出现 Define Nodal Data 菜单,在文本框中输入 1,单击 OK 按钮,出现 Define Nodal Data 对话框,参照图 10-73 对其进行设置,单击 OK 按钮关闭该对话框。

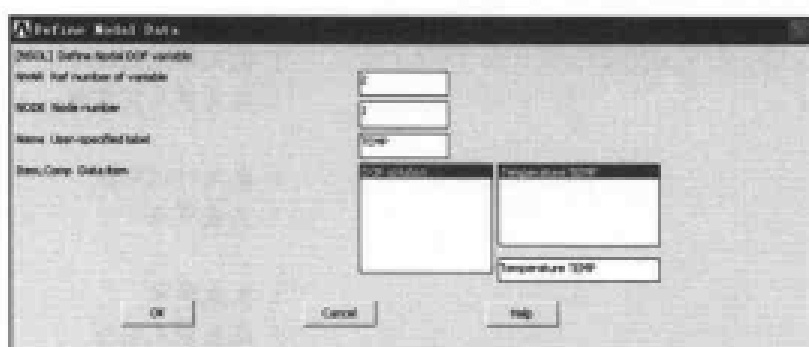


图 10-73 定义节点变量对话框

(3) 单击 Defined Time-History Variables 对话框中的 Close 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令，出现 Graph Time-History Variables 对话框，在文本框中输入 2，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口将显示铜导线温度随时间的变化关系曲线图，如图 10-74 所示。

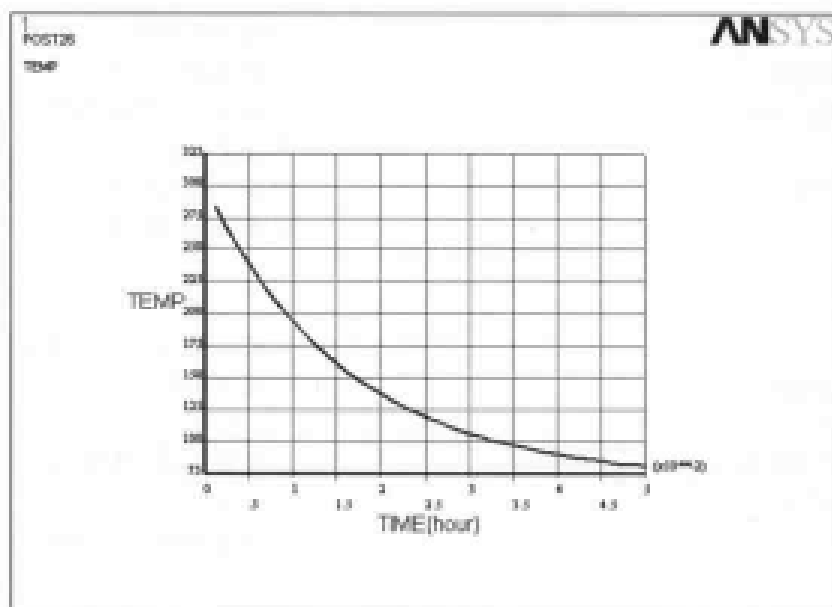


图 10-74 导线温度随时间的变化关系曲线图

(5) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令，出现 Exit from ANSYS 对话框，选中 Quit-No Save! 单选按钮，单击 OK 按钮，关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE5          ! 定义工作文件名
/TITLE, TEMPERATURE RESPONSE OF A SUDDENLY COOLED COPPER WIRE      ! 定义工作标题

KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7                        ! 进入前处理器
SMRT, OFF                     ! 关闭自动网格划分
ET, 1, MASS71                 ! 定义单元类型
    
```


热分析教程与实例解析

```
ET, 2, LINK34
KEYOPT, 1, 3, 1
R, 1, 2.45E-4
R, 2, 7.85E-3
MP, HF, 1, 2
N, 1
N, 2
E, 1
TYPE, 2
REAL, 2
E, 1, 2
FINISH

/SOLU
ANTYPE, TRANS
AUTOTS, ON
OUTRES, , ALL
TIME, 0.05
DELTIM, 0.00125
BFUNIF, TEMP, 300
KBC, 1
D, 2, TEMP, 70
SOLVE
FINISH

/POST26
NSOL, 2, 1, TEMP
/GRID, 1
/AXLAB, X, TIME(hour)
/AXLAB, Y, TEMP
PLVAR, 2
FINISH
/EXIT, ALL
```

! 定义单元关键字
! 定义单元实常数

! 定义对流系数
! 生成节点

! 生成单元
! 设置单元类型

! 生成单元

! 进入求解器
! 指定分析类型为瞬态分析
! 打开自动时间步长

! 设置计算终止时间
! 设置时间步长
! 施加均匀温度载荷
! 设置加载方式
! 施加温度载荷
! 开始求解计算

! 进入 POST26 后处理器
! 定义变量 2

! 设置 X 坐标轴标题
! 设置 Y 坐标轴标题
! 绘制导线温度随时间的变化关系曲线

! 退出 ANSYS

10-6 实例 6——带轮淬火过程分析

10-6-1 问题描述

图 10-75 和图 10-76 所示为一带轮的零件图及结构示意图 (图中长度单位为 mm), 带轮材料的热性能参数如表 10-6 所示。带轮的初始温度为 500°C , 将其突然放入温度为 0°C 的水中, 水的对流系数为 $110\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。求解:

(1) 1 分钟及 5 分钟后带轮的温度场分布。

(2) 零件图上 A、B、C、D、E 各点温度随时间的变化关系。B、E 两点距中心轴的距离 $L_{OB}=125\text{mm}$, $L_{OE}=350\text{mm}$ 。

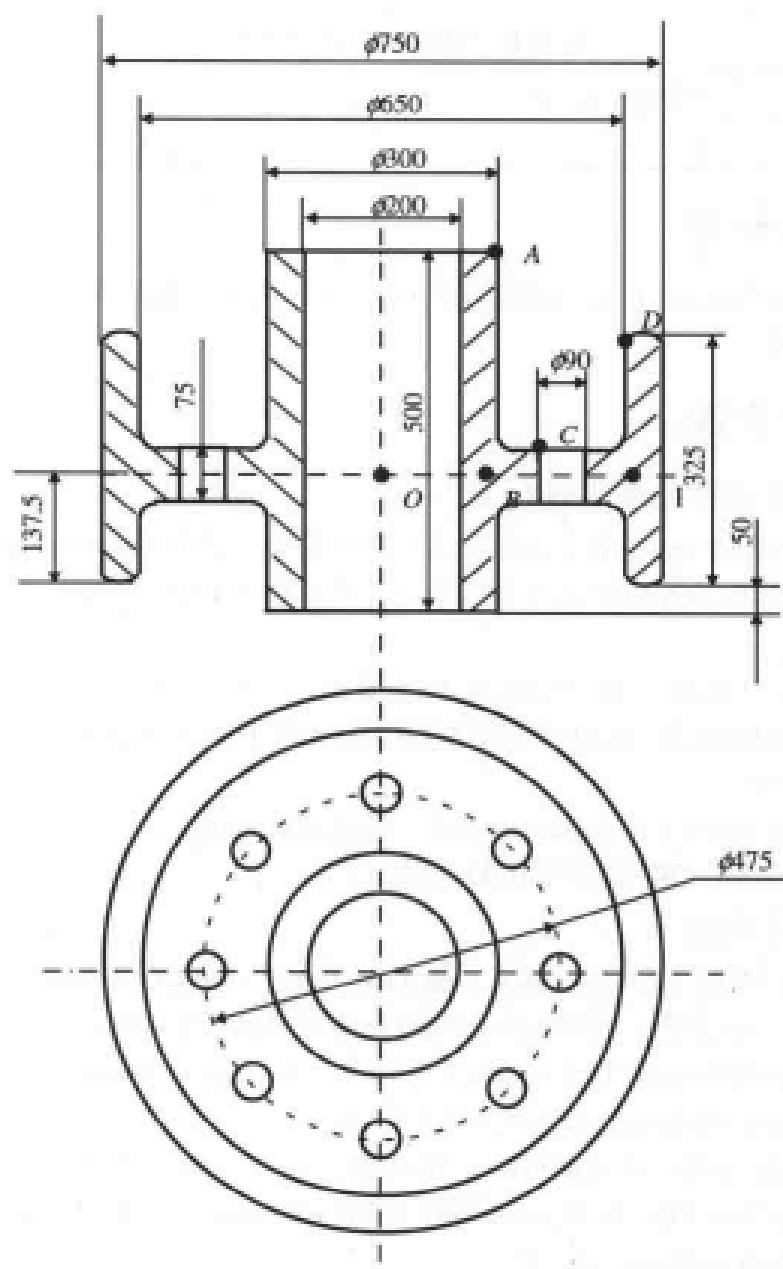


图 10-75 带轮零件图



图 10-76 带轮结构示意图

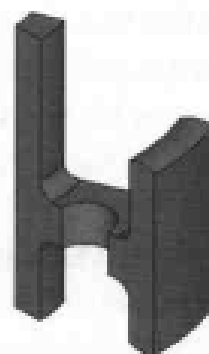


图 10-77 几何模型

表 10-6 带轮材料热性能参数

密度 kg/m^3	导热系数 $\text{W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$	比热 $\text{J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$
2400	70	328

10-6-2 问题分析

该问题属于瞬态热分析问题。选取如图 10-77 所示的部分带轮作为几何模型，在建模过程中采用国际单位制。

10-6-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框。在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE6，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 TRANSIENT THERMAL ANALYSIS ON THE QUENCHING PROCESS OF A WHEEL，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Brick 8node 70 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1。

(3) 单击 Apply 按钮，在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Brick 20node 90 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 2。单击 OK 按钮关闭 Library of Element Types 对话框。

(4) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在文本框中输入 70，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 按钮，出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框，在文本框中输入 328，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮，出现 Density for Material Number 1 对话框，在文本框中输入 2400，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 参照图 10-78 对其进行设置。

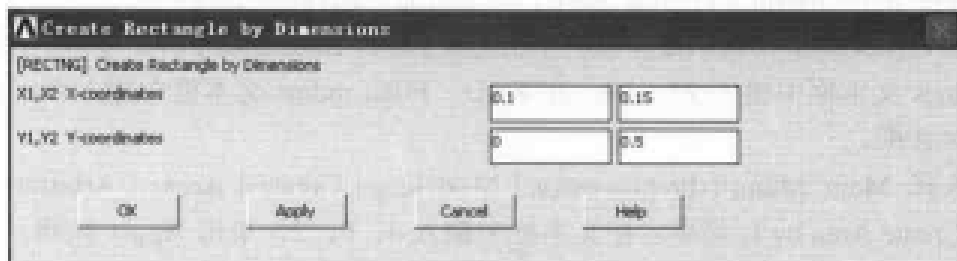


图 10-78 生成矩形面对话框

(2) 单击 Apply 按钮, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中输入 0.325, 0.375, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中输入 0.05, 0.375。

(3) 单击 Apply 按钮, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中输入 0.1, 0.375, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中输入 0.15, 0.225, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Overlap | Areas 命令, 出现 Overlap Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮。

(5) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 和 KP Keypoint numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令, 显示所有线段。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fille 菜单, 在文本框中输入 16, 28, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 文本框中输入 16、28, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.025, 如图 10-79 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

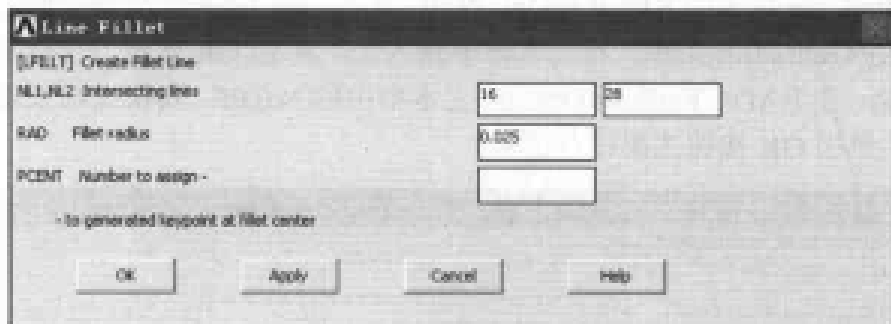


图 10-79 线段倒角对话框

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fille 菜单, 在文本框中输入 14, 27, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 文本框中输入 14、27, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.025, 单击 OK

按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fille 菜单, 在文本框中输入 28, 23, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 文本框中输入 28、23, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.025, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fille 菜单, 在文本框中输入 27, 19, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 文本框中输入 27、19, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.025, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令, 出现 Create Area by L 菜单, 在文本框中输入 4, 6, 2, 单击 Apply 按钮; 在文本框中输入 9, 8, 11, 单击 Apply 按钮; 在文本框中输入 32, 34, 33, 单击 Apply 按钮; 在文本框中输入 30, 29, 31, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints In Active Coordinate System 对话框, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入 25, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0.35、0.0745、0, 如图 10-80 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

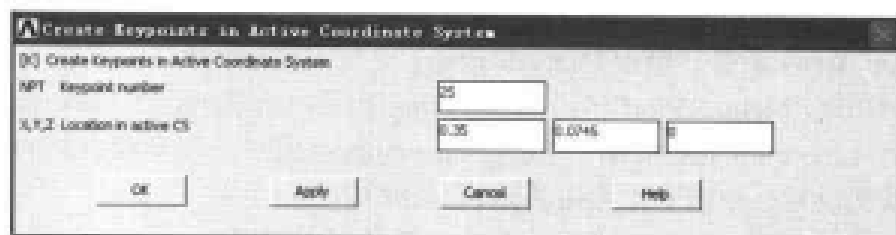


图 10-80 生成关键点对话框

(13) 参照上一步的操作, 在 ANSYS 显示窗口生成编号为 26, 坐标为 (0.35, 0.3505, 0) 的关键点。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Arcs | By End KPs & Radius 命令, 出现 Arc by End KPs & Radius 菜单, 在文本框中输入 5, 6, 单击 OK 按钮, 出现 Arc by End KPs & Radius 菜单, 在文本框中输入 25, 单击 OK 按钮, 出现 Arc by End KPs & Radius 对话框, 在 RAD Radius of the arc 文本框中输入 0.05, 其余选项采用默认设置, 如图 10-81 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

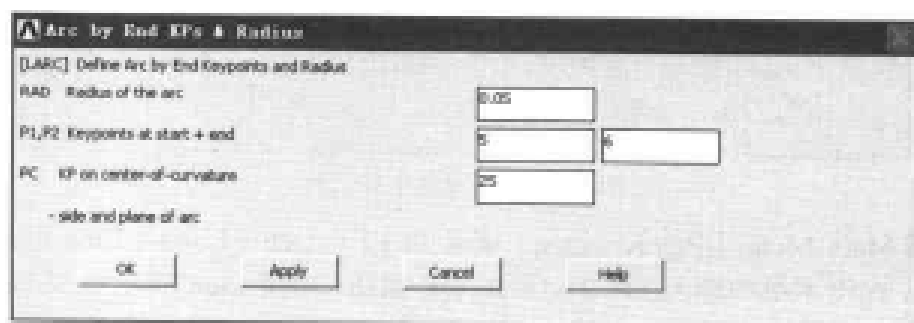


图 10-81 生成圆弧线段对话框

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Arcs | By End KPs & Radius 命令, 出现 Arc by End KPs & Radius 菜单, 在文本框中输入 7, 8, 单击 OK 按钮, 出现 Arc by End KPs & Radius 菜单, 在文本框中输入 26, 单击 OK 按钮, 出现 Arc by End KPs & Radius 对话框, 在 RAD Radius of the arc 文本框中输入 0.05, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令, 出现 Create Area by L 菜单, 在文本框中输入 7, 36, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 5, 35, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Add | Areas 命令, 出现 Add Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Add | Lines 命令, 出现 Add Lines 菜单, 在文本框中输入 12, 13, 17, 单击 OK 按钮, 出现 Add Lines 对话框, 在 KEEP Existing lines will be 下拉列表框中选择 Deleted 选项, 如图 10-82 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

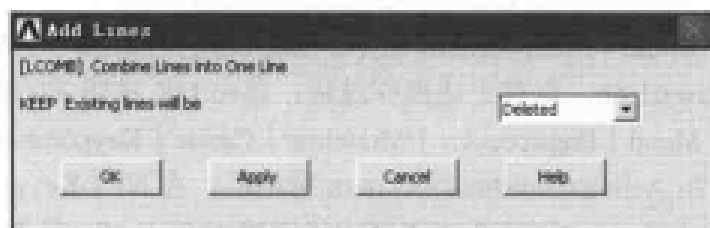


图 10-82 线段相加操作对话框

(19) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Add | Lines 命令, 出现 Add Lines 菜单, 在文本框中输入 10, 20, 22, 单击 OK 按钮, 出现 Add Lines 对话框, 在 KEEP Existing lines will be 下拉列表框中选择 Deleted 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 All 选项, 如图 10-83 所示。



图 10-83 压缩实体编号对话框

(21) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 和 KP Keypoint numbers 选项, 使其状态从 On 变为 Off, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(22) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 PLANE GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(23) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, ANSYS 显示窗口将显示所生成的平面几何模型, 如图 10-84 所示。

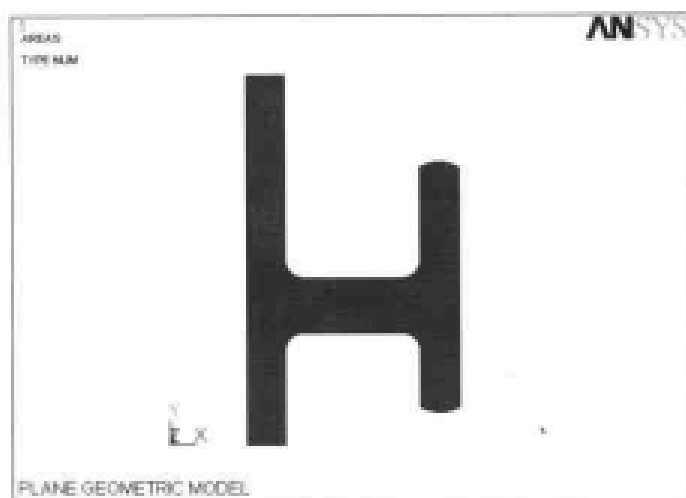


图 10-84 生成的平面几何模型结果显示

(24) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise61.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(25) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints In Active Coordinate System 对话框, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入 21, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0、0、0, 单击 Apply 按钮, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入 22, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0、0.5、0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(26) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | About Axis 命令, 出现 Sweep Areas about 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Sweep Areas about 菜单, 在文本框中输入 21, 22, 单击 OK 按钮, 出现 Sweep Areas about Axis 对话框, 在 ARC Arc length in degrees 文本框中输入 22.5, 在 NSEG No. of volumes segments 文本框中输入 1, 如图 10-85 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(27) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 在 XV,YV,ZV Coords of view point 文本框中依次输入 1、1、1, 其余选项采用默认设置, 如图 10-86 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

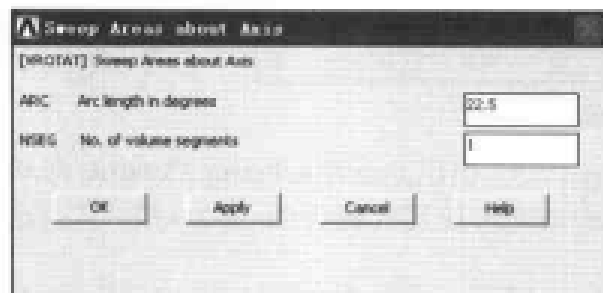


图 10-85 扫掠面生成体对话框

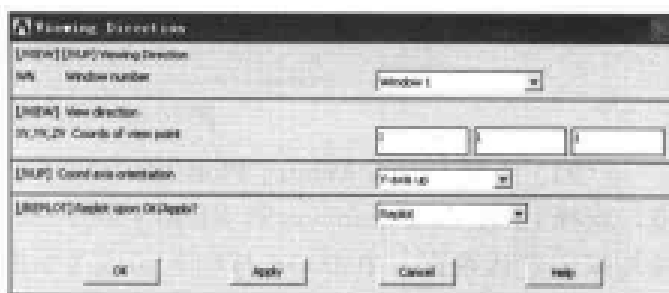


图 10-86 视图观测方向设置对话框

(28) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框

中输入 VOLUME OBTAINED THROUGH SWEEPING AREA ABOUT AXIS, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(29) 选择 Utility Menu | Plot | Volumes 命令, ANSYS 显示窗口将显示扫掠面生成的体, 如图 10-87 所示。

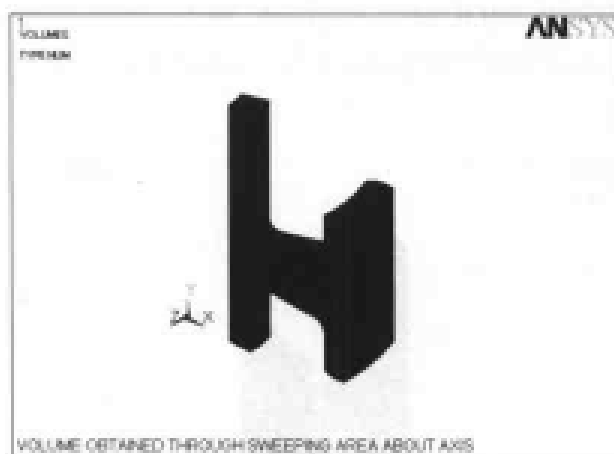


图 10-87 扫掠面生成体结果显示

(30) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | XYZ Locations 命令, 出现 Offset WP to XYZ 菜单, 在文本框中输入 0.2375, 0.15, 0, 如图 10-88 所示, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(31) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP by Increments 命令, 出现 Offset WP 菜单, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 0, -90, 0, 如图 10-89 所示, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(32) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Volumes | Cylinder | Partial Cylinder 命令, 出现 Partial Cylinder 对话框, 在 Rad-1 文本框中输入 0.045, 在 Depth 文本框中输入 0.075, 如图 10-90 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

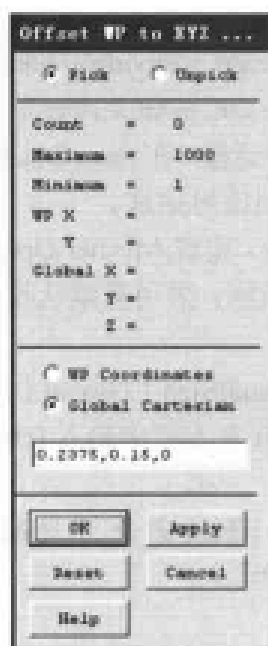


图 10-88 移动工作平面菜单



图 10-89 旋转工作平面菜单

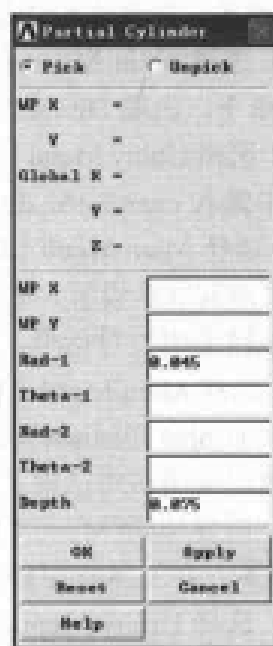


图 10-90 生成部分圆柱体对话框

(33) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Subtract | Volumes 命令, 出现 Subtract Volumes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(34) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 VOLUME GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(35) 选择 Utility Menu | Plot | Volumes 命令, ANSYS 显示窗口将显示生成的几何模型, 如图 10-91 所示。

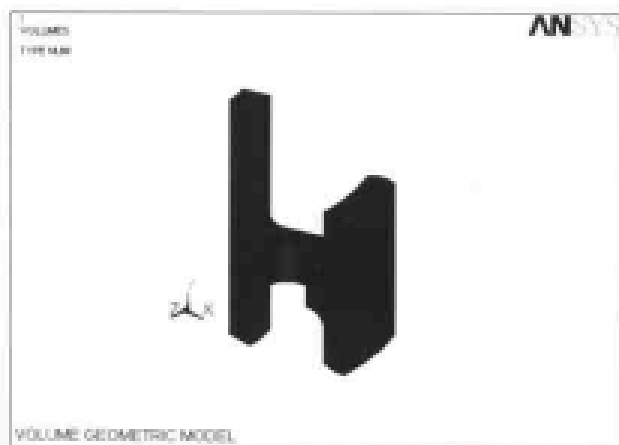


图 10-91 生成的几何模型结果显示

(36) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to Keypoints 菜单, 在文本框中输入 11, 单击菜单上的 OK 按钮关闭该菜单。

(37) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Volu by WrkPlane 命令, 出现 Divide Vol by Wr 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(38) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to Keypoints 菜单, 在文本框中输入 13, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(39) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Volu by WrkPlane 命令, 出现 Divide Vol by Wr 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(40) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise62.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(41) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesher Opts 命令, 出现 Mesher Options 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮, 出现 Set Element Shape 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(42) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入 0.025, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(43) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Volumes | Free 命令, 出现 Mesh Volumes 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 5, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(44) 选择 Utility Menu | Plot | Volumes 命令, 显示所有体。

(45) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Meshing Attributes | Default Attrs 命

令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 Solid90 选项, 如图 10-92 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(46) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入 0.02, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(47) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Volumes | Free 命令, 出现 Mesh Volumes 菜单, 在文本框中输入 6, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(48) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Modify Mesh | Change Tets 命令, 出现 Change Selected Degenerate Hexes to Non-degenerate Tets 对话框, 在 ELEM1 to ELEM2 Change From 下拉列表框中选择 90 to 87 选项, 如图 10-93 所示, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

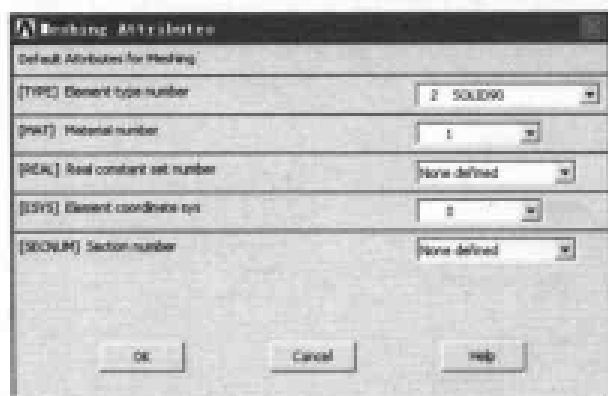


图 10-92 网格划分属性设置对话框

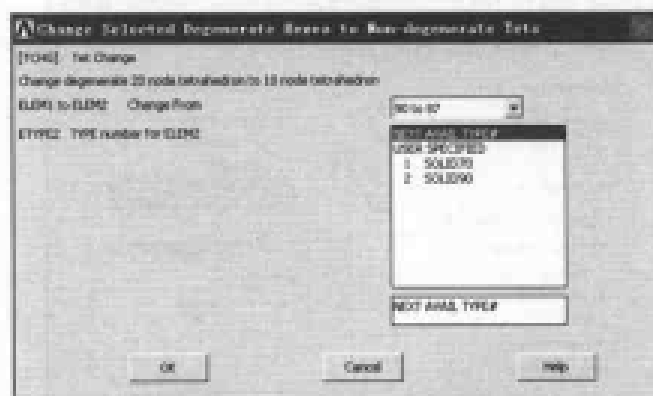


图 10-93 转变单元类型对话框

(49) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(50) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 All 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(51) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示网格划分后的结果, 如图 10-94 所示。

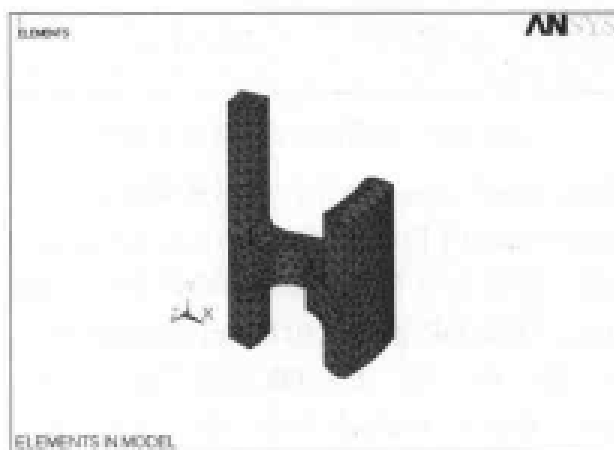


图 10-94 网格划分结果显示

(52) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database 文本框中输入 exercise63.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 在 [TRNOPT] Solution method 选项组中选中 Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 10-95 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框, 选择 Transient 选项卡, 参照图 10-96 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

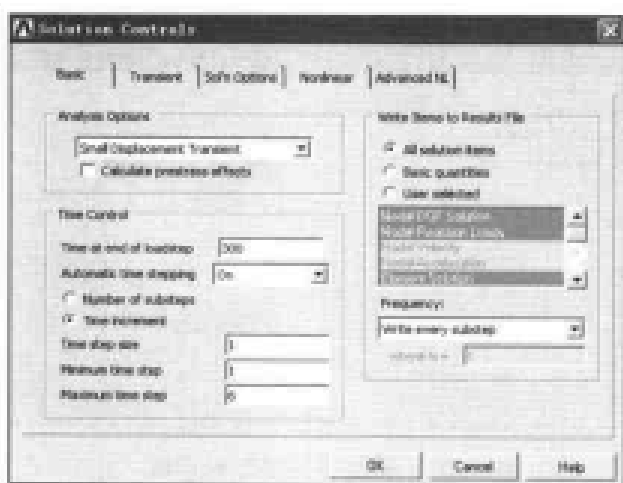


图 10-95 求解控制基本选项设置对话框

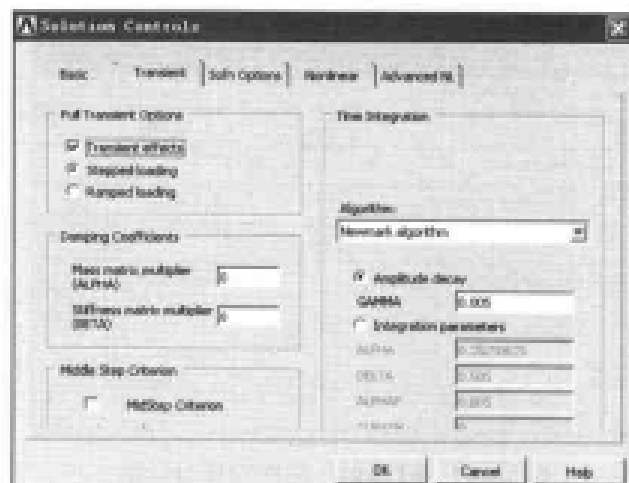


图 10-96 求解控制瞬态选项设置对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 500, 如图 10-97 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

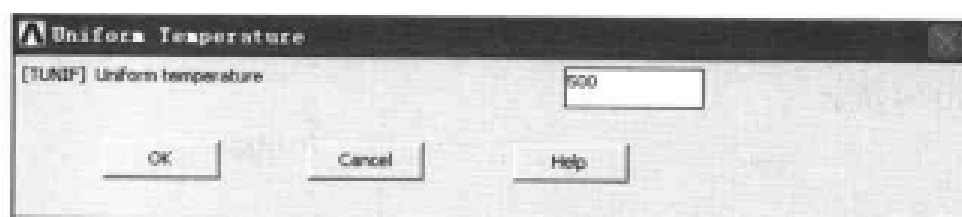


图 10-97 施加均匀温度载荷对话框

(4) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, 显示所有面。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 Unselect 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select areas 菜单, 在文本框中输入 1, 6, 18, 20, 22, 25, 30, 31, 34, 35, 36, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组

中选择 Areas,all 单选按钮,在第 4 选项组中选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令,出现 Apply CONV on nodes 菜单,单击 Pick All 按钮,出现 Apply CONV on nodes 对话框,在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 110,在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入 0,如图 10-98 所示,单击 OK 按钮关闭该对话框。

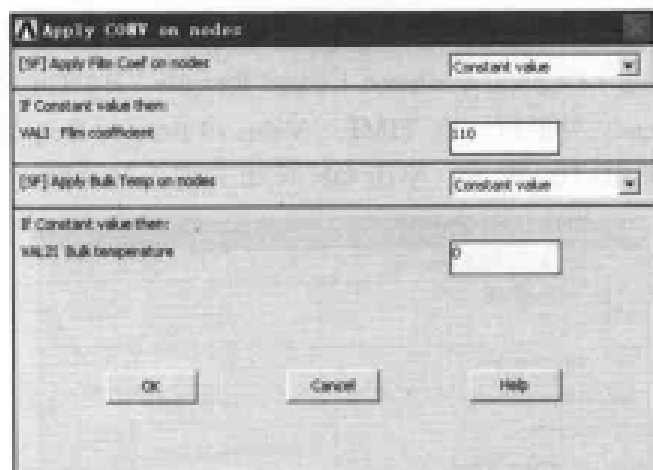


图 10-98 施加对流载荷对话框

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令,选择所有的点、线、面、体。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options 命令,出现 Full Transient Analysis 对话框,在 [EQSLV] Equation solver 下拉列表框中选择 JCG out-of-core 选项,其余选项采用默认设置,如图 10-99 所示,单击 OK 按钮关闭该对话框。

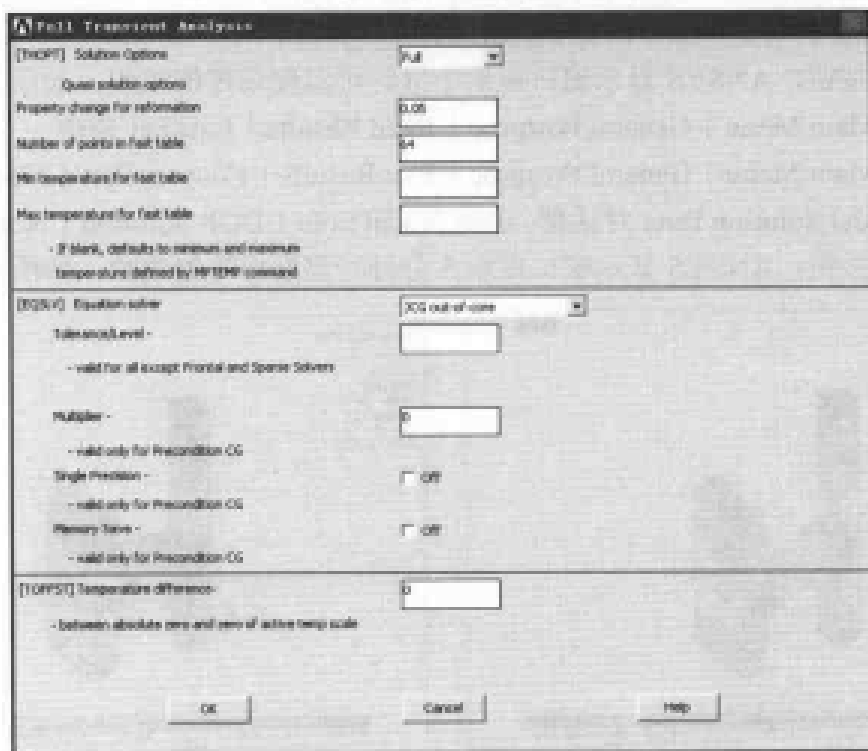


图 10-99 瞬态分析选项设置对话框

(10) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(11) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise64.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Display Working Plane 命令, 关闭工作平面坐标显示。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | By Time/Freq 命令, 出现 Read Results by Time or Frequency 对话框, 在 TIME Value of time or freq 文本框中输入 60, 其余选项采用默认设置, 如图 10-100 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

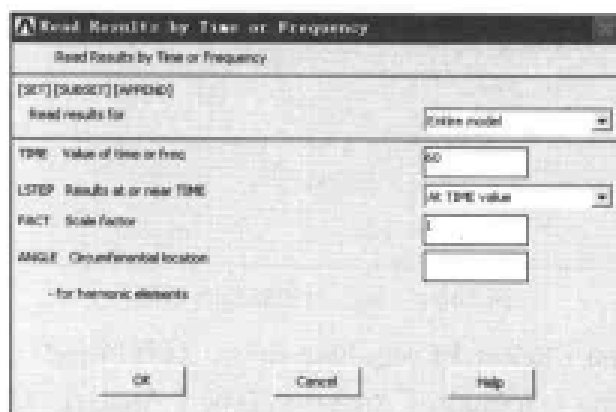


图 10-100 按时间读取结果对话框

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示 1 分钟时温度场等值线图, 如图 10-101 所示。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示 5 分钟时温度场等值线图, 如图 10-102 所示。

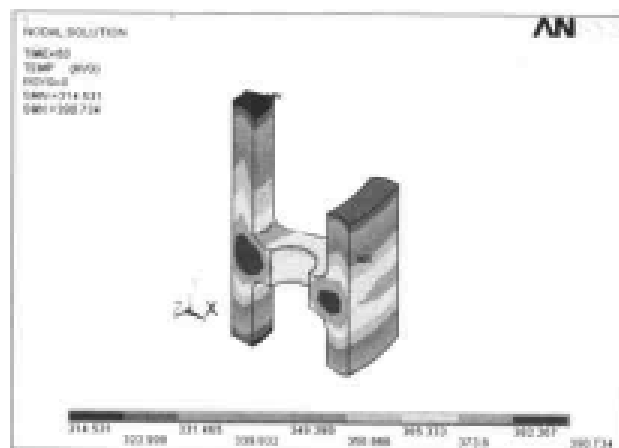


图 10-101 1 分钟时带轮内部温度场分布

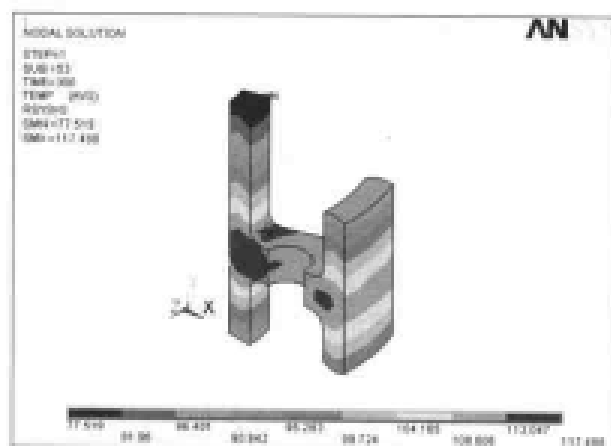


图 10-102 5 分钟时带轮内部温度场分布

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 TIME,(sec), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMP, 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中选择 Triple 选项, 如图 10-103 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

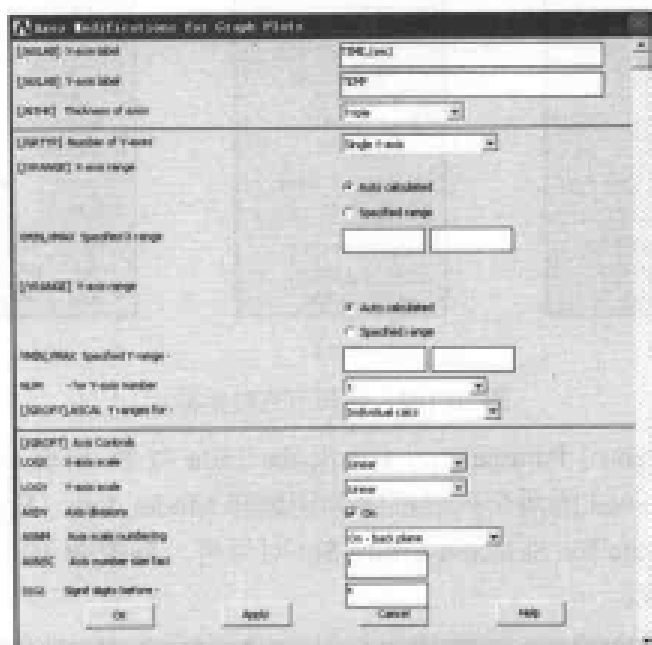


图 10-103 坐标轴选项设置对话框

(8) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Align WP with | Global Cartesian 命令。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.15, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 10-104 (a) 所示。

(12) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.5, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 10-104 (b) 所示。

(13) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Z coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 10-104 (c) 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

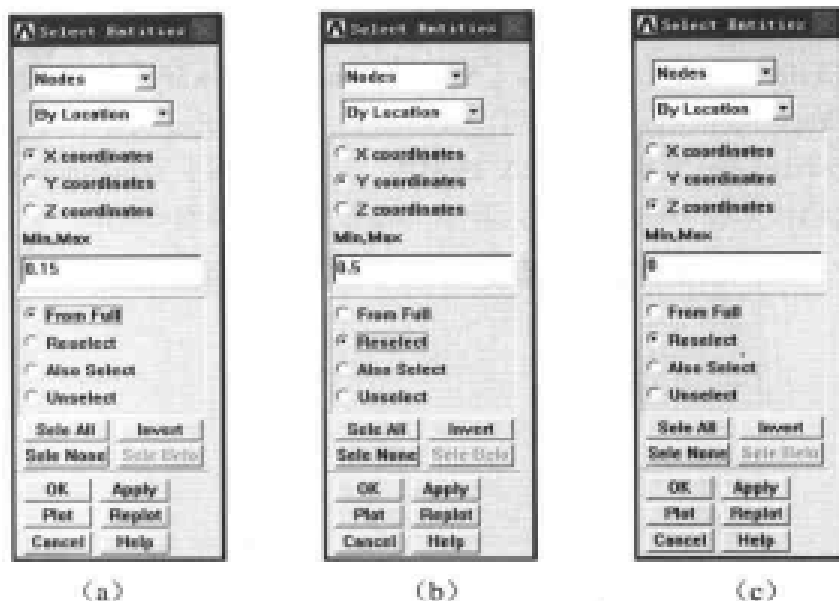


图 10-104 选择节点对话框

(14) 选择 Utility Menu | Parameters | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 参照图 10-105 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

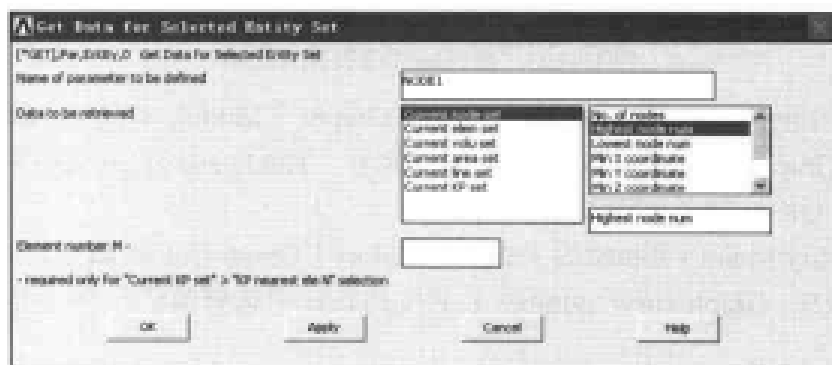


图 10-105 获取参量信息对话框

(15) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinate 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.126, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(16) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.1825, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮。

(17) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Z coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: B 点坐标应为 (0.125, 0.1875, 0), 但由于所建立的有限元模型中没有和该点坐标相重合的节点, 所以选取和该点坐标相近的节点。

(18) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE2, 在 Data to be retrieved 列表框中选择 Current node set Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.1925, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(20) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.225, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮。

(21) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Z coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(22) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE3, 在 Data to be retrieved 列表框中选择 Current node set Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(23) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选中 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.325, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(24) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.375, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(25) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE4, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(26) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.35, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(27) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.185, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(28) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中选中 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE5, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num

选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(29) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮。

提示: 若出现 Time History Variables 对话框, 可关闭该对话框。

(30) 单击 Add Time-History Variable 对话框上的 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(31) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE2, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(32) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE3, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(33) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE4, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(34) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE5, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(35) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 2, 如图 10-106 所示, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 A 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-107 所示。

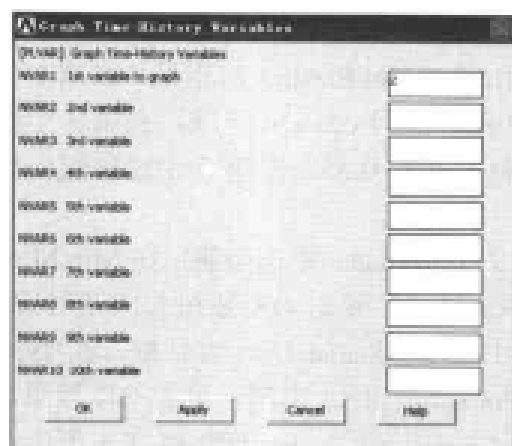


图 10-106 图形显示变量对话框

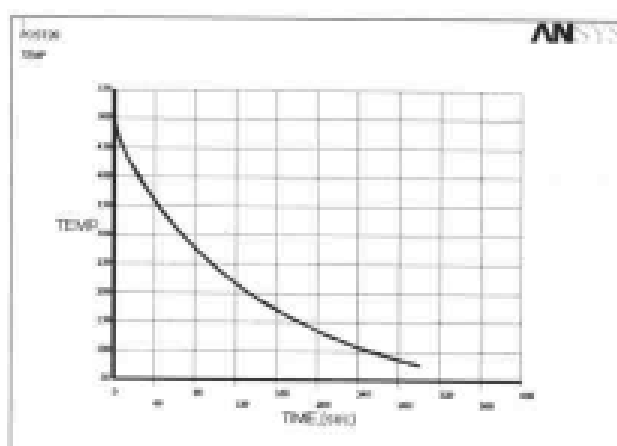


图 10-107 A 点温度随时间的变化关系曲线

(36) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 B 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-108 所示。

(37) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 C 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-109 所示。

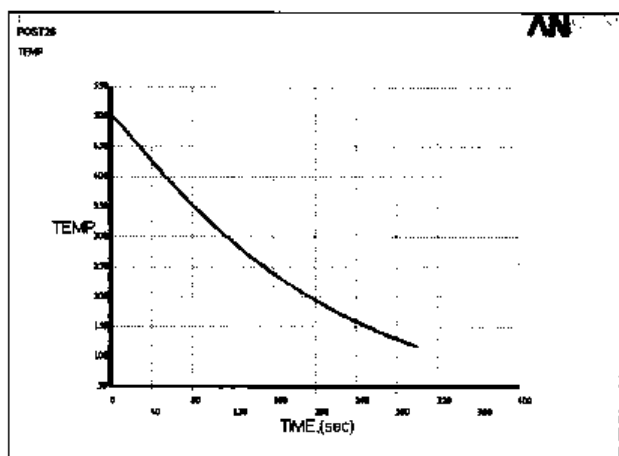


图 10-108 B 点温度随时间的变化关系曲线

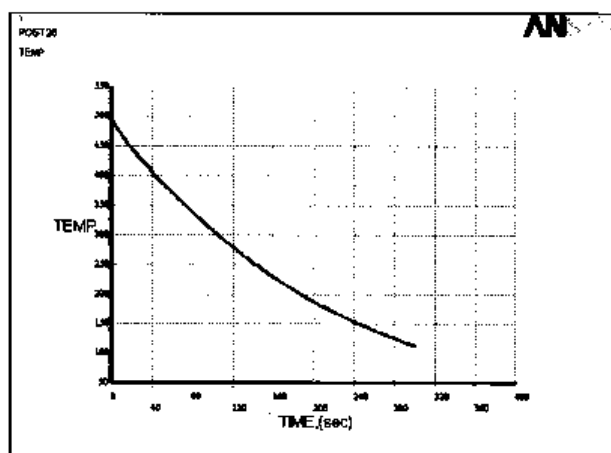


图 10-109 C 点温度随时间的变化关系曲线

(38) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 5, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 D 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-110 所示。

(39) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 6, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 E 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 10-111 所示。

(40) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

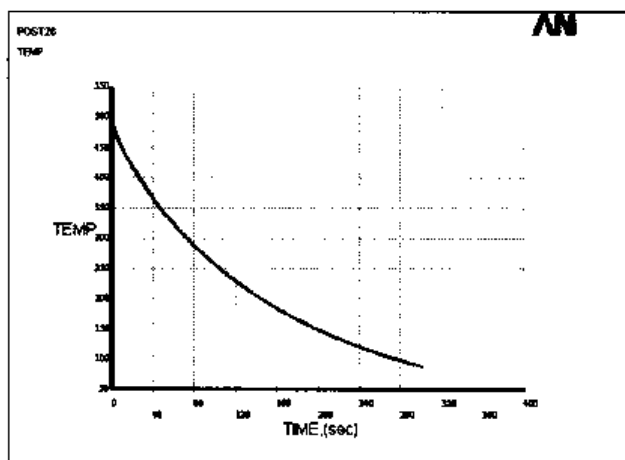


图 10-110 D 点温度随时间的变化关系曲线

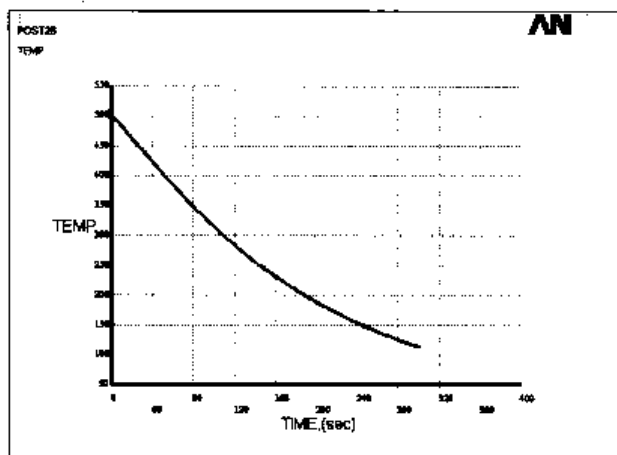


图 10-111 E 点温度随时间的变化关系曲线

命令流文件

/FILNAME, EXERCISE6

! 定义工作文件名

热分析教程与实例解析

/TITLE, TRANSIENT THERMAL ANALYSIS ON THE QUENCHING PROCESS OF A WHEEL
! 定义工作标题

KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7 ! 进入前处理器

ET, 1, SOLID70 ! 定义单元类型

ET, 2, SOLID90

MP, KXX, 1, 70 ! 输入导热系数

MP, DENS, 1, 2400 ! 输入密度

MP, C, 1, 328 ! 输入比热

RECTNG, 0.1, 0.15, 0, 0.5 ! 生成矩形面

RECTNG, 0.325, 0.375, 0.05, 0.375

RECTNG, 0.1, 0.375, 0.15, 0.225

AOVLAP, ALL ! 面叠加

/PNUM, LINE, 1 ! 显示线段编号

/PNUM, KP, 1 ! 显示关键点编号

/REPLOT

LPLOT ! 显示线段

LFILLT, 16, 28, 0.025 ! 线段倒角

LFILLT, 14, 27, 0.025

LFILLT, 28, 23, 0.025

LFILLT, 27, 19, 0.025

/REPLOT

AL, 4, 6, 2 ! 由线段生成面

AL, 9, 8, 11

AL, 32, 34, 33

AL, 30, 29, 31

K, 25, 0.35, 0.0745, 0 ! 定义关键点

K, 26, 0.35, 0.3505, 0

KPLOT ! 显示关键点

LARC, 5, 6, 25, 0.05 ! 生成弧线段

LARC, 7, 8, 26, 0.05

LPLOT ! 显示线段

AL, 7, 36 ! 由线段生成面

AL, 5, 35

AADD, ALL ! 面相加

LSEL, S, , , 12, 13 ! 选择线段

LSEL, A, , , 17

LCOMB, ALL, , 0 ! 将所选线段连成一条线

LSEL, S, , , 10, 20, 10 ! 选择线段

LSEL, A, , , 22

LCOMB, ALL, , 0 ! 将所选线段连成一条线

ALLSEL

NUMCMP, ALL ! 压缩实体编号

/PNUM, LINE, 0 ! 不显示线段编号

/PNUM, KP, 0 ! 不显示关键点编号

/REPLOT

/TITLE, PLANE GEOMETRIC MODEL

APLOT	! 显示面
K, 21, 0, 0, 0	! 生成关键点
K, 22, 0, 0.5, 0	
VROTAT, ALL, , , , , 21, 22, 22.5, 1	! 绕中心线旋转面生成体
/VIEW, 1, 1, 1, 1	! 设置视图观测方向
/REPLOT	
/TITLE, VOLUME OBTAINED THROUGH SWEEPING AREA ABOUT AXIS	
VPLOT	! 显示体
WPAVE, 0.2375, 0.15, 0	! 平移工作平面
WPROT, 0, -90, 0	! 旋转工作平面
CYL4, , , 0.045, , , , 0.075	! 生成圆柱体
VSBV, 1, 2	! 体相减
/TITLE, VOLUME GEOMETRIC MODEL	
VPLOT	! 显示体
KWPAVE, 11	! 平移工作平面至关键点 11
VSBW, 3	! 由工作平面剖分体
VPLOT	
KWPAVE, 13	! 平移工作平面至关键点 13
VSBW, 4	! 由工作平面剖分体
VPLOT	
MSHAPE, 1, 3D	! 设置单元形状
MSHKEY, 0	
ESIZE, 0.025	! 定义单元尺寸
VMESH, 1, 3, 1	! 对体划分网格
VMESH, 5	
TYPE, 2	! 指定单元类型
ESIZE, 0.02	! 定义单元尺寸
VMESH, 6	! 对体划分网格
TCHG, 90, 87	! 将退化的六面体单元转变为四面体单元
ALLSEL	
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL	
NUMCMP, ALL	! 压缩实体编号
EPLOT	! 显示单元
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, TRANSIENT	! 设置分析类型为瞬态分析
TIME, 300	! 定义计算终止时间
DELTIM, 1, 1, 6	! 指定最大、最小时间步长
AUTOTS, ON	! 打开自动时间步长
OUTRES, , ALL	
KBC, 1	! 设置加载方式
BFUNIF, TEMP, 500	
ALLSEL	
ASEL, U, , , 1, 6, 5	! 去除面
ASEL, U, , , 18, 22, 2	
ASEL, U, , , 25, 30, 5	
ASEL, U, , , 31, 34, 3	

热分析教程与实例解析

```
ASEL, U, , , 35, 36
NSLA, S, 1
SF, ALL, CONV, 110, 0
ALLSEL
EQSLV, JCG
SOLVE
FINISH

/POST1
WPSTYLE, , , , , , 0
SET, , , 1, , 60
PLNSOL, TEMP
SET, LAST
PLNSOL, TEMP
ALLSEL
FINISH

/POST26
/AXLAB, X, TIME, (sec)
/AXLAB, Y, TEMP
/GTHK, AXIS, 3
/GTHK, CURVE, 3
/COLOR, CURVE, MRED, 1
WPCSYS, -1
/REPLOT
NSEL, S, LOC, X, 0.15
NSEL, R, LOC, Y, 0.5
*GET, NODE1, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0.126
NSEL, R, LOC, Y, 0.1825
*GET, NODE2, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0.1925
NSEL, R, LOC, Y, 0.225
*GET, NODE 3, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0.325
NSEL, R, LOC, Y, 0.375
*GET, NODE 4, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0.35
NSEL, R, LOC, Y, 0.185
*GET, NODE 5, NODE, , NUM, MAX
NSOL, 2, NODE1, TEMP
NSOL, 3, NODE2, TEMP
NSOL, 4, NODE3, TEMP
```

! 选择面上所有节点
! 施加对流载荷

! 选择求解器
! 开始求解计算

! 进入 POST1 后处理器
! 取消显示工作平面
! 读取时间为 60 秒的计算结果
! 绘制温度场等值线图
! 读取最终计算结果
! 绘制温度场等值线图

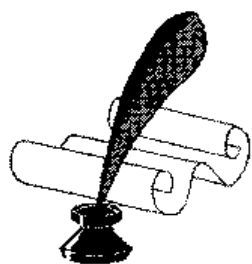
! 进入 POST26 后处理器
! 定义 X 坐标轴标题
! 定义 Y 坐标轴标题
! 指定坐标轴粗度
! 指定曲线粗度
! 设置曲线显示颜色

! 选择节点
! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点
! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点
! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点
! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点
! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点
! 定义变量 2
! 定义变量 3
! 定义变量 4

NSOL, 5, NODE4, TEMP
NSOL, 6, NODE5, TEMP
PLVAR, 2
PLVAR, 3
PLVAR, 4
PLVAR, 5
PLVAR, 6
FINISH
/EXIT, ALL

! 定义变量 5
! 定义变量 6
! 绘制 A 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 B 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 C 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 D 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 E 点温度随时间的变化规律曲线

! 退出 ANSYS



Chapter 11

辐射热分析实例详解

本章提示:

本章向读者介绍辐射热分析的工程应用实例,通过实例分析与求解的形式加深读者对辐射热分析过程及其分析步骤的进一步理解。

学习目标:

通过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 辐射热分析的基本步骤,熟悉相应的界面操作步骤及相关命令,并掌握实际辐射热分析问题的建模方法、求解思路与技巧。

11-1 实例 1——黑体辐射

11-1-1 问题描述

图 11-1 所示为一黑体，表面积为 1m^2 ，形状系数和辐射率均为 1，温度为 2000°C ，周围环境温度为 0°C ，求黑体的辐射热流率。

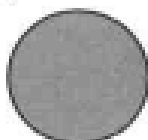


图 11-1 黑体结构示意图

11-1-2 问题分析

该问题属于热辐射问题，选择 LINK31 热辐射单元进行求解。

11-1-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE1，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 RADIANT ENERGY EMISSION，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Link、3D radiation 31 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 11-2 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

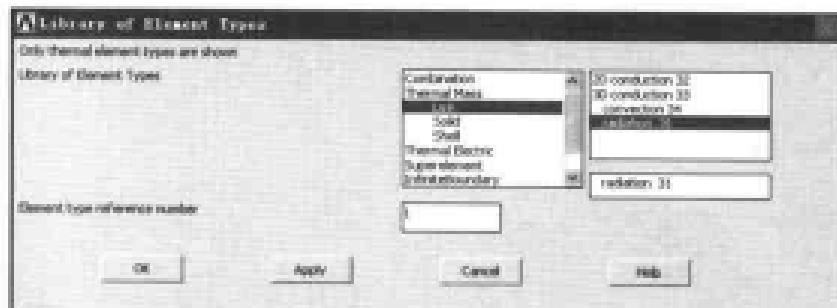


图 11-2 单元类型列表对话框

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Real Contants | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Real Contants 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Element Type for Real Constants 对话框, 单击 OK 按钮, 出现 Real Constant Set Number 1, for LINK31 对话框, 参照图 11-3 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

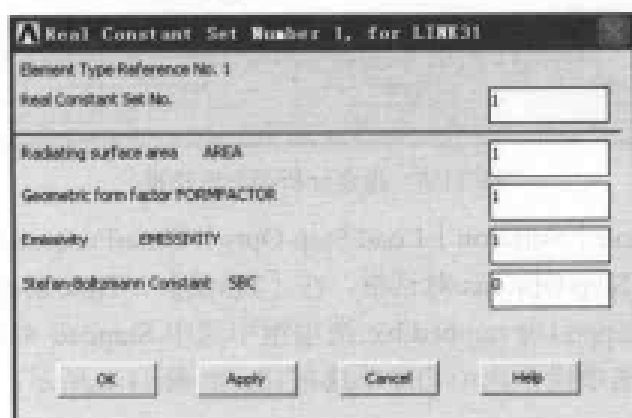


图 11-3 LINK31 单元实常数设置对话框

(5) 单击 Real Contants 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步: 创建有限元模型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Nodes | On Active CS 命令, 出现 Create Nodes in Active Coordinate System 对话框。在 NODE Node number 文本框中输入 1, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0、0、0, 如图 11-4 所示。

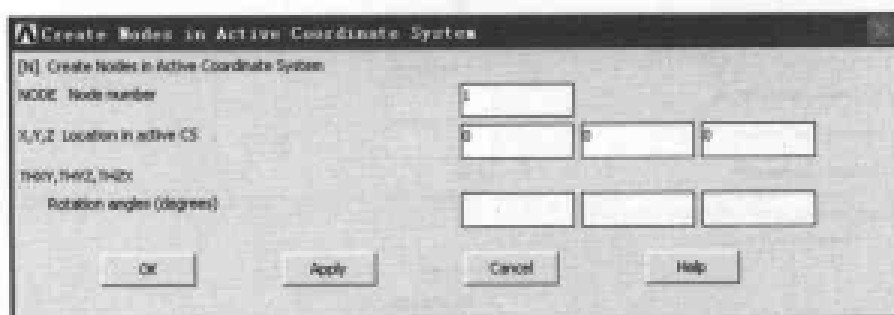


图 11-4 生成节点对话框

(2) 单击 Apply 按钮, 在 NODE Node number 文本框中输入 2, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0、0、0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Nodes 命令, 出现 Elements from Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise11.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第四步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis

对话框。选择分析类型为 Steady-state，如图 11-5 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

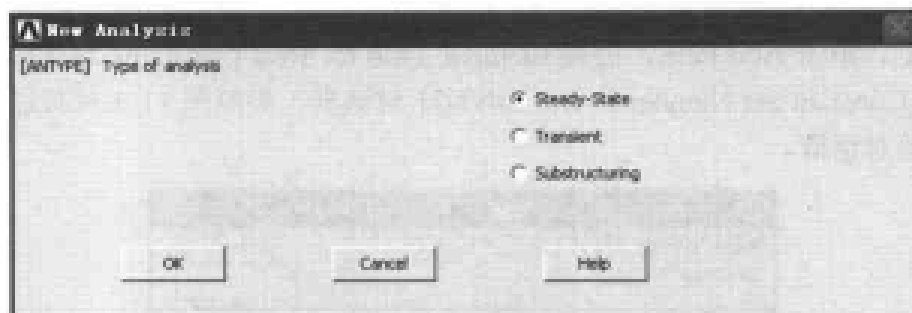


图 11-5 指定分析类型对话框

(2) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time —Time Step 命令，出现 Time and Time Step Options 对话框，在 [TIME] Time at end of load step 文本框中输入 1，在 [KBC] Stepped or ramped b.c.选项组中选中 Stepped 单选按钮，在 [AUTOTS] Automatic time stepping 选项组中选中 ON 单选按钮，如图 11-6 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

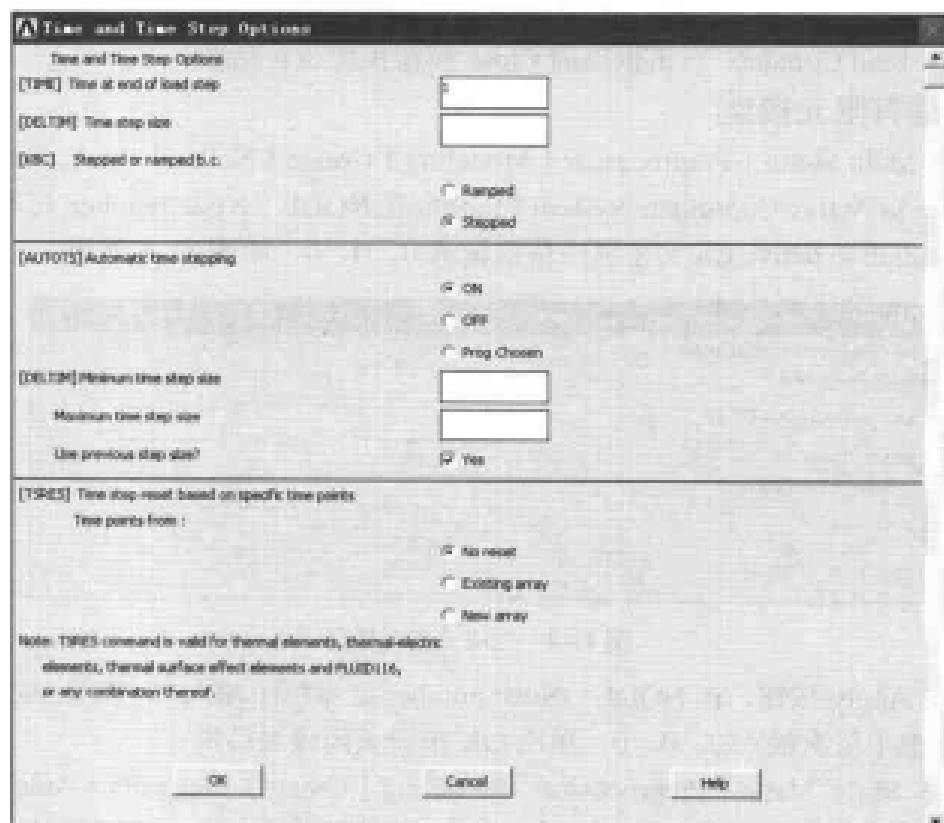


图 11-6 时间和时间步长设置对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Radiation Opts | Solution Opt 命令，出现 Radiation Solution Options 对话框，在 [STEF] Stefan-Boltzmann Const.文本框中输入 $5.67\text{E}-8$ ，在 [TOFFST] Temperature difference—between absolute zero and zero of active temp scale 文本框中输入 273，其余选项采用默认设置，如图 11-7 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

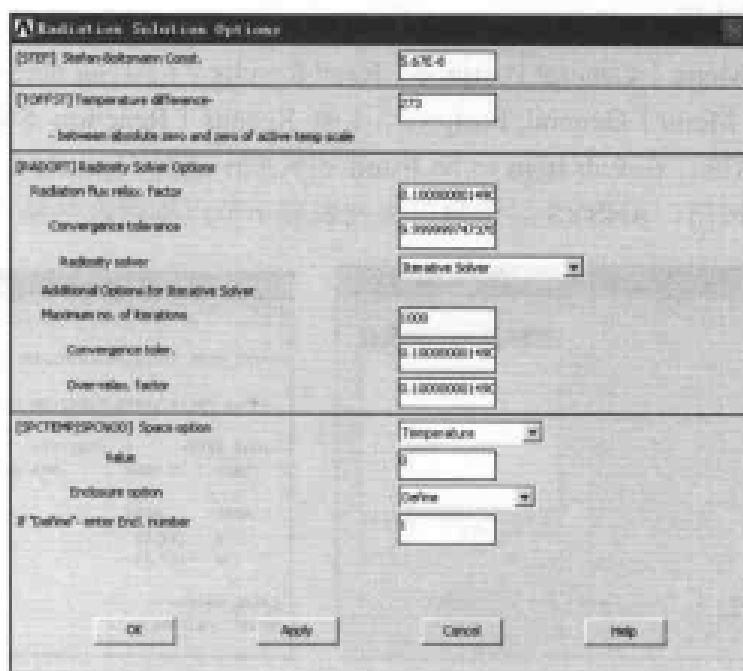


图 11-7 辐射分析设置对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 2000, 如图 11-8 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

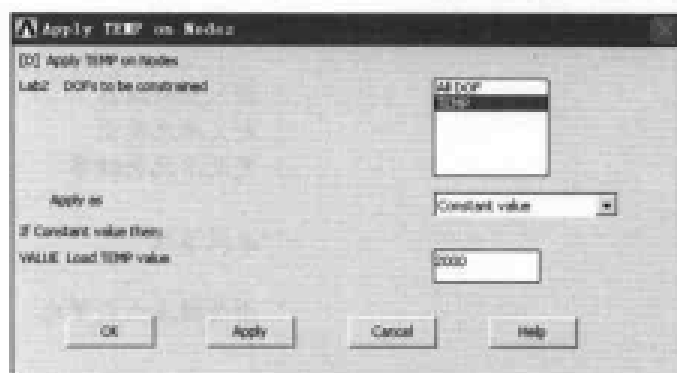


图 11-8 施加温度载荷对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(7) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise12.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | List Results | Reaction Solu 命令, 出现 List Reaction Solution 对话框, 在 Lab Item to be listed 列表框中选择 Heat flow HEAT 选项, 如图 11-9 所示, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将列表显示节点辐射换热量, 如图 11-10 所示。

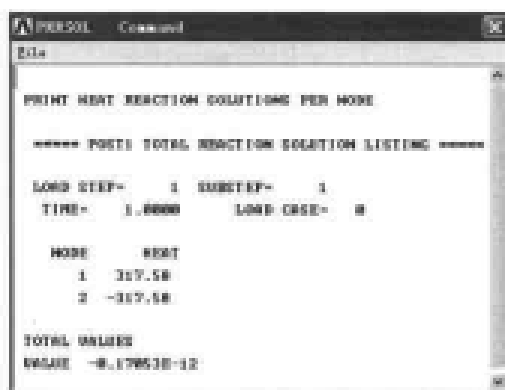


图 11-10 节点辐射换热量列表显示

(3) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE1
/TITLE, RADIANT ENERGY EMISSION
KEYW, PR THERM, 1

```

- ! 定义工作文件名
- ! 定义工作标题
- ! 指定分析类型为热分析

```

/PREP7
ET, 1, LINK31
R, 1, 1, 1, 1

```

- ! 进入前处理器
- ! 定义单元类型
- ! 定义单元关键字

N. 1
N. 2
E. 1, 2
ALLSEL
FINISH

- ! 生成节点
- ! 由关键点生成单元

```

/SOLU
ANTYPE, STATIC
TIME, 1
AUTOTS, ON
KBC, 1
STEP, 5.67E-8
TOPFST, 273
D, 1, TEMP, 2000
D, 2, TEMP, 0
SOLVE
FINISH

```

```
! 进入求解器
! 指定分析类型为问题分析
! 设置计算终止时间
! 打开自动时间步长
! 指定加载方式
! 定义 Stefan-Boltzmann 系数
! 定义温度偏移量
! 施加温度载荷

! 开始求解计算
```



```

/POST1
SET, LAST
PPRSOL
FINISH
/EXIT

```

```

! 进入 POST1 后处理器
! 读取最终求解结果
! 列表显示节点辐射换热量

! 退出 ANSYS

```

11-2 实例 2——等轴同心圆柱面的辐射传热

11-2-1 问题描述

有两个等长度的同心长圆柱面 1 和 2，半径分别为 0.1m 和 0.2m，横截面面积均为 1m^2 ，温度分别为 800°C 、 200°C ，两圆柱面的材料性能参数如表 11-1 所示，求两圆柱面间的辐射热流率。

表 11-1 材料性能参数

导热系数 K_1 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	导热系数 K_2 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	辐射率 ε_1	辐射率 ε_2
1	1	0.8	0.6

11-2-2 问题分析

该问题属于热辐射问题。由于两个圆柱面足够长，在计算过程中忽略端部的辐射热损失，将问题简化为平面问题。考虑到整个辐射传热过程为封闭系统，不需设置空间节点，在计算过程中使用 AUX12 辐射矩阵生成器。建立如图 11-11 所示的几何模型进行分析求解。

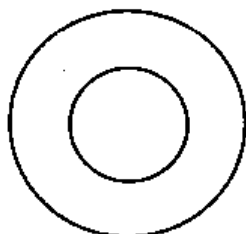


图 11-11 几何模型

11-2-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 RADIATION HEAT TRANSFER BETWEEN CONCENTRIC CYLINDERS，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Type 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Link、2D conduction 32 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 11-12 所示, 单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

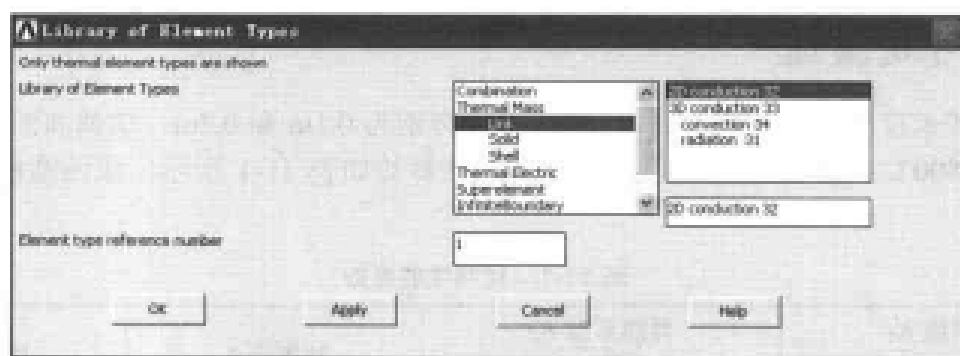


图 11-12 单元类型列表对话框

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Real Constants | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Real Constants 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Element Type for Real Constants 对话框。单击 OK 按钮, 出现 Real Constant Set Number 1, for LINK32 对话框, 参照图 11-13 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

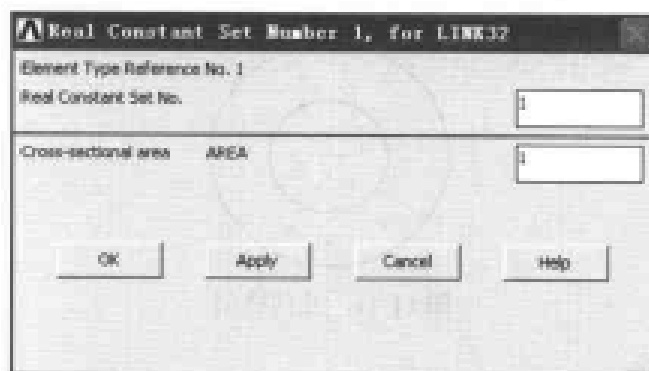


图 11-13 LINK32 单元实常数设置对话框

(5) 单击 Real Constants 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入材料导热系数 1, 如图 11-14 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

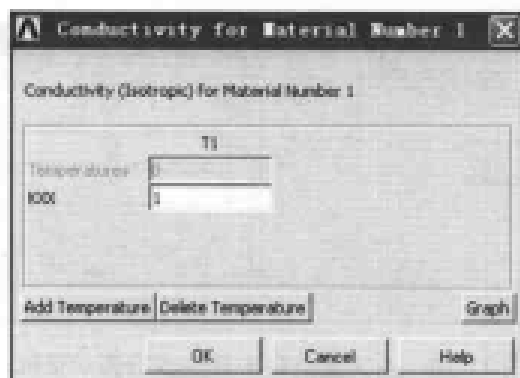


图 11-14 输入导热系数对话框

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中单击 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在 Define Material ID 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中双击 Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在 KXX 文本框中输入材料导热系数 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框。在 NPT Keypoint number 文本框中输入 1, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0、0、0, 如图 11-15 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

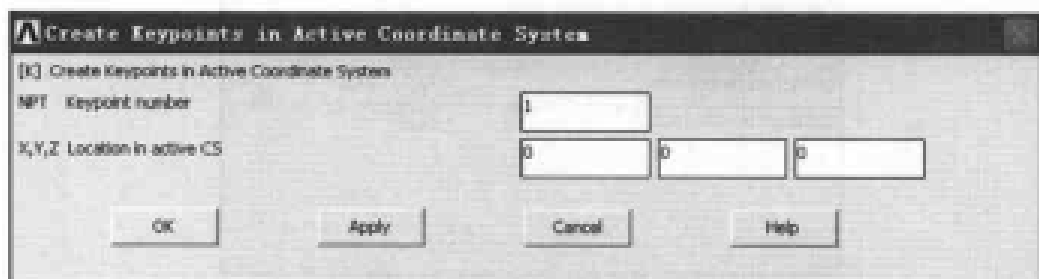


图 11-15 生成关键点对话框

(2) 参照上一步的操作过程, 在 ANSYS 显示窗口创建以下编号的关键点:

2 (0, 0.1, 0); 3 (0.1, 0, 0); 4 (0, -0.1, 0); 5 (-0.1, 0, 0)

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Arcs | By End KPs & Rad 命令, 出现 Arc by End KPs & Rad 菜单, 在文本框中输入 2, 3, 单击 OK 按钮, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Arc by End KPs & Radius 对话框, 在 RAD Radius of the arc 文本框中输入 0.1, 如图 11-16 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 参照上一步的操作过程, 分别由以下关键点和半径生成 3 条圆弧线:

(3, 4, 1, 0.1); (4, 5, 1, 0.1); (5, 2, 1, 0.1)

提示: 在 Arc by End KPs & Radius 对话框中, P1,P2 Keypoints at start + end 文本框中关键点编号的输入一定要按照上述的次序进行。

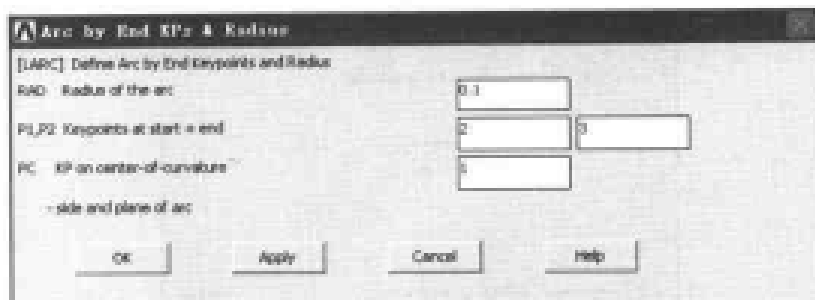


图 11-16 由关键点和半径生成圆弧对话框

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Arcs | Full Circle 命令，出现 Full Circle 菜单，在文本框中输入 0，单击 Apply 按钮，在文本框中输入 0.2，单击 OK 按钮。

(6) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 LINE Line numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，其余选项均采用默认设置，如图 11-17 所示；单击 OK 按钮关闭该对话框。

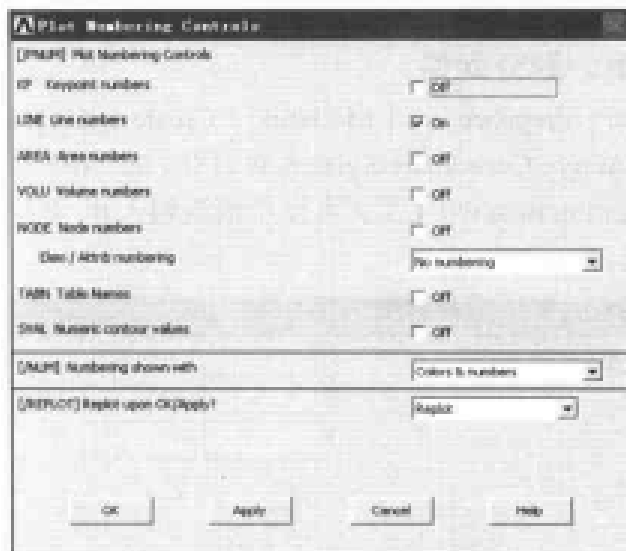


图 11-17 编号显示控制对话框

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Global | Size 命令，出现 Global Element Sizes 对话框，在 NDIV No. of element division 文本框中输入 6，如图 11-18 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

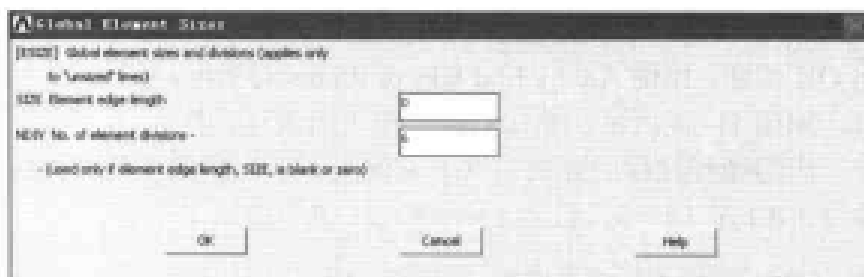


图 11-18 单元等份数设置对话框

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Lines 命令, 出现 Mesh Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 4, 单击 OK 按钮该菜单。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2, 其余选项均采用默认设置, 如图 11-19 所示, 单击 OK 按钮该对话框。

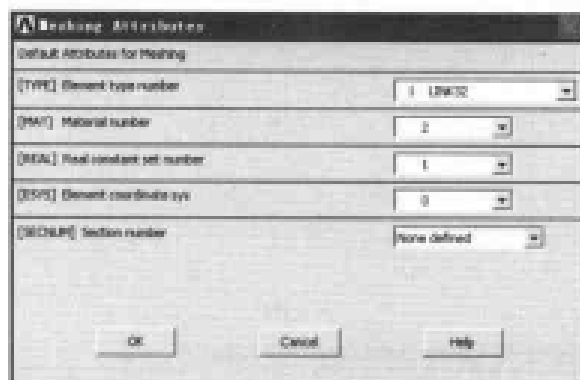


图 11-19 网格划分属性设置对话框

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Lines 命令, 出现 Mesh Lines 菜单, 在文本框中输入 5, 6, 7, 8, 单击 OK 按钮该菜单。

(11) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 TO VERIFY THE RADIATION AREAS WHETHER TO BE OPPOSITE, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Symbols 命令, 出现 Symbols 对话框, 选择 ESYS Element coordinate sys 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 如图 11-20 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

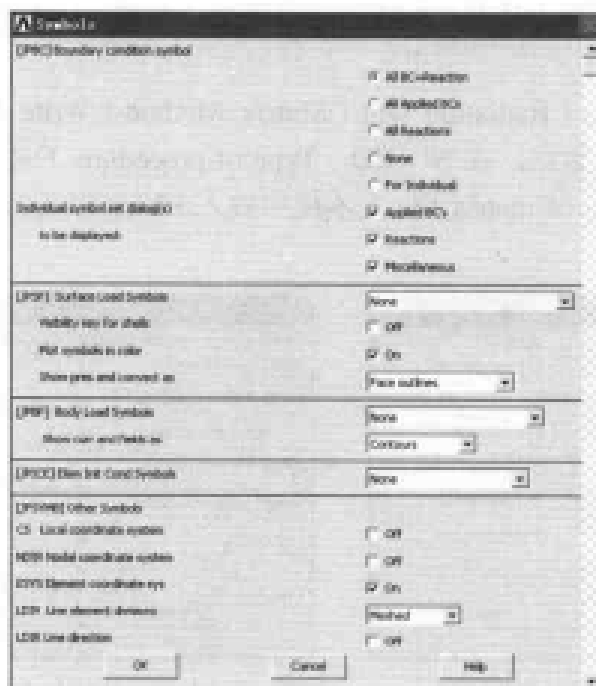


图 11-20 标记显示对话框

(13) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示单元辐射方向, 如图 11-21 所示。

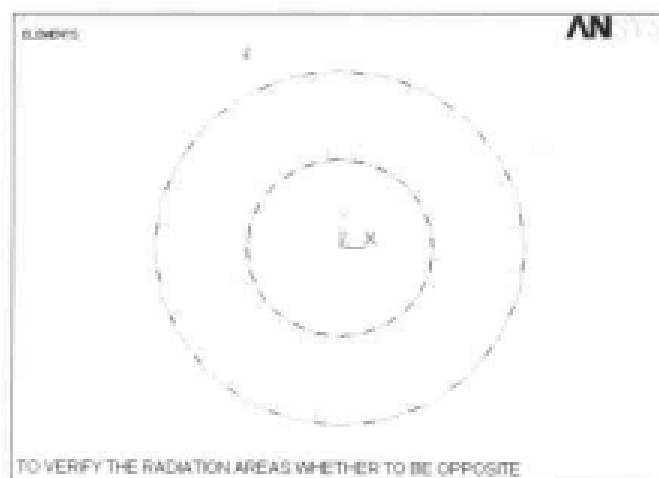


图 11-21 检验两个辐射面是否相对

第五步：生成 AUX12 辐射矩阵

(1) 选择 Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Emissivities 命令, 出现 Define Emissivities 对话框, 在 MAT Material number 文本框中输入 1, 在 EVALU Emissivity value 文本框中输入 0.8。

(2) 单击 Apply 按钮, 在 MAT Material number 文本框中输入 2, 在 EVALU Emissivity value 文本框中输入 0.6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Other Settings 命令, 出现 Radiation Matrix Settings 对话框, 在 [STEF] Stefan-Boltzmann Const. 文本框中输入 $5.67E-8$, 在 K2D Type of geometry 下拉列表框中选择 2D geometry 选项, 如图 11-22 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Radiation Opt | Matrix Method | Write Matrix 命令, 出现 Write Radiation Matrix To File 对话框, 在 NOHID Type of procedure 下拉列表框中选择 Hidden 选项, 在 [WRITE] Name of matrix file 文本框中输入 EXERCISE2, 如图 11-23 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

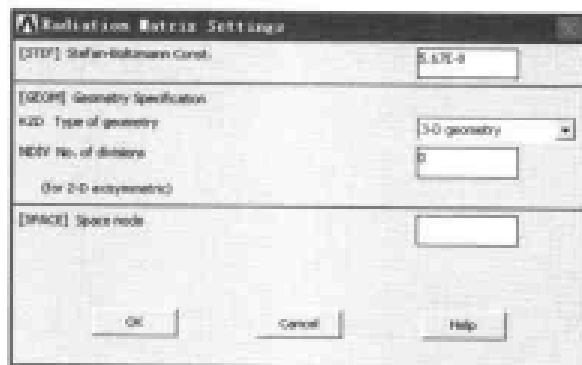


图 11-22 辐射矩阵设置对话框

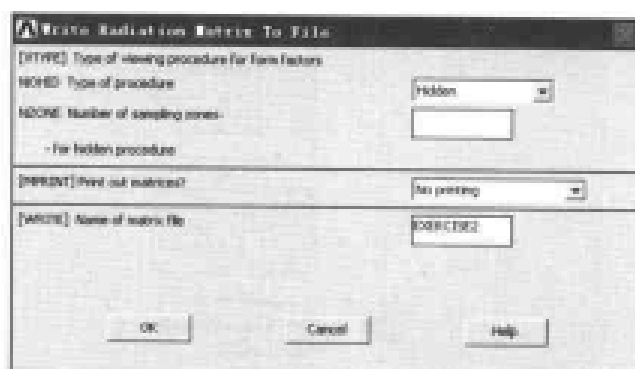


图 11-23 将辐射矩阵写入到文件对话框

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add DOF 命令, 出现 Add Degrees of Freedom 对话框, 在下列表框中选择 TEMP 选项, 如图 11-24 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 定义超单元

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Type 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Superelement、Superelement 50 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 在 Element Type 对话框中选择 Type 2 MATRIX50 选项, 单击 Options 按钮, 出现 MATRIX50 element type options 对话框, 在 Element behavior K1 下拉列表框中选择 Radiation substr 选项, 在 Nodal force output K6 下拉列表框中选择 Include output 选项, 如图 11-25 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

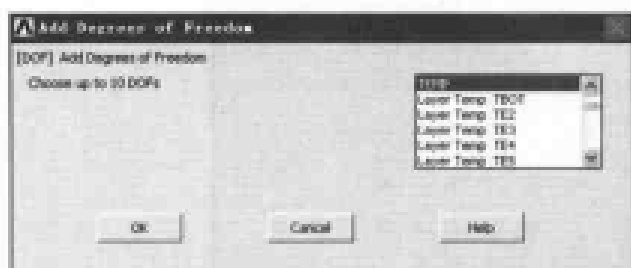


图 11-24 添加自由度对话框

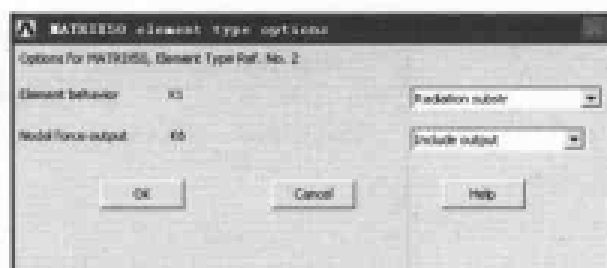


图 11-25 MATRIX50 单元属性设置对话框

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Create | Elements | Elem Attributes 命令, 出现 Elements Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 MATRIX50 选项, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Create | Elements | Superelements | From .SUB File 命令, 出现 Read in Superelement From Matrix File (.SUB) 对话框, 在 File Jobname of matrix file 文本框中输入 EXERCISE2, 如图 11-26 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

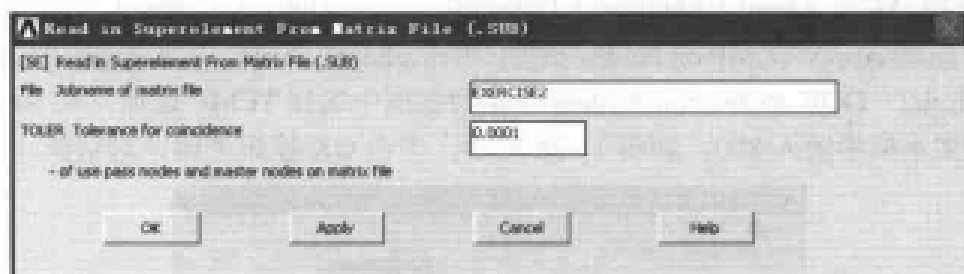


图 11-26 将矩阵文件读入到超单元对话框

(6) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise21.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第七步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis

对话框。选择分析类型为 Steady-state，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options 命令，出现 Static or Steady-State Analysis 对话框，在 [TOFFST] Temperature difference 文本框中输入 273，其余选项均采用默认设置，如图 11-27 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

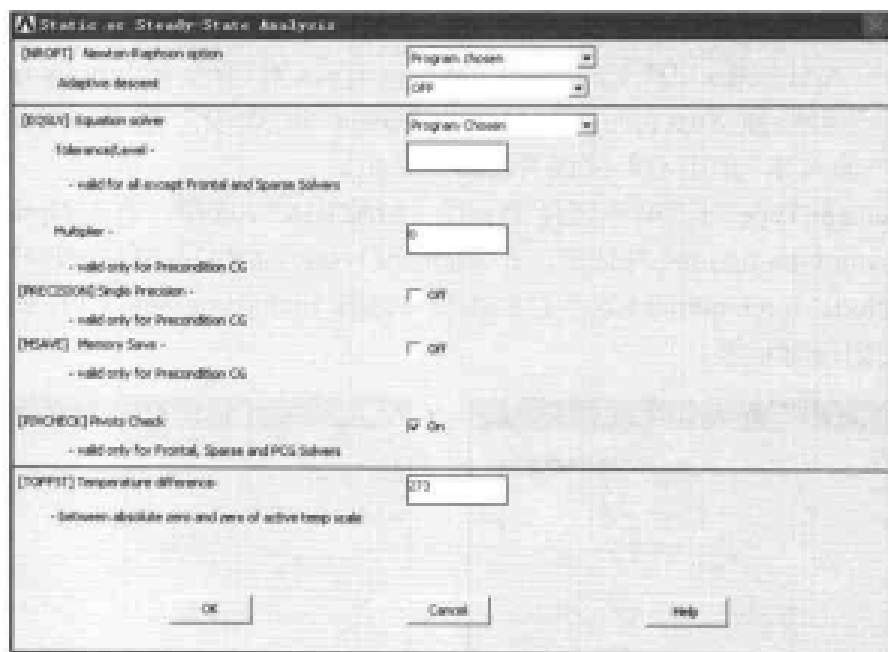


图 11-27 稳态分析选项设置对话框

(3) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令，显示所有线段。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项，其余选项采用默认设置，单击 OK 按钮，出现 Select Lines 菜单，在文本框中输入 1, 2, 3, 4，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项，在第 3 个选项组中选 Lines 单选按钮，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令，出现 Apply TEMP on Nodes 菜单，单击 pick all 按钮，出现 Apply TEMP on Nodes 对话框，在 Lab2 DOF to be constrained 下拉列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 800，如图 11-28 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

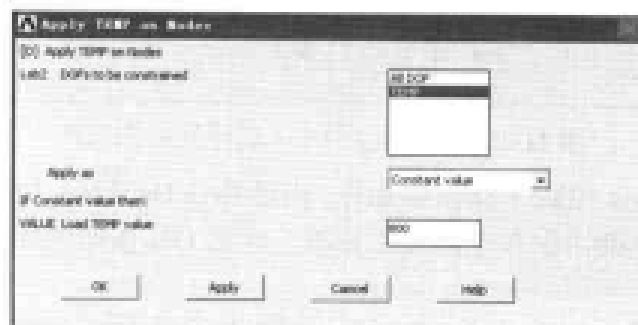


图 11-28 施加温度载荷对话框

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 5, 6, 7, 8, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOF to be constrained 下拉列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 200, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(12) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise22.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第八步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 11-29 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 5, 6, 7, 8, 如图 11-30 所示, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选 From Full 单选按钮, 如图 11-31 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

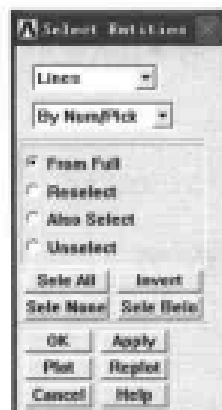


图 11-29 选择线段对话框

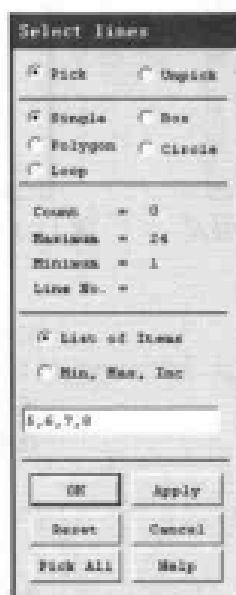


图 11-30 选择线段菜单

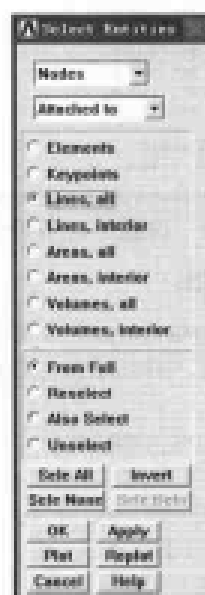


图 11-31 选择节点对话框

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | List Results | Reaction Solu 命令, 出现 List Reaction Solution 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将列表显示内圆周上所有节点辐射换热量, 如图 11-32 所示。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 5, 6, 7, 8, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | General Postproc | List Results | Reaction Solu 命令, 出现 List Reaction Solution 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将列表显示外圆周上所有节点的辐射换热量, 如图 11-33 所示。

(8) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选择 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

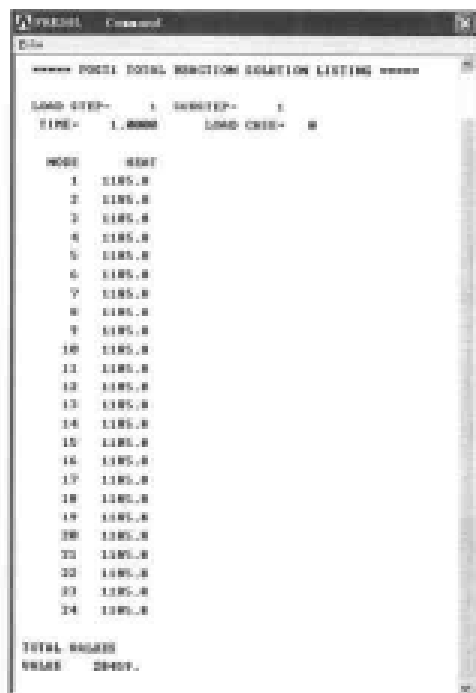


图 11-32 内圆周各节点辐射换热量列表显示

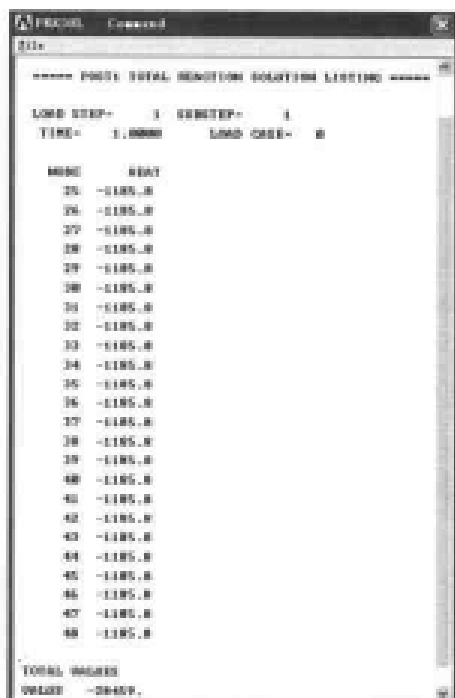


图 11-33 外圆周各节点辐射换热量列表显示

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE2          ! 定义工作文件名
/TITLE, RADIATION HEAT TRANSFER BETWEEN 2 CONCENTRIC CYLINDERS
                                ! 定义工作标题
KEYW, PR_THERM, 1             ! 指定分析类型为热分析

/PREP7                         ! 进入前处理器
ET, 1, LINK32                  ! 定义单元类型
R, 1, 1                         ! 定义实常数
MP, KXX, 1, 1                  ! 输入材料导热系数
    
```


MP, KXX, 2, 1	
K, 1, 0, 0, 0	! 生成关键点
K, 2, 0, 0.1, 0	
K, 3, 0.1, 0, 0	
K, 4, 0, -0.1, 0	
K, 5, -0.1, 0, 0	
LARC, 2, 3, 1, 0.1	! 由关键点生成圆弧线
LARC, 3, 4, 1, 0.1	
LARC, 4, 5, 1, 0.1	
LARC, 5, 2, 1, 0.1	
CIRCLE, 1, 0.2	! 生成圆周
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
/REPLOT	
ESIZE, , 6	! 设置单元等份数
MAT, 1	! 指定材料类型
LSEL, S, , , 1, 4	! 选择线段
LMESH, ALL	! 对线段进行网格划分
LPLLOT	
MAT, 2	
LSEL, S, , , 5, 8	
LMESH, ALL	
/TITLE, TO VERIFY THE RADIATION AREAS WHETHER TO BE OPPOSITE	
/PSYMB, ESYS, 1	! 检验两辐射面是否相对
/REPLOT	
FINISH	
/AUX12	! 生成/AUX12 矩阵
EMIS, 1, 0.8	! 指定辐射率
EMIS, 2, 0.6	
STEF, 5.67E-8	! 定义 Stefan-Boltzmann 系数
VTYPE, 0	
GEOM, 1	! 定义形状系数
WRITE, EXERCISE2	! 将角系数矩阵写入到文件中
FINISH	
/PREP7	! 重新进入前处理器
DOF, TEMP	! 添加温度自由度
ET, 2, MATRIX50	! 定义超单元
KEYOPT, 2, 1, 1	! 定义单元关键字
KEYOPT, 2, 6, 1	
TYPE, 2	
SE, EXERCISE2	! 读入角系数矩阵
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 指定分析类型为稳态分析
TOFFST, 273	! 设置温度偏移量
LPLLOT	! 显示线段
LSEL, S, LINE, , 1, 4	! 选择线段

NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 800	! 施加温度载荷
LSEL, S, LINE, , 5, 8	
NSLL, S, 1	
D, ALL, TEMP, 200	
ALLSEL	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
LSEL, S, , , 1, 4	
NSLL, S, 1	
PRRSOL	! 列表显示内圆所有节点辐射换热量
NSEL, INVE	
PRRSOL	! 列表显示外圆所有节点辐射换热量
ALLSEL	
FINISH	
/EXIT	! 退出 ANSYS

11-3 实例 3——等轴同心圆柱体的辐射传热

11-3-1 问题描述

有两个等长度的同轴长圆柱体，其横截面如图 11-34 所示，内、外圆柱体的初始温度分别为 1000°C 、 100°C ，二者之间的辐射率为 1，两圆柱体的材料性能参数如表 11-2 所示，求两圆柱体间的辐射热流率（图中长度单位为 mm）。

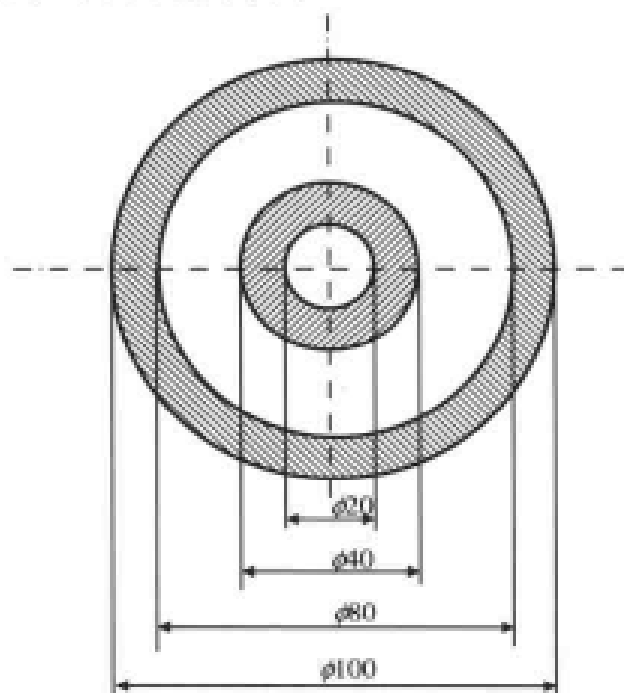


图 11-34 同轴圆柱体横截面示意图

表 11-2 材料性能参数

导热系数 K_1 W/(m·℃)	导热系数 K_2 W/(m·℃)	密度 ρ_1 (kg/m ³)	密度 ρ_2 (kg/m ³)	比热 C_1 J/(kg·℃)	比热 C_2 J/(kg·℃)
70	30	7800	2700	480	350

11-3-2 问题分析

该问题属于热辐射问题。由于两个圆柱体足够长，在计算过程中忽略端部的辐射热损失，将问题简化为平面问题。考虑到整个辐射传热过程为封闭系统，不需设置空间节点，在计算过程中使用 AUX12 辐射矩阵生成器。选择 PLANE55 热分析单元进行分析求解。

提示：由于热辐射在两圆柱体所围成的封闭系统中进行，所以不能采用横截面的四分之一建立几何模型。

11-3-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 RADIATION BETWEEN INFINITE COAXIAL CYLINDERS，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮，关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在 KXX 文本框中输入圆柱体 1 的导热系数 70，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中双击 Density 选项，出现 Density for Material Number 1 对话框，在 DENS 文本框中输入圆柱体 1 的密度 7800，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中双击 Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在 C 文本框中输入圆柱体 1 的比热 480, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框上单击 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在 Define Material ID 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Available 列表框中双击 Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在 KXX 文本框中输入圆柱体 2 的导热系数 30, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Material Models Available 列表框中双击 Density 选项, 出现 Density for Material Number 2 对话框, 在 DENS 文本框中输入圆柱体 2 的密度 2700, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 在 Material Models Available 列表框中双击 Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 2 对话框, 在 C 文本框中输入圆柱体 2 的比热 350, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Circle | Partial Annulus 命令, 出现 Part Annular Circ Area 对话框, 在 WP X 文本框中输入 0, 在 WP Y 文本框中输入 0, 在 Rad-1 文本框中输入 0.1, 在 Theta-1 文本框中输入 0, 在 Rad-2 文本框中输入 0.2, 在 Theta-2 文本框中输入 90, 如图 11-35 所示。

(2) 单击 Apply 按钮, 在 WP X 文本框中输入 0, 在 WP Y 文本框中输入 0, 在 Rad-1 文本框中输入 0.4, 在 Theta-1 文本框中输入 0, 在 Rad-2 文本框中输入 0.5, 在 Theta-2 文本框中输入 90, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, ANSYS 显示窗口将显示所生成的几何模型, 如图 11-36 所示。

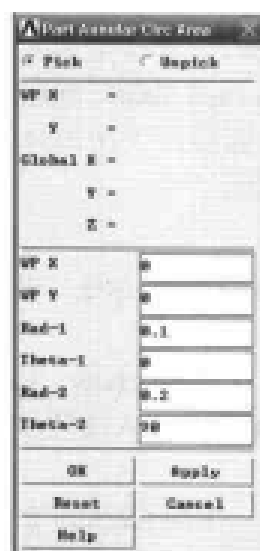


图 11-35 生成部分圆环面对话框

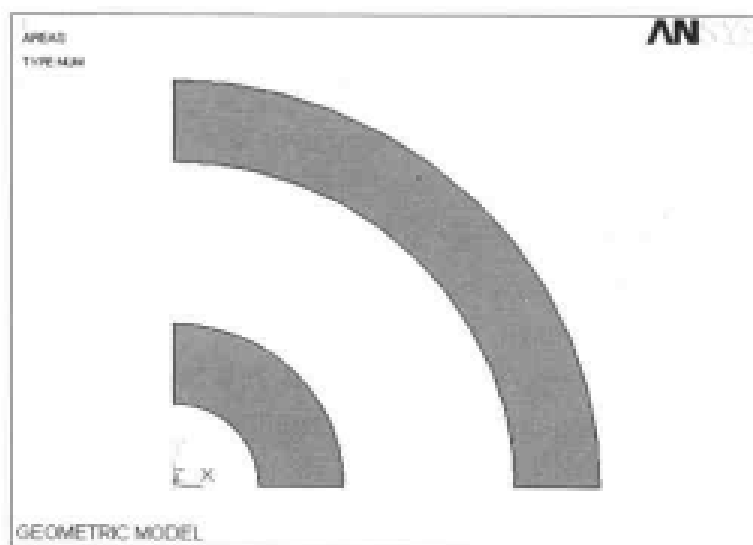


图 11-36 生成的几何模型显示

(5) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | MannualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divitions 文本框中输入 5, 如图 11-37 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

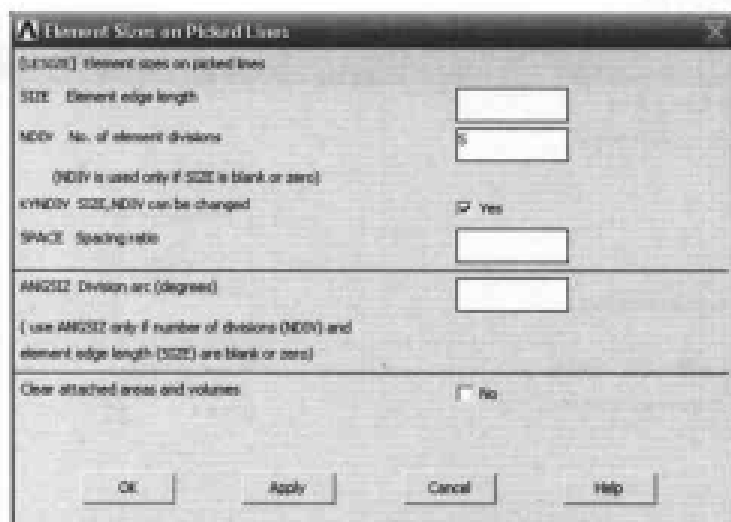


图 11-37 指定线段上单元等份数对话框

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | MannualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 10, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | MannualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 6, 8, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | MannualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 5, 7, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 30, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 对话框, 在 Mesh 下拉列表框中选择 Areas 选项, 在 Shape 选项组中选中 Quad 和 Mapped 单选按钮, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [MAT] Materail number 下拉列表框中选择 2, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | MeshTool 命令, 出现 MeshTool 对话框, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 单击 MeshTool 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Reflect | Areas 命令, 出现 Reflect Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Reflect Areas 对话框, 在 Ncomp Plane of symmetry 选项组中选 Y-Z plane X 单选按钮, 在 NOELEM Items to be reflected 下拉列表框中选择 Areas and mesh 选项, 在 IMOVE Existing areas will be 下拉列表框中选择 Copied 选项, 如图 11-38 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

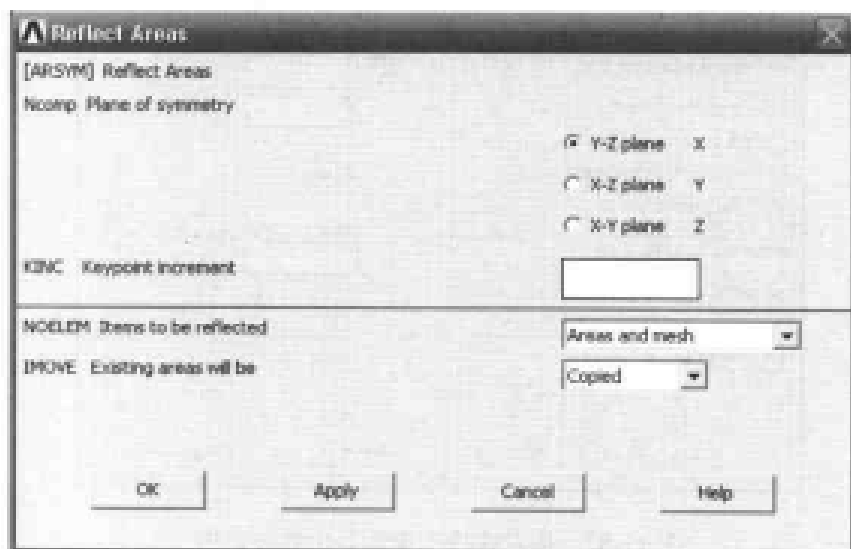


图 11-38 映射面对话框

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Reflect | Areas 命令, 出现 Reflect Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Reflect Areas 对话框, 在 Ncomp Plane of symmetry 选项组中选 X-Z plane Y 单选按钮, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 上述两步之间不能采用 Apply 按钮过渡。

(16) 选择 Main Menu | Numbering Ctrl | Merge Items 命令, 出现 Merge Coincident or Equivalently Defined Items 对话框, 在 Label Type of item to be merge 下拉列表框中选择 Nodes 选项, 其余选项均采用默认设置, 如图 11-39 所示, 单击 Apply 按钮, 在 Label Type of item to be merge 下拉列表框中选择 Keypoints 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 在操作过程中若出现 Warning 对话框, 可直接单击其上的 Close 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示网格划分后的结果, 如图 11-40 所示。

(19) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

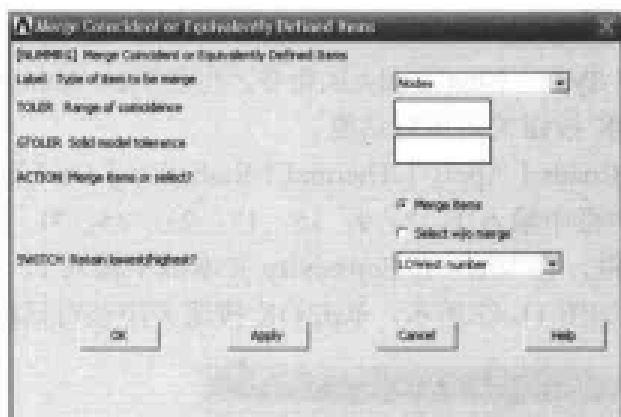


图 11-39 合并同位置节点对话框

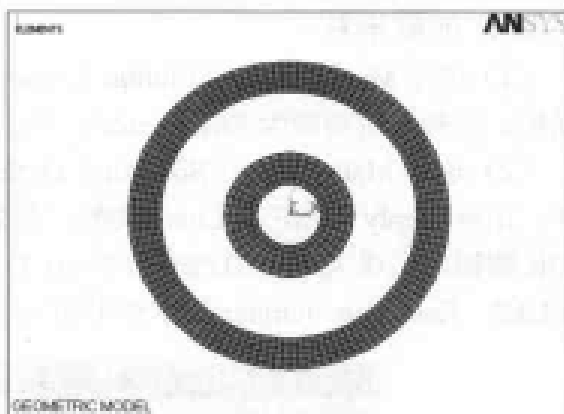


图 11-40 网格划分结果显示

第五步：生成 AUX12 辐射矩阵

(1) 选择 Main Menu | Radiation Opt | Radiosity Meth | Solution Opt 命令, 出现 Radiation Solution Options 对话框, 在 [STEF] Stefan-Boltzmann Const. 文本框中输入 $5.67\text{E}-8$, 在 [TOFFST] Temperature difference-between absolute zero and zero of active temp scale 文本框中输入 273, 在 Convergence tolerance 文本框中输入 0.001, 在 [SPCTEMP/SPCNOD] Space option 下拉列表框中选择 Temperature 选项, 在 Value 文本框中输入 20, 其余选项采用默认设置, 如图 11-41 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

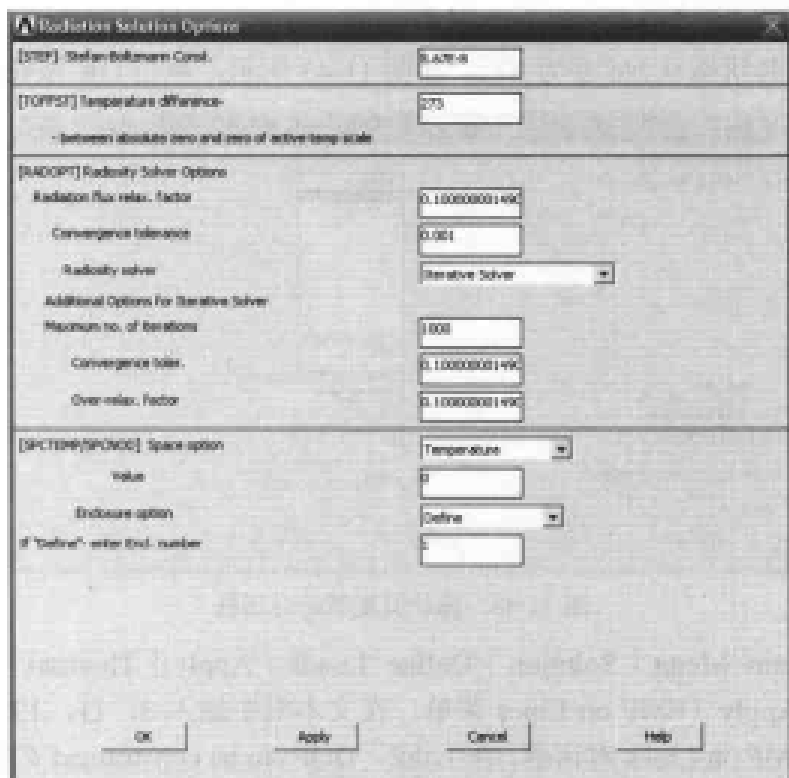


图 11-41 辐射分析选项设置对话框

(2) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise31.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步：加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令，出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Steady-state，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Radiation | On Lines 命令，出现 Apply RDSF on Lines 菜单，在文本框中输入 1, 7, 9, 15, 17, 23, 25, 31，单击 OK 按钮，出现 Apply RDSF on Lines 对话框，在 VALUE Emissivity 文本框中输入 1，在 VALUE2 Enclosure number 文本框中输入 1，如图 11-42 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

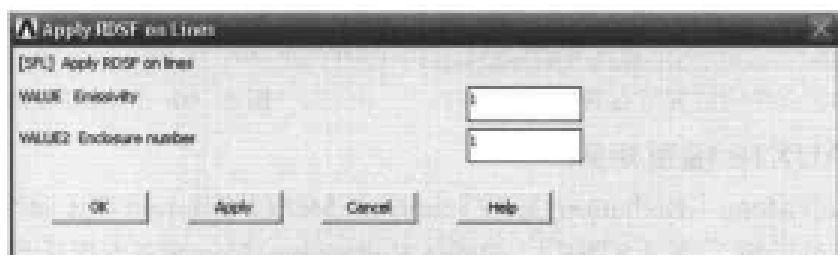


图 11-42 时间辐射载荷对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Lines 命令，出现 Apply TEMP on Lines 菜单，在文本框中输入 5, 13, 21, 29，单击 OK 按钮，出现 Apply TEMP on Lines 对话框，在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 100，选择 KEXPND Apply TEMP to endpoints 选项，使其状态从 No 变为 Yes，如图 11-43 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

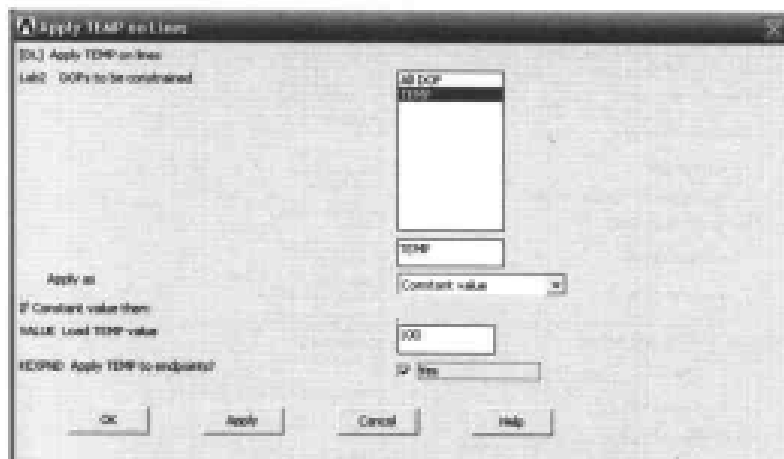


图 11-43 施加温度载荷对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Lines 命令，出现 Apply TEMP on Lines 菜单，在文本框中输入 3, 11, 19, 27，单击 OK 按钮，出现 Apply TEMP on Lines 对话框，在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 1000，选择 KEXPND Apply TEMP to endpoints 选项，使其状态从 No 变为 Yes，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time-Time Step 命令，出

现 Time and Time Step Options 对话框, 在 [TIME] Time at end of load step 文本框中输入 1, 在 [DELTIM] Time step size 文本框中输入 0.5, 其余选项均采用默认设置, 如图 11-44 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

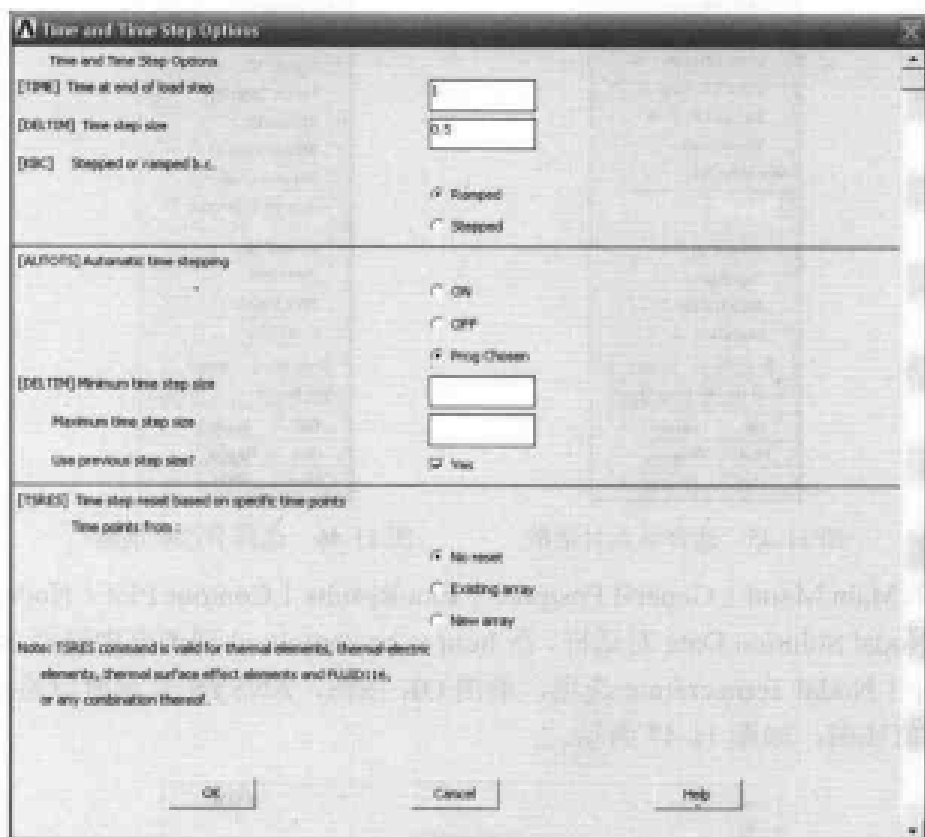


图 11-44 时间和时间步长选项设置对话框

(7) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(8) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise32.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第七步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选中 Material num 单选按钮, 在 Min,Max,Inc 文本框中输入 1, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 11-45 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Elements 单选按钮, 在第 4 个选项组中选择 From Full 单选按钮, 如图 11-46 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 11-45 选择单元对话框

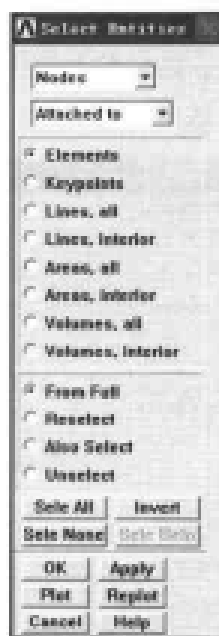


图 11-46 选择节点对话框

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | DOF solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示内圆柱体上节点温度场等值线图, 如图 11-47 所示。

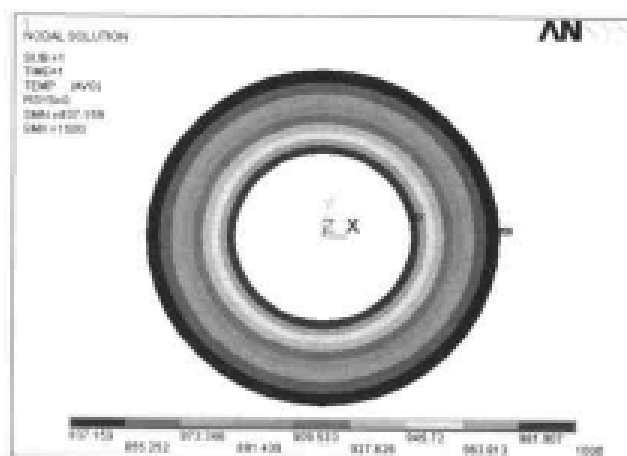
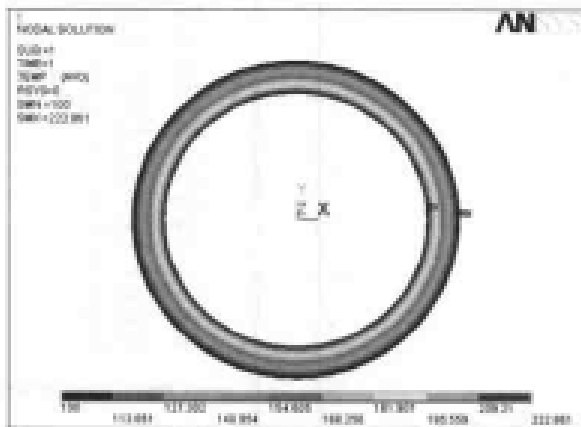


图 11-47 内圆柱体节点温度场等值线

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选 Material num 单选按钮, 在 Min,Max,Inc 文本框中输入 2, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Elements 单选按钮, 在第 4 个选项组中选择 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



1. $\frac{1}{2} \log \frac{1}{2}$ 2. $\frac{1}{2} \log \frac{1}{2}$ 3. $\frac{1}{2} \log \frac{1}{2}$ 4. $\frac{1}{2} \log \frac{1}{2}$ 5. $\frac{1}{2} \log \frac{1}{2}$

(9) 选择 Utility Menu | Set

(10) 選擇 Main Menu | Ge

(11) 选择 Utility Menu | So

(12) 选择 Utility Menu | Set

(13) 选择 Main Menu | Go

(14) 选择 Utility Menu | Fi

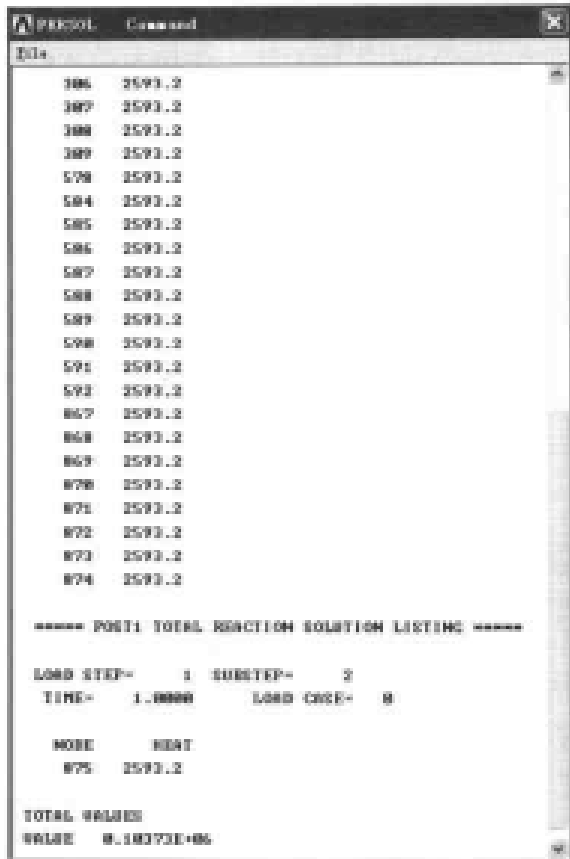


图 11-49 内圆柱体各节点辐射换热量列表显示

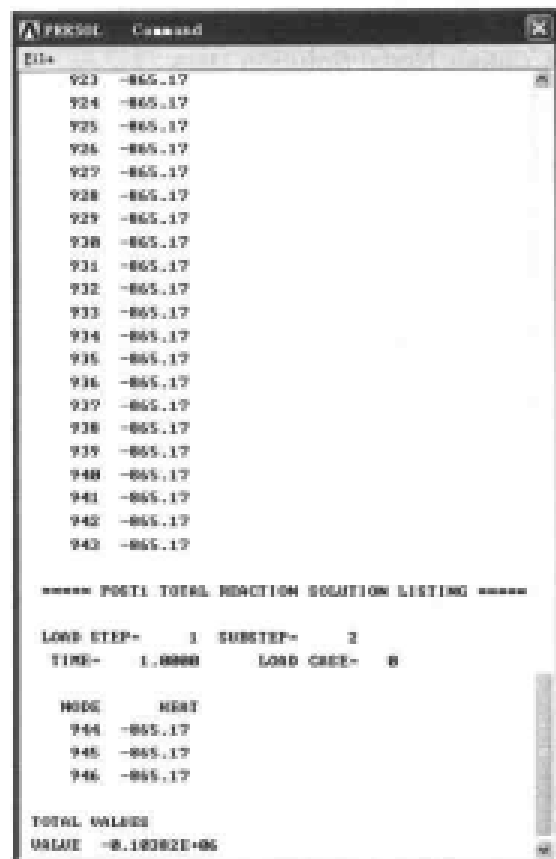


图 11-50 外圆柱体各节点辐射换热量列表显示

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE3          ! 定义工作文件名
/TITLE, RADIATION BETWEEN INFINITE COAXIAL CYLINDERS
                                ! 定义工作标题

KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7                          ! 进入前处理器
ET, 1, PLANE55                  ! 定义单元类型
MP, DENS, 1, 7800                ! 输入材料 1 的密度
MP, KXX, 1, 70                  ! 输入材料 1 的导热系数
MP, C, 1, 480                   ! 输入材料 1 的比热容
MP, DENS, 2, 2700               ! 输入材料 2 的密度
MP, KXX, 2, 30                 ! 输入材料 2 的导热系数
MP, C, 2, 350                  ! 输入材料 2 的比热容

CYL4, 0, 0, 0.1, 90, 0.2       ! 生成部分圆环面
CYL4, 0, 0, 0.4, 90, 0.5

/TITLE, GEOMETRIC MODEL
APLOT                          ! 显示面
/PNUM, LINE, 1                 ! 显示线段编号
/PNUM, AREA, 1                 ! 显示面编号
LSEL, S, , , 2, 4, 2           ! 选择线段
LESIZE, ALL, , , 5             ! 设置单元等份数
LSEL, S, , , 1, 3, 2
    
```



```

LESIZE, ALL, , , 10
LSEL, S, , , 6, 8, 2
LESIZE, ALL, , , 6
LSEL, S, , , 5, 7, 2
LESIZE, ALL, , , 30
MSHAPE, 0, 2D
MSHKEY, 1
AMESH, 1
APLOT
MAT, 2
AMESH, 2
ARSYM, X, ALL
ARSYM, Y, ALL
NUMMRG, NODE
NUMMRG, KP
/TITLE, ELEMENT IN MODEL
EPLOT
ALLSEL

/AUX12
STEF, 5.67E-8
TOFFST, 273
RADOPT, , 0.001
SPCTEMP, 1, 20
FINISH

/SOLU
ANTYPE, STATIC
LPLOT
LSEL, S, , , 1, 7, 6
LSEL, A, , , 9, 15, 6
LSEL, A, , , 17, 23, 6
LSEL, A, , , 25, 31, 6
SFL, ALL, RDSF, 1, , 1
LSEL, S, , , 5, 29, 8
DL, ALL, , TEMP, 100, 1
LSEL, S, , , 3, 27, 8
DL, ALL, , TEMP, 1000, 1
ALLSEL
TIME, 1
DELTIM, 0.5
SOLVE
FINISH

/POST1
SET, LAST
ESEL, S, MAT, , 1
NSLE, S
PLNSOL, TEMP
ESEL, S, MAT, , 2
NSLE, S
PLNSOL, TEMP
ESEL, S, MAT, , 1
NSLE, S
PRRSOL

```

! 指定单元形状

! 对面进行网格划分

! 指定材料类型

! 沿 X 轴映射面

! 沿 Y 轴映射面

! 合并同位置节点

! 压缩关键点编号

! 显示单元

! 生成 AUX12 矩阵

! 定义 Stefan-Boltzmann 系数

! 定义温度偏移量

! 指定辐射空间温度

! 进入求解器

! 指定分析类型为稳态分析

! 显示线段

! 选择线段

! 在线段上施加辐射率载荷

! 在线段上施加温度载荷

! 定义计算终止时间

! 指定时间步长

! 开始求解计算

! 进入 POST1 后处理器

! 读取最终求解结果

! 选择材料类型为 1 的单元

! 选择单元上的所有节点

! 绘制内圆柱体节点温度场等值线图

! 选择材料类型为 2 的单元

! 选择单元上的所有节点

! 绘制外圆柱体节点温度场等值线图

! 列表显示内圆柱体所有节点辐射换热量


```

ESEL, S, MAT, , 2
NSLE, S
PPRSOL
ALLSEL
FINISH
/EXIT, ALL

```

! 列表显示外国柱体所有节点辐射换热量

! 退出 ANSYS

11-4 实例 4——型钢的热辐射过程

11-4-1 问题描述

图 11-51 所示为一横截面为正八边形、长度为 1000mm 的型钢，初始温度为 1000℃，求其对外进行热辐射 1 小时后型钢的温度及型钢中心点温度随时间的变化曲线，材料性能参数如表 11-3 所示（图中长度单位为 mm）。

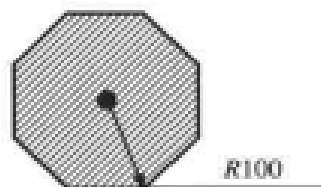


图 11-51 型钢截面示意图

表 11-3 材料性能参数

导热系数 K $W/(m \cdot ^\circ C)$	密度 ρ (kg/m^3)	比热 C $J/(kg \cdot ^\circ C)$	辐射率 ε	Stefan-Boltzman 常数 R
68	7800	465	1	5.67×10^{-8}

11-4-2 问题分析

该问题属于热辐射问题。选取整个型钢作为研究对象，设置空间节点，选择 SOLID70 单元及 SURF22 单元进行分析求解。

11-4-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE4，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 COOLING OF A BILLET BY RADIATION，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element

Types 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Brick 8node 70 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1。

(3) 单击 Apply 按钮, 在 Library of Element Types 列表框中选择 Surface Effect 3D thermal 152 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 2。

(4) 单击 Apply 按钮, 在 Library of Element Types 列表框中选择 Thermal Solid Quad 4node 55 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 3。单击 OK 按钮, 关闭 Library of Element Types 对话框。

(5) 在 Element Types 对话框中选择 Type 2 SURF152 选项, 单击 Options 按钮, 出现 SURF152 element type options 对话框, 在 Midside nodes K4 下拉列表框中选择 Exclude 选项, 在 Extra node for radiation K5 下拉列表框中选择 Include 选项, 在 Radiation form factor calc as K9 下拉列表框中选择 Real const FORMF 选项, 如图 11-52 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Real Constants | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Real Constants 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Element Type for Real Constants 对话框。

(8) 选择 Type 2 SURF152 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Real Constants for SURF152 对话框, 在 Real Constant Set No. 文本框中输入参考号 2, 在 Form factor FORMF 文本框中输入形状系数 1, 在 Stefan-Boltzmann const SBCONST 文本框中输入 $5.67\text{E}-8$, 如图 11-53 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

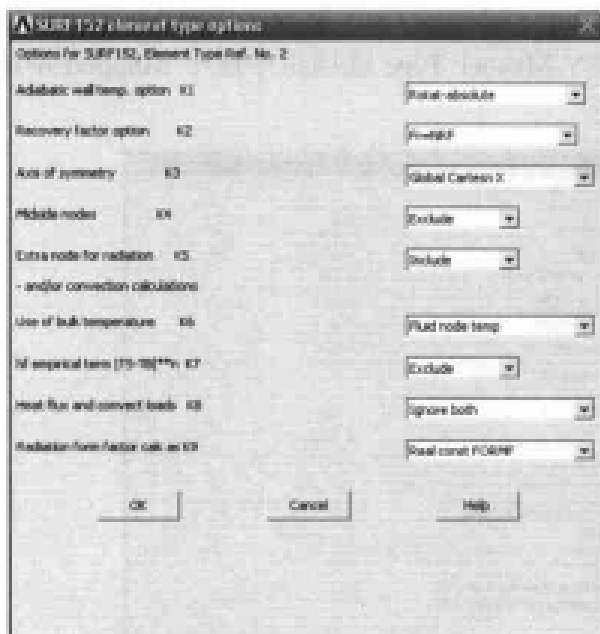


图 11-52 SURF152 单元属性设置对话框

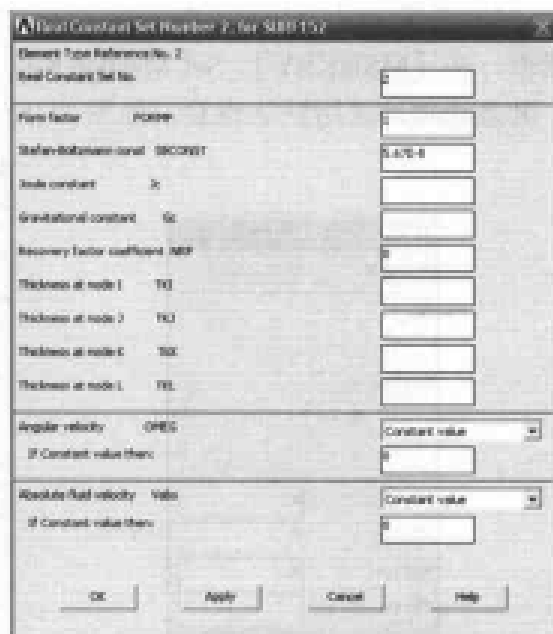


图 11-53 SURF152 单元实常数设置对话框

(9) 单击 Real Constants 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Availabley 对话框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在 KXX 文本框中输入导热系数 68, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中双击 Density 选项, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在 DENS 文本框中输入密度 7800, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Define Material Model Behavior 对话框中双击 Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在 C 文本框中输入比热 465, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框上单击 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在 Define Material ID 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Define Material Model Behavior 对话框中双击 Emissivity 选项, 出现 Emissivity for Material Number 2 对话框, 在 EMIS 文本框中输入辐射率 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Polygon | Octagon 命令, 出现 Octagonal Area 对话框, 在 WP X 文本框中输入 0, 在 WP Y 文本框中输入 0, 在 Radius 文本框中输入 0.1, 如图 11-54 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 KP Keypoint numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesher Opts 命令, 出现 Mesher Options 对话框, 在 [MSHKEY] Set Mesher Key KEY Mesher Type 选项组中选中 Mapped 单选按钮, 其余选项均采用默认设置, 如图 11-55 所示。

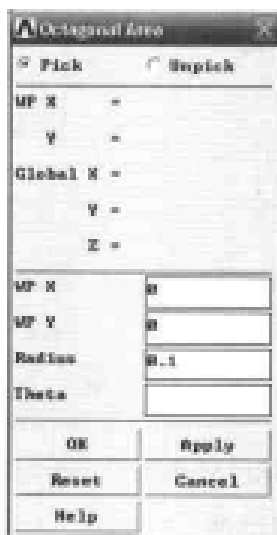


图 11-54 生成 8 边形对话框

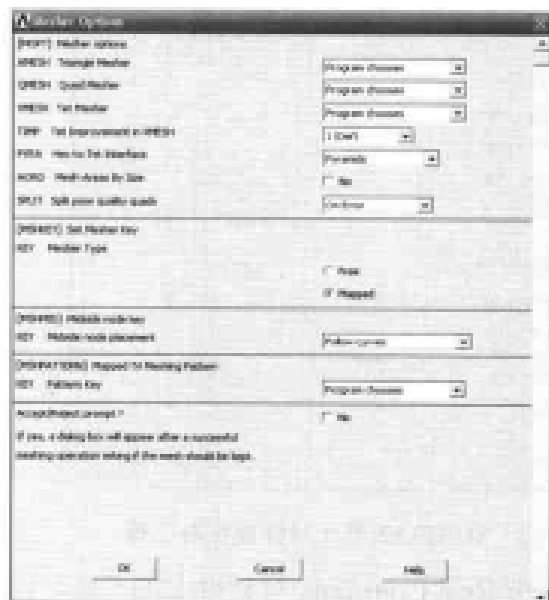


图 11-55 网格划分选项设置对话框

(4) 单击 OK 按钮, 出现 Set Element Shape 对话框, 在 2D Shape key 下拉列表框中选择 Quad 选项, 如图 11-56 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

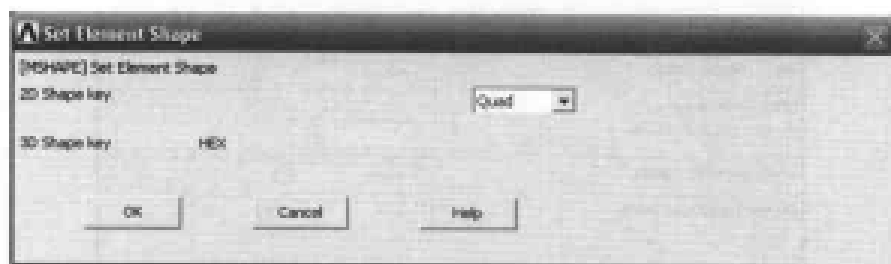


图 11-56 设置单元形状对话框

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 3 PLANE55 选项, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 NDI V No. of element division-文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Mapped | By Corners 命令, 出现 Map Mesh Area by 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 在文本框中输入 1, 3, 5, 7, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN PLANE MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示对面进行映射网格划分后的结果, 如图 11-57 所示。

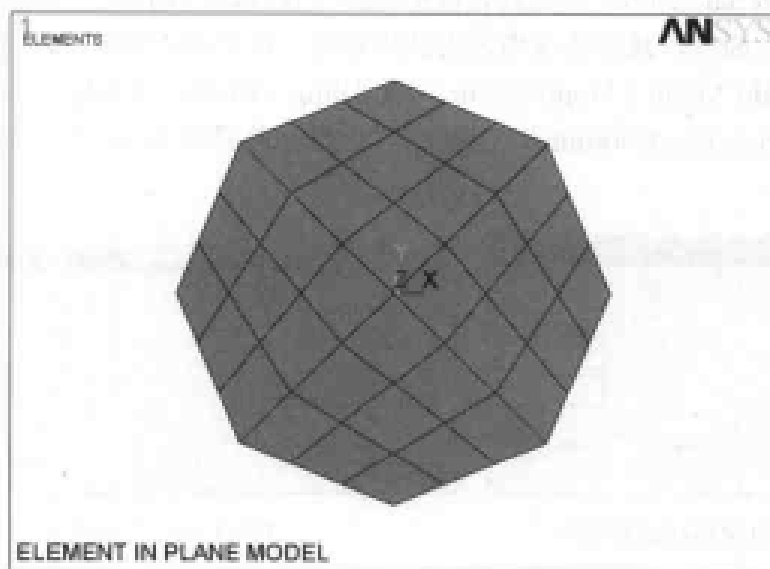


图 11-57 面映射网格划分结果显示

(10) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 在 XV,YV,ZV Coords of view point 文本框中依次输入 1、1 1, 其余选项采用默认设置, 如图 11-58 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

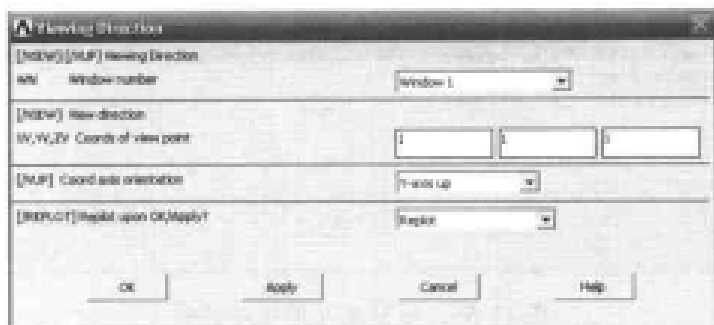


图 11-58 视图观测方向设置对话框

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 1 SOLID70 选项, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | Manual Size | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 NDIV No. of element division-文本框中输入 10, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | Along Normal 命令, 出现 Extrude Area by 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Extrude Area along Normal 对话框, 在 NAREA Area to be extruded 文本框中输入 1, 在 DIST Length of extrusion 文本框中输入 1.0, 如图 11-59 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 SURF152 选项, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2 选项, 在 [REAL] Real constant set number 下拉列表框中选择 2 选项, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Nodes | In Active CS 命令, 出现 Create Nodes in Active Coordinate System 对话框, 参照图 11-60 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 11-59 沿法线方向拖拉面对话框

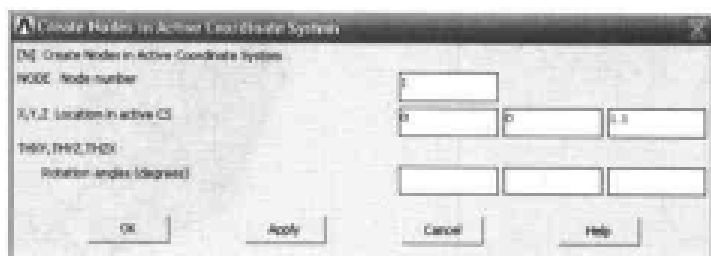


图 11-60 生成节点对话框

(16) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Surf/Contact | Surf Effect | General Surface | Extra Node 命令, 出现 Surface effect N 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Pick Extra Node 菜单, 在文本框中输入 600, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(17) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Delete | Area and Below 命令, 出现 Delete Area and 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(18) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框

中输入 ELEMENT IN MODEL，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令，ANSYS 显示窗口显示生成的有限元模型，如图 11-61 所示。

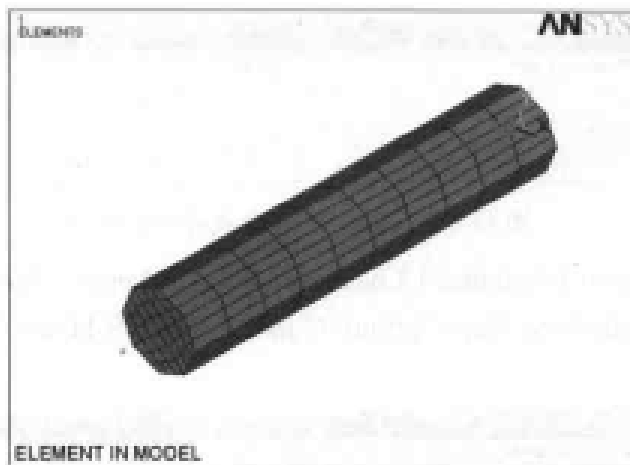


图 11-61 有限元模型结果显示

(20) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令，出现 Save Database 对话框，在 Save Database to 文本框中输入 exercise41.db，保存上述操作过程，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步：加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令，出现 New Analysis 对话框，选择分析类型为 Transient，单击 OK 按钮，出现 Transient Analysis 对话框，采用其默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令，显示所有线段。

(3) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options 命令，出现 Full Transient Analysis 对话框，在 [TOFFST] Temperature difference 文本框中输入 273，其余选项均采用默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令，出现 Apply TEMP on Nodes 菜单，在文本框中输入 600，单击 OK 按钮，出现 Apply TEMP on Nodes 对话框，在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 20，如图 11-62 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

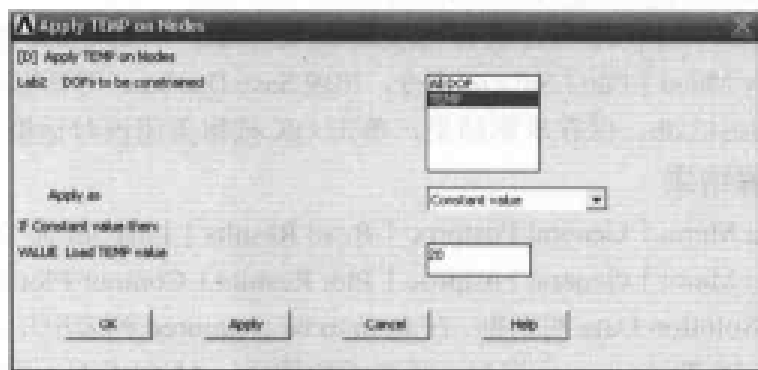


图 11-62 施加温度载荷对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 1000, 如图 11-63 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

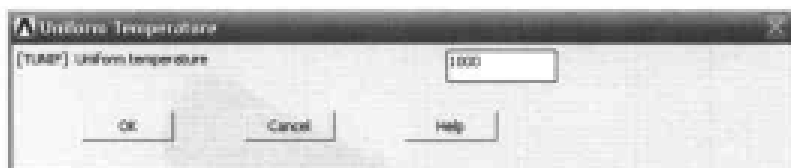


图 11-63 施加均匀温度载荷对话框

(6) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Apply | Time/Frequeunc | Time-Time Step 命令, 出现 Time and Time Step Options 对话框, 参照图 11-64 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

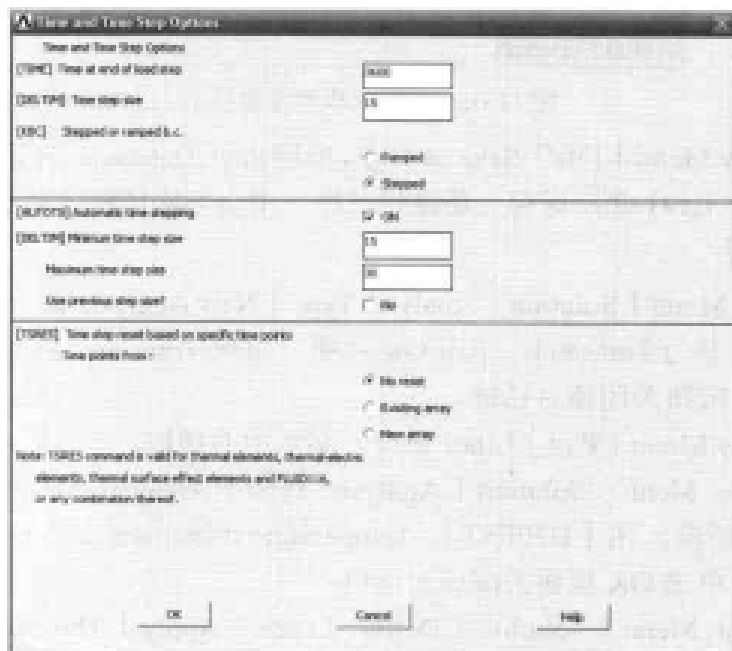


图 11-64 时间和时间步长设置对话框

(7) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(8) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise42.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | DOF solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示温度场分布等值线图, 如图 11-65 所示。



图 11-65 温度场分布等值线图

(3) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在[/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 TIME,(sec), 在[/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMP, 在[/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中输入 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在[/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 11-66 (a) 所示。

(7) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 11-66 (b) 所示。

(8) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Z coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.5, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 11-66 (c) 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

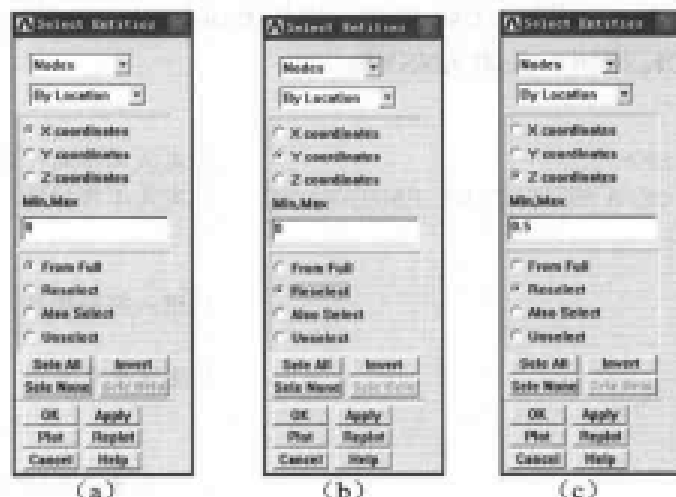


图 11-66 选择节点对话框

(9) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 列表框中选择 Model data For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 参照图 11-67 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

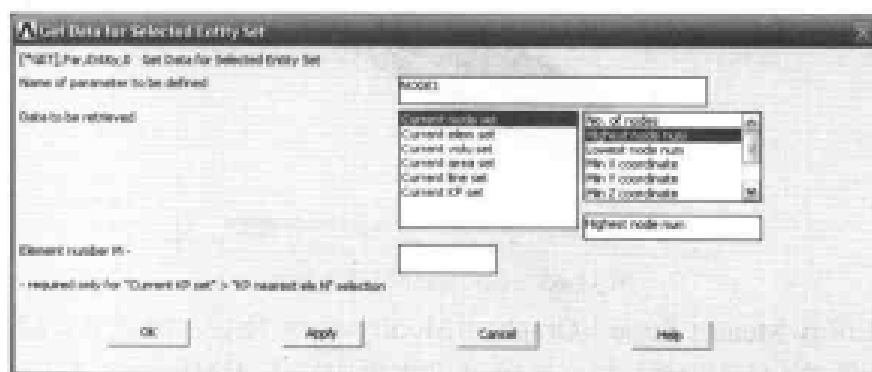


图 11-67 获取参量信息对话框

(10) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NVAR1 1st variable to graph 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示型钢中心点温度随时间的变化关系曲线, 如图 11-68 所示。

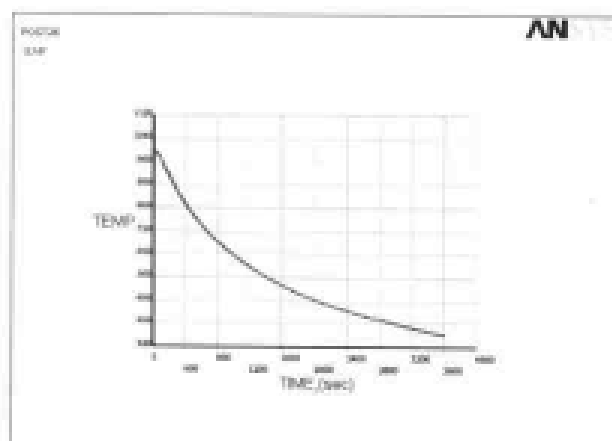


图 11-68 型钢中心点温度随时间的变化关系曲线

(11) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE4                ! 定义工作文件名
/TITLE, COOLING OF A BILLET BY RADIATION ! 定义工作标题
KEYW, PR_THERM, 1

/PREP7                               ! 进入前处理器
SMRT, OFF
ET, 1, SOLID70                       ! 定义单元类型
ET, 2, SURF152
ET, 3, PLANE55
KEYOPT, 2, 4, 1                      ! 定义单元关键字
KEYOPT, 2, 5, 1
    
```


KEYOPT, 2, 9, 1	
R, 2, 1, 5.67E-8	! 定义单元实常数
MP, KXX, 1, 68	! 输入导热系数
MP, C, 1, 465	! 输入比热容
MP, DENS, 1, 7800	! 输入密度
MP, EMIS, 2, 1	! 输入辐射率
RPR4, 8, 0, 0, 0.1	! 生成 8 边形
/PNUM, KP, 1	! 显示关键点编号
/REPLOT	
MSHAPE, 0, 2D	! 指定单元形状
MSHKEY, 1	
TYPE, 3	! 指定单元类型
ESIZE, , 3	
AMAP, 1, 1, 3, 5, 7	! 映射网格划分
/TITLE, ELEMENT IN PLANE MODEL	
EPLLOT	! 显示单元
/VIEW, 1, 1, 1, 1	! 设置视图观测方向
TYPE, 1	
ESIZE, , 10	! 指定单元等份数
VOFFST, 1, 1.0	! 拖拉面生成体
TYPE, 2	
REAL, 2	
MAT, 2	! 指定材料类型
N, 600, 0, 0, 1.1	! 生成节点
ESURF, 600	! 生成表面单元
ASEL, S, TYPE, , 3	! 选择单元类型为 3 的面
EPLLOT	! 显示单元
ACLEAR, 1	! 清除面
ALLSEL	
/TITLE, ELEMENT IN MODEL	
EPLLOT	
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, TRANS	! 定义分析类型为瞬态分析
TIME, 3600	! 指定计算终止时间
DELTIM, 15, 15, 30	! 设置最大、最小时间步长
TOFFST, 273	! 定义温度偏移量
D, 600, TEMP, 20	! 设定周围介质温度
TUNIF, 1000	! 设定型钢初始温度
AUTOTS, ON	! 打开自动时间步长
KBC, 1	! 选择加载方式
OUTRES, , ALL	
OUTPR, NSOL, LAST	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果

热分析教程与实例解析

PLNSOL, TEMP
FINISH

! 绘制温度场等值线图

/POST26
/AXLAB, X, TIME, (sec)
/AXLAB, Y, TEMP
/GTHK, AXIS, 3
/GTHK, CURVE, 3
/COLOR, CURVE, MRED, 1
NSEL, S, LOC, X, 0
NSEL, R, LOC, Y, 0
NSEL, R, LOC, Z, 0.5
*GET, NODE1, NODE, , NUM, MAX
NSOL, 2, NODE1, TEMP, , TEMP
PLVAR, 2
FINISH
/EXIT, ALL

! 进入 POST26 后处理器

! 定义 X 坐标轴标题

! 定义 Y 坐标轴标题

! 定义坐标轴粗度

! 定义曲线粗度

! 设置曲线显示颜色

! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号

! 定义变量 2

! 绘制型钢中心点温度随时间变化关系曲线

! 退出 ANSYS

Chapter 12

相变分析实例详解

本章提示:

本章向读者介绍相变分析的工程应用实例,通过实例分析和求解的形式加深读者对相变分析过程及其分析步骤的进一步理解。

学习目标:

过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 相变分析的基本步骤,熟悉相应的界面操作步骤及相关命令,掌握实际相变分析问题的建模方法、求解思路与技巧。

12-1 实例 1——水结冰过程分析

12-1-1 问题描述

有一圆柱体容器，其内盛放着高度为 100mm 的水，如图 12-1 所示，水的初始温度为 0℃，周围空气温度为 -10℃，对流系数为 $12.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。水的热性能参数如表 12-1 所示（容器材料对水温的影响忽略不计，图中长度单位为 mm）。试求：

- （1）需要多长时间水才能完全结冰（冰中各点温度在 -1℃ 以下）；
- （2）在时间 $t=30$ 分钟时，水或冰的温度场分布；
- （3）在时间 $t=120$ 分钟时，绘制 X 轴和 Y 轴上各点温度随距离的变化关系曲线；
- （4）在时间 $t=120$ 分钟时，绘制 A、B、C、D 各点温度随时间的变化关系曲线。

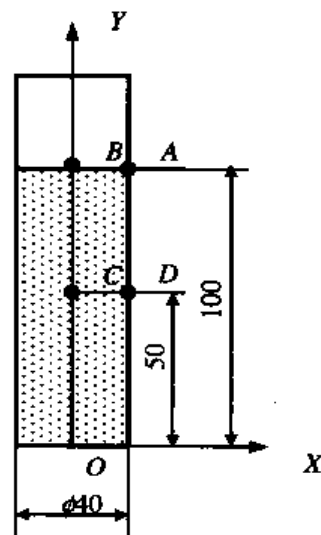


图 12-1 水缸纵截面示意图

表 12-1 水热性能参数

温度 T ℃	密度 ρ kg/m^3	导热系数 K $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	焓 H J/m^3
-10	1000	0.6	0
-1	1000	0.6	3.78E7
0	1000	0.6	7.98E7
10	1000	0.6	1.22E8

12-1-2 问题分析

根据问题的轴对称性，取水缸中水纵截面的 1/2 建立几何模型，选择 PLANE55 轴对称热分析单元进行求解。

12-1-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 LIQUID-SOLID PHASE CHANGE, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令, 出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Thermal 复选框, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Type 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 12-2 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

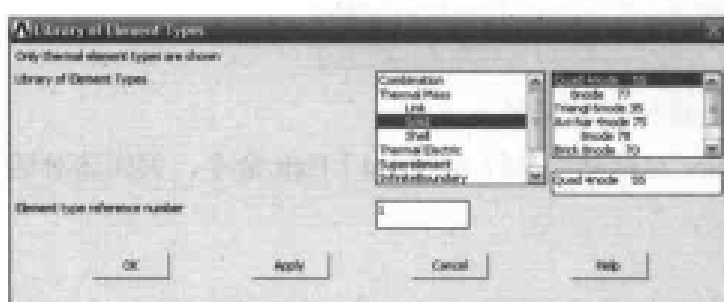


图 12-2 单元类型列表对话框

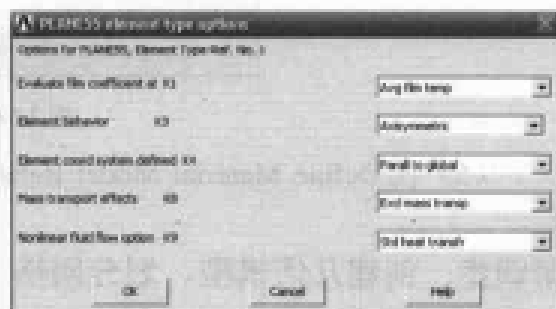


图 12-3 PLANE55 单元属性设置对话框

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Options 按钮, 出现 PLANE55 element type options 对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 12-3 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 0.6, 如图 12-4 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中双击 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入密度 1000, 如图 12-5 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

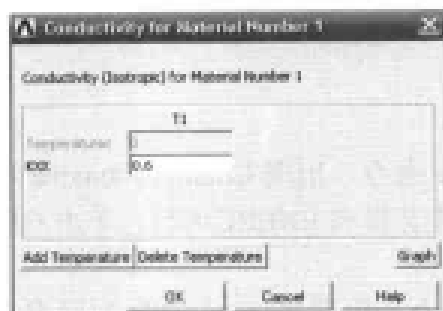


图 12-4 定义材料导热系数对话框

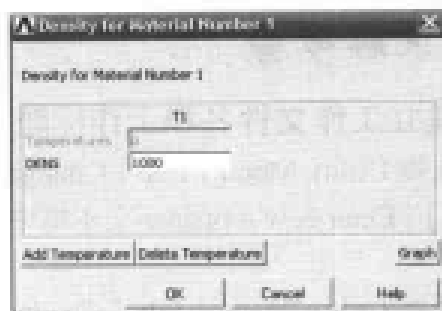


图 12-5 定义材料密度对话框

(4) 在 Material Models Available 列表框中双击 Enthalpy 选项, 出现 Enthalpy for Material Number 1 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 12-6 在文本框中进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

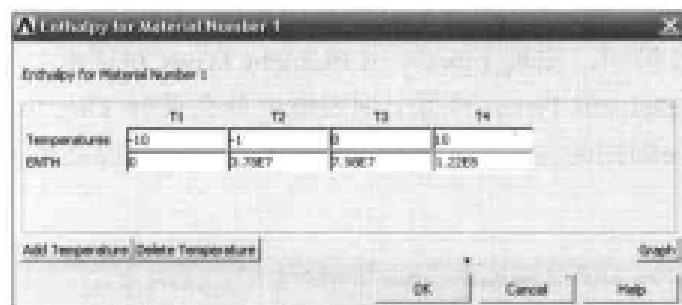


图 12-6 输入焓值对话框

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 12-7 进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

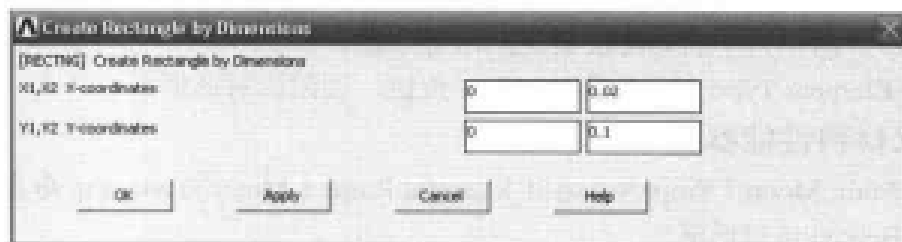


图 12-7 生成矩形面对话框

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element

Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 5, 如图 12-8 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 20, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 令, ANSYS 显示窗口将显示网格划分结果, 如图 12-9 所示。

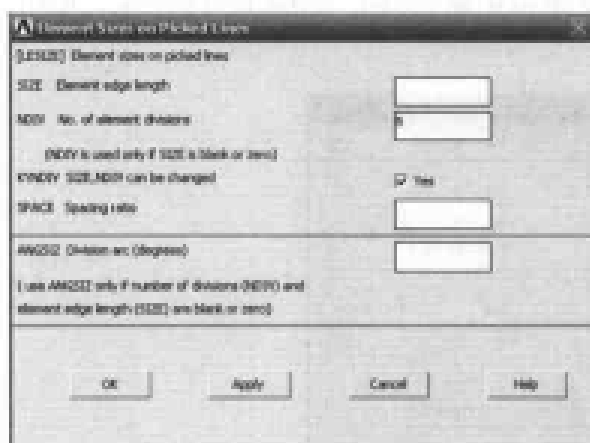


图 12-8 设置单元等份数对话框

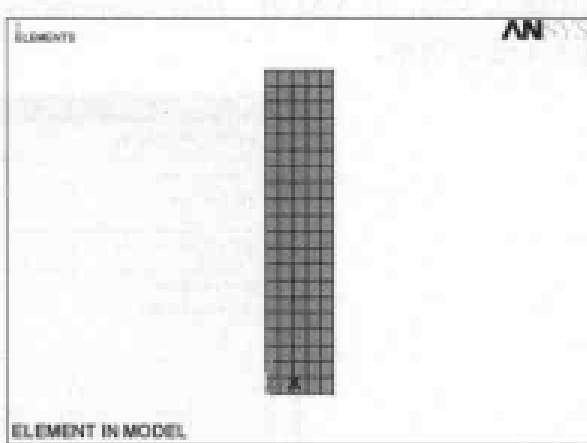


图 12-9 网格划分结果显示

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise11.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 0, 如图 12-10 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

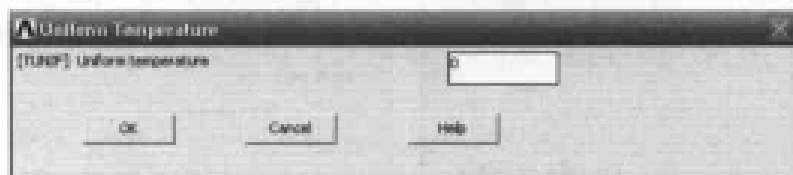


图 12-10 施加均匀温度载荷对话框

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(4) 单击 OK 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单。

(7) 单击 pick all 按钮, 出现 Apply CONV on nodes 对话框。在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 12.5, 在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入 -10, 如图 12-11 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

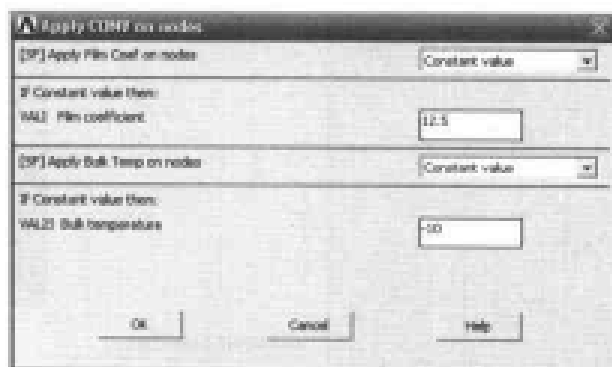


图 12-11 施加对流载荷对话框

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 12-12 对其进行设置。选择 Transient 选项卡, 参照图 12-13 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭 Solution Controls 对话框。

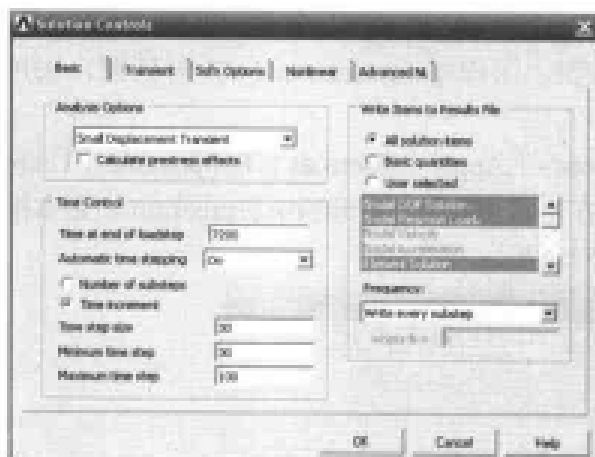


图 12-12 求解控制基本选项设置对话框

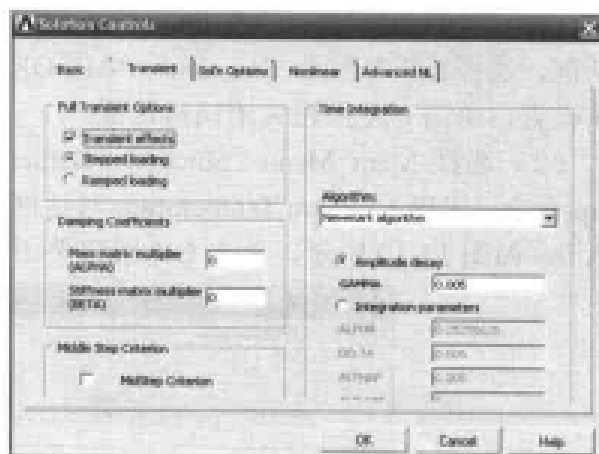


图 12-13 求解控制瞬态选项设置对话框

(10) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(11) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database 到文本框中输入 exercise12.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | By Time/Freq 命令, 出现 Read Results by Time or Frequency 对话框, 在 TIME Value of time or freq 文本框中输入 1800, 其余选项采用默认设置, 如图 12-14 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示如图 12-15 所示的 30 分钟后温度场分布等值线图。

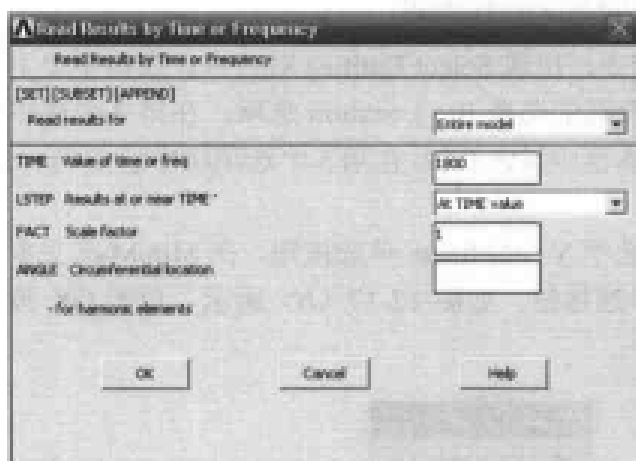


图 12-14 读取求解结果对话框

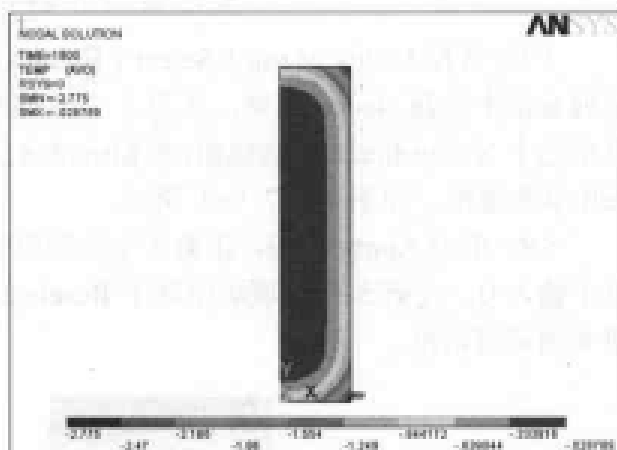


图 12-15 30 分钟后温度场分布等值线图

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示如图 12-16 所示的 120 分钟后温度场分布等值线图。从中可以看出最高温度为 -6.383, 说明此时水已经完全结冰。

(5) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 DIST,(m), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMP, 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

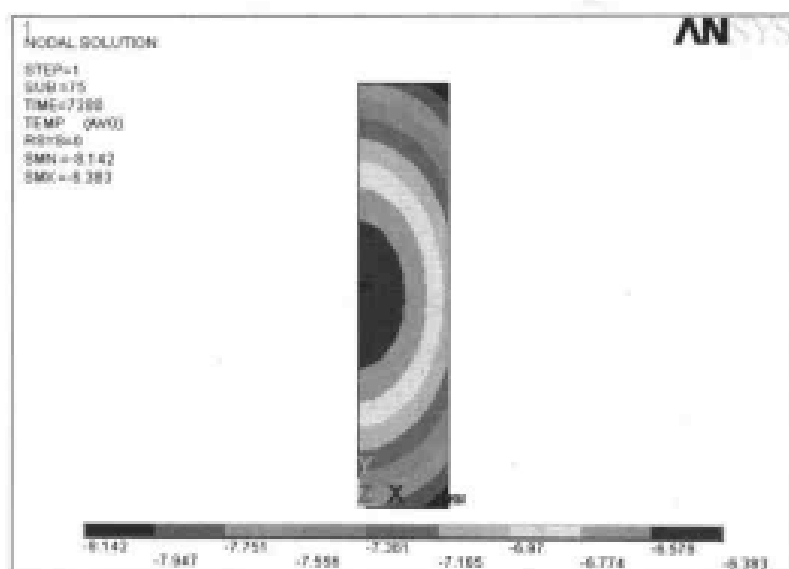


图 12-16 120 分钟后温度场分布等值线图

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinate 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.02, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 12-17 (a) 所示。

(8) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinate 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 12-17 (b) 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

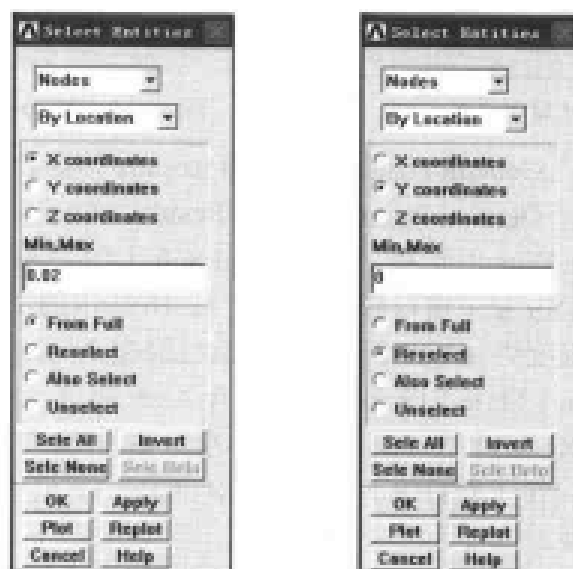


图 12-17 选择节点对话框

(9) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。参照图 12-18 对其进行设置。

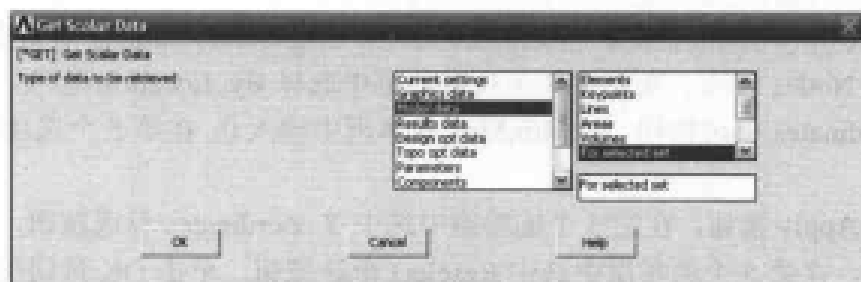


图 12-18 获取参量信息对话框

(10) 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 参照图 12-19 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

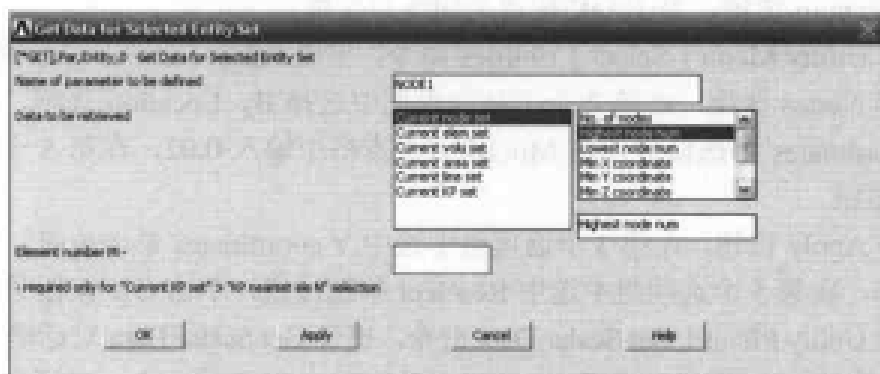


图 12-19 获取当前参量信息对话框

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.02, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(12) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.1, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框, 参照图 12-18 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE2, 在 Data to be retrieved 列表框中选择 Current node set Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(15) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.1, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框, 参照图 12-18 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE3, 在 Data to be retrieved 列表框中选择 Current node set Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(18) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。参照图 12-18 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE4, 在 Data to be retrieved 列表框中选择 Current node set Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.02, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(21) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(22) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。参照图 12-18 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE5, 在 Data to be retrieved 列表框中选择 Current node set Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(23) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Nodes 命令, 出现 By Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮, 出现 By Nodes 对话框, 参照图 12-20 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

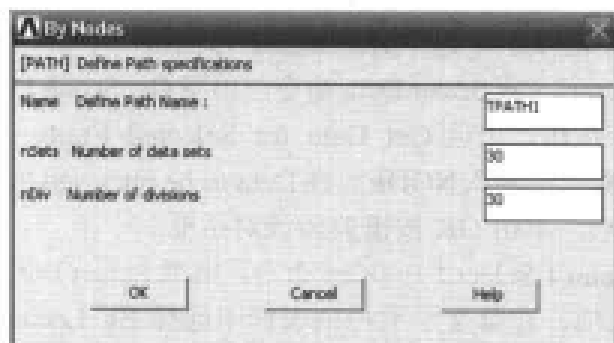


图 12-20 通过节点设置路径对话框

提示: 若出现 PATH Command 对话框, 关闭该对话框。

(24) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | Modify Path 命令, 出现 Modify Path 对话框, 在 NPT Path point number 文本框中输入 1, 在 Node Node number 文本框中输入 1, 如图 12-21 所示。单击 Apply 按钮, 在 NPT Path point number 文本框中输入 2, 在 Node Node number 文本框中输入 NODE1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

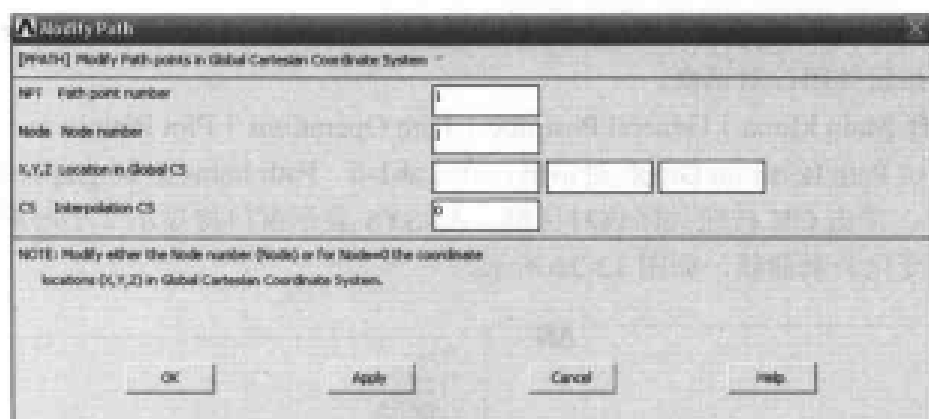


图 12-21 设置路径对话框

(25) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 TEMP, 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 DOF solution、Temperature TEMP 选项, 如图 12-22 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

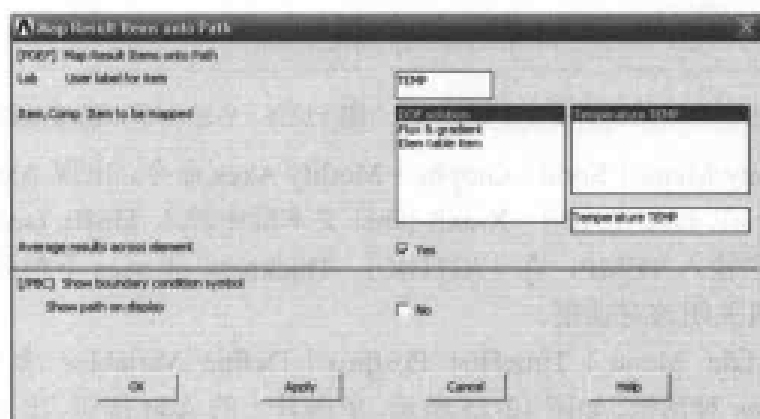


图 12-22 将结果映射到路径上对话框

(26) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在 Lab1-6 Path items to be graphed 列表框中选择 TEMP 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。ANSYS 显示窗口显示 2 小时后 X 轴上节点温度随距离的变化关系曲线, 如图 12-23 所示。

(27) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Nodes 命令, 出现 By Nodes 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮, 出现 By Nodes 对话框, 在 Name Define Path Name 文本框中输入 TPATH2, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(28) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | Modify Path 命令, 出现 Modify Path 对话框, 在 NPT Path point number 文本框中输入 1, 在 Node Node number 文本框中输入 1, 单击 Apply 按钮, 在 NPT Path point number 文本框中输入 2, 在 Node Node number 文本框中输入 NODE3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(29) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 TEMP, 在

Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 DOF solution、Temperature TEMP 选项,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(30) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令,出现 Plot of Path Items on Graph 对话框,在 Lab1-6 Path items to be graphed 列表框中选择 TEMP 选项,单击 OK 按钮关闭该对话框。ANSYS 显示窗口将显示 2 小时后 Y 轴上节点温度随距离的变化关系曲线,如图 12-24 所示。

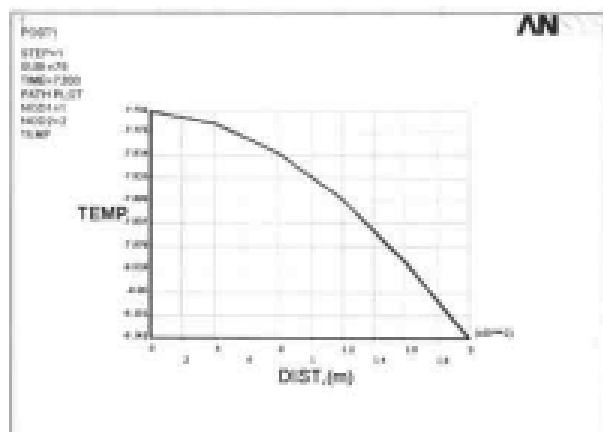


图 12-23 X 轴上节点温度随距离的变化关系曲线

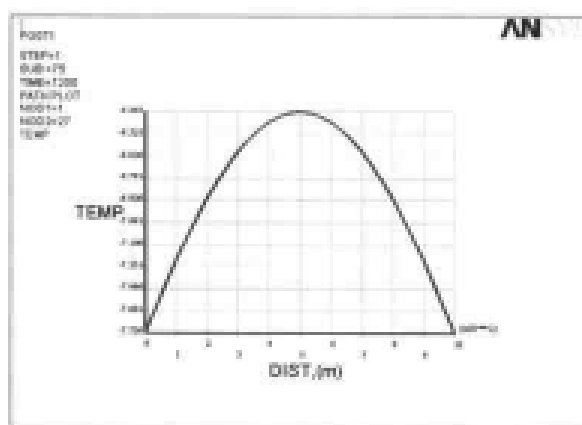


图 12-24 Y 轴上节点温度随距离的变化关系曲线

(31) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令,出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框,在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 TIME, (sec), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMP, 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中选择 Triple 选项,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(32) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令,出现 Defined Time-History Variables 对话框,如图 12-25 所示,单击其上的 Add 按钮,出现 Add Time-History Variable 对话框,选中 Nodal DOF result 单选按钮,如图 12-26 所示。

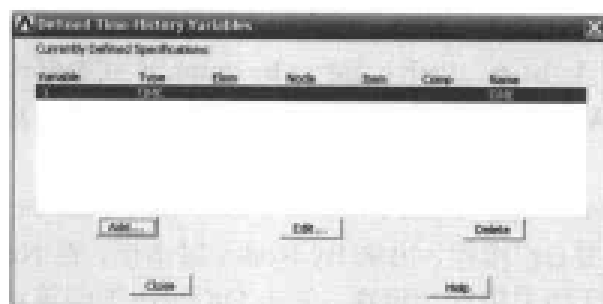


图 12-25 定义时间历程变量对话框

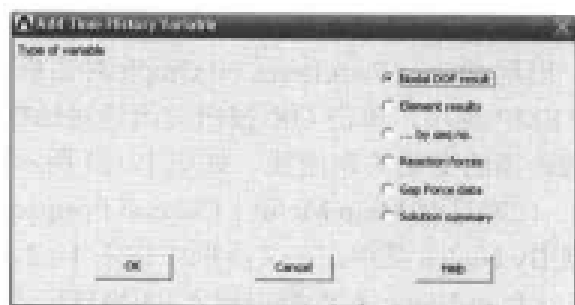


图 12-26 添加施加时间历程变量对话框

提示: 若出现 Time History Variables 对话框,可关闭该对话框。

(33) 单击 Add Time-History Variable 对话框上的 OK 按钮,出现 Define Nodal Data 菜单,在文本框中输入 NODE2,单击 OK 按钮,出现 Define Nodal Data 对话框,参照图 12-27 对其进行设置,单击 OK 按钮关闭该对话框。

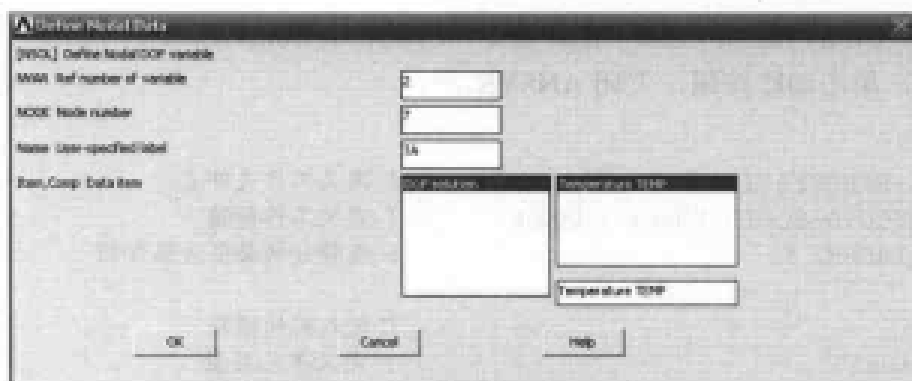


图 12-27 定义节点信息对话框

(34) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE3, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 在 Name User-specified label 文本框中输入 TB, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(35) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE4, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 在 Name User-specified label 文本框中输入 TC, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(36) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE5, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 在 Name User-specified label 文本框中输入 TD, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(37) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

(38) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 参照图 12-28 对其进行设置。

(39) 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 A、B、C、D 四点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-29 所示。

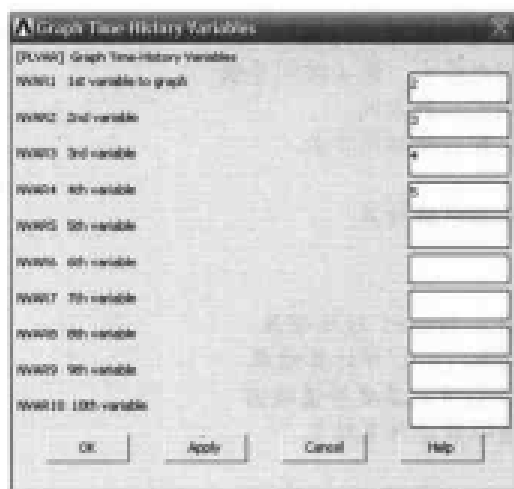


图 12-28 曲线显示时间历程变量对话框

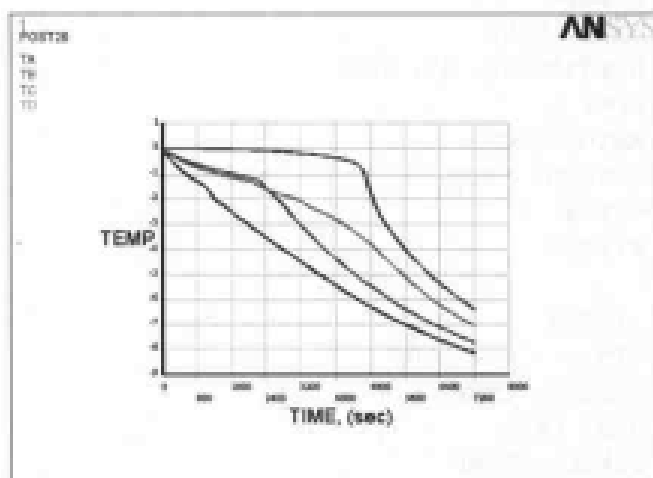


图 12-29 A、B、C、D 四点温度随时间的变化关系曲线

热分析教程与实例解析

(40) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```
/FILNAME, EXERCISE1          ! 定义工作文件名
/TITLE, LIQUID-SOLID PHASE CHANGE ! 定义工作标题
KEYW, PR_THERM, 1            ! 选择分析类型为热分析

/PREP7                        ! 进入前处理器
ET, 1, PLANE55                ! 定义单元类型
KEYOPT, 1, 3, 1              ! 定义倒单关键字
MP, DENS, 1, 1000             ! 输入材料密度
MP, KXX, 1, 0.6               ! 输入材料导热系数
MPTEMP, 1, -10, -1, 0, 10    ! 设定温度点
MPDATA, ENTH, 1, 1, 0, 3.78E7, 7.98E7, 1.22E8 ! 输入不同温度点材料焓值

RECTANG, 0, 0.02, 0, 0.1     ! 生成矩形面
/PNUM, LINE, 1                ! 显示线段编号
/REPLOT

LSEL, S, LINE, , 1, 3, 2      ! 选择线段
LESIZE, ALL, , , 5            ! 设置线段等份数
LSEL, S, LINE, , 2, 4, 2
LESIZE, ALL, , , 20

AMESH, 1                      ! 对面进行网格划分
/TITLE, ELEMENT IN MODEL
EPLOT                          ! 显示单元
FINISH

/SOLU                          ! 进入求解器
ANTYPE, TRANS                 ! 指定分析类型为瞬态分析
BFUNIF, TEMP                  ! 施加均匀温度载荷
LSEL, S, LINE, , 1, 3         ! 选择线段
NSLL, S, 1                    ! 选择线段上的所有节点
SF, ALL, CONV, 12.5, -10      ! 施加对流载荷
ALLSEL

TIME, 7200                    ! 指定计算终止时间
DELTIM, 30, 30, 100          ! 指定最大、最小时间步长
KBC, 1                        ! 指定加载方式
AUTOTS, ON                    ! 打开自动时间步长
OUTRES, , ALL
SOLVE                          ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                         ! 进入 POST1 后处理器
SET, , , , 1800               ! 读取 1800 秒计算结果
PLNSOL, TEMP                  ! 绘制节点温度等值线图
SET, LAST                     ! 读取最终计算结果
PLNSOL, TEMP
/AXLAB, X, DIST, (m)          ! 定义 X 坐标轴标题
/AXLAB, Y, TEMP                ! 定义 Y 坐标轴标题
```


/GTHK, AXIS, 3	! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3	! 指定曲线粗度
NSEL, S, LOC, X, 0.02	! 选择节点
NSEL, R, LOC, Y, 0	
*GET, NODE1, NODE, , NUM, MAX	! 根据节点坐标读取最大节点编号
NSEL, S, LOC, X, 0.02	
NSEL, R, LOC, Y, 0.1	
*GET, NODE2, NODE, , NUM, MAX	
NSEL, S, LOC, X, 0	
NSEL, R, LOC, Y, 0.1	
*GET, NODE3, NODE, , NUM, MAX	
NSEL, S, LOC, X, 0	
NSEL, R, LOC, Y, 0.05	
*GET, NODE4, NODE, , NUM, MAX	
NSEL, S, LOC, X, 0.02	
NSEL, R, LOC, Y, 0.05	
*GET, NODE5, NODE, , NUM, MAX	
ALLSEL	
PATH, TPATH1, 2, , 30	! 定义路径
PPATH, 1, 1	! 定义路径点
PPATH, 2, NODE1	
PDEF, TEMP, TEMP	! 将温度映射到路径上
PLPATH, TEMP	! 显示路径
PATH, TPATH2, 2, , 30	
PPATH, 1, 1	
PPATH, 2, NODE3	
PDEF, TEMP, TEMP	
PLPATH, TEMP	
FINISH	
/POST26	! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)	! 定义 X 坐标轴标题
/AXLAB, Y, TEMP	! 定义 Y 坐标轴标题
NSOL, 2, NODE2, TEMP, , TA	! 定义变量 2
NSOL, 3, NODE3, TEMP, , TB	! 定义变量 3
NSOL, 4, NODE4, TEMP, , TC	! 定义变量 4
NSOL, 5, NODE5, TEMP, , TD	! 定义变量 5
PLVAR, 2, 3, 4, 5	! 绘制节点温度随时间的变化关系曲线
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

12-2 实例 2——冰融化过程分析

12-2-1 问题描述

有一纵截面形状如图 12-30 所示的试管，管内盛放着温度为 0℃ 的冰，现在试管底部和顶部冰面上同时施加大小为 10℃ 的温度载荷，忽略周围空气对冰的影响，冰热性能参数如表 12-2 所示，（图中长度单位为 mm），试求：

热分析教程与实例解析

- (1) 需要多长时间冰才能完全融化 (水中各点温度在 0°C 以上);
- (2) 在时间 $t=60$ 分钟时, 水或冰的温度场分布;
- (3) A 点温度随时间的变化曲线。

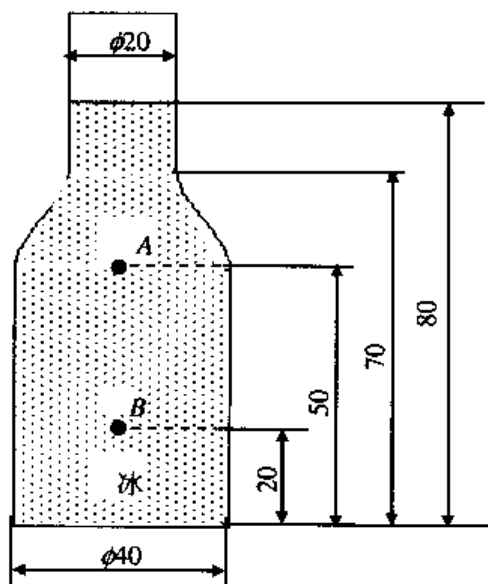


图 12-30 试管纵截面示意图

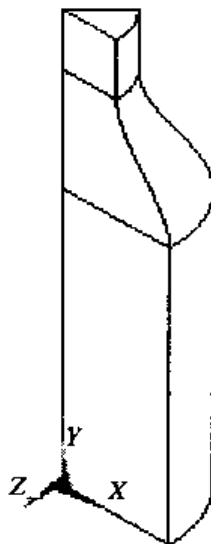


图 12-31 几何模型

表 12-2 冰热性能参数

温度 $^{\circ}\text{C}$	导热系数 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$	密度 kg/m^3	焓 J/m^3
-10	0.6	1000	0
-1	0.6	1000	3.78E7
0	0.6	1000	7.98E7
10	0.6	1000	1.22E8

12-2-2 问题分析

该问题属于相变问题, 由于 12-1 实例 1 采用了平面几何模型, 为了对比分析, 本题建立如图 12-31 所示的空间几何模型, 并选择 SOLID90 六面体单元进行求解。

12-2-3 求解步骤

第一步: 建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 LIQUID-SOLID PHASE CHANGE, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令, 出现 Preferences for GUI Filtering 对话框, 选中 Thermal 复选框, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步: 定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Type 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1。

(3) 单击 Apply 按钮, 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Brick 20node 90 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 0.6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入密度 1000, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Enthalpy 选项, 出现 Enthalpy for Material Number 1 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 12-32 在文本框中进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

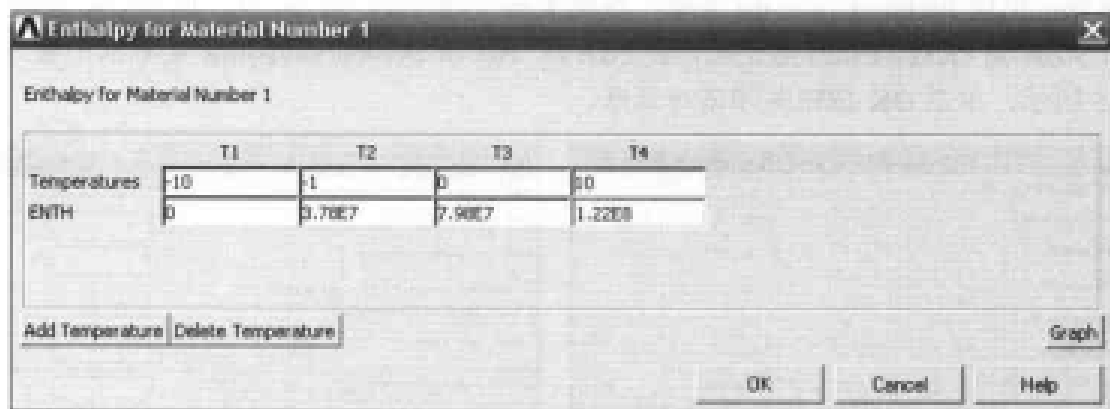


图 12-32 输入焓值对话框

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 参照图 12-33 对其进行输入。

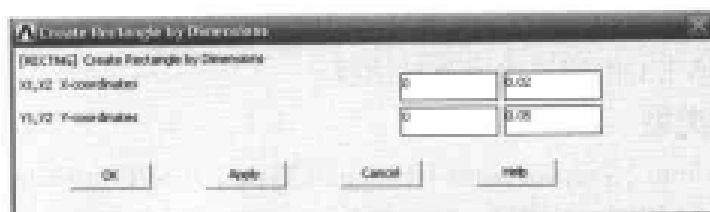


图 12-33 生成矩形对话框

(2) 单击 Apply 按钮，在 X1,X2 X-Coordinates 文本框中依次输入 0, 0.01，在 Y1,Y2 Y-Coordinates 文本框中依次输入 0.07, 0.08，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 LINE line numbers 和 KP Keypoint numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，其余选项均采用默认设置，如图 12-34 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | Tan to 2 Lines 命令，出现 Line Tangent to 菜单，在文本框中输入 2，单击 Apply 按钮；在文本框中输入 3，单击 Apply 按钮；在文本框中输入 6，单击 Apply 按钮；在文本框中输入 6，单击 OK 按钮关闭该菜单。

提示：一定要在每次选择之后单击菜单上的 Apply 按钮。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | Straight Line 命令，出现 Create Straight 菜单，在文本框中能输入 5, 4，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令，出现 Create Area by L 菜单，在文本框中输入 3, 5, 9, 10，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令，出现 Element Size on 菜单，在文本框中输入 1, 3, 5, 7，单击 OK 按钮，出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框，在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 5，如图 12-35 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

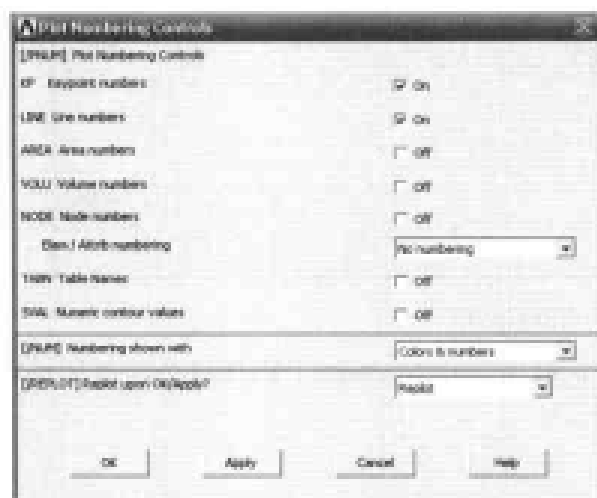


图 12-34 编号显示控制对话框

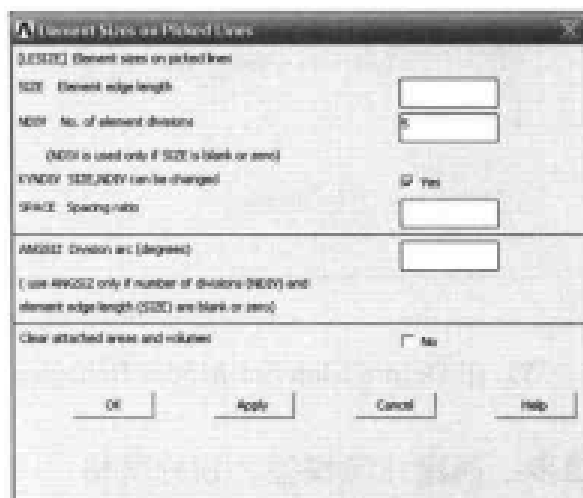


图 12-35 线段单元等分数设置对话框

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked

Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中能输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 15, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中能输入 9, 10, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中能输入 6, 8, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮。

(12) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN PLANE MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示面网格划分结果, 如图 12-36 所示。

(14) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Elem Ext Opts 命令, 出现 Element Extrusion Options 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 SOLID90 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 12-37 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

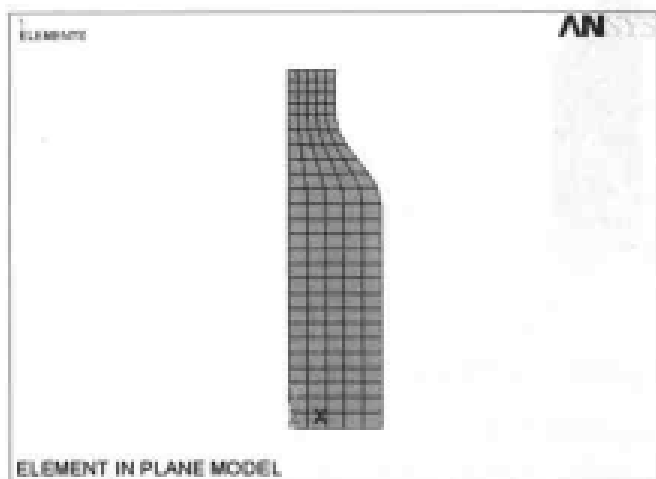


图 12-36 面网格划分结果显示

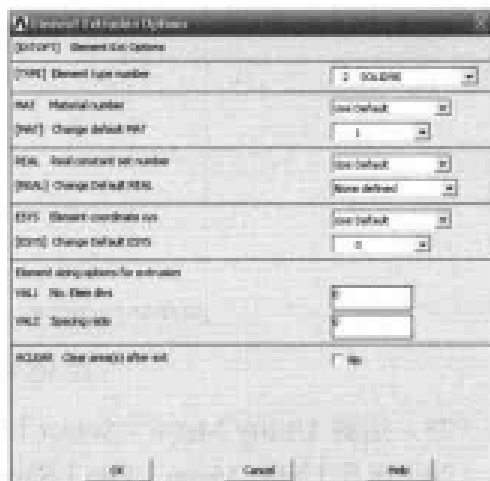


图 12-37 单元拖拉选项设置对话框

(16) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, 显示所有面。

(18) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | About Axis 命令, 出现 Sweep Areas about 菜单, 单击 Pick All 按钮, 在文本框中输入 1, 8, 单击 OK 按钮, 出现 Sweep Areas about Axis 对话框, 参照图 12-38 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

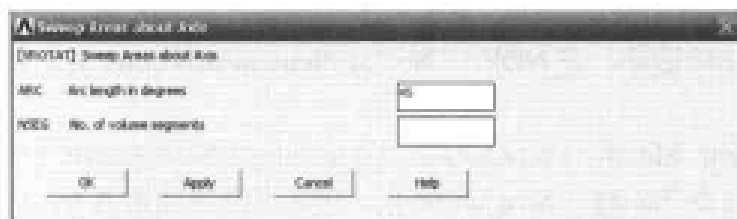


图 12-38 扫掠面生成体对话框

(19) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Clear | Areas 命令, 出现 Clear Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮关闭该菜单。

(20) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 在 XY, YV, ZV Coords of view point 3 个文本框中依次输入 1, 1, 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(22) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口将显示体网格划分结果, 如图 12-39 所示。

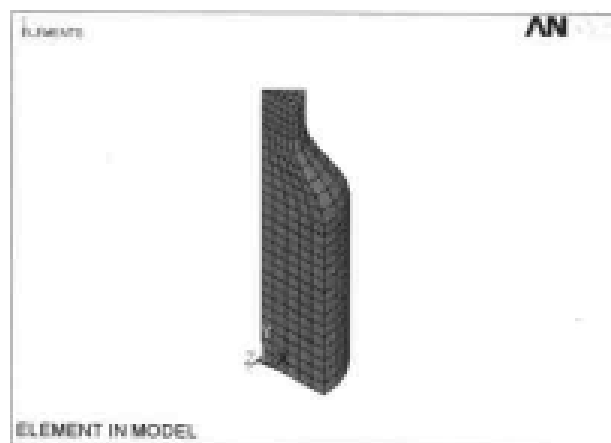


图 12-39 体网格划分结果显示

(23) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(24) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise21.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

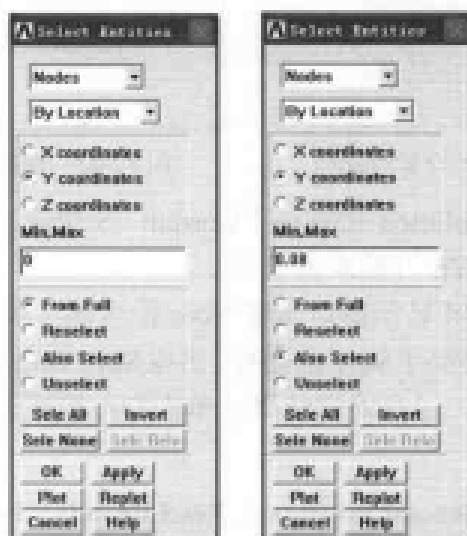
第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入-1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮, 如图 12-40 (a) 所示。

(4) 单击 Apply 按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.08, 在第 5 个选项组中选 Also Select 单选按钮, 如图 12-40 (b) 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



(a)

(b)

图 12-40 选择节点对话框

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。参照图 12-41 所示对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

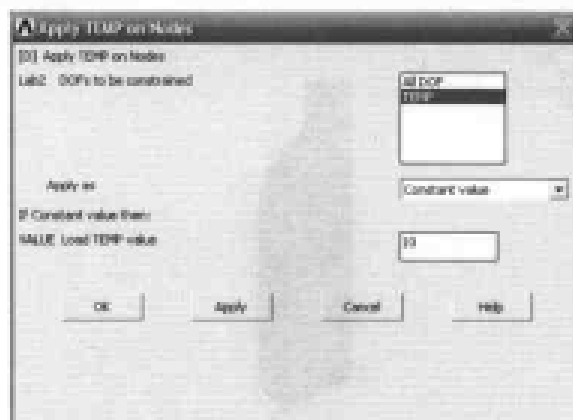


图 12-41 施加温度载荷对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution

Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 12-42 对其进行设置, 选择 Transient 选项卡, 参照图 12-43 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭 Solution Controls 对话框。

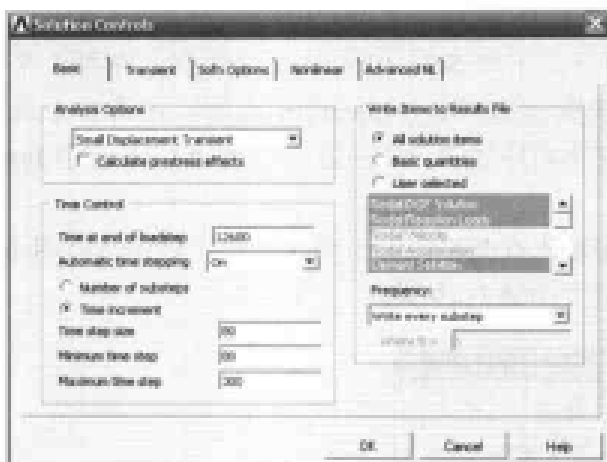


图 12-42 求解控制基本选项设置对话框

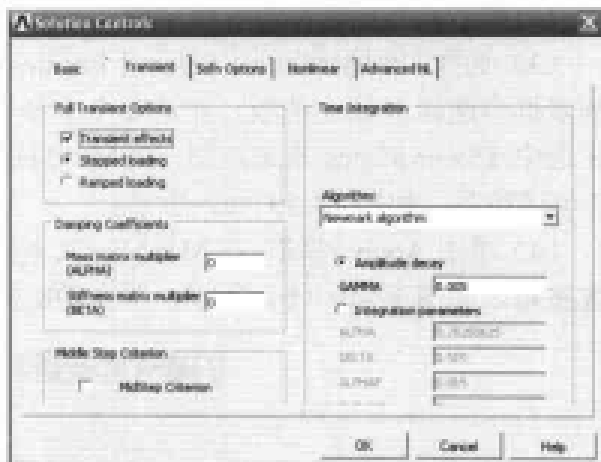


图 12-43 求解控制瞬态选项设置对话框

(8) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(9) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise22.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | By Time/Freq 命令, 出现 Read Results by Time or Frequency 对话框, 在 TIME Value of time or freq 文本框中输入 3600, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示如图 12-44 所示的 1 小时后温度场分布等值线图。

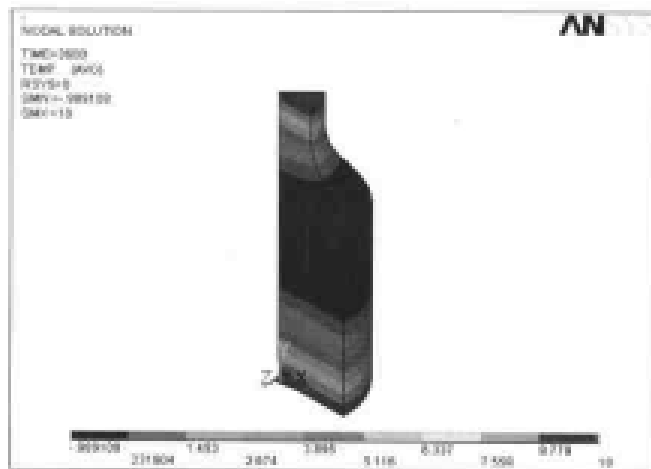


图 12-44 1 小时后温度场分布等值线图

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | By Time/Freq 命令, 出现 Read Results by Time or Frequency 对话框, 在 TIME Value of time or freq 文本框中输入 9120, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示如图 12-45 所示的 9120 秒后温度场分布等值线图, 此时最低温度为 0.163°C , 表明冰已经完全融化。

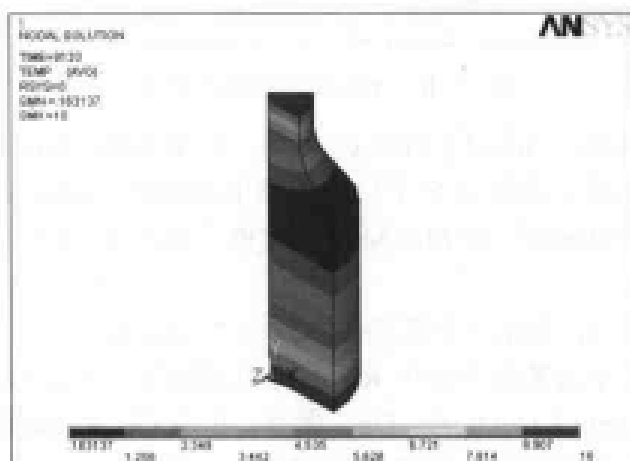


图 12-45 9120 秒后温度场分布等值线图

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(6) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 TIME, (sec), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMP, 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(9) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE1, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 如图 12-46 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

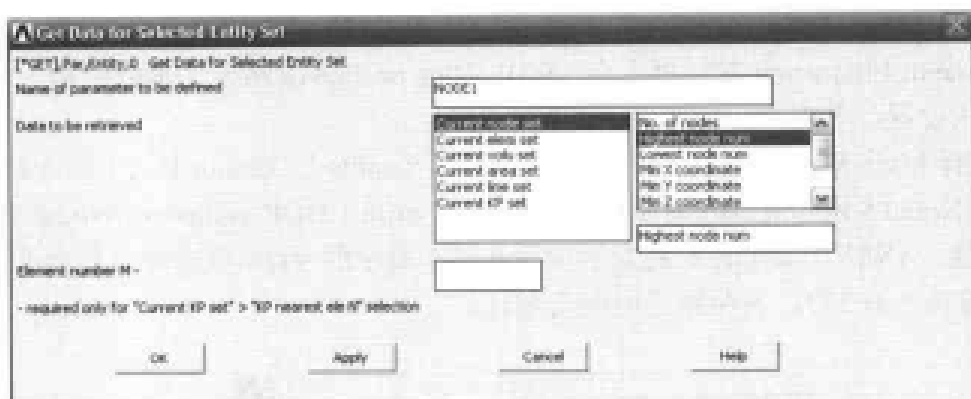


图 12-46 获取实体信息对话框

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(12) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.02, 在第 5 个选项组中选 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE2, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击其上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(15) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE2, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 单击 Defined Time-History Variables 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NVAR1 1st variable to graph 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 A 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-47 所示。

(18) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NVAR1 1st variable to graph 文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 B 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-48 所示。

(19) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

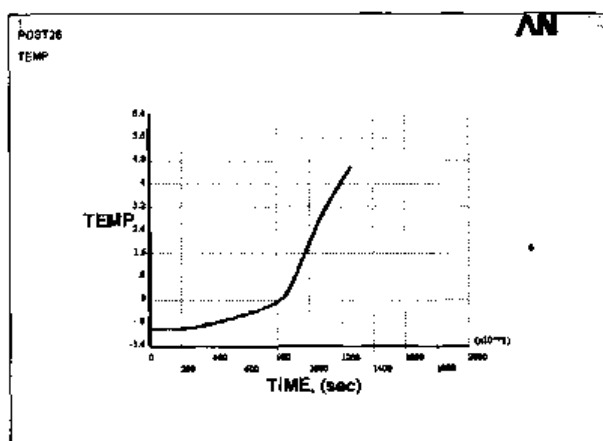


图 12-47 A 点温度随时间的变化关系曲线

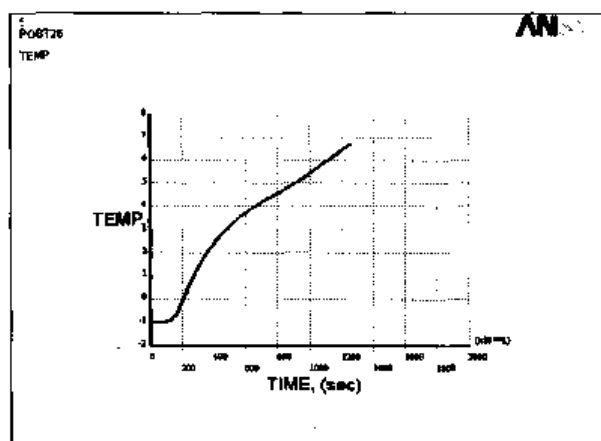


图 12-48 B 点温度随时间的变化关系曲线

命令流文件

```
/FILENAME, EXERCISE2
/TITLE, LIQUID-SOLID PHASE CHANGE
KEYW, PR_THERM, 1
```

```
/PREP7
ET, 1, PLANE55
ET, 2, SOLID90
MP, DENS, 1, 1000
MP, KXX, 1, 0.6
MPTEMP, 1, -10, -1, 0, 10
MPDATA, ENTH, 1, 1, 0, 3.78E7, 7.98E7, 1.22E8
RECTNG, 0, 0.02, 0, 0.05
RECTNG, 0, 0.01, 0.07, 0.08
LPLLOT
/PNUM, LINE, 1
/REPLOT
L2TAN, 2, 6
L, 5, 4
LSEL, S, , , 3, 5, 2
LSEL, A, , , 9, 10
AL, ALL
ALLSEL
LSEL, S, , , 1, 7, 2
LESIZE, ALL, , , 5
LSEL, S, , , 2, 4, 2
LESIZE, ALL, , , 15
LSEL, S, , , 9, 10
LESIZE, ALL, , , 6
LSEL, S, , , 6, 8, 2
LESIZE, ALL, , , 4
AMESH, ALL
/TITLE, ELEMENT IN PLANE MODEL
EPLOT
ALLSEL
TYPE, 2
ESIZE, , 3
VROTAT, 1, 2, 3, , , , 1, 8, 45
ACLEAR, ALL
/VIEW, 1, 1, 1, 1
```

```
! 定义工作文件名
! 定义工作标题
! 指定分析类型为热分析

! 进入前处理器
! 定义单元类型

! 输入材料密度
! 输入材料导热系数
! 指定温度点
! 输入材料焓值
! 生成矩形面

! 显示线段
! 显示线段编号
! 重新显示
! 生成与两线段相切的线段

! 由线段生成面

! 选择线段
! 设置线段等份数

! 对面进行网格划分

! 显示单元

! 指定单元类型
! 设置单元等份数
! 旋转面生成体
! 清除面
! 设置视图观测方向
```


热分析教程与实例解析

```
/TITLE, ELEMENT IN MODEL
EPLOT
ALLSEL
FINISH
```

```
/SOLU                                ! 进入求解器
ANTYPE, TRANS                        ! 定义分析类型为瞬态分析
BFUNIF, TEMP, -1                     ! 输入初始温度
NSEL, S, LOC, Y                      ! 选择节点
NSEL, A, LOC, Y, 0.08                ! 施加温度载荷
D, ALL, TEMP, 10                     ! 设置计算终止时间
ALLSEL                                ! 设置对大、最小时间步长
TIME, 12600                          ! 选择加载方式
DELTIM, 80, 80, 300                 ! 打开自动时间步长
KBC, 1
AUTOTS, ON
OUTRES, , ALL
SOLVE                                ! 开始求解计算
FINISH
```

```
/POST1                                ! 进入 POST1 后处理器
SET, , , , 3600                     ! 读取 3600 秒计算结果
PLNSOL, TEMP                         ! 绘制温度场等值线图
SET, , , , 9120                     ! 读取 9120 秒计算结果
PLNSOL, TEMP                         ! 绘制温度场等值线图
FINISH
```

```
/POST26                                ! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)              ! 定义 X 坐标轴标题
/AXLAB, Y, TEMP                      ! 定义 Y 坐标轴标题
/GTHK, AXIS, 3                      ! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3                     ! 指定曲线粗度
NSEL, S, LOC, X, 0                  ! 选择节点
NSEL, R, LOC, Y, 0.05               ! 根据节点坐标读取最大节点编号
*GET, NODE1, NODE, , NUM, MAX       ! 定义变量 2
NSOL, 2, NODE1, TEMP
NSEL, S, LOC, X, 0
NSEL, R, LOC, Y, 0.02
*GET, NODE2, NODE, , NUM, MAX
NSOL, 3, NODE2, TEMP                ! 定义变量 3
PLVAR, 2                            ! 绘制 A 两点温度随时间的变化规律曲线
PLVAR, 3                            ! 绘制 B 两点温度随时间的变化规律曲线
FINISH
/EXIT, ALL                           ! 退出 ANSYS
```

12-3 实例 3——铸造过程热分析

12-3-1 问题描述

图 12-49 所示为一个铸件及其砂模的横截面示意图。铸件和砂模材料的热性能参数如表 12-3、12.4 所示。铸件的初始温度为 1670°C ，砂模的初始温度为 25°C ，周围空气温度为 25°C ，对流系数为 $65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。求 10 分钟后铸件与砂模的温度场分布及图 12-49 所示各点的温度随时间的变化关系曲线（B、C 两点在模具上）。

表 12-3 铸件材料热性能参数

温度 $^{\circ}\text{C}$	导热系数 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$	焓 J/m^3
25	28.8	0
1533	31.2	7.5E9
1595	24.5	9.6E9
1670	24.5	1.1E10

表 12-4 砂模材料热性能参数

导热系数 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$	密度 kg/m^3	比热 $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$
0.52	1630	110

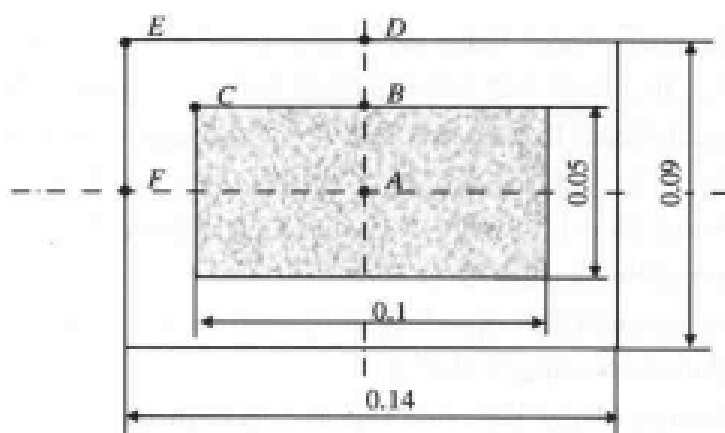


图 12-49 铸件与砂模横截面示意图

12-3-2 问题分析

该问题属于瞬态热分析问题。选取铸件与砂模的横截面作为几何模型进行求解。

12-3-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 CASTING SOLIDIFICATION，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 Thermal 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55

选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入砂模的导热系数 0.52, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入砂模的比热 110, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Density 按钮, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入砂模的密度 1630, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在文本框中输入材料参考号 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上 Conductivity 选项下的 Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框。

(7) 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 12-50 在文本框中进行输入, 单击 OK 按钮关闭 Conductivity for Material Number 2 对话框。

(8) 双击 Define Material Model Behavior 对话框上的 Enthalpy 选项, 出现 Enthalpy for Material Number 2 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 12-51 在文本框中进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

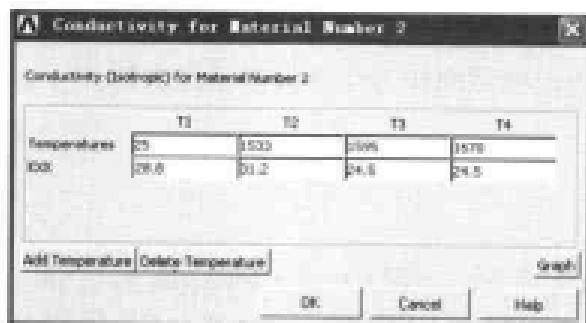


图 12-50 输入铸件材料导热系数对话框

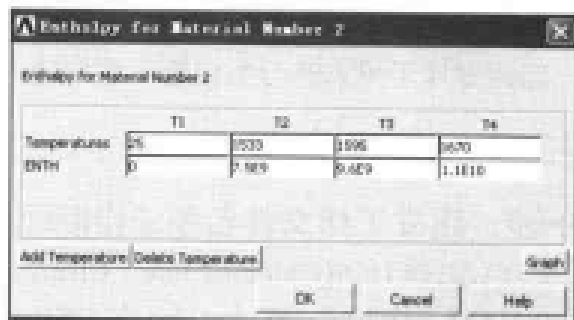


图 12-51 输入铸件材料焓值对话框

(9) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 参照图 12-52 对其进行设置。

(2) 单击 Apply 按钮, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中输入 -0.02, 0.12, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中输入 -0.02, 0.07, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框。

框, 选择 AREA Area numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Overlap | Areas 命令, 出现 Overlap Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | NumberingCtrls | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 Areas 选项, 如图 12-53 所示, 单击 Apply 按钮; 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 Lines 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 12-52 生成矩形面对话框

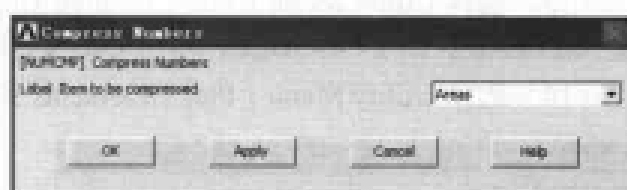


图 12-53 压缩实体编号对话框

(6) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, 生成的几何模型如图 12-54 所示。

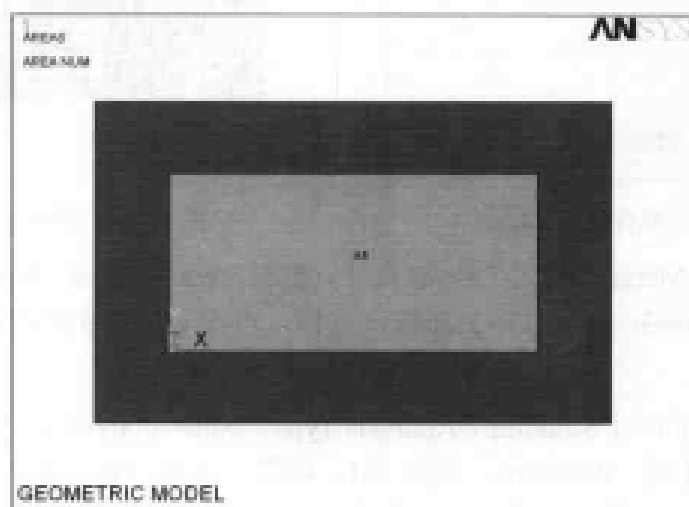


图 12-54 生成的几何模型结果显示

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入 0.005, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2, 如图 12-55 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

提示：在选择面的过程中，若出现 Multiple Entities 对话框，则根据提示通过 Prev 或 Next 按钮选择编号为 1 的平面，单击 OK 按钮关闭该对话框即可。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令，出现 Meshing Attributes 对话框，在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 1，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令，出现 Mesh Areas 菜单，在文本框中输入 2，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令，网格划分后的结果如图 12-56 所示。

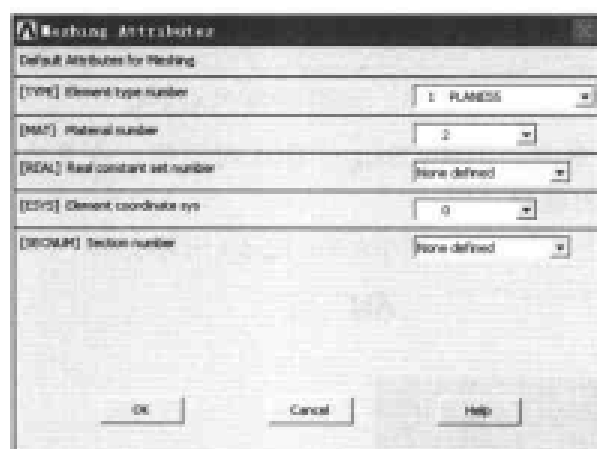


图 12-55 网格划分属性设置对话框

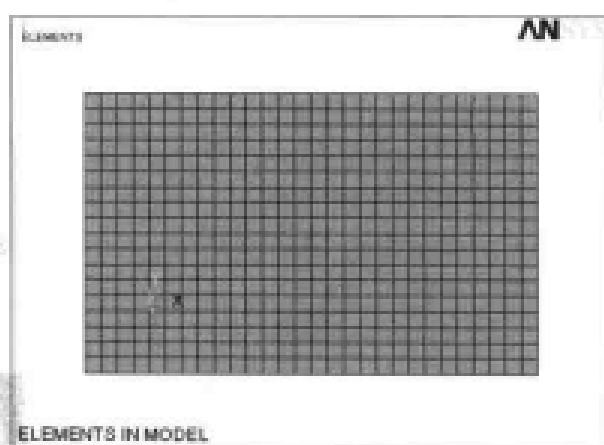


图 12-56 网格划分结果显示

(15) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令，出现 Save Database 对话框，在 Save Database to 文本框中输入 exercise31.db，保存上述操作过程，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步：加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令，出现 New Analysis 对话框，选择分析类型为 Transient，单击 OK 按钮，出现 Transient Analysis 对话框，在 [TRNOPT] Solution method 选项组中选择 Full，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time - Time Step 命令，出现 Time and Time Step Options 对话框，[TIME] Time at end of load step 文本框中输入 0.01，在 [DELTIM] Time step size 文本框中输入 0.01，其他选项采用默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration | Amplitude Decay 命令，出现 Time Integration Controls 对话框，参照图 12-57 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项，在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮，单击 OK 按钮，出现 Select areas 菜单，在文本框中输入 1，单

击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas,all 单选按钮, 在第 4 个选项组选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 1670, 如图 12-58 所示。单击 OK 按钮关闭该对话框。

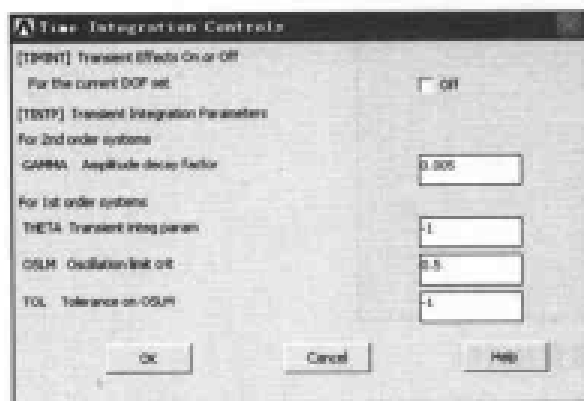


图 12-57 时间积分控制对话框

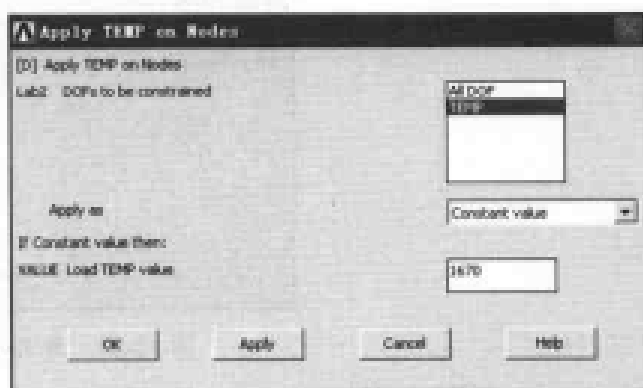


图 12-58 施加温度载荷对话框

(7) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select areas 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(9) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas,all 单选按钮, 在第 4 个选项组选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 25, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 5, 6, 7, 8, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中

选中 Lines,all 单选按钮,在第 4 个选项组选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令,出现 Apply CONV on nodes 菜单,单击 pick all 按钮,出现 Apply CONV on nodes 对话框。在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 65,在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入 25,如图 12-59 所示,单击 OK 按钮关闭该对话框。

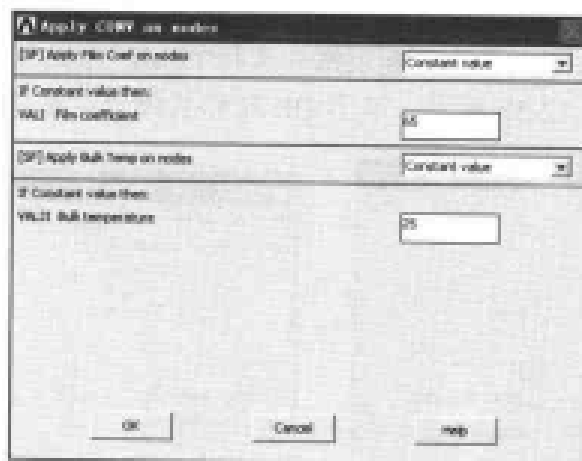


图 12-59 施加对流载荷对话框

(15) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(16) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令,出现 Solve Current Load Step 对话框,单击 OK 按钮,ANSYS 开始求解计算。

(17) 求解结束后,ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框,单击其上的 Close 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequency | Time Integration | Amplitude Decay 命令,出现 Time Integration Controls 对话框,将 TIMINT 选项设置为 On,其余选项采用默认设置,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令,出现 Solution Controls 对话框,选择 Basic 选项卡,参照图 12-60 对其进行设置,选择 Solution Controls 对话框上的 Transient 选项卡,参照图 12-61 对其进行设置,单击 OK 按钮关闭该对话框。

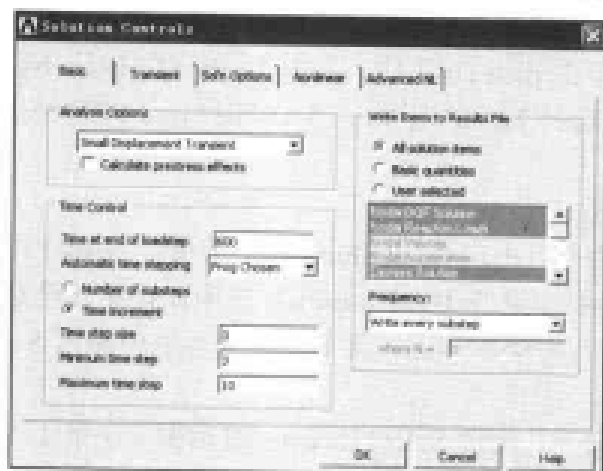


图 12-60 求解控制基本选项设置对话框

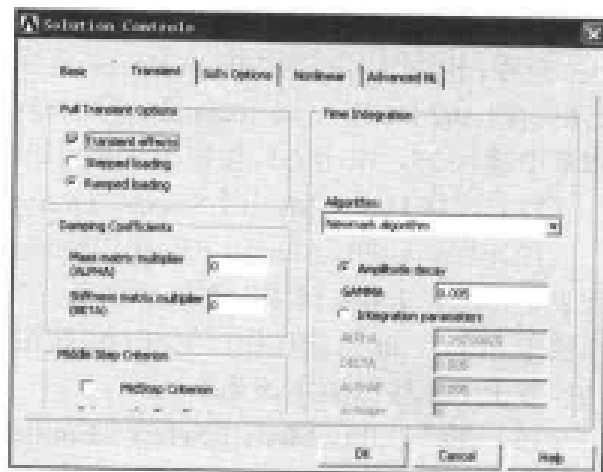


图 12-61 求解控制瞬态选项设置对话框

(20) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Delete | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Delete TEMP on N 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Delete Node Constraints 对话框, 在下拉列表框中选择 TEMP 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(22) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(23) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise32.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示如图 12-62 所示的铸件与砂模内部温度场分布等值线图。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选 Material num 单选按钮, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Elements 单选按钮, 单击 OK 按钮。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示如图 12-63 所示的砂模温度场分布等值线图。

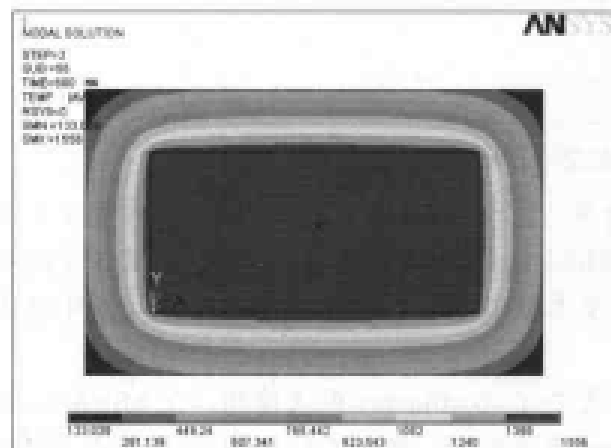


图 12-62 铸件与砂模内部温度场分布等值线

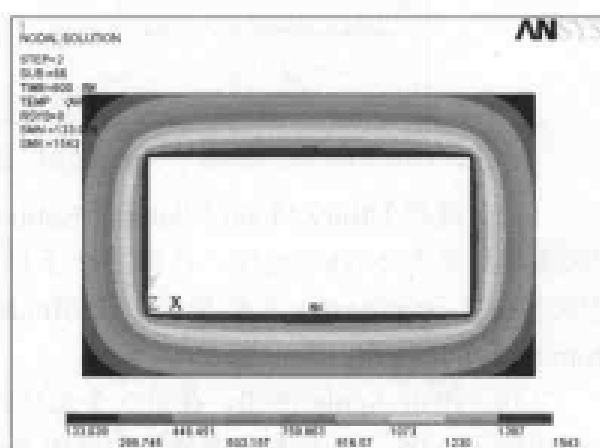


图 12-63 砂模内部温度场分布等值线

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在[/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 TIME,(sec), 在[/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMPERATURE, 在[/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中输入 Triple,

单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(11) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.025, 在第 5 个选项组中选 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 下拉列表框中选择 Model data, For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 QA2, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 如图 12-64 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

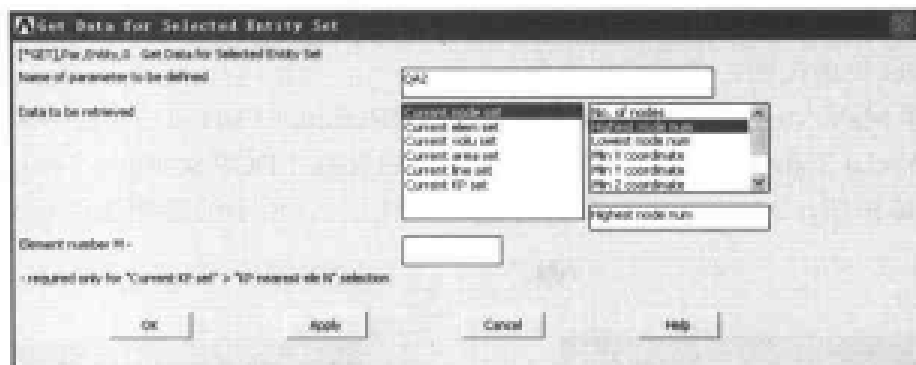


图 12-64 获取信息对话框

(13) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(14) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 QA3, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(17) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 QA4, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.05, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(20) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.07, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项。

(22) 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 QA5, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(23) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 -0.02, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(24) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.07, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(25) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 QA6, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(26) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 -0.02, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮。

(27) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.025, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

热分析教程与实例解析

(28) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 QA7, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(29) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 QA2, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 若出现 Time History Variables 对话框, 可关闭该对话框。

(30) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 QA3, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(31) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 QA4, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(32) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选择 Nodal DOF result, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 QA5, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(33) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 QA6, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(34) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 QA7, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(35) Defined Time-History Variables 对话框上的输入结果如图 12-65 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(36) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 A 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-66 所示。

(37) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 B 点温度随时

间的变化关系曲线图,如图 12-67 所示。

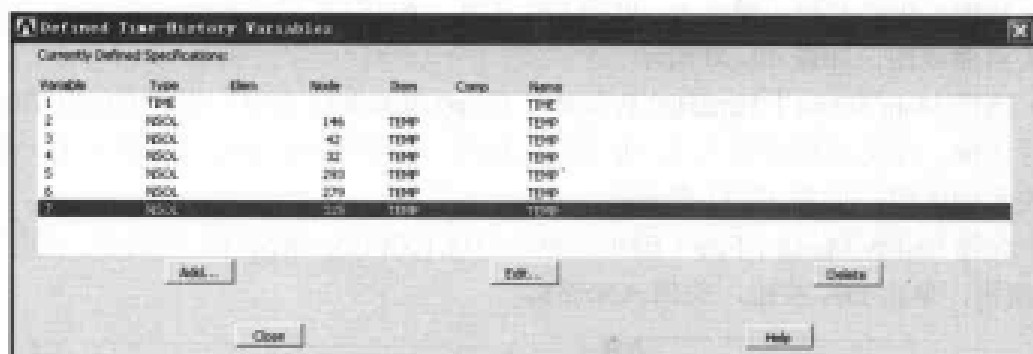


图 12-65 定义时间-历程变量对话框对话框

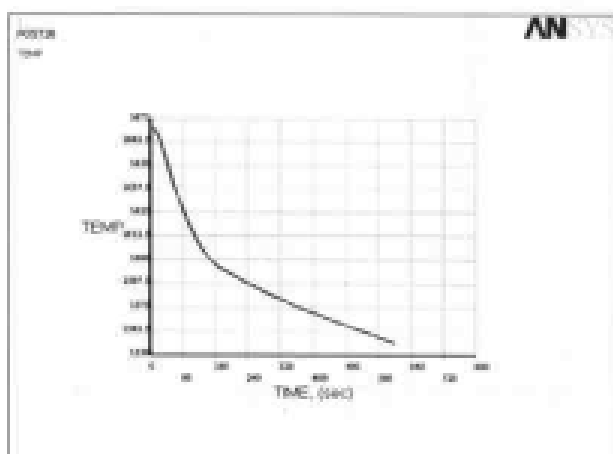


图 12-66 A 点温度随时间的变化关系曲线

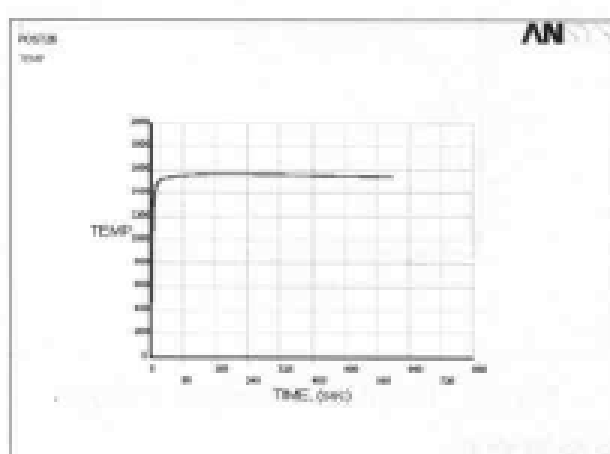


图 12-67 B 点温度随时间的变化关系曲线

(38) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 C 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-68 所示。

(39) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 5, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 D 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-69 所示。

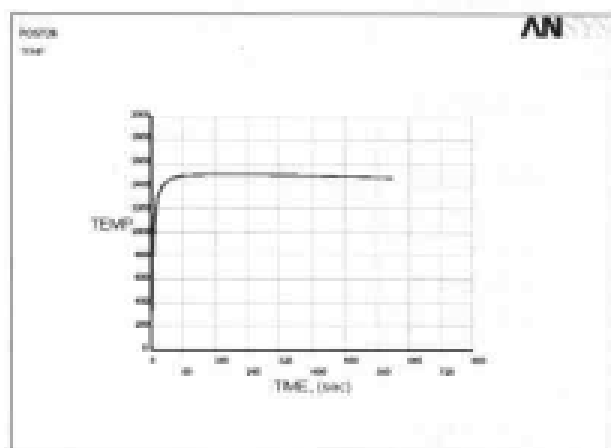


图 12-68 C 点温度随时间的变化关系曲线

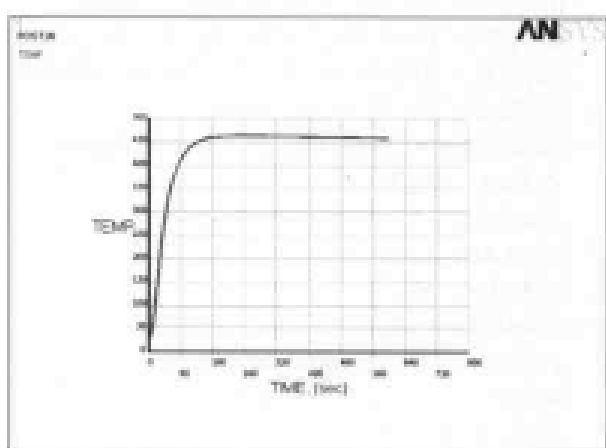


图 12-69 D 点温度随时间的变化关系曲线

热分析教程与实例解析

(40) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 6, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 E 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-70 所示。

(41) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 7, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示 F 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 12-71 所示。

(42) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

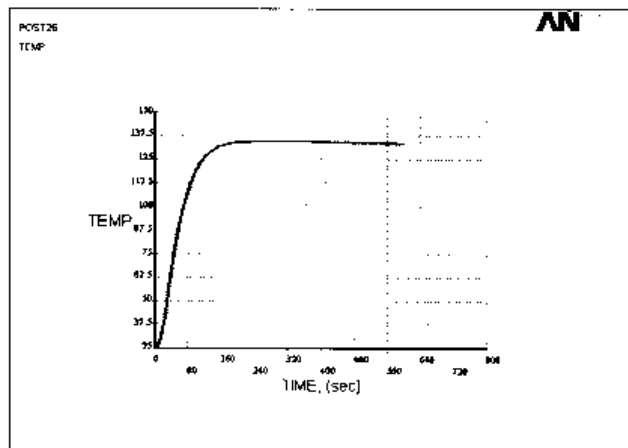


图 12-70 E 点温度随时间的变化关系曲线

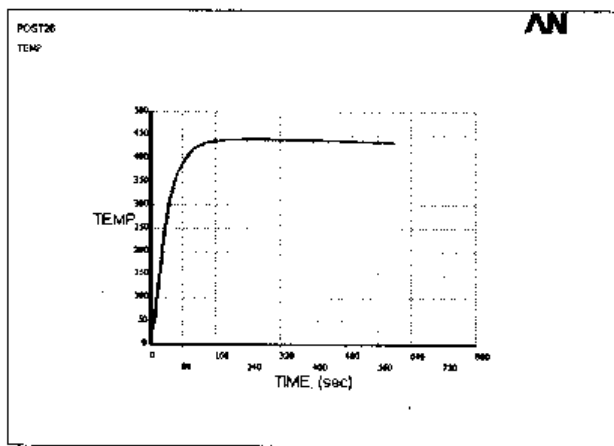


图 12-71 F 点温度随时间的变化关系曲线

命令流文件

```
/FILENAME, EXERCISE3  
/TITLE, CASTING SOLIDIFICATION  
KEYW, PR_THERM, 1
```

```
/PREP7  
ET, 1, PLANE55  
MP, DENS, 1, 1630  
MP, KXX, 1, 0.52  
MP, C, 1, 110  
MPTEMP, 1, 25, 1533, 1595, 1670  
MPDATA, KXX, 2, 1, 28.8, 31.2, 24.5, 24.5  
MPDATA, ENTH, 2, 1, 0, 7.5E9, 9.6E9, 1.1E10  
RECTNG, 0, 0.1, 0, 0.05  
RECTNG, -0.02, 0.12, -0.02, 0.07  
/PNUM, AREA, 1  
/REPLOT  
AOVLAP, 1, 2  
NUMCMP, AREA  
NUMCMP, LINE  
/TITLE, GEOMETRIC MODEL  
APLOT  
ESIZE, 0.005  
MAT, 2
```

! 定义工作文件名
! 定义工作标题

! 进入前处理器
! 定义单元类型
! 输入密度
! 输入导热系数
! 输入比热
! 设置温度点
! 输入导热系数
! 输入焓值

! 生成矩形面

! 显示面编号

! 面叠加
! 压缩面编号
! 压缩线段编号

! 定义单元尺寸
! 指定材料参考号为 2

AMESH, 1	! 对面 1 进行网格划分
APLOT, ALL	! 显示面
MAT, 1	! 指定材料参考号为 1
AMESH, 2	! 对面 2 进行网格划分
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL	
EPLOT	! 显示单元
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, TRANS	! 指定分析类型为瞬态分析
TIMINT, OFF	! 先作稳态分析, 确定初始条件
TIME, 0.01	! 设置计算终止时间
DELTIM, 0.01	! 设置时间步长
APLOT	! 显示面
ASEL, S, , , 1	! 选择面 1
NSLA, S, 1	! 选择面上所有节点
D, ALL, TEMP, 1670	! 施加温度载荷
ALLSEL	
ASEL, S, , , 2	! 选择面 2
NSLA, S, 1	! 选择面上所有节点
D, ALL, TEMP, 25	! 施加温度载荷
ALLSEL	
LPLLOT, ALL	! 显示线段
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
LSEL, S, , , 5, 8	! 选择线段
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
SF, ALL, CONV, 65, 25	! 施加对流载荷
ALLSEL	
SOLVE	! 得到初始温度分布
TIMINT, ON	! 打开时间积分选项, 进行瞬态分析
TIME, 600	! 设置计算终止时间
AUTOTS, -1	! 程序选择是否打开自动时间步长
DELTIM, 3, 3, 10, 1	! 设置最大、最小时间步长
KBC, 0	! 选择加载方式
DDELE, ALL, TEMP	! 删除稳态分析中定义的节点温度
OUTRES, ALL, ALL	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
ESEL, S, MAT, , 1	! 选择材料参考号为 1 的所有单元
NSLE, S, 1	! 选择单元上的所有节点
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
ALLSEL	
FINISH	
/POST26	! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)	! 定义 X 坐标轴标题

热分析教程与实例解析

```
/AXLAB, Y, TEMP
/GTHK, AXIS, 3
/GTHK, CURVE, 3
/COLOR, CURVE, MRED, 1
NSEL, S, LOC, X, 0.05
NSEL, R, LOC, Y, 0.025
*GET, QA2, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0.05
NSEL, R, LOC, Y, 0.05
*GET, QA3, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0
NSEL, R, LOC, Y, 0.05
*GET, QA4, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, 0.05
NSEL, R, LOC, Y, 0.07
*GET, QA5, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, -0.02
NSEL, R, LOC, Y, 0.07
*GET, QA6, NODE, , NUM, MAX
NSEL, S, LOC, X, -0.02
NSEL, R, LOC, Y, 0.025
*GET, QA7, NODE, , NUM, MAX
NSOL, 2, QA2, TEMP
NSOL, 3, QA3, TEMP
NSOL, 4, QA4, TEMP
NSOL, 5, QA5, TEMP
NSOL, 6, QA6, TEMP
NSOL, 7, QA7, TEMP
PLVAR, 2
PLVAR, 3
PLVAR, 4
PLVAR, 5
PLVAR, 6
PLVAR, 7
FINISH
/EXIT, ALL
```

! 定义 Y 坐标轴标题
! 定义坐标轴粗度
! 定义曲线粗度
! 设置曲线显示颜色
! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 选择节点

! 根据节点坐标读取最大节点编号
! 定义变量 2
! 定义变量 3
! 定义变量 4
! 定义变量 5
! 定义变量 6
! 定义变量 7
! 绘制 A 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 B 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 C 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 D 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 E 点温度随时间的变化规律曲线
! 绘制 F 点温度随时间的变化规律曲线

! 退出 ANSYS

Chapter 13

热应力分析实例详解

本章提示:

本章向读者介绍热应力分析的工程应用实例,通过实例分析和求解的形式加深读者对热应力分析过程及其分析步骤的进一步理解。

学习目标:

通过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 热应力分析的基本步骤,熟悉相应的界面操作步骤及相关命令,并掌握实际热应力分析问题的建模方法、求解思路与技巧。

13-1 实例 1——圆筒内部热应力分析

13-1-1 问题描述

有一无限长圆筒，其横截面结构如图 13-1 所示，筒内壁温度为 200°C ，外壁温度为 20°C ，圆筒材料参数见表 13-1，求圆筒内的温度场、应力场分布（图中长度单位为 mm）。

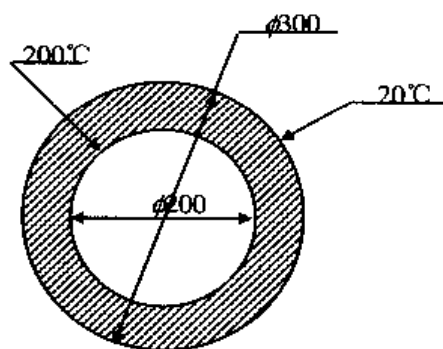


图 13-1 圆筒横截面结构示意图

表 13-1 材料性能参数

弹性模量 E Gpa	泊松比 ν	线膨胀系数 α $^{\circ}\text{C}^{-1}$	导热系数 K $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$
220	0.28	$1.3\text{E}-6$	70

13-1-2 问题分析

该问题属于轴对称问题。由于圆筒无限长，忽略圆筒端部的热损失。沿圆筒纵截面取宽度为 10mm 的如图 13-2 所示的矩形截面作为几何模型。在求解过程中采用间接求解法和直接求解法两种方法进行求解。间接法是先选择热分析单元，对圆筒进行热分析，然后将热分析单元转化为相应的结构单元，再对圆筒进行结构分析；直接法是采用热应力耦合单元，对圆筒进行热力耦合分析。

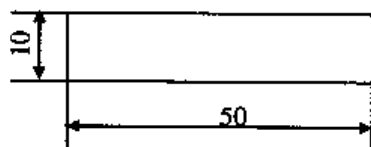


图 13-2 几何模型

13-1-3 间接法求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE11，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框

中输入 THERMAL STRESSES IN A LONG CYLINDER-INDIRECT SOLUTION, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid、Quad 4node 55 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 13-3 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Options 按钮, 出现 PLANE55 element type options 对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 13-4 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

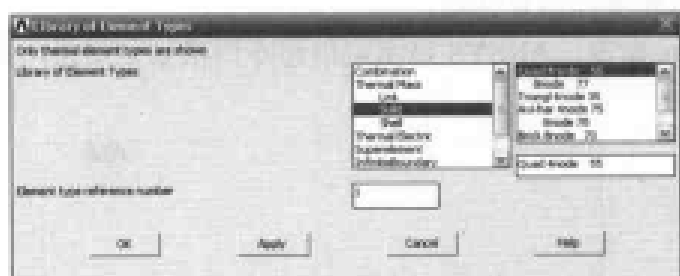


图 13-3 单元类型列表对话框

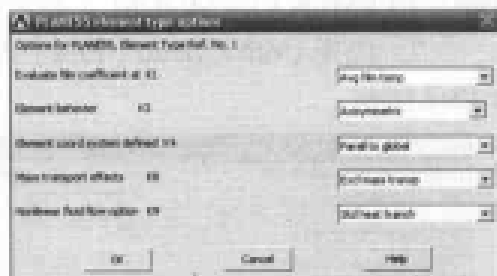


图 13-4 PLANE55 单元属性设置对话框

(4) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 70, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 13-5 对其进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

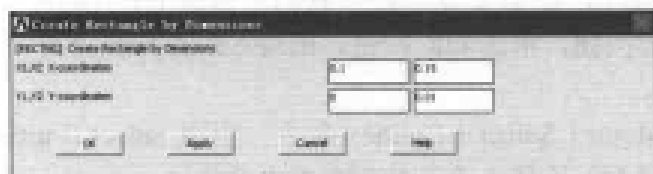


图 13-5 生成矩形面对话框

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 20, 如图 13-6 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 5, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示网格划分结果, 如图 13-7 所示。

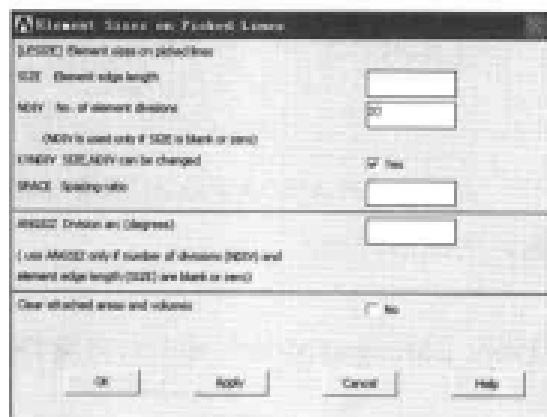


图 13-6 线段单元等份数设置对话框

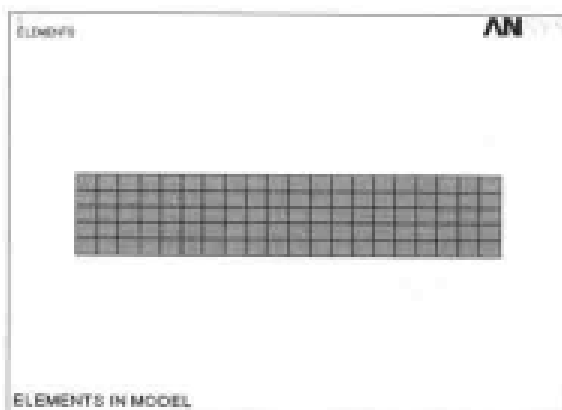


图 13-7 网格划分结果显示

(8) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise111.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步：热分析求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Static, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines_all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。参照图 13-8 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

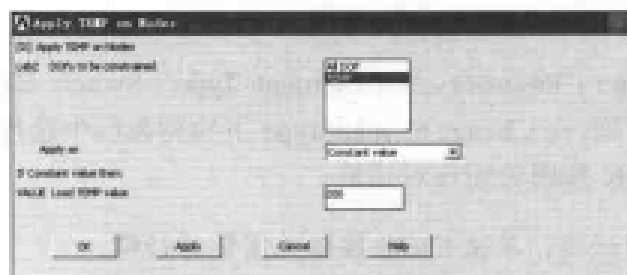


图 13-8 施加温度载荷对话框

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 20, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(10) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise112.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 显示温度场

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框。选择 Nodal Solu | DOF Solution | Nodal Temperature, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-9 所示的温度场分布等值线图。

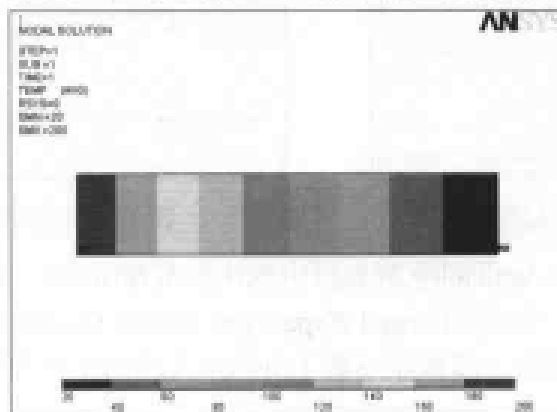


图 13-9 温度场分布等值线图

第七步：热应力分析

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Switch Element Type 命令, 出现 Switch Element Type 对话框, 在 Change element type 下拉列表框中选择 Thermal to Struc 选项, 如图 13-10 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 若出现 Warning 对话框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Option 按钮, 出现 PLANE42 element type options 对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 在 Extra surface output K6 下拉列表框中选择 On face 1 选项, 如图 13-11 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

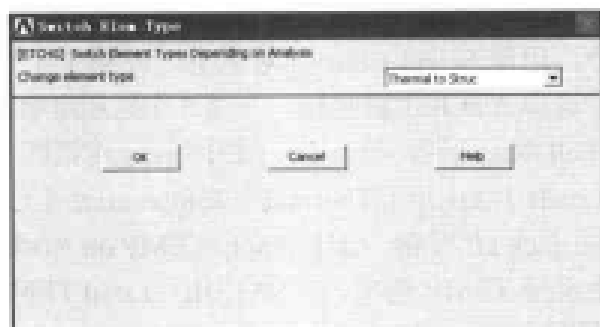


图 13-10 转变单元类型对话框

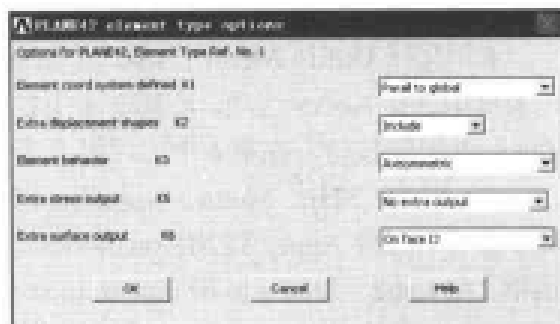


图 13-11 PLANE42 单元属性设置对话框

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框, 在 Material Models Availabley 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 对话框, 在 EX 文本框中输入弹性模量 $2.2\text{E}11$, 在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.28, 如图 13-12 所示单击 OK 按钮关闭该对话框。

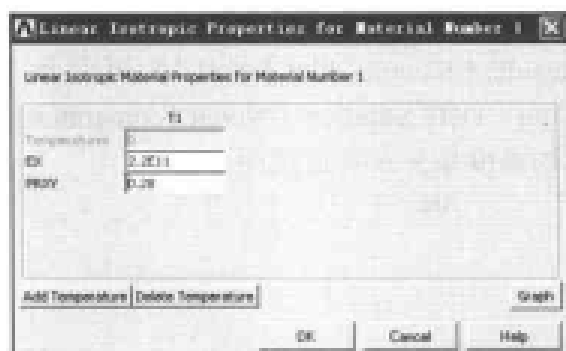


图 13-12 输入弹性模量和泊松比对话框

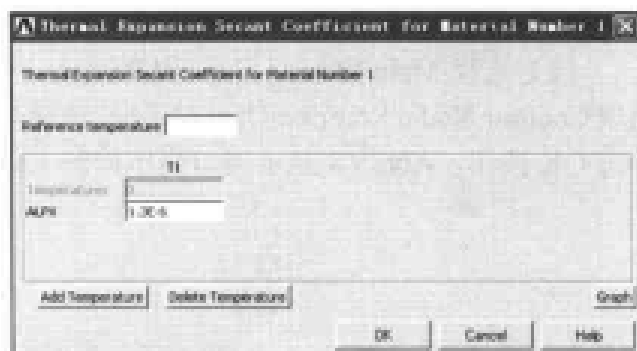


图 13-13 输入热膨胀系数对话框

(5) 在 Material Models Availabley 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $1.3\text{E}-6$, 如图 13-13 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 Apply 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main menu | Preprocessor | Coupling / Ceqn | Couple DOFs 命令, 出现 Define Coupled DOFs 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Coupled DOFs 对话框, 在 NSET Set reference number 文本框中输入 8, 在 Lab Degree-of-freedom label 下拉列表框中选择 UX 选项, 如图 13-14 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

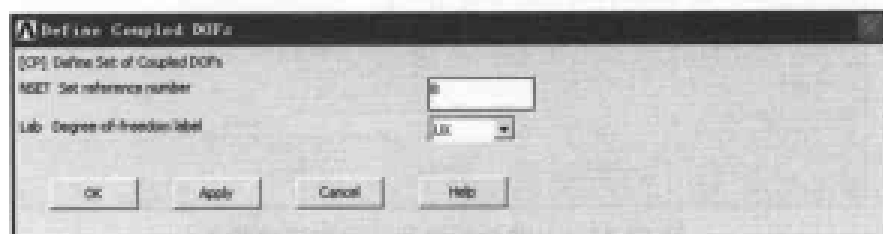


图 13-14 设置耦合位移对话框

(10) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 Apply 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭 Select lines 菜单。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main menu | Preprocessor | Coupling / Ceqn | Couple DOFs 命令, 出现 Define Coupled DOFs 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Coupled DOFs 对话框, 在 NSET Set reference number 文本框中输入 9, 在 Lab Degree-of-freedom label 下拉列表框中选择 UX 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

第八步: 应力场求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选中 Static 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes 命令, 出现 Apply U,ROT on Nodes 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply U,ROT on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 UY 选项, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入 0, 如图 13-15 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

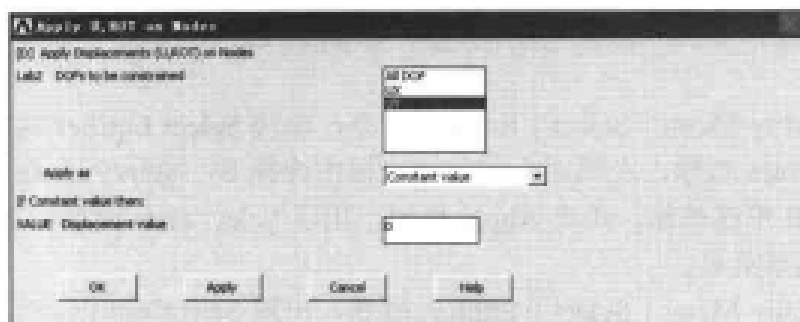


图 13-15 施加位移载荷对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structure | Temperature | From Therm Analy 命令, 出现 Apply TEMP from Thermal Analysis 对话框, 在 Fname Name of results file 文本框中输入 EXERCISE11.rth, 如图 13-16 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

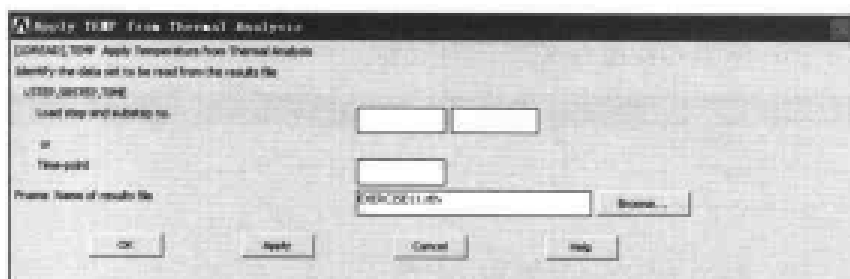


图 13-16 从热分析结果中读取温度载荷

(4) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(5) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise113.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第九步: 输出应力场分布图

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示径向应力场分布等值线图, 如图 13-17 所示。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示轴向应力场分布等值线图, 如图 13-18 所示。

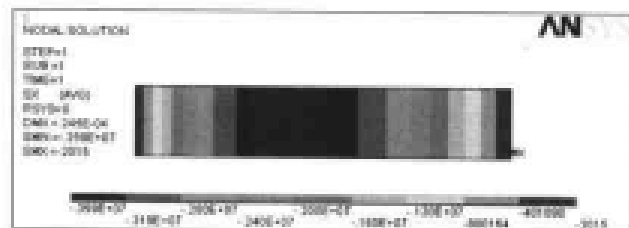


图 13-17 径向应力场分布等值线图

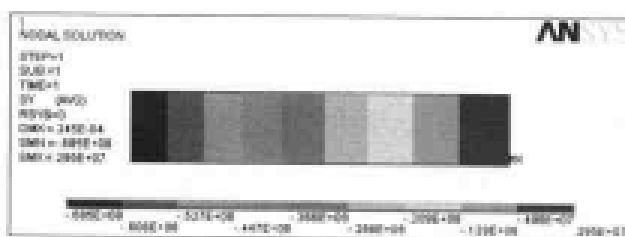


图 13-18 轴向应力场分布等值线图

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Z-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示周向应力场分布等值线图, 如图 13-19 所示。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-20 所示。

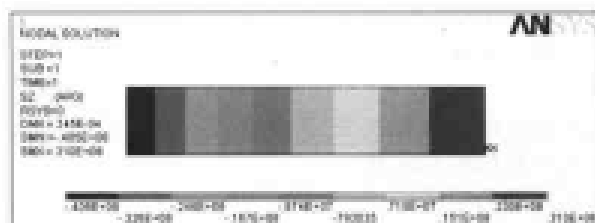


图 13-19 周向应力场分布等值线图

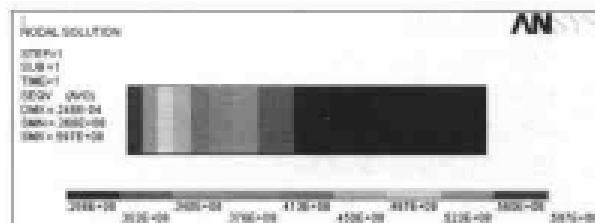


图 13-20 等效应力场分布等值线图

(5) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

间接法求解命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE11          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL STRESSES IN A LONG CYLINDER-INDIRECT SOLUTION
! 定义工作标题
/PREP7                          ! 进入前处理器
ET, 1, PLANE55                 ! 定义轴对称单元
KEYOPT, 1, 3, 1                ! 定义单元关键字
MP, KXX, 1, 70                 ! 输入材料导热系数
RECTANG, 0.1, 0.15, 0, 0.01   ! 生成矩形面
/PNUM, LINE, 1                 ! 显示线段编号
/REPLOT
LSEL, S, LINE, , 1, 3, 2       ! 选择线段
LESIZE, ALL, , , 20            ! 定义工作标题
LSEL, S, LINE, , 2, 4, 2
LESIZE, ALL, , , 5
AMESH, 1                        ! 对面进行网格划分
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL
EPLOT                          ! 显示单元
FINISH

/SOLU                          ! 进入求解器, 进行热分析
ANTYPE, STATIC                 ! 定义分析类型为稳态分析
LSEL, S, LINE, , 4             ! 选择线段
NSLL, S, 1                     ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 200              ! 施加温度载荷
LSEL, S, LINE, , 2
NSLL, S, 1
D, ALL, TEMP, 20
ALLSEL
OUTPR, BASIC, ALL
SOLVE                          ! 开始求解计算

```


热分析教程与实例解析

FINISH

/POST1
SET, LAST
PLNSOL, TEMP
FINISH

! 进入后处理器
! 读取最终求解结果
! 绘制温度场分布等值线图

/PREP7
ETCHG, TTS
KEYOPT, 1, 3, 1
KEYOPT, 1, 6, 1
MP, EX, 1, 220E9
MP, ALPX, , 1.3E-6
MP, PRXY, 1, 0.28
LSEL, S, , , 4
NSLL, S, 1
CP, 8, UX, ALL
LSEL, S, , , 2
NSLL, S, 1
CP, 9, UX, ALL
ALLSEL
FINISH

! 重新进入前处理器, 进行热应力耦合分析
! 转化单元类型
! 定义单元关键字
! 输入材料弹性模量
! 输入材料线膨胀系数
! 输入材料泊松比
! 耦合 X 方向位移

/SOLU
ANTYPE, STATIC
D, ALL, UY, 0
LDREAD, TEMP, , , , , RTH
ALLSEL
SOLVE
FINISH

! 进入求解器
! 施加位移约束
! 读取热分析结果
! 开始求解计算

/POST1
PLNSOL, S, X
PLNSOL, S, Y
PLNSOL, S, Z
PLNSOL, S, EQV
FINISH
/EXIT, ALL

! 进入后处理器
! 绘制 X 方向应力场分布等值线图
! 绘制 Y 方向应力场分布等值线图
! 绘制 Z 方向应力场分布等值线图
! 绘制等效应力场分布等值线图
! 退出 ANSYS

13-1-4 直接法求解步骤

第一步: 建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE12, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 THERMAL STRESSES IN A LONG CYLINDER-DIRECT SOLUTION, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Coupled Field、Vector Quad13 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 13-21 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 单击 Element Types 对话框上的 Options 按钮, 出现 PLANE13 element type options 对话框, 在 Element degrees of freedom K1 下拉列表框中选择 UX UY TEMP AZ 选项, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 如图 13-22 所示, 单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

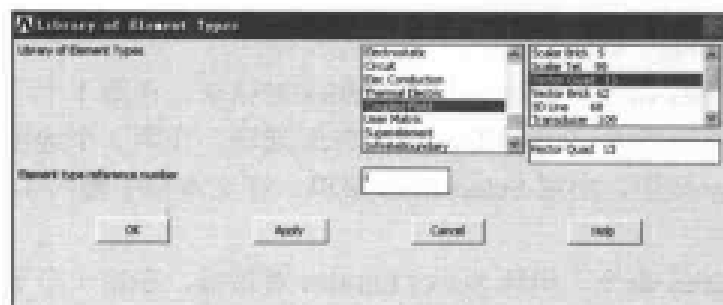


图 13-21 选择单元类型对话框

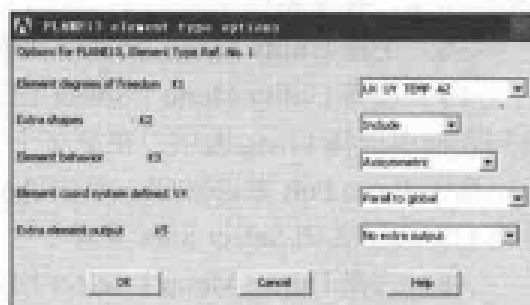


图 13-22 PLANE13 单元属性设置对话框

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 70, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 对话框, 在 EX 文本框中输入弹性模量 $2.2\text{E}11$, 在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.28, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $1.3\text{E}-6$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框。参照图 13-5 对其进行输入, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

热分析教程与实例解析

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 20, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Sizes on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 5, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮。单击 Apply 按钮, 出现 Select lines 菜单。在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭 Select lines 菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main menu | Preprocessor | Coupling / Ceqn | Couple DOFs 命令, 出现 Define Coupled DOFs 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Coupled DOFs 对话框, 在 NSET Set reference number 文本框中输入 8, 在 Lab Degree-of-freedom label 下拉列表框中选择 UX 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 Apply 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭 Select lines 菜单。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Main menu | Preprocessor | Coupling / Ceqn | Couple DOFs 命令, 出现 Define Coupled DOFs 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Coupled DOFs 对话框, 在 NSET Set reference number 文本框中输入 9, 在 Lab Degree-of-freedom label 列表框中选择 UX 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(14) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise121.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis

对话框,选择分析类型为 Static,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令,出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项,在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项,在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮,出现 Select lines 菜单,在文本框中输入 4,单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令,出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项,在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项,在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮,在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令,出现 Apply TEMP on Nodes 菜单,单击 Pick all 按钮,出现 Apply TEMP on Nodes 对话框,在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项,在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 200,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令,出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项,在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项,在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮,出现 Select lines 菜单,在文本框中输入 2,单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令,出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项,在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项,在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮,在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令,出现 Apply TEMP on Nodes 菜单,单击 pick all 按钮,出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项,在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 20,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everthing 命令。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes 命令,出现 Apply U,ROT on Nodes 菜单,单击 Pick All 按钮,出现 Apply U,ROT on Nodes 对话框,在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 UY 选项,在 VALUE Displacement value 文本框中输入 0,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令,出现 Solve Current Load Step 对话框,单击 OK 按钮,ANSYS 开始求解计算。

(11) 求解结束后,ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框,单击 Close 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令,出现 Save Database 对话框,在 Save Database to 文本框中输入 exercise122.db,保存求解结果,单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步:查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令,

出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示径向应力场分布等值线图, 如图 13-23 所示。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示轴向应力场分布等值线图, 如图 13-24 所示。

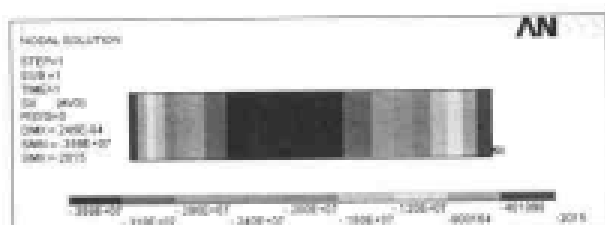


图 13-23 径向应力场分布等值线图

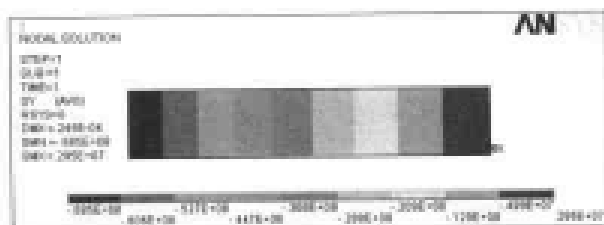


图 13-24 轴向应力场分布等值线图

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Z-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示周向应力场分布等值线图, 如图 13-25 所示。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-26 所示。

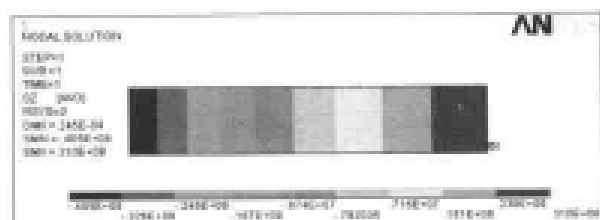


图 13-25 周向应力场分布等值线图

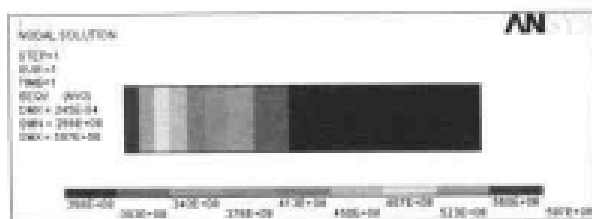


图 13-26 等效应力场分布等值线图

(6) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

直接法求解命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE12          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL STRESSES IN A LONG CYLINDER-DIRECT SOLUTION
! 定义工作标题
/PREP7
ET, 1, PLANE13
KEYOPT, 1, 1, 4
KEYOPT, 1, 3, 1
MP, EX, 1, 220E9
MP, ALPX, 1, 1.3E-6
MP, PRXY, 1, 0.28
MP, KXX, 1, 70

RECTANG, 0, 1, 0, 15, 0, 0.01
LSEL, S, LINE, , 1, 3, 2
LESIZE, ALL, , , 20
LSEL, S, LINE, , 2, 4, 2
LESIZE, ALL, , , 5
AMESH, 1

! 进入前处理器
! 定义热应力耦合单元
! 定义单元关键字
! 输入材料弹性模量
! 输入材料线膨胀系数
! 输入材料泊松比
! 输入材料导热系数

! 生成矩形面
! 选择线段
! 设置线段等份数

! 对面进行网格划分
    
```


LSEL, S, , , 4	! 选择线段
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
CP, 8, UX, ALL	! 耦合 X 方向位移
LSEL, S, , , 2	
NSLL, S, 1	
CP, 9, UX, ALL	
ALLSEL	
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 指定分析类型为稳态分析
LSEL, S, LINE, , 4	
NSLL, S, 1	
D, ALL, TEMP, 200	! 施加温度载荷
LSEL, S, LINE, , 2	
NSLL, S, 1	
D, ALL, TEMP, 20	
ALLSEL	
D, ALL, UY, 0	! 施加位移约束
OUTPR, BASIC, ALL	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
PLNSOL, S, X	! 绘制 X 方向应力场分布等值线图
PLNSOL, S, Y	! 绘制 Y 方向应力场分布等值线图
PLNSOL, S, Z	! 绘制 Z 方向应力场分布等值线图
PLNSOL, S, EQV	! 绘制等效应力场分布等值线图
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

13-2 实例 2——冷却栅管的热应力分析

13-2-1 问题描述

图 13-27 所示为一冷却栅管的轴对称结构示意图, 其中管内为热流体, 温度为 200°C , 压力为 10Mpa , 对流系数为 $110\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; 管外为空气, 温度为 25°C , 对流系数为 $30\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。栅管材料参数如表 13-2 所示, 求栅管内的温度场和应力场分布。

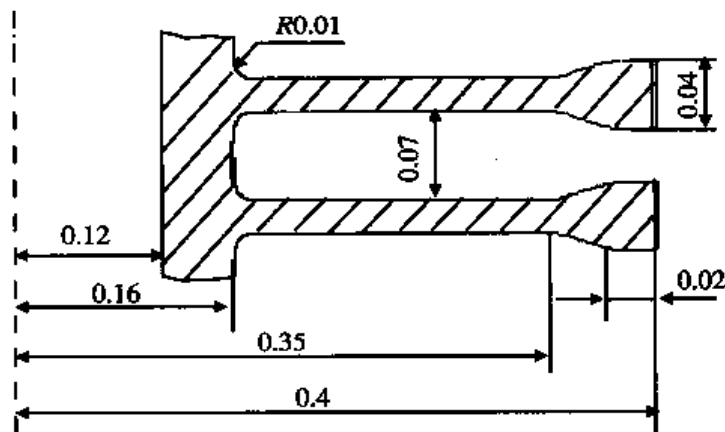


图 13-27 圆筒横截面结构示意图

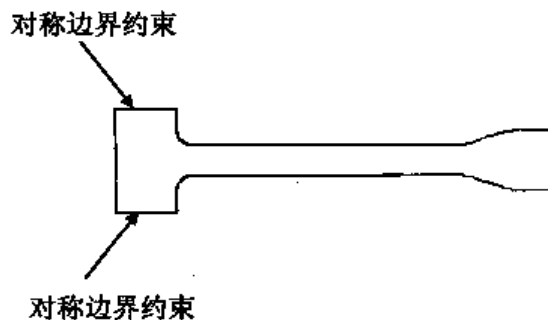


图 13-28 几何模型

表 13-2 材料性能参数

弹性模量 E Gpa	泊松比 ν	线膨胀系数 α $^{\circ}\text{C}^{-1}$	导热系数 K $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$
200	0.3	$1.5\text{E}-5$	30

13-2-2 问题分析

根据问题的对称性, 建立如图 13-28 所示的几何模型, 并在图示边界线段上施加对称边界约束, 进行热应力分析求解。

13-2-3 求解步骤

第一步: 建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 THERMAL STRESSES IN AN AXISYMMETRICAL PIPE, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步: 定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 列表框中选择 Coupled Field 选项, Vector Quad13, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 13-29 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 单击 Element Types 对话框上的 Options 按钮, 出现 PLANE13 element type options 对话框, 在 Element degrees of freedom K1 下拉列表框中选择 UX UY TEMP AZ 选项, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 如图 13-30 所示, 单击 OK 按钮, 关闭该对话框。

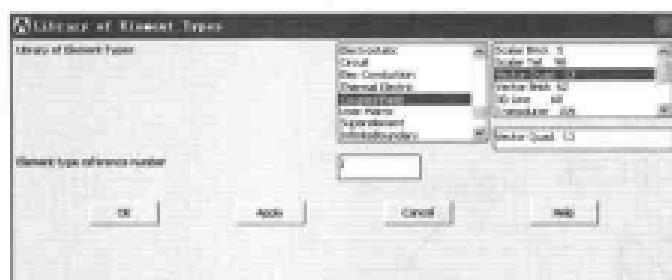


图 13-29 选择单元类型对话框

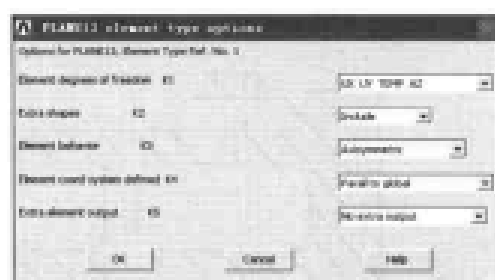


图 13-30 PLANE13 单元属性设置对话框

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 30, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 对话框, 在 EX 文本框中输入弹性模量 $2.0E11$, 在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $1.5E-5$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 参照图 13-31 对其进行设置。

(2) 单击 Apply 按钮, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中依次输入 0.16、0.4, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中依次输入 0.025、0.045, 单击 Apply 按钮; 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中依次输入 0.38、0.4, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中依次输入 0.015、0.055, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框, 参照图 13-32 对其进行设置。



图 13-31 生成矩形面对话框

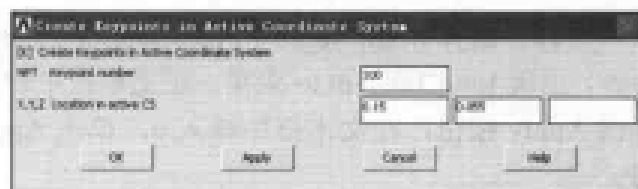


图 13-32 生成关键点对话框

(4) 单击 Apply 按钮, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入 101, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0.15、0.015、0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Add | Areas 命令, 出现 Add Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 Lines 选项, 如图 13-33 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

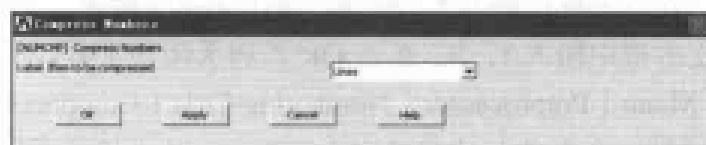


图 13-33 压缩编号对话框

(7) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话

框, 选择 LINE Line numbers 和 KP Keypoint numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fillet 菜单, 在文本框中输入 8, 12, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 参照图 13-34 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fillet 菜单, 在文本框中输入 7, 9, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 文本框中依次输入 7、9, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.01, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Line w/ Options 命令, 出现 Divide Multiple 菜单, 在文本框中输入 12, 9, 单击 OK 按钮, 出现 Divide Multiple Lines with Options 对话框, 参照图 13-35 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

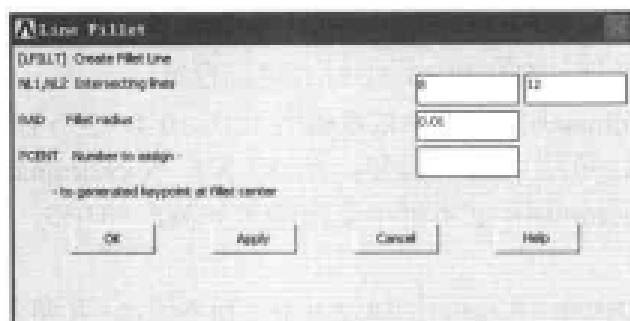


图 13-34 线段倒角对话框

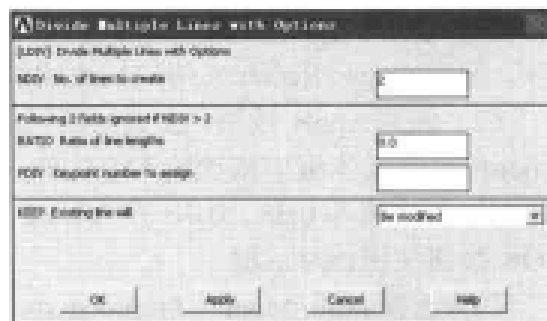


图 13-35 分割线段对话框

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | Tan to 2 Lines 命令, 出现 Line Tangent to 菜单, 在文本框中输入 12, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 20, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 6, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 12, 单击 Apply 按钮。

(12) 在文本框中输入 9, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 19, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 5, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 9, 单击 Apply 按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令, 出现 Create Area by L 菜单, 在文本框中输入 15, 16, 17, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 18, 19, 20, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 14, 22, 23, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 13, 21, 24, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Add | Areas 命令, 出现 Add Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 4, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 5, 6, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 Lines 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框

中输入 GEOMETRIC MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框, ANSYS 显示窗口显示如图 13-36 所示的几何模型。

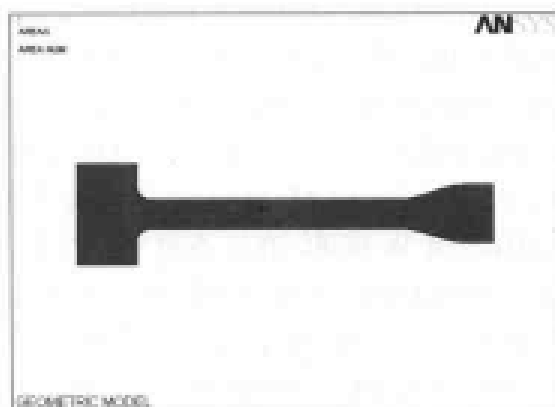


图 13-36 生成的几何模型结果显示

(17) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入 0.0025, 如图 13-37 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

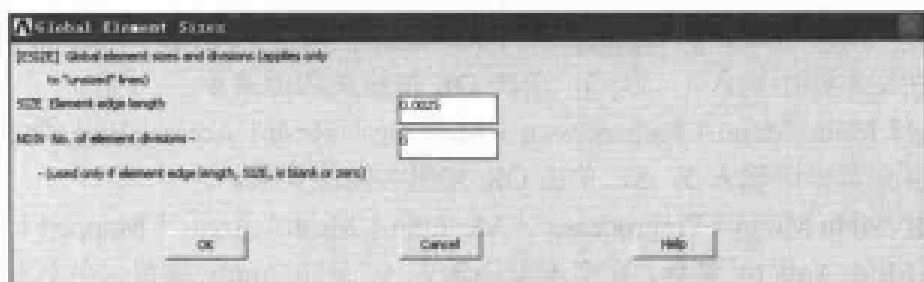


图 13-37 定义单元尺寸对话框

(18) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Display Working Plane 命令, 显示工作平面。

(19) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Change Active CS to | Working Plane 命令, 将当前激活坐标系设置为工作平面。

(20) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to keypoints 菜单, 在文本框中输入 100, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(21) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP by Increments 命令, 出现 Offset WP 菜单, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 0, 0, 90, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(22) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Areas by WrkPlane 命令, 出现 Divide Areas by W 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(23) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP by Increments 命令, 出现 Offset WP 菜单, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 0, 90, 0, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(24) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Areas by WrkPlane 命令, 出现 Divide Areas by W 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(25) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to keypoints 菜单, 在文本框中输入 101, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(26) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Areas by WrkPlane 命令, 出现 Divide Areas by W 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(27) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to keypoints 菜单, 在文本框中输入 16, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(28) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP by Increments 命令, 出现 Offset WP 菜单, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 0, -90, 0, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(29) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Areas by WrkPlane 命令, 出现 Divide Areas by W 菜单, 在文本框中输入 5, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(30) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to keypoints 菜单, 在文本框中输入 19, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(31) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Areas by WrkPlane 命令, 出现 Divide Areas by W 菜单, 在文本框中输入 6, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(32) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP to | Keypoints 命令, 出现 Offset WP to keypoints 菜单, 在文本框中输入 12, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(33) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Divide | Areas by WrkPlane 命令, 出现 Divide Areas by W 菜单, 在文本框中输入 7, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(34) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(35) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 5, 8, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(36) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Mapped | By Corners 命令, 出现 Map Mesh Area by 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 15, 16, 18, 17, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(37) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Mapped | By Corners 命令, 出现 Map Mesh Area by 菜单, 在文本框中输入 6, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 19, 20, 9, 12, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(38) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(39) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Display Working Plane 命令, 关闭显示工作平面。

(40) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENTS IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(41) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示如图 13-38 所示的网格划分结果。

(42) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Change Active CS to | Global Cartesian 命令, 将当前激活坐标系设置为直角坐标系。

(43) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 参照图 13-39 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

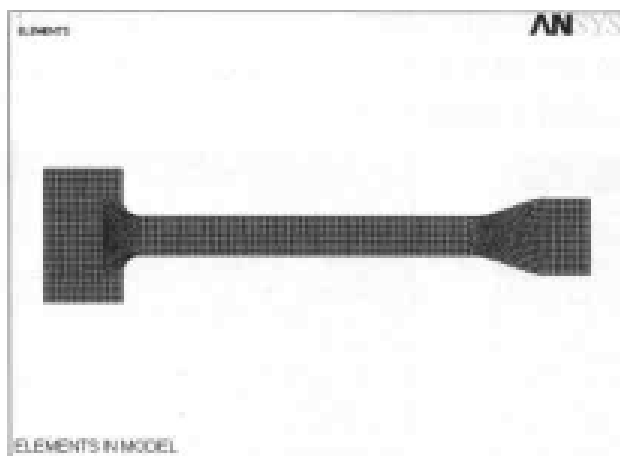


图 13-38 网格划分结果显示

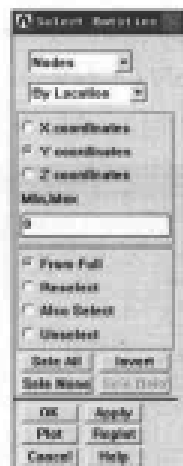


图 13-39 选择节点对话框

(44) 选择 Main Menu | Preprocessor | Coupling/Ceqn | Couple DOFs 命令, 出现 Define Coupled DOFs 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Coupled DOFs 对话框, 参照图 13-40 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

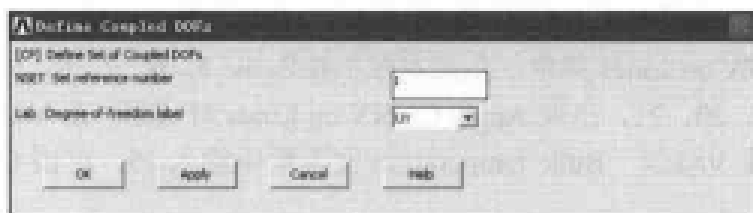


图 13-40 定义耦合位移对话框

(45) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(46) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.07, 在第 5 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(47) 选择 Main Menu | Preprocessor | Coupling/Ceqn | Couple DOFs 命令, 出现 Define Coupled DOFs 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Coupled DOFs 对话框, 在 NSET Set reference number 文本框中输入 2, 在 Lab Degree-of-freedom label 列表框中选择 UY 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(48) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(49) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise21.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Static, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Lines 命令, 出现 Apply PRES on Lines 菜单, 在文本框中输入 3, 出现 Apply PRES on Lines 对话框, 参照图 13-41 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Lines 命令, 出现 Apply CONV on Lines 菜单, 在文本框中输入 3, 出现 Apply CONV on Lines 对话框, 参照图 13-42 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

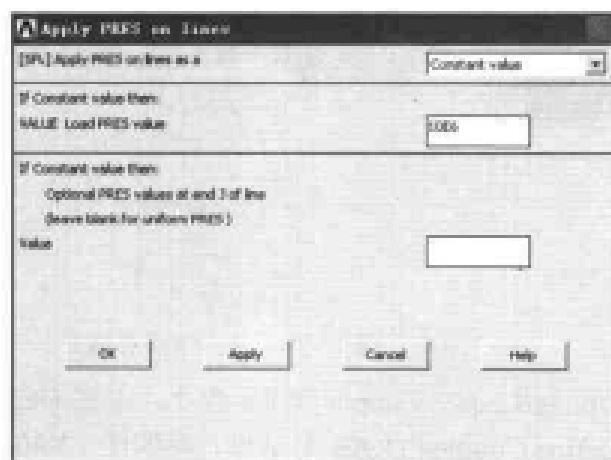


图 13-41 施加压力载荷对话框

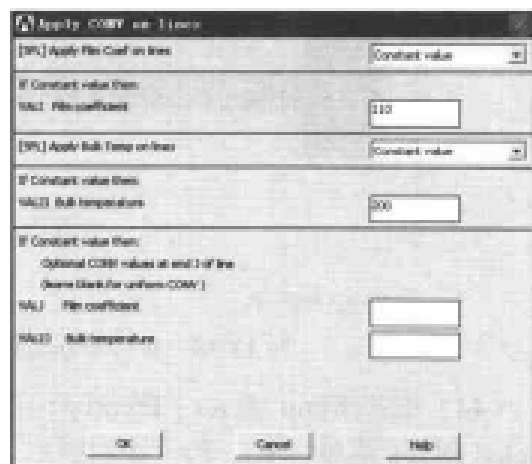


图 13-42 施加对流载荷对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Lines 命令, 出现 Apply CONV on Lines 菜单, 在文本框中输入 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 出现 Apply CONV on Lines 对话框, 在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 30, 在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入 25, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | Symmetry B.C. | On Lines 命令, 出现 Apply SYMM on Lines 菜单, 在文本框中输入 18, 21, 17, 20, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(8) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise22.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示温度场分布等值线图, 如图 13-43 所示。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Displacement vector sum 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示位移场分布等值线图, 如图 13-44 所示。

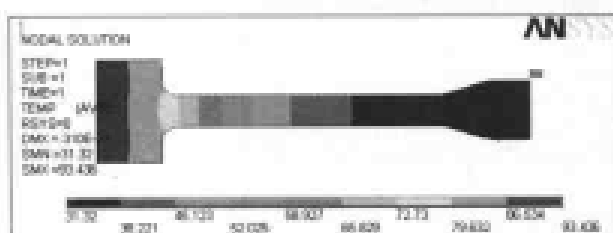


图 13-43 温度场分布等值线图

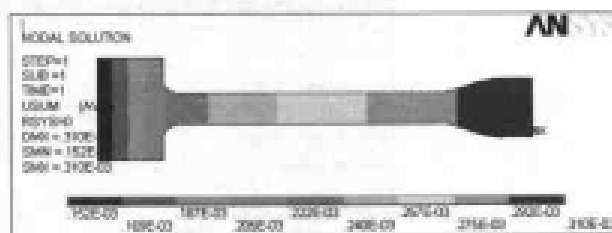


图 13-44 位移场分布等值线图

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示径向应力场分布等值线图, 如图 13-45 所示。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示轴向应力场分布等值线图, 如图 13-46 所示。

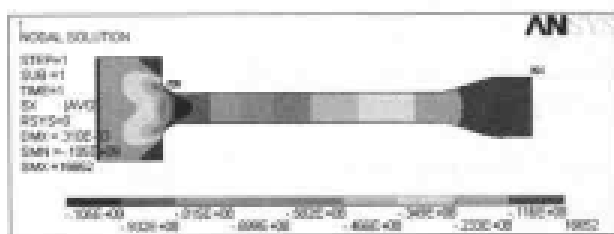


图 13-45 径向应力场分布等值线图

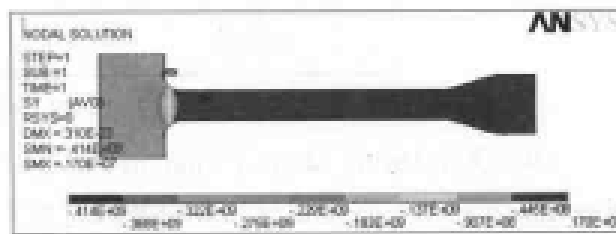


图 13-46 轴向应力场分布等值线图

(6) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Z-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示周向应力场分布等值线图, 如图 13-47 所示。

(7) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-48 所示。

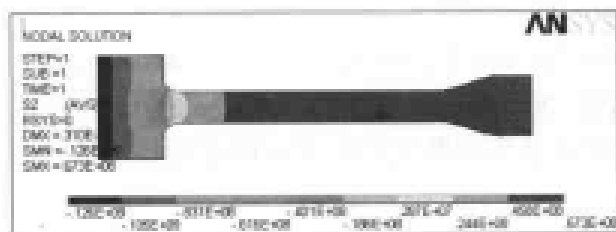


图 13-47 周向应力场分布等值线图

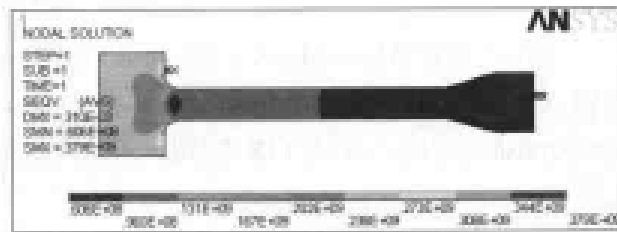


图 13-48 等效应力场分布等值线图

(8) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Symmetry Expansion | User Specified Expansion 命令, 出现 Expansion by values 对话框, 参照图 13-49 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

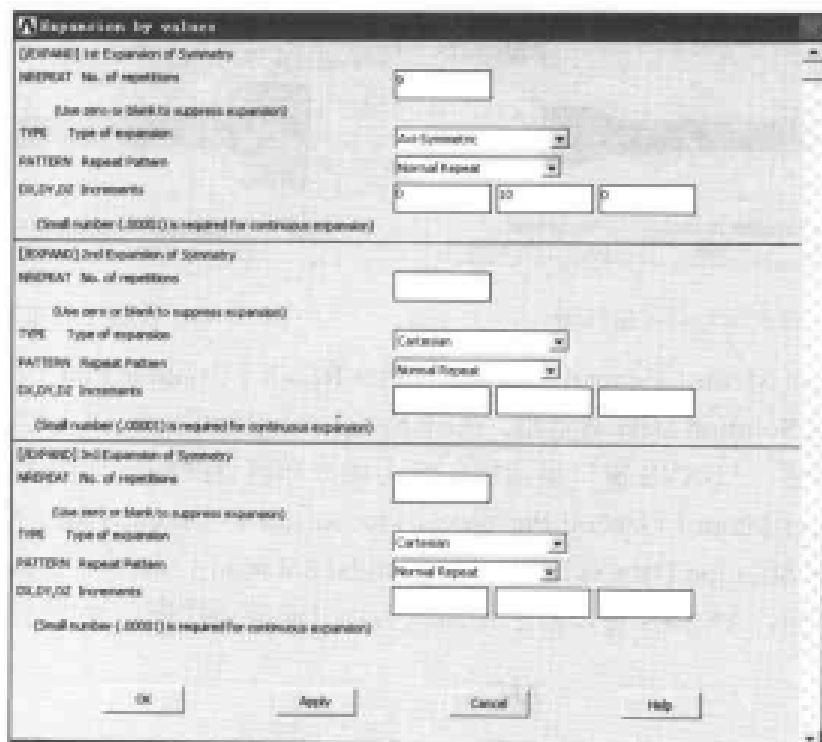


图 13-49 对称扩展对话框

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 参照图 13-50 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

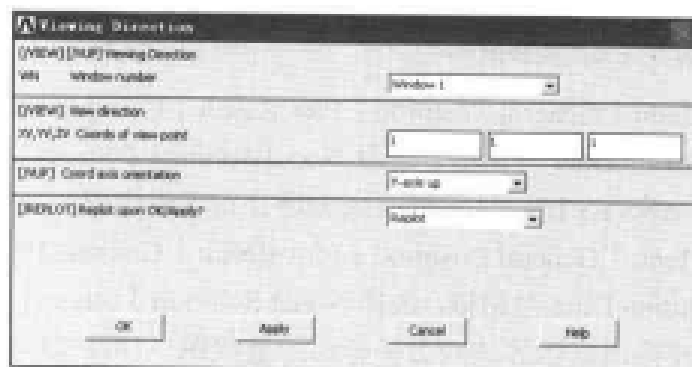


图 13-50 视图观测方向设置对话框

(10) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-51 所示的温度场分布等值线图。

(11) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-52 所示。

(12) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

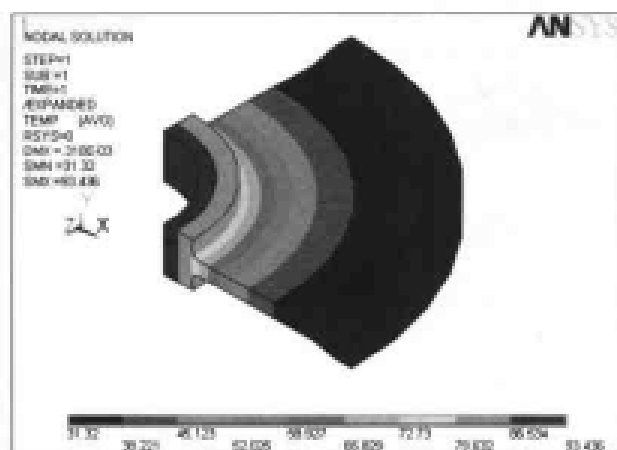


图 13-51 温度场分布等值线图

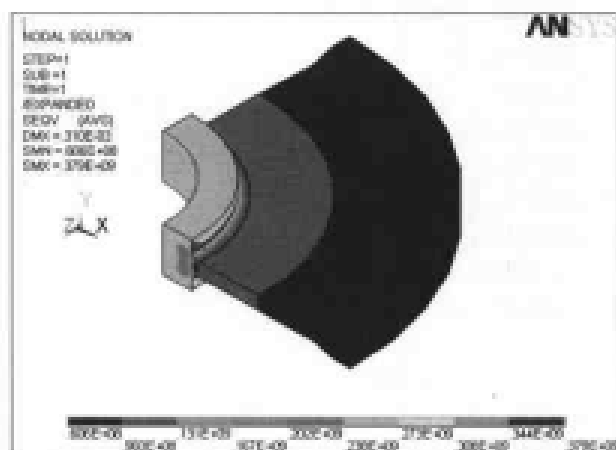


图 13-52 等效应力场分布等值线图

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE2                                ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL STRESSES IN AN AXISYMMETRICAL PIPE ! 定义工作标题
/PREP7                                                ! 进入前处理器
ET, 1, PLANE13                                       ! 定义热应力耦合单元
KEYOPT, 1, 1, 4                                     ! 定义单元关键字
KEYOPT, 1, 3, 1
MP, EX, 1, 200E9                                     ! 输入材料弹性模量
MP, ALPX, 1, 1.5E-5                                 ! 输入材料热膨胀系数
MP, PRXY, 1, 0.3                                    ! 输入材料泊松比
MP, KXX, 1, 30                                       ! 输入材料导热系数

RECTANG, 0.12, 0.16, 0, 0.07                       ! 生成矩形面
RECTANG, 0.16, 0.4, 0.025, 0.045
RECTANG, 0.38, 0.4, 0.015, 0.055
K, 100, 0.15, 0.055                                 ! 生成关键点
K, 101, 0.15, 0.015
AADD, ALL                                            ! 面相加
NUMCMP, LINE                                        ! 压缩线编号
/PNUM, LINE, 1                                     ! 显示线段编号
LPLLOT                                              ! 显示线段
LPILLT, 8, 12, 0.01                                ! 线段倒角
LPILLT, 7, 9, 0.01
LDIV, 9, 0.8                                       ! 按比例分割线段
LDIV, 12, 0.8
/PNUM, KP, 1                                       ! 显示关键点编号
/REPLOT
L2TAN, 12, -6                                      ! 生成和两线段相切的线段
L2TAN, 9, 5
AL, 15, 16, 17                                     ! 由线段生成面
AL, 18, 19, 20
AL, 14, 22, 23
AL, 13, 21, 24
/PNUM, AREA, 1                                     ! 显示面编号
    
```


热分析教程与实例解析

/PNUM, LINE, 0	! 关闭显示线段编号
/PNUM, KP, 0	! 关闭显示关键点编号
APLOT	! 显示面
AADD, 1, 2, 4	! 面相加
AADD, 5, 6	
AADD, 1, 3	
NUMCMP, LINE	! 合并同位置线段
/TITLE, GEOMETRIC MODEL	
APLOT	! 显示面
ESIZE, 0.0025	! 定义单元尺寸
WPSTYLE, , , , , , , 1	! 显示工作平面
CSYS, 4	! 将当前坐标系设置为工作平面
KWPAVE, 100	! 将工作平面平移到关键点 100
WPROT, 0, 0, 90	! 沿 Z 轴旋转工作平面
ASBW, 2	! 通过工作平面切割面
WPROT, 0, 90	! 沿 Y 轴旋转工作平面
ASBW, 3	
KWPAVE, 101	! 将工作平面平移到关键点 101
ASBW, 4	
KWPAVE, 16	! 将工作平面平移到关键点 16
WPROT, 0, -90	! 沿 Y 轴逆时针旋转工作平面
ASBW, 5	
KWPAVE, 19	! 将工作平面平移到关键点 19
ASBW, 6	
KWPAVE, 12	! 将工作平面平移到关键点 12
ASBW, 7	
AMESH, 1, 3	! 对面进行网格划分
APLOT	
AMESH, 5, 8, 3	
APLOT	
AMAP, 4, 15, 16, 18, 17	! 对面进行映射网格划分
APLOT	
AMAP, 6, 19, 20, 9, 12	
ALLSEL	
WPSTYLE, , , , , , , 0	! 关闭显示工作平面
/TITLE, ELEMENTS IN MODEL	
EPLOT	
CSYS, 0	! 将当前坐标系设置为直角坐标系
NSEL, S, LOC, Y, 0	! 选择 Y 坐标为 0 的所有节点
CP, 1, UY, ALL	! 耦合 Y 方向位移
ALLSEL	
NSEL, S, LOC, Y, 0.07	! 选择 Y 坐标为 0.07 的所有节点
CP, 2, UY, ALL	
ALLSEL	
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 指定分析类型为稳态分析

/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
LPLOT	! 显示线段
SFL, 3, PRES, 10E6	! 在线段上施加压力载荷
SFL, 3, CONV, 110, , 200	! 在线段上施加对流载荷
LSEL, S, , , 4, 18	! 选择线段
LSEL, A, , , 20, 21	
SFL, ALL, CONV, 30, , 25	
LSEL, S, , , 17, 20, 3	
DL, ALL, , SYMM	! 施加对称位移约束
LSEL, S, , , 18, 21, 3	
DL, ALL, , SYMM	
ALLSEL	
OUTPR, BASIC, ALL	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
PLNSOL, U, SUM	! 绘制合位移场等值线图
PLNSOL, S, X	! 绘制径向应力场等值线图
PLNSOL, S, Y	! 绘制轴向应力场等值线图
PLNSOL, S, Z	! 绘制周向应力场等值线图
PLNSOL, S, EQV	! 绘制等效应力场等值线图
/EXPAND, 9, AXIS, , , 10	! 轴向扩展
/VIEW, 1, 1, 1, 1	! 设置视图观测方向
/REPLLOT	
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
PLNSOL, S, EQV	! 绘制等效应力场等值线图
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

13-3 实例 3——两无限长平板热膨胀分析

13-3-1 问题描述

有两块厚度均为 0.02mm 的无限长平板 1 和 2, 受如图 13-53 所示约束。平板初始温度为 20℃, 求将其加热到 800℃时平板内部的应力场分布 (平板材料参数见表 13-3)。

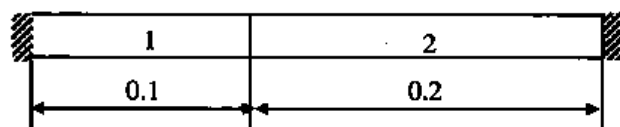


图 13-53 两平板结构示意图

表 13-3 材料性能参数

弹性模量 Gpa		泊松比		线膨胀系数 $^{\circ}\text{C}^{-1}$		导热系数 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$	
E_1	E_2	ν_1	ν_2	α_1	α_2	K_1	K_2
1.0E11	2.0E11	0.25	0.3	1.5E-5	2.5E-5	65	30

13-3-2 问题分析

根据题意,忽略平板沿长度方向的端面效应,将问题简化为平面应变问题。在分析过程中取两平板的横截面建立几何模型,并选取 PLANE13 热—结构耦合单元进行求解。

13-3-3 求解步骤

第一步:建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令,出现 Change Jobname 对话框,在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE3,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令,出现 Change Title 对话框,在文本框中输入 THERMAL EXPANSION BETWEEN TWO INFINITE FLAT,单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步:定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令,出现 Element Types 对话框。

(2) 单击 Add 按钮,出现 Library of Element Types 对话框,在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Coupled Field、Vector Quad13 选项,在 Element type reference number 文本框中输入 1,如图 13-54 所示,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Options 按钮,出现 PLANE13 element type options 对话框,在 Element degrees of freedom K1 下拉列表框中选择 UX UY TEMP AZ 选项,其余选项采用默认设置,如图 13-55 所示,单击 OK 按钮关闭该对话框。

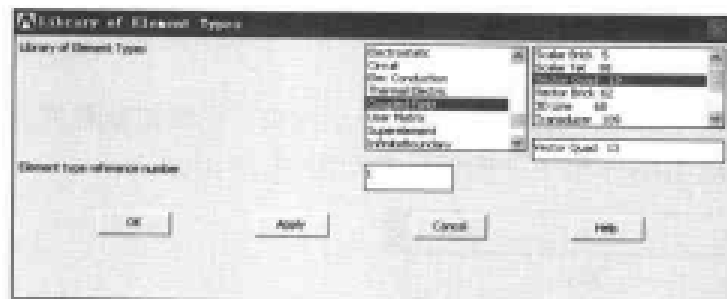


图 13-54 选择单元类型对话框

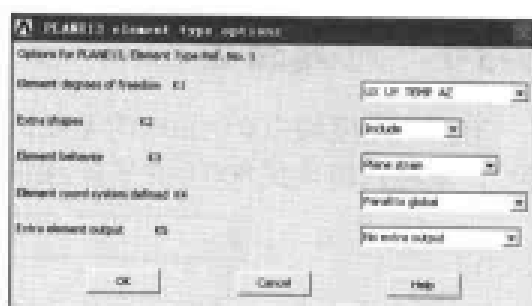


图 13-55 PLANE13 单元属性设置对话框

(4) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 65, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 对话框, 在 EX 文本框中输入弹性模量 $1.0\text{E}11$, 在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.25, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $1.5\text{E}-5$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在 Define Material ID 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入导热系数 30, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 2 对话框, 在 EX 文本框中输入弹性模量 $2.0\text{E}11$, 在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 2 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $2.5\text{E}-5$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步：创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中依次输入 0、0.1, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中依次输入 0、0.02, 如图 13-56 所示, 单击 Apply 按钮, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中依次输入 0.1、0.3, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中依次输入 0、0.02, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

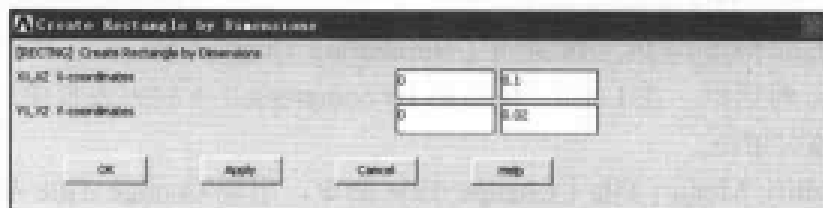


图 13-56 创建矩形面对话框

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入 0.02, 如图 13-57 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

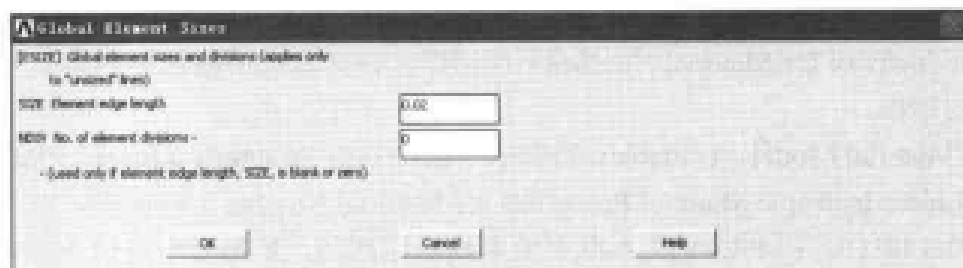


图 13-57 单元尺寸设置对话框

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 参照图 13-58 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Default Attribs 命令, 出现 Meshing Attributes 对话框, 在 [MAT] Material number 下拉列表框中选择 2, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Cntrls | Merge Items 命令, 出现 Merge Coincident or Equivalently Defined Items 对话框, 参照图 13-59 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

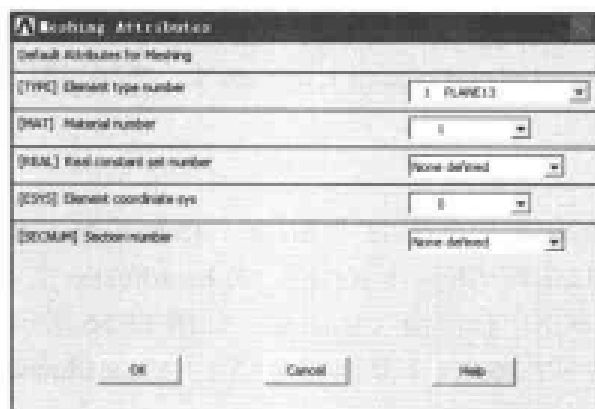


图 13-58 网格划分属性设置对话框

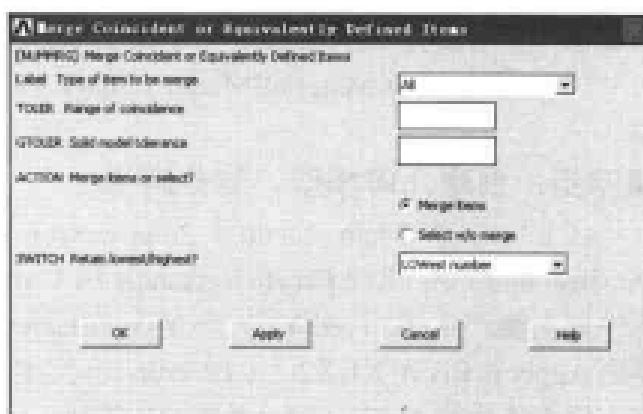


图 13-59 合并实体对话框

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Cntrls | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 All 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示网格划分结果, 如图 13-60 所示。

(11) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise31.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Static, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 参照图 13-61 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

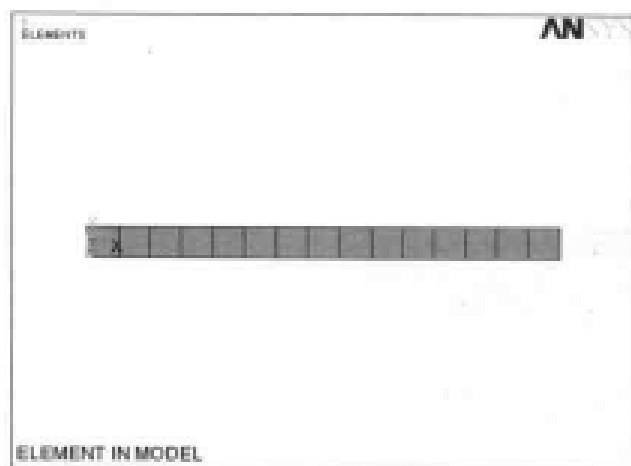


图 13-60 网格划分结果显示

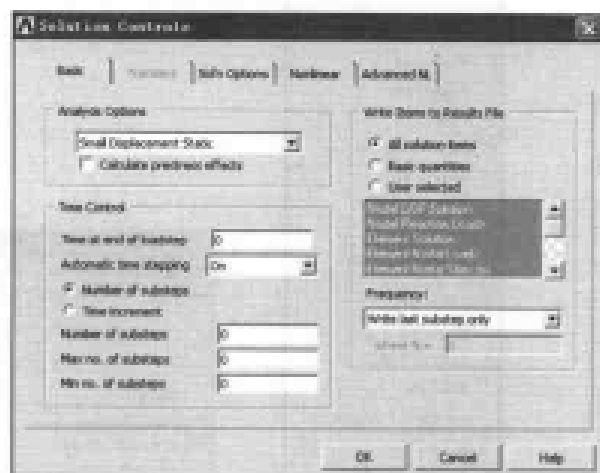


图 13-61 求解控制基本选项设置对话框

(3) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令, 显示所有线段。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 如图 13-62 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 4, 6, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

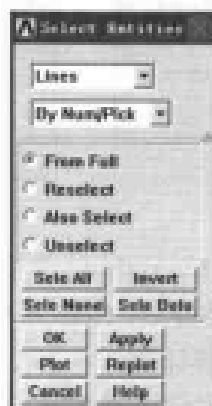


图 13-62 选择实体对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选择 From Full 单选按钮, 如图 13-63 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes 命令, 出现 Apply U,ROT on N 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply U,ROT on Nodes 对话框, 参照图 13-64 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

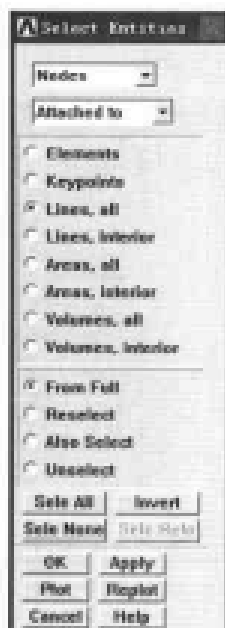


图 13-63 选择实体对话框

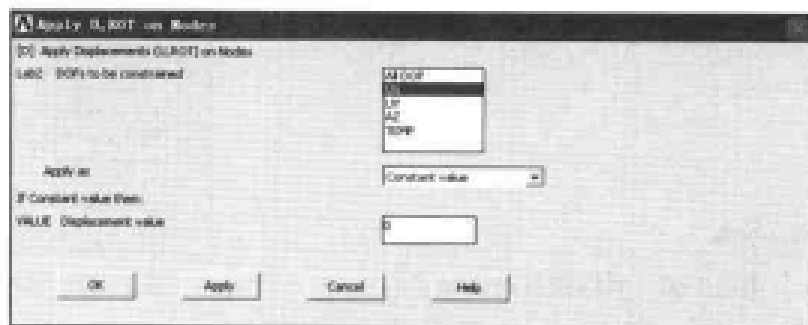


图 13-64 施加位移载荷对话框

(8) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Setting | Reference Temp 命令, 出现 Apply U,ROT on N 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Reference Temperature 对话框, 在 [TREF] Reference temperature 文本框中输入 20, 如图 13-65 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 800, 如图 13-66 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

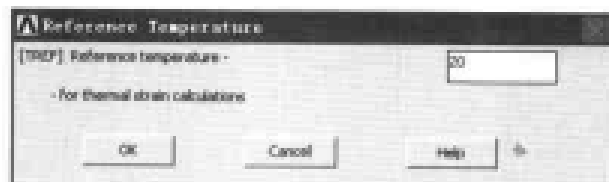


图 13-65 设置参考温度对话框



图 13-66 施加均匀温度载荷对话框

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(12) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise32.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示 Y 方向应力场分布等值线图, 如图 13-67 所示。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-68 所示。

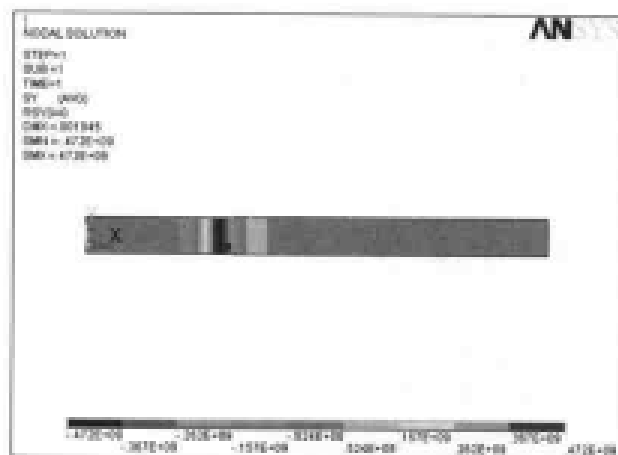


图 13-67 Y 方向应力场分布等值线图

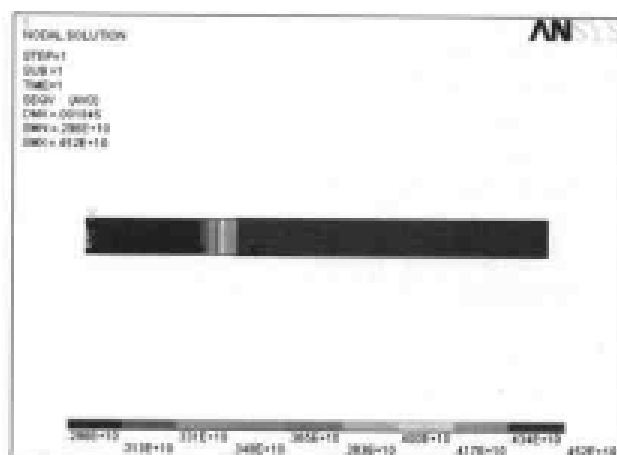


图 13-68 等效应力等值线图

(4) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE3          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL EXPANSION BETWEEN TWO INFINITE PLAT
                                ! 定义工作标题
/PREP7                        ! 进入前处理器
ET, 1, PLANE13                ! 定义热力耦合单元
KEYOPT, 1, 1, 4
MP, ALPX, 1, 1.5E-5           ! 输入材料 1 线膨胀系数
MP, PRXY, 1, 0.25             ! 输入材料 1 泊松比
MP, EX, 1, 1.0E11             ! 输入材料 1 弹性模量
MP, KXX, 1, 65                ! 输入材料 1 导热系数
MP, ALPX, 2, 2.5E-5           ! 输入材料 2 线膨胀系数
MP, PRXY, 2, 0.3              ! 输入材料 2 泊松比
MP, EX, 2, 2.0E11             ! 输入材料 2 弹性模量
MP, KXX, 2, 30                ! 输入材料 2 导热系数

RECTNG, 0, 0.1, 0, 0.02      ! 生成矩形面
RECTNG, 0.1, 0.3, 0, 0.02
ESIZE, 0.02                  ! 定义单元尺寸

```


热分析教程与实例解析

MAT, 1	! 指定材料类型
AMESH, 1	! 对面进行网格划分
MAT, 2	
AMESH, 2	
NUMMRG, ALL	! 合并同位置或等效项目
NUMCMP, ALL	! 压缩项目编号
/TITLE, ELEMENT IN MODEL	
EPlot	! 显示单元
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, STATIC	! 指定分析类型为稳态分析
AUTOTS, ON	! 打开自动时间步长
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
LPlot	! 显示线段
LSEL, S, , , 4, 6, 2	! 选择线段
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
D, ALL, UX	! 施加位移约束
TREF, 20	! 定义参考温度
BFUNIF, TEMP, 800	! 施加温度载荷
ALLSEL	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
PLNSOL, S, X	! 绘制 X 方向应力场等值线图
PLNSOL, S, Y	! 绘制 Y 方向应力场等值线图
PLNSOL, S, EQV	! 绘制等效应力场等值线图
FINISH	
/EXIT, ALL	! 退出 ANSYS

13-4 实例 4——包含焊缝的金属板热膨胀分析

13-4-1 问题描述

某一平板由钢板和铁板焊接而成，焊接材料为铜，平板尺寸为 $1 \times 1 \times 0.2$ ，横截面结构如图 13-69 所示。平板初始温度为 800°C ，将平板放置于空气中进行冷却，周围空气温度为 30°C ，对流系数为 $110 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。求 10 分钟后平板内部的温度场及应力场分布（材料参数见表 13-4）。

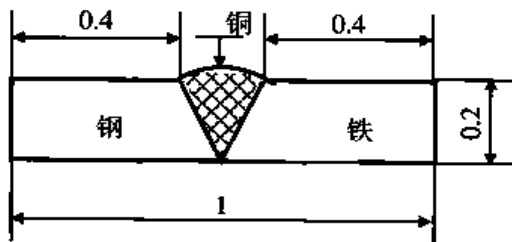


图 13-69 平板横截面结构示意图

表 13-4 材料性能参数

	温度 ℃	弹性模量 Gpa	屈服强度 Gpa	切变模量 Gpa	导热系数 W/(m·℃)	线膨胀 系数℃ ⁻¹	比热容 J/(kg·℃)	密度 kg/m ³	泊松 比
钢	30	206	1.40	20.6	66.6	1.06E-5	460	7800	0.3
	200	192	1.33	19.8					
	400	175	1.15	18.3					
	600	153	0.92	15.6					
	800	125	0.68	11.2					
铜	30	103	0.9	10.3	383	1.75E-5	390	8900	0.3
	200	99	0.85	0.98					
	400	90	0.75	0.89					
	600	79	0.62	0.75					
	800	58	0.45	0.52					
铁	30	118	1.04	1.18	46.5	5.87E-6	450	7000	0.3
	200	109	1.01	1.02					
	400	93	0.91	0.86					
	600	75	0.76	0.69					
	800	52	0.56	0.51					

13-4-2 问题分析

该问题属于瞬态热应力问题，选择整体平板建立几何模型，选取 SOLID5 热—结构耦合单元进行求解。

13-4-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE4，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 THERMAL STRESSES IN SECTIONS INCLUDING WELDING SEAM，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Types 对话框。

(2) 单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框，在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Coupled Field、Vector Quad13 选项，在 Element type reference number

文本框中输入 1, 如图 13-70 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Options 按钮, 出现 PLANE13 element type options 对话框, 在 Element degrees of freedom K1 下拉列表框中选择 UX UY TEMP AZ 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 13-71 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

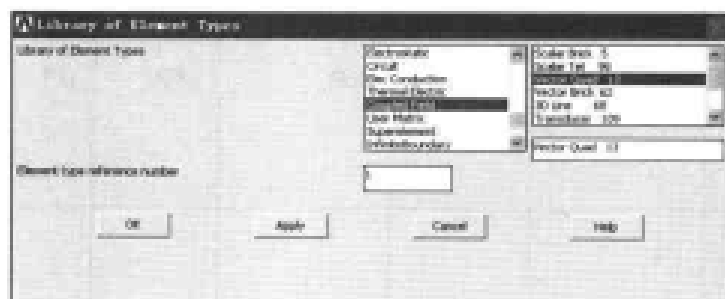


图 13-70 选择单元类型对话框

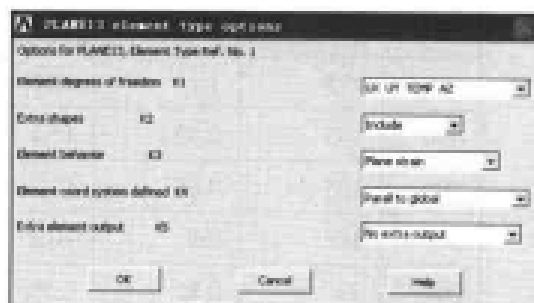


图 13-71 PLANE13 单元属性设置对话框

(4) 单击 Element Types 对话框上的 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Coupled Field、Scalar Brick5 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 1 对话框, 在文本框中输入导热系数 66.6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $1.06\text{E-}5$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Density 选项, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在 DENS 文本框中输入密度 7800, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal、Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Number 1 对话框, 在 C 文本框中输入比热 460, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Properties for Material Number 1 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 13-72 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Nonlinear、Inelastic、Rate Independent、Kinematic Hardening Plasticity、Mises Plasticity、Bilinear 选项, 出现 Bilinear Kinematic Hardening for Material Number 1 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 13-73 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

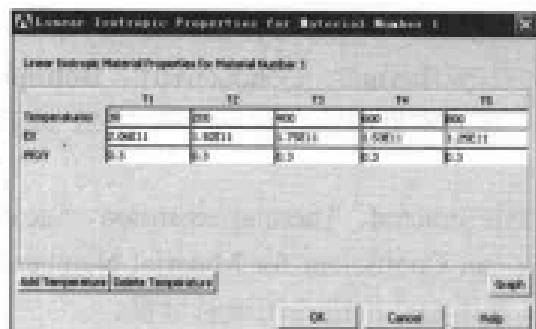


图 13-72 输入钢的弹性模量和泊松比对话框

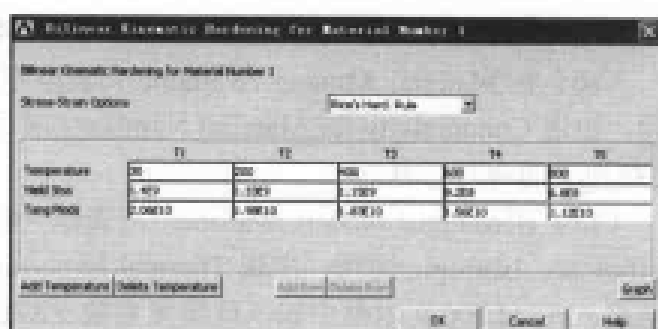


图 13-73 输入钢的屈服强度和切变模量对话框

(8) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现 Define Material ID 对话框, 在 Define Material ID 文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入导热系数 383, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 2 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $1.75\text{E-}5$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Density 选项, 出现 Density for Material Number 2 对话框, 在 DENS 文本框中输入密度 8900, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal、Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 2 对话框, 在 C 文本框中输入比热 390, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Properties for Material Number 2 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 13-74 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Nonlinear、Inelastic、Rate Independent、Kinematic Hardening Plasticity、Mises Plasticity、Bilinear 选项, 出现 Bilinear Kinematic Hardening for Material Number 2 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 13-75 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

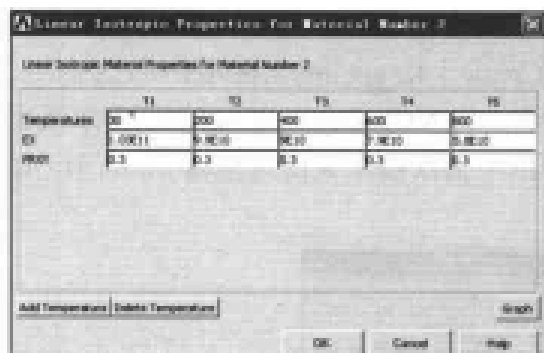


图 13-74 输入钢的弹性模量和泊松比对话框

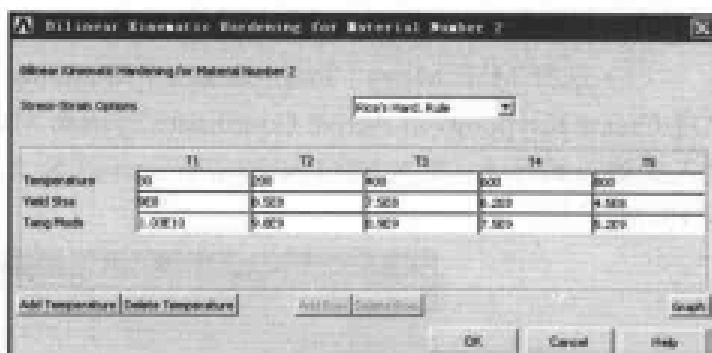


图 13-75 输入钢的屈服强度和切变模量对话框

(15) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | New Model 命令, 出现

Define Material ID 对话框, 在 Define Material ID 文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(16) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项, 出现 Conductivity for Material Number 3 对话框, 在文本框中输入导热系数 46.5, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 3 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $5.87\text{E-}6$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(18) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Density 选项, 出现 Density for Material Number 3 对话框, 在 DENS 文本框中输入密度 7000, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal、Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 3 对话框, 在 C 文本框中输入比热 450, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Properties for Material Number 3 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 13-76 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Nonlinear、Inelastic、Rate Independent、Kinematic Hardening Plasticity、Mises Plasticity、Bilinear 选项, 出现 Bilinear Kinematic Hardening for Material Number 3 对话框, 单击 Add Temperature 按钮 4 次, 参照图 13-77 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

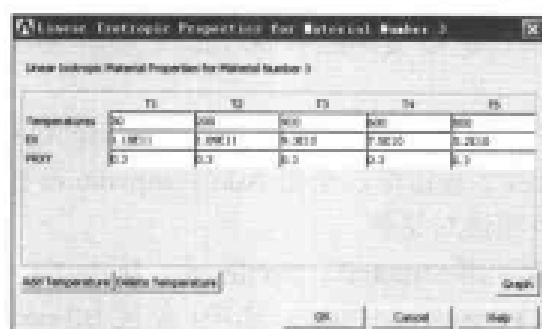


图 13-76 输入铁的弹性模量和泊松比对话框

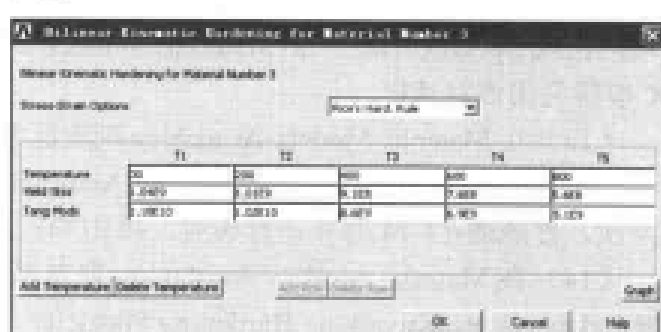


图 13-77 输入铁的屈服强度和切变模量对话框

(22) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入关键点编号 1, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入关键点坐标 0、0、0, 如图 13-78 所示。

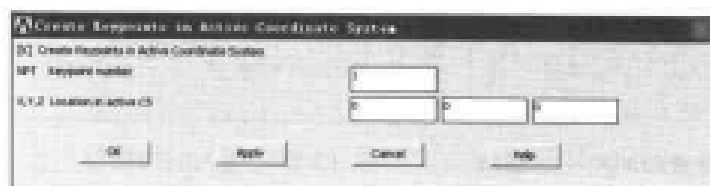


图 13-78 创建关键点对话框

(2) 单击 Apply 按钮, 依次输入以下关键点编号和坐标:

2 (0.5, 0, 0); 3 (1, 0, 0); 4 (0, 0.2, 0);
5 (0.4, 0.2, 0); 6 (0.6, 0.2, 0); 7 (1, 0.2, 0);

提示: 每次输入关键点编号及坐标后必须单击 Apply 按钮。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | Through KPs 命令, 出现 Create Area thru 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 5, 4, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 2, 3, 7, 6, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Change Active CS to | Global Cylindrical 命令, 将当前激活坐标系转变为柱坐标系。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令, 出现 Lines in Active 菜单, 在文本框中输入 6, 5, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 和 AREA Area numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令, 出现 Create Area by L 菜单, 在文本框中输入 2, 8, 9, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, ANSYS 显示窗口显示所生成的平面几何模型, 如图 13-79 所示。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManuaSize | Global | Size 命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 SIZE Element edge length 文本框中输入 0.05, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Mapped | 3 or 4 sided 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(11) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示网格划分结果, 如图 13-80 所示。

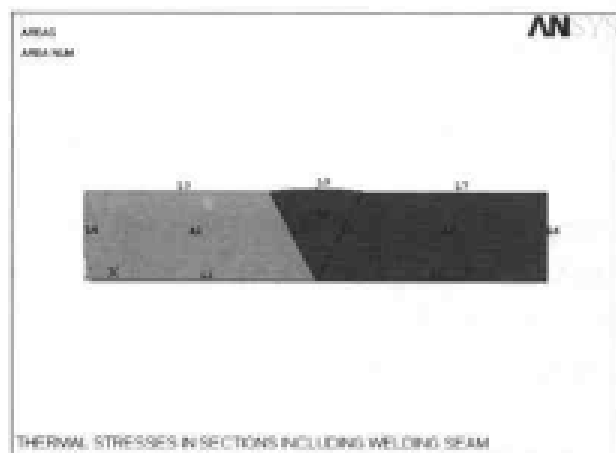


图 13-79 生成的平面几何模型结果显示

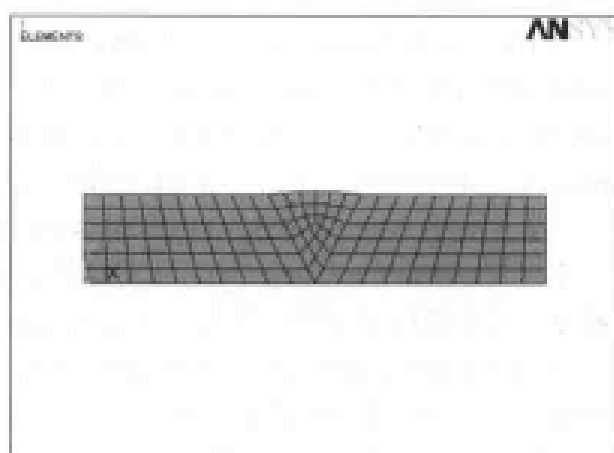


图 13-80 网格划分结果显示

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManuaSize | Global | Size

命令, 出现 Global Element Sizes 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 10, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Elem Ext Opts 命令, 出现 Element Extrusion Options 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 SOLID5, 在 [MAT] Change default MAT 下拉列表框中选择 1, 其余选项采用默认设置, 如图 13-81 所示, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | Along Normal 命令, 出现 Extrude Area by 菜单, 在文本框中输入 1, 如图 13-82 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Extrude Area along Normal 对话框, 在 NAREA Area to be extruded 文本框中输入 1, 在 DIST Length of extrusion 文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

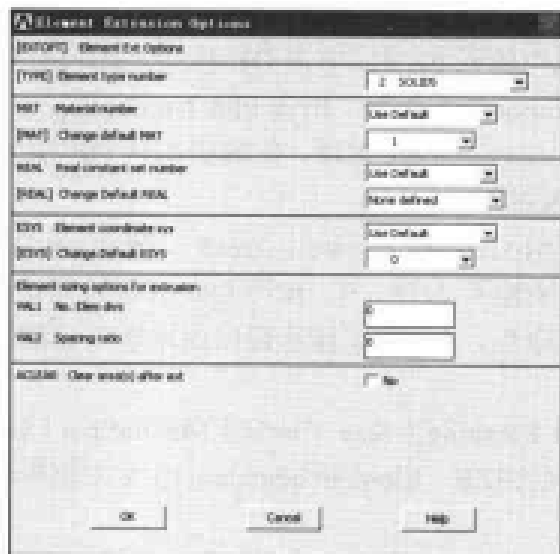


图 13-81 单元拖拉属性设置对话框

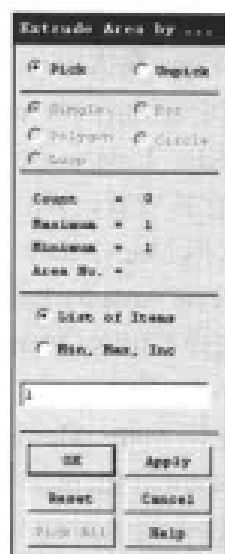


图 13-82 沿法向拖拉面拾取菜单

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Elem Ext Opts 命令, 出现 Element Extrusion Options 对话框, 在 [MAT] Change default MAT 下拉列表框中选择 3, 其余选项采用默认设置, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(16) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | Along Normal 命令, 出现 Extrude Area by 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, 出现 Extrude Area along Normal 对话框, 在 NAREA Area to be extruded 文本框中输入 2, 在 DIST Length of extrusion 文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Elem Ext Opts 命令, 出现 Element Extrusion Options 对话框, 在 [MAT] Change default MAT 下拉列表框中选择 2, 其余选项采用默认设置, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | Along Normal 命令, 出现 Extrude Area by 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, 出现 Extrude Area along Normal 对话框, 在 NAREA Area to be extruded 文本框中输入 3, 在 DIST Length of extrusion 文本框中输入 -1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 负值表示拖拉方向与面的法线方向相反。

(19) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 在 XV,YV,ZV Coords of view point 文本框中依次输入 1、1、1, 如图 13-83 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

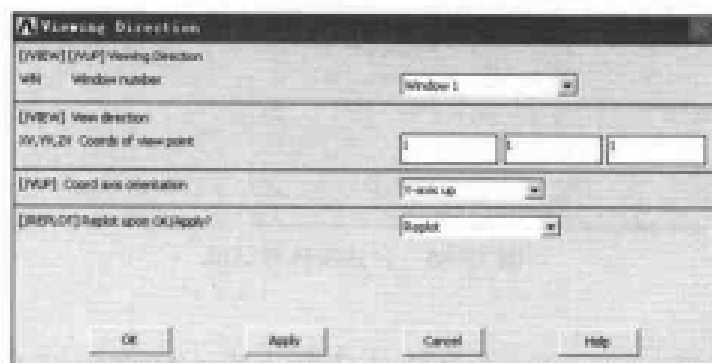


图 13-83 视图显示方向设置对话框

(20) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示面拖拉后的结果, 如图 13-84 所示。

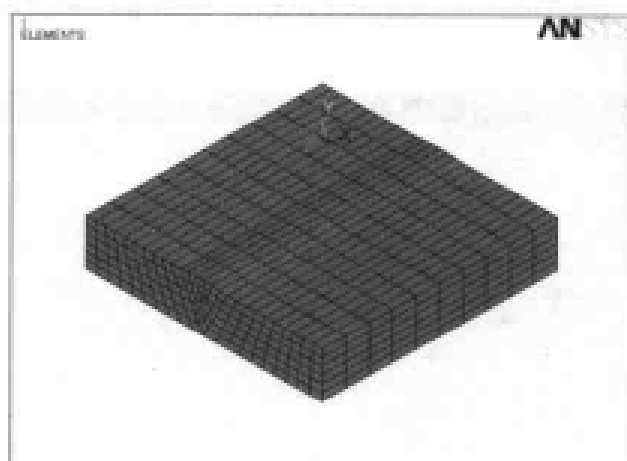


图 13-84 拖拉面生成体结果显示

(21) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Clear | Areas 命令, 出现 Clear Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(22) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Merge Items 命令, 出现 Merge Coincident or Equivalently Defined Items 对话框, 在 Label Item to be Merge 下拉列表框中选择 All 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(23) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 All 选项, 如图 13-85 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(24) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(25) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise41.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

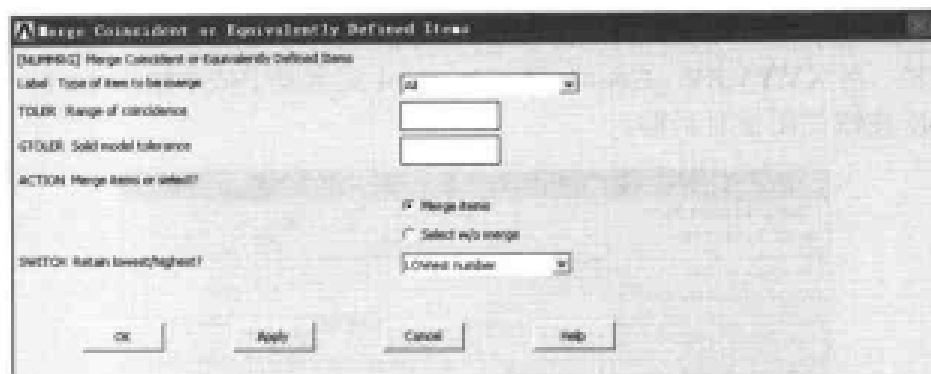


图 13-85 合并实体对话框

第五步：加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令，出现 New Analysis 对话框，选择分析类型为 Transient，单击 OK 按钮，出现 Transient Analysis 对话框，采用其默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequency | Time Integration | Amplitude Decay 命令，出现 Time Integration Controls 对话框，参照图 13-86 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

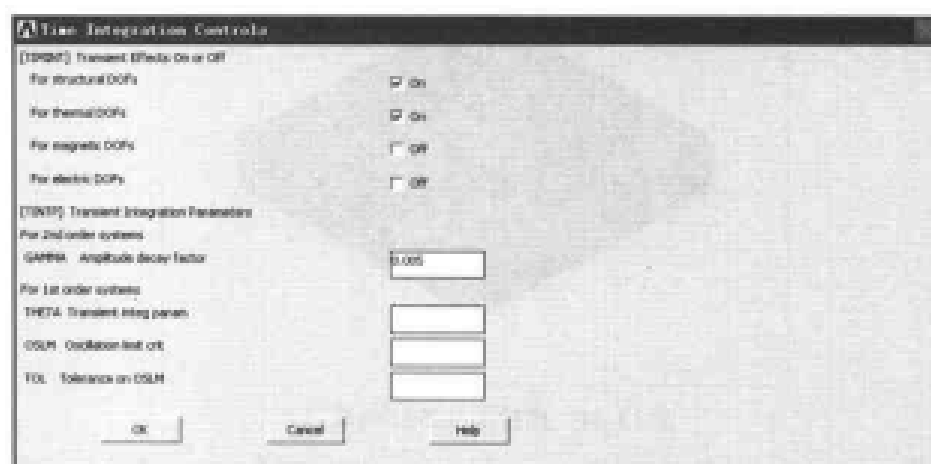


图 13-86 时间积分控制对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令，出现 Solution Controls 对话框，选择 Basic 选项卡，参照图 13-87 对其进行设置；选择 Transient 选项卡，参照图 13-88 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Temperature | Uniform Temp 命令，出现 Uniform Temperature 对话框，在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 800，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项，在第 3 个选项组中选 Unselect 单选按钮，单击 OK 按钮，出现 Unselect areas 菜单，在文本框中输入 6, 13，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，在第 1 个下

拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

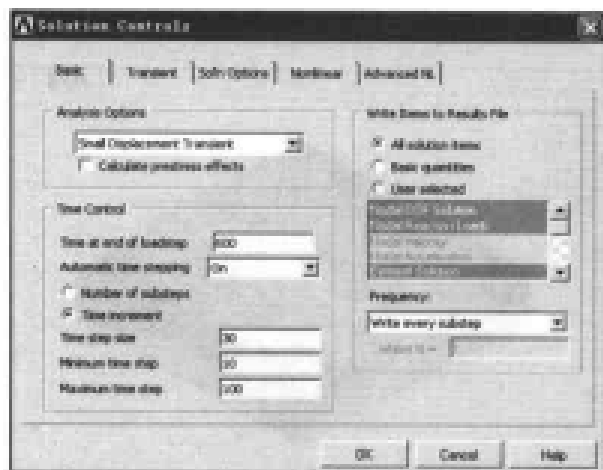


图 13-87 求解控制基本选项设置对话框

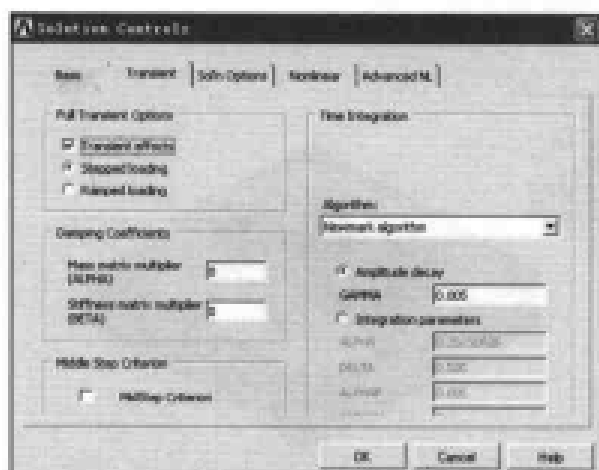


图 13-88 求解控制瞬态选项设置对话框

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply CONV on nodes 对话框, 在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 110, 在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入 30, 如图 13-89 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

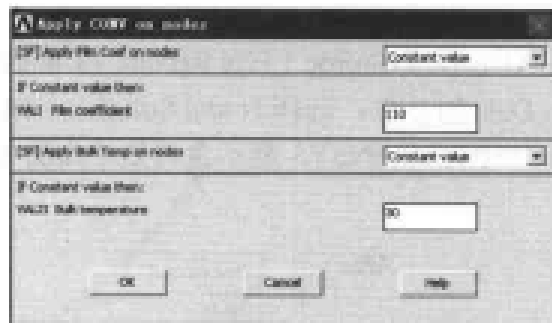


图 13-89 在节点上施加对流载荷对话框

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(10) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise42.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Nodal Temperature, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-90 所示的温度场分布等值线图。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | X-Component of displacement 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-91 所示的 X 方向位移场分布等值线图。

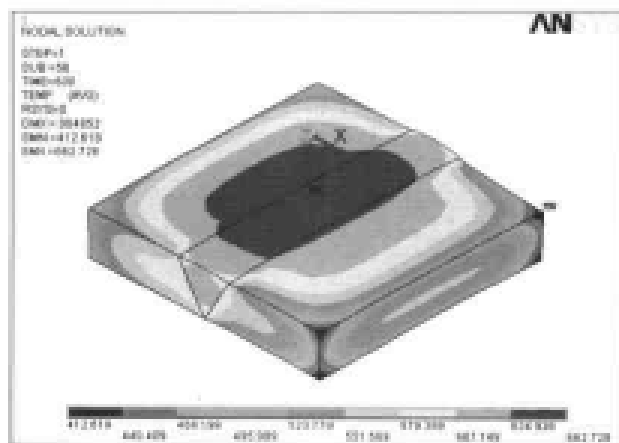


图 13-90 温度等值线图

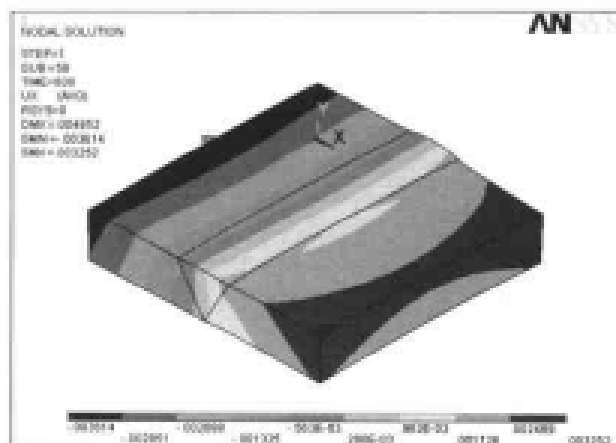


图 13-91 X 方向位移等值线图

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Y-Component of displacement 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-92 所示的 Y 方向位移场分布等值线图。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Z-Component of displacement 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-93 所示的 Z 方向位移场分布等值线图。

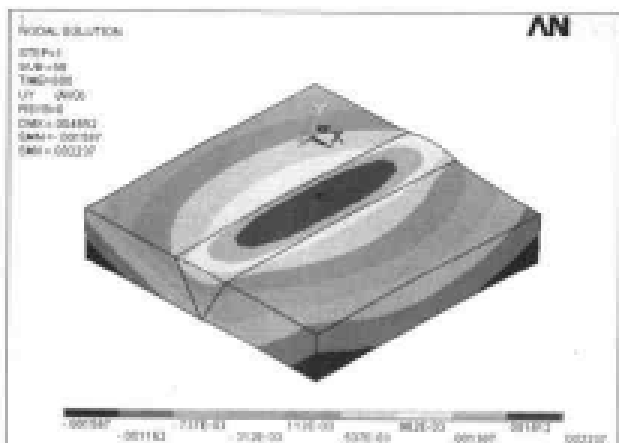


图 13-92 Y 方向位移等值线图

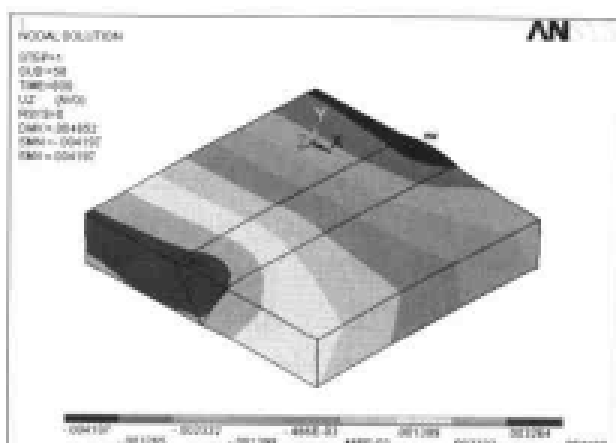


图 13-93 Z 方向位移等值线图

(6) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示径向应力场分布等值线图, 如图 13-94 所示。

(7) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示轴向应力场分布等值线图, 如图 13-95 所示。

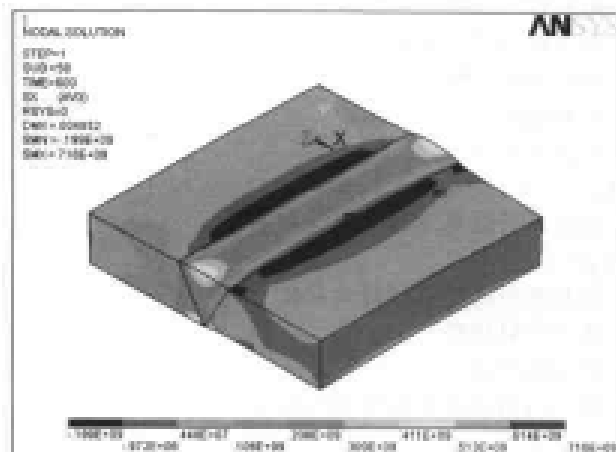


图 13-94 X 方向应力等值线图

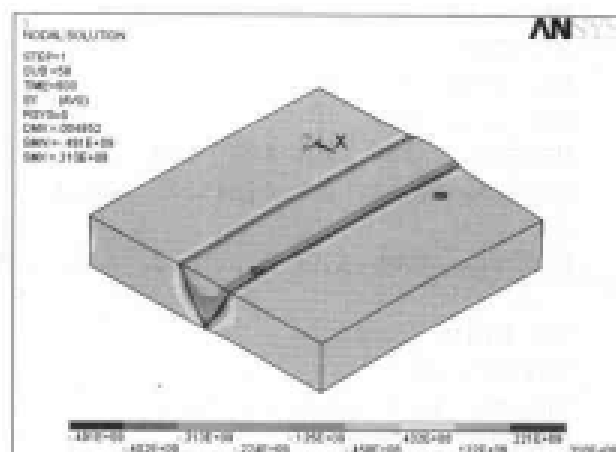


图 13-95 Y 方向应力等值线图

(8) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Z-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示周向应力场分布等值线图, 如图 13-96 所示。

(9) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-97 所示。

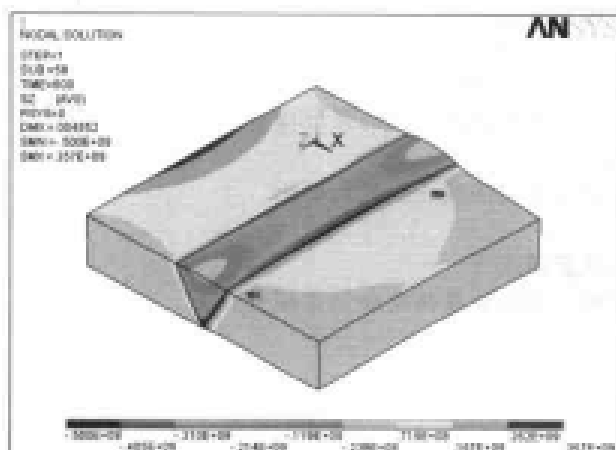


图 13-96 Z 方向应力等值线图

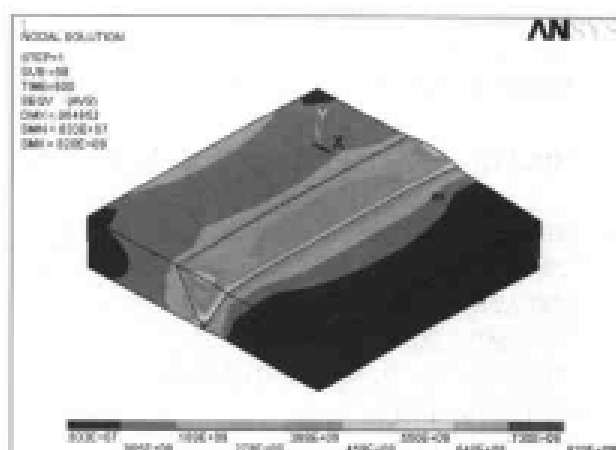


图 13-97 等效应力等值线图

(10) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```
/FILNAME, EXERCISE4          ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL STRESSES IN SECTIONS INCLUDING WELDING SEAM
                                ! 定义工作标题
/PREP7                        ! 进入前处理器
```


热分析教程与实例解析

```

ET, 1, PLANE13          ! 定义热应力耦合单元
KEYOPT, 1, 1, 4         ! 定义单元关键字
ET, 2, SOLID5           ! 定义热应力耦合单元

MP, ALPX, 1, 1.06E-5     ! 输入钢的线膨胀系数
MP, KXX, 1, 66.6         ! 输入钢的导热系数
MP, DENS, 1, 7800        ! 输入钢的密度
MP, C, 1, 460           ! 输入钢的比热
MPTEMP, , 30, 200, 400, 600, 800 ! 定义温度点
MPDATA, EX, 1, , 2.06E11, 1.92E11, 1.75E11, 1.53E11, 1.25E11
                                ! 输入不同温度点钢的弹性模量
MPDATA, PRXY, 1, , 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3
                                ! 输入不同温度点钢的泊松比

TB, BKIN, 1, 5          ! 指定材料模型
TBTEMP, 30              ! 设置温度点
TBDATA, 1, 1.40E9, 2.06E10 ! 输入钢的屈服强度和切变模量
TBTEMP, 200
TBDATA, 1, 1.33E9, 1.98E10
TBTEMP, 400
TBDATA, 1, 1.15E9, 1.83E10
TBTEMP, 600
TBDATA, 1, 0.92E9, 1.56E10
TBTEMP, 800
TBDATA, 1, 0.68E9, 1.12E10

MP, ALPX, 2, 1.75E-5     ! 输入铜的线膨胀系数
MP, KXX, 2, 383          ! 输入铜的导热系数
MP, DENS, 2, 8900        ! 输入铜的密度
MP, C, 2, 390           ! 输入铜的比热
MPDATA, EX, 2, , 1.03E11, 0.99E11, 0.90E11, 0.79E11, 0.58E11
                                ! 输入不同温度点铜的弹性模量
MPDATA, PRXY, 2, , 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3
                                ! 输入不同温度点铜的泊松比

TB, BKIN, 2, 5          ! 指定材料模型
TBTEMP, 30              ! 设置温度点
TBDATA, 1, 0.9E9, 1.03E10 ! 输入铜的屈服强度和切变模量
TBTEMP, 200
TBDATA, 1, 0.85E9, 0.98E10
TBTEMP, 400
TBDATA, 1, 0.75E9, 0.89E10
TBTEMP, 600
TBDATA, 1, 0.62E9, 0.75E10
TBTEMP, 800
TBDATA, 1, 0.45E9, 0.52E10

MP, ALPX, 3, 5.87E-6     ! 输入铁的线膨胀系数
MP, KXX, 3, 46.5         ! 输入铁的导热系数
MP, DENS, 3, 7000        ! 输入铁的密度
MP, C, 3, 450           ! 输入铁的比热
MPDATA, EX, 3, , 1.18E11, 1.09E11, 0.93E11, 0.75E11, 0.52E11

```



```

MPDATA, PRXY, 3, , 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3
! 输入不同温度点铁的弹性模量
! 输入不同温度点铁的泊松比

TB, BKIN, 3, 5
TBTEMP, 30
TBDATA, 1, 1.04E9, 1.18E10
! 输入铁的屈服强度和切变模量
TBTEMP, 200
TBDATA, 1, 1.01E9, 1.02E10
TBTEMP, 400
TBDATA, 1, 0.91E9, 0.86E10
TBTEMP, 600
TBDATA, 1, 0.76E9, 0.69E10
TBTEMP, 800
TBDATA, 1, 0.56E9, 0.51E10

K, 1
! 创建关键点
K, 2, 0.5
K, 3, 1
K, 4, 0, 0.2
K, 5, 0.4, 0.2
K, 6, 0.6, 0.2
K, 7, 1, 0.2
! 由关键点生成面
A, 1, 2, 5, 4
A, 2, 3, 7, 6
! 将当前坐标系转变为柱坐标系
CSYS, 1
! 由关键点生成线
L, 6, 5
! 显示线段编号
/PNUM, LINE, 1
! 显示面编号
/PNUM, AREA, 1
! 显示线段
LPLLOT
! 由线段生成面
AL, 2, 8, 9
! 显示面
APLOT

MSHKEY, 1
! 设置单元形状
ESIZE, 0.05
! 指定单元尺寸
AMESH, 1, 3, 1
! 对面进行网格划分
EPLOT
! 指定单元等份数
ESIZE, , 10
! 指定单元类型
TYPE, 2
! 指定材料类型
MAT, 1
! 指定材料类型
VOFFST, 1, 1
! 拖拉面
MAT, 3
VOFFST, 2, 1
MAT, 2
VOFFST, 3, -1
! 设置视图观测方向
/VIEW, 1, 1, 1, 1
! 显示单元
EPLOT
! 清除面
ACLEAR, 1, 3, 1
! 合并同位置或等效项目
NUMMRG, ALL
! 压缩项目编号
NUMCMP, ALL
ALLSEL

/SOLU
! 进入求解器
ANTYPE, 4
! 指定分析类型为瞬态分析
TRNOPT, FULL
! 打开结构分析时间积分选项
TIMINT, 1, STRUCT
! 打开热分析时间积分选项
TIMINT, 1, THERM
! 关闭磁场分析时间积分选项
TIMINT, 0, MAG
! 关闭电场分析时间积分选项
TIMINT, 0, ELECT
TINTP, 0.005, , , -1, 0.5, 0.2
! 定义计算终止时间
TIME, 600

```


热分析教程与实例解析

```
DELTIM, 30, 10, 100
AUTOTS, ON
KBC, 1
OUTRES, , ALL
BFUNIF, TEMP, 800
ASEL, U, , , 6, 13, 7
NSLA, S, 1
SF, ALL, CONV, 110, 30
ALLSEL
SOLVE
FINISH
```

! 指定最大、最小时间步长
! 打开自动时间步长
! 设置加载方式

! 施加温度载荷
! 去除选择编号为 6、13 的面
! 选择面上的所有节点
! 施加对流载荷

! 开始求解计算

```
/POST1
SET, LAST
PLNSOL, TEMP
PLNSOL, U, X
PLNSOL, U, Y
PLNSOL, U, Z
PLNSOL, S, X
PLNSOL, S, Y
PLNSOL, S, Z
PLNSOL, S, EQV
FINISH
/EXIT, ALL
```

! 进入后处理器
! 读取最终求解结果
! 绘制温度场分布等值线图
! 绘制 X 方向位移场分布等值线图
! 绘制 Y 方向位移场分布等值线图
! 绘制 Z 方向位移场分布等值线图
! 绘制 X 方向应力场分布等值线图
! 绘制 Y 方向应力场分布等值线图
! 绘制 Z 方向应力场分布等值线图
! 绘制等效应力场分布等值线图

! 退出 ANSYS

13-5 实例 5——连杆热应力分析

13-5-1 问题描述

图 13-98 所示为一连杆，其初始温度为 100°C ，现将连杆放置于空气中进行冷却，周围空气温度为 20°C ，对流系数为 $95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。求：

- (1) 5 分钟后平板内部的温度场及应力场分布；
- (2) A、B 两点温度随时间的变化关系曲线（材料参数见表 13-5）。

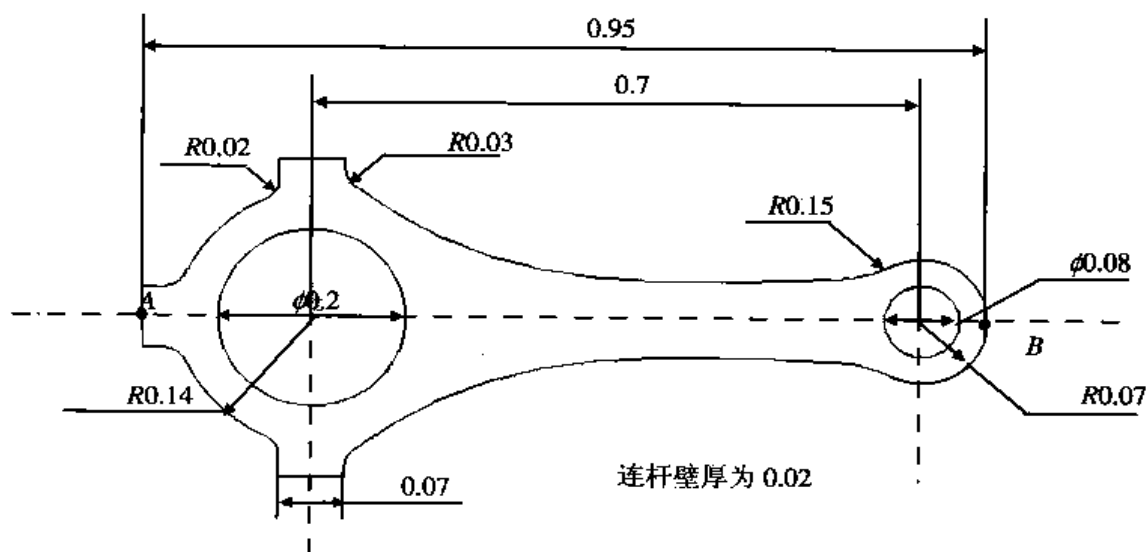


图 13-98 连杆结构示意图

表 13-5 材料性能参数

密度 ρ Kg/m ³	弹性模量 E Gpa	泊松比 ν	线膨胀系数 α ℃ ⁻¹	导热系数 K W/(m·℃)	比热容 C J/(kg·℃)
7800	220	0.3	2.05E-5	16.3	300

13-5-2 问题分析

该问题属于瞬态热应力问题，选取连杆建立几何模型，并选择 SOLID98 10 节点四面体热-结构耦合单元进行求解。

13-5-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE5，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 THERMAL STRESS ANALYSIS TO A CONNECTING ROD，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Types 对话框。

(2) 单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框，在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Coupled Field、Scalar Tet 98 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 13-99 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

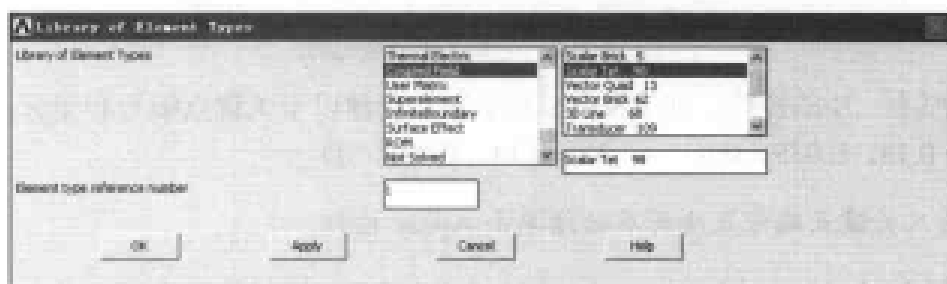


图 13-99 选择单元类型对话框

(3) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮，关闭该对话框。

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在文本框中输入导热系数 16.3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Availabley 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 对话框, 在 EX 文本框中输入弹性模量 $2.2\text{E}11$, 在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Availabley 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项, 出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框, 在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $2.05\text{E}-5$, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Material Models Availabley 列表框中依次双击 Structural、Density 选项, 出现 Density for Material Number 1 对话框, 在 DENS 文本框中输入密度 7800, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Availabley 列表框中依次双击 Structural、Thermal、Specific Heat 选项, 出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框, 在 C 文本框中输入比热 300, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入关键点编号 1, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入关键点坐标 -0.18、0、0, 如图 13-100 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

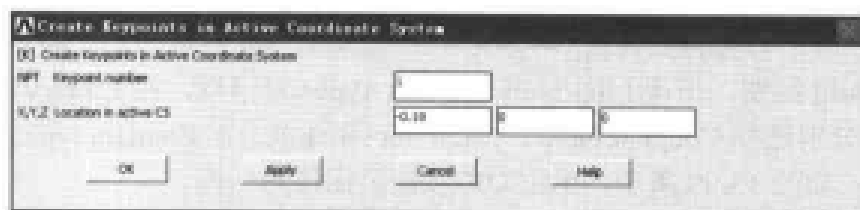


图 13-100 创建关键点对话框

(2) 参照上一步的操作, 在 ANSYS 显示窗口创建以下关键点编号和坐标:

2 (-0.18, 0.035, 0); 3 (-0.14, 0.035, 0)

提示: 每次输入关键点编号及坐标后必须单击 Apply 按钮。

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令, 出现 Lines in Active 菜单, 在文本框中输入 1, 2, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 2, 3, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(4) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Change Active CS to | Global Cylindrical 命令, 将当前激活坐标系转变为柱坐标系。

(5) 参照步骤 (1), 分别创建以下关键点编号和坐标:

4 (0.14, 135, 0); 5 (0.1, 180, 0); 6 (0.1, 135, 0)

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令, 出现 Lines in Active 菜单, 在文本框中输入 3, 4, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入

5, 6, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fillet 菜单, 在文本框中输入 2, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 参照图 13-101 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

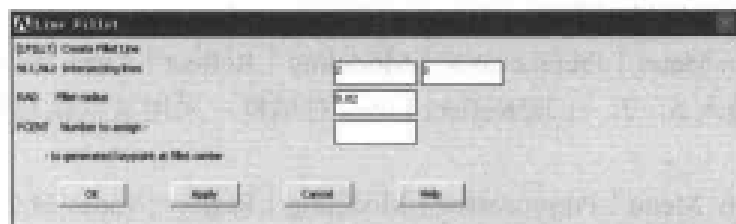


图 13-101 线段倒角对话框

(9) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP by Increments 命令, 出现 Offset WP 对话框, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 45, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Change Active CS to | Working Plane 命令, 将当前激活坐标系转变为工作平面。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(12) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Reflect | Lines 命令, 出现 Reflect Lines 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Reflect Lines 对话框, 参照图 13-102 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Offset WP by Increments 命令, 出现 Offset WP 对话框, 在 XY,YZ,ZX Angles 文本框中输入 -45, 单击 Apply 按钮, 在 X,Y,Z Offsets 文本框中输入 0.7, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 一定要按照先旋转后平移的次序进行。

(14) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Local Coordinate Systems | Create Local CS | At WP Origin 命令, 出现 Create Local CS at WP Origin 对话框, 参照图 13-103 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

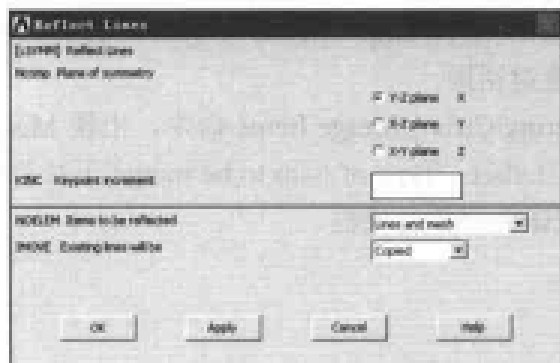


图 13-102 映射线段对话框

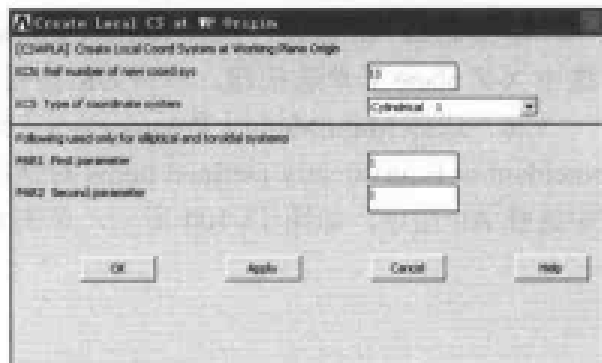


图 13-103 创建局部坐标系对话框

热分析教程与实例解析

(15) 参照步骤 (1), 创建以下关键点编号和坐标:

16 (0.07, 0, 0); 17 (0.07, 135, 0);

18 (0.04, 0, 0); 19 (0.04, 180, 0)

(16) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | In Active Coord 命令, 出现 Lines in Active 菜单, 在文本框中输入 16, 17, 单击 Apply 按钮, 在文本框中输入 18, 19, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(17) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Change Active CS to | Global Cartesian 命令, 将当前激活坐标系转变为直角坐标系。

(18) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Reflect | Lines 命令, 出现 Reflect Lines 菜单, 在文本框中输入 6, 7, 出现 Reflect Lines 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Reflect | Lines 命令, 出现 Reflect Lines 菜单, 在文本框中输入 4, 9, 出现 Reflect Lines 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 KP Keypoint numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 参照步骤 (2), 创建以下关键点编号和坐标:

28 (0.25, 0.055, 0); 29 (0.52, 0.045, 0)

(22) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Splines | Spline thru KPs 命令, 出现 B-Spline 菜单, 在文本框中输入 17, 29, 28, 22, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(23) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fillet 菜单, 在文本框中输入 14, 17, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 两个文本框中依次输入 14、17, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.03, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(24) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Line Fillet 命令, 出现 Line Fillet 菜单, 在文本框中输入 11, 17, 单击 OK 按钮, 出现 Line Fillet 对话框, 在 NL1,NL2 Intersecting lines 两个文本框中依次输入 11、17, 在 RAD Fillet radius 文本框中输入 0.15, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(25) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Reflect | Lines 命令, 出现 Reflect Lines 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Reflect Lines 对话框, 在 Ncomp Plane of symmetry 选项组中选中 X-Z plane Y 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(26) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Merge Items 命令, 出现 Merge Coincident or Equivalently Defined Items 对话框, 在 Label Type of item to be merge 下拉列表框中选择 All 选项, 如图 13-104 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

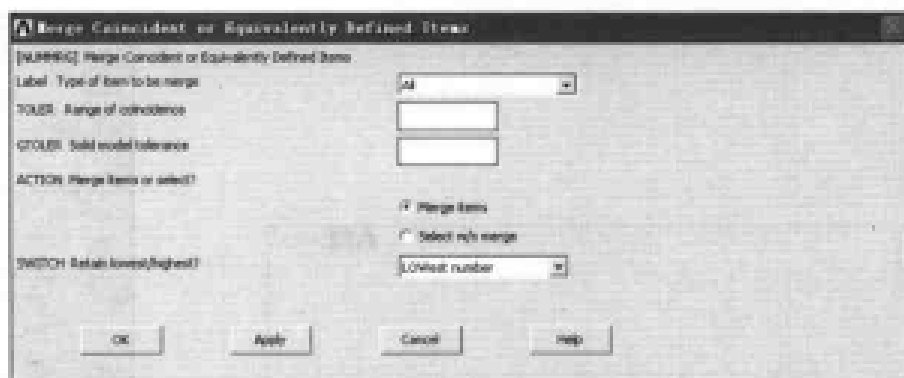


图 13-104 合并实体对话框

(27) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令, 出现 Create Area by L 菜单, 在文本框中输入 12, 31, 单击 Apply 按钮; 在文本框中输入 4, 9, 15, 16, 23, 28, 34, 35, 单击 Apply 按钮; 在文本框中输入 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 36, 37, 38, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(28) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(29) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Subtract | Areas 命令, 出现 Subtract Areas 菜单, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, 在文本框中输入 1, 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(30) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrls | Compress Items 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 All 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(31) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 PLANE MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(32) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, ANSYS 显示窗口显示如图 13-105 所示的连杆平面模型。

(33) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Extrude | Areas | Along Normal 命令, 出现 Extrude Area by 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Extrude Area along Normal 对话框, 在 NAREA Area to be extruded 文本框中输入 1, 在 DIST Length of extrusion 文本框中输入 0.02, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(34) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Meshtool 命令, 出现 Meshtool 对话框, 参照图 13-106 对其进行设置, 单击 Mesh 按钮, 出现 Mesh Volumes 对话框, 单击 Pick All 按钮。

(35) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | View Settings | Viewing Direction 命令, 出现 Viewing Direction 对话框, 在 XV,YV,ZV Coords of view point 文本框中依次输入 0.3、0.5、0.8, 如图 13-107 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(36) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Display Working Plane 命令, 关闭显示工作平面。

(37) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 ELEMENT IN MODEL, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

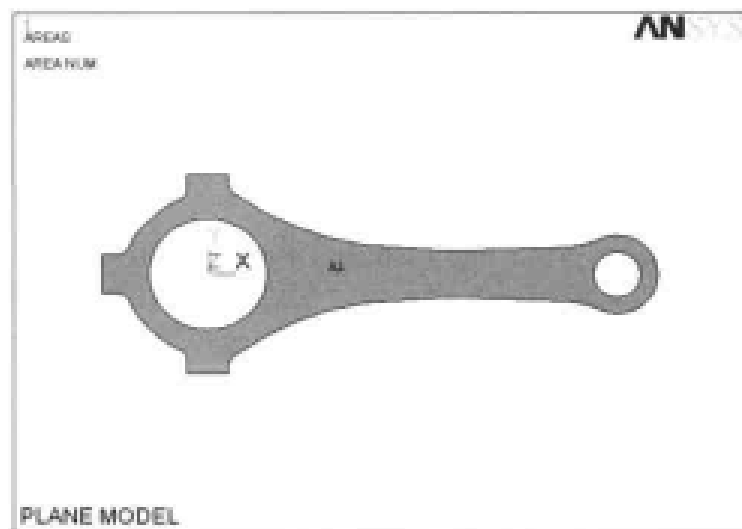


图 13-105 生成的连杆平面模型结果显示



图 13-106 网格划分工具对话框

(38) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示如图 13-108 所示的网格划分结果。

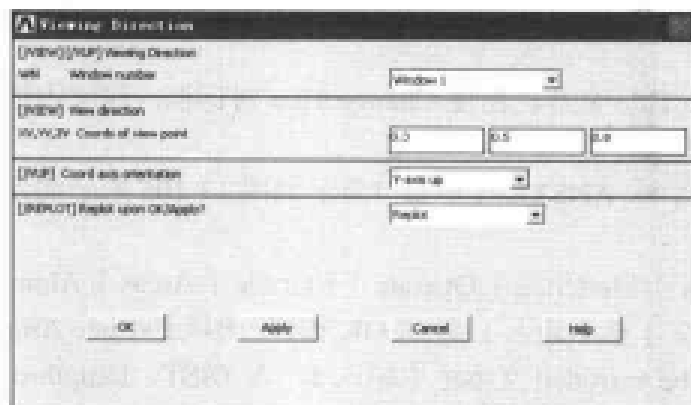


图 13-107 视图显示方向设置对话框

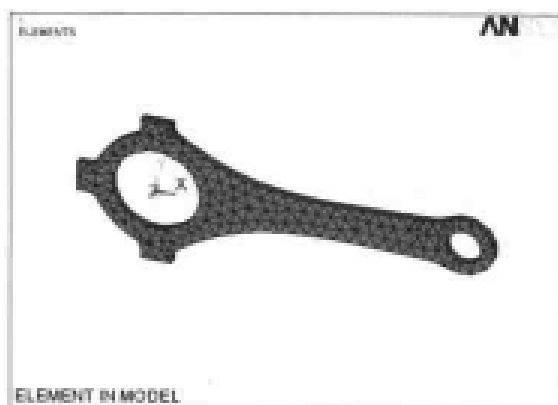


图 13-108 网格划分结果显示

(39) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database 到 文本框中输入 exercise51.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮, 出现 Transient Analysis 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequency | Time Integration | Amplitude Decay 命令, 出现 Time Integration Controls 对话框, 参照图 13-109 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

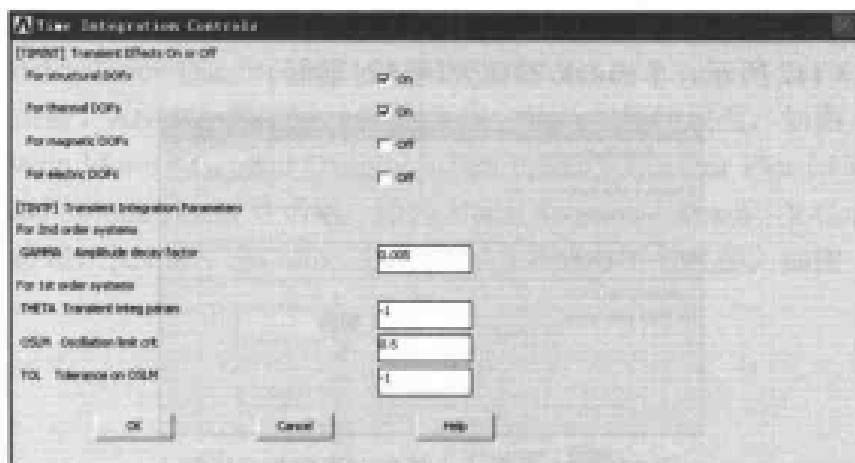


图 13-109 时间积分控制对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 选择 Basic 选项卡, 参照图 13-110 对其进行设置; 选择 Transient 选项卡, 参照图 13-111 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

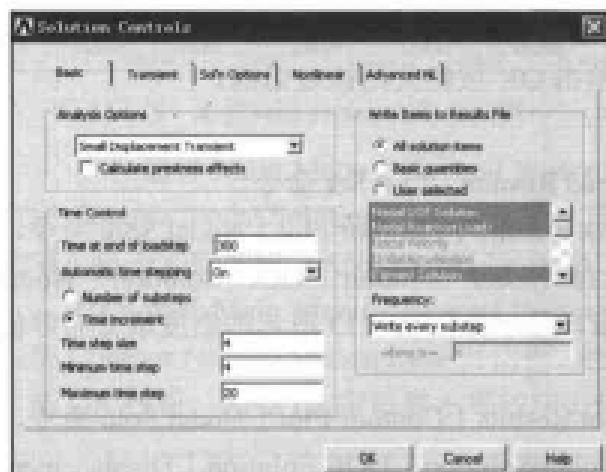


图 13-110 求解控制基本选项设置对话框

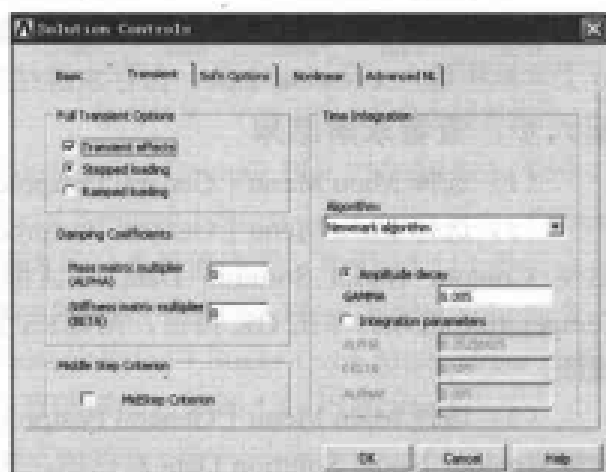


图 13-111 求解控制瞬态选项设置对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Temperature | Uniform Temp 命令, 出现 Uniform Temperature 对话框, 在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 100, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select areas 菜单, 单击 Pick All 按钮关闭该菜单。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Areas,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Convection | On Nodes 命令, 出现 Apply CONV on nodes 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply CONV on nodes

对话框, 在 VAL1 Film coefficient 文本框中输入 95, 在 VAL2 Bulk temperature 文本框中输入 20, 如图 13-112 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

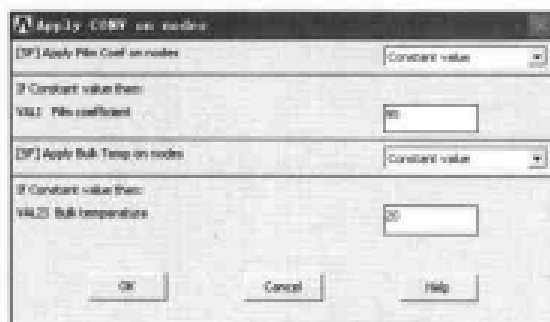


图 13-112 在节点上施加对流载荷对话框

(8) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(10) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise52.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-113 所示的温度场分布等值线图。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Displacement vector sum 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 13-114 所示的位移场分布等值线图。

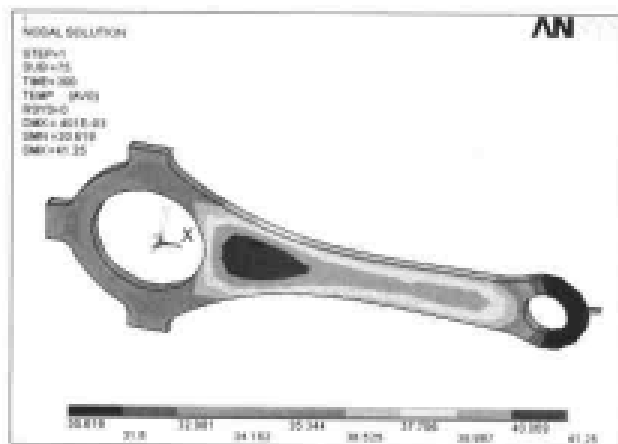


图 13-113 温度场分布等值线图

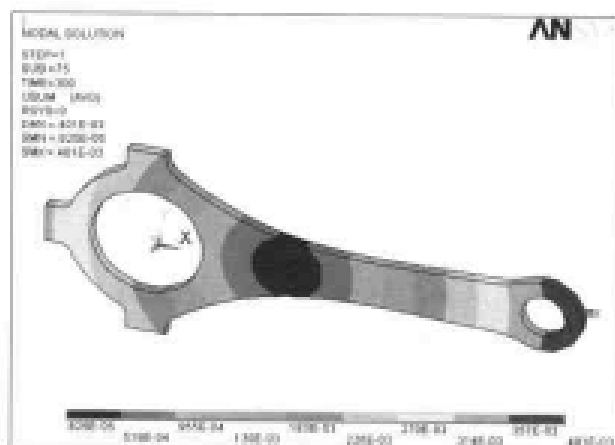


图 13-114 位移场分布等值线图

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示 X 方向应力场分布等值线图, 如图 13-115 所示。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示 Y 方向应力场分布等值线图, 如图 13-116 所示。

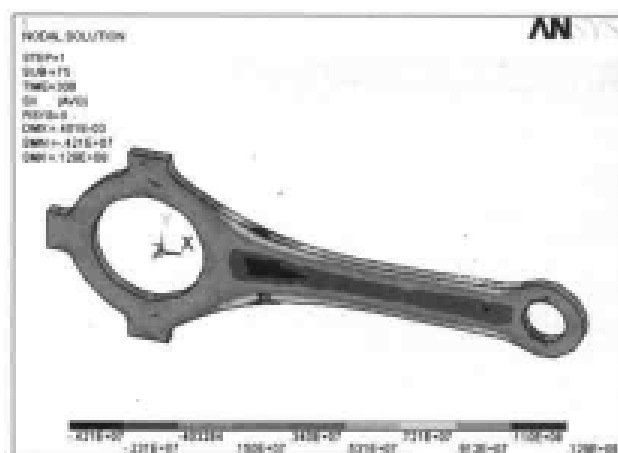


图 13-115 X 方向应力场分布等值线图

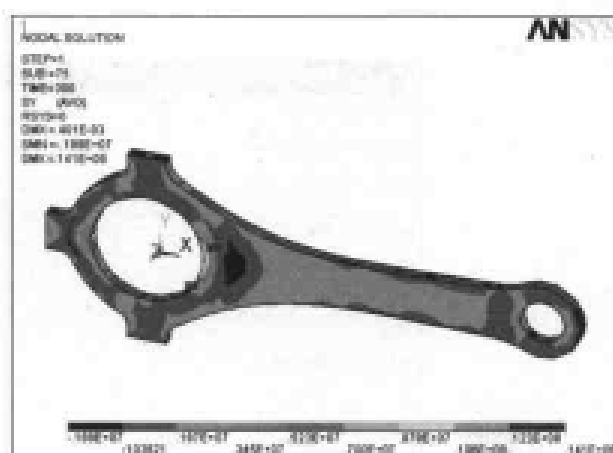


图 13-116 Y 方向应力场分布等值线图

(6) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Z-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示 Z 方向应力场分布等值线图, 如图 13-117 所示。

(7) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Result | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示等效应力场分布等值线图, 如图 13-118 所示。

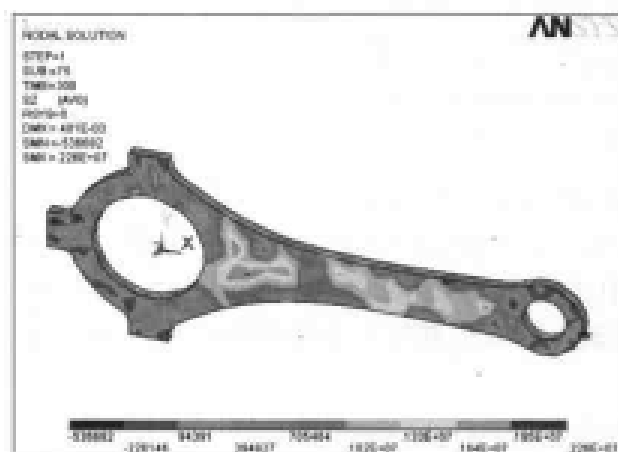


图 13-117 Z 方向应力场分布等值线图

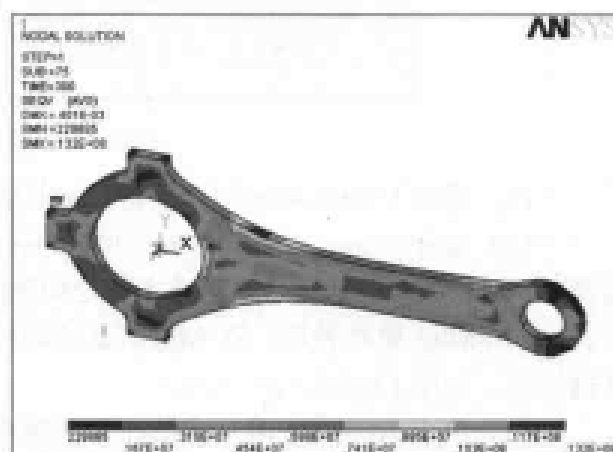


图 13-118 等效应力场分布等值线图

(8) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 TIME,(sec), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMP, 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表

框中选择 Triple 选项, 如图 13-119 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Graphs | Modify Curves 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/GTHK] Thickness of curves 下拉列表框中选择 Triple, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Colors | Graph Colors 命令, 出现 Graph Colors 对话框, 在 CURVE Graph curve number 1 下拉列表框中选择黄色, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

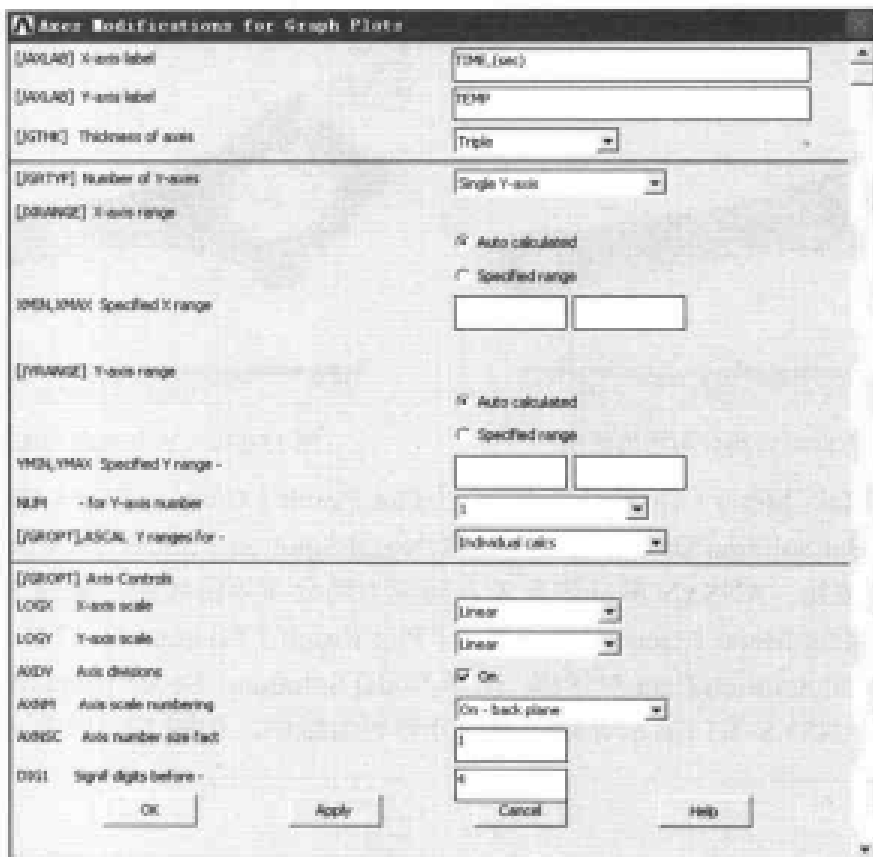


图 13-119 坐标轴设置对话框

(11) 选择 Utility Menu | WorkPlane | Align WP with | Global Cartesian 命令。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选中 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 -0.18, 在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 13-120 (a) 所示。

(13) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinate 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 4 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 13-120 (b) 所示。

(14) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Z coordinate 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 4 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 如图 13-120 (c) 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

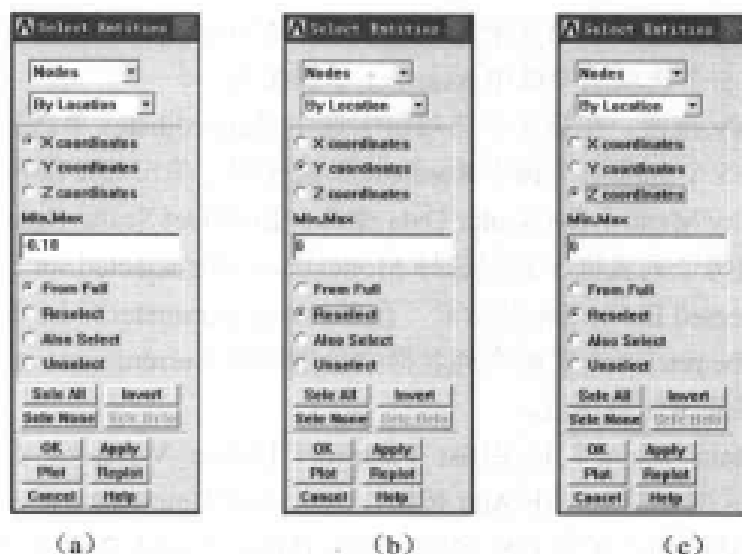


图 13-120 选择节点对话框

(15) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框, 在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 如图 13-121 所示, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 参照图 13-122 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

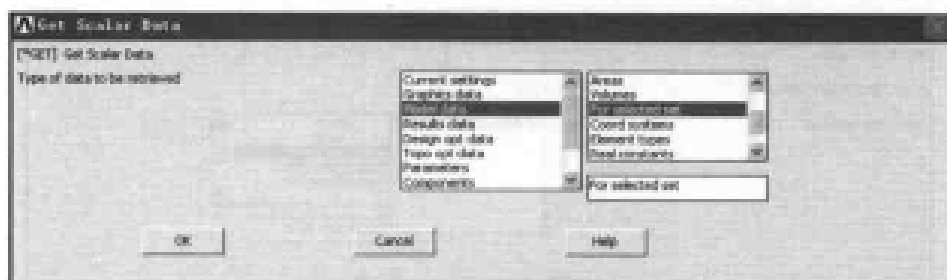


图 13-121 获取参量信息对话框

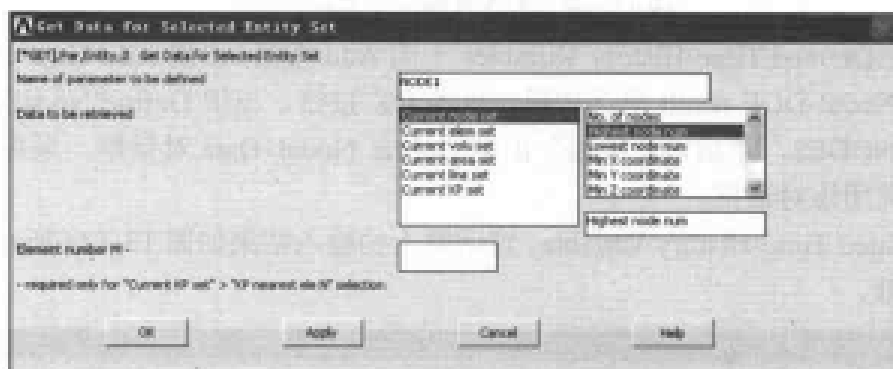


图 13-122 在所选实体中获取参量信息对话框

(16) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Location 选项, 在第 3 个选项组中选 X coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0.77, 在第 5 个选项组中选 From Full 单选按钮。

(17) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Y coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮。

(18) 单击 Apply 按钮, 在第 3 个选项组中选中 Z coordinates 单选按钮, 在 Min,Max 文本框中输入 0, 在第 5 个选项组中选中 Reselect 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Get Scalar Data 命令, 出现 Get Scalar Data 对话框。在 Type of data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Model data、For selected set 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Get Data for Selected Entity Set 对话框, 在 Name of parameter to be defined 文本框中输入 NODE2, 在 Data to be retrieved 的两个列表框中分别选择 Current node set、Highest node num 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 参照图 13-123 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 若出现 Time History Variables 对话框, 可关闭该对话框。

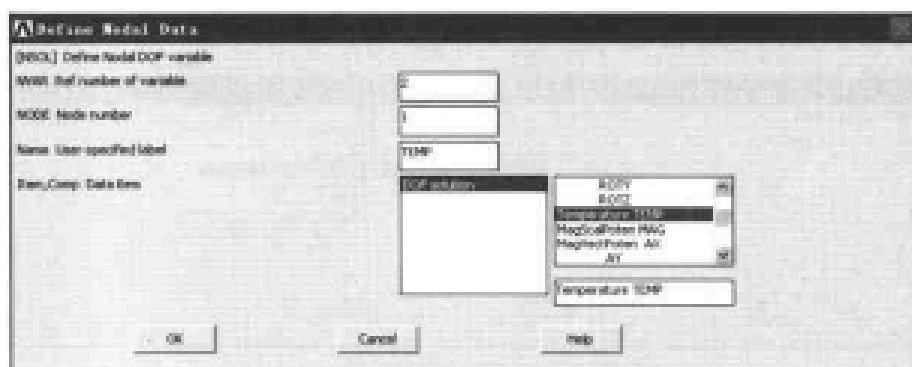


图 13-123 定义时间历程变量对话框

(21) 单击 Defined Time-History Variables 上的 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 菜单, 在文本框中输入 NODE2, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(22) Defined Time-History Variables 对话框上的输入结果如图 13-124 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

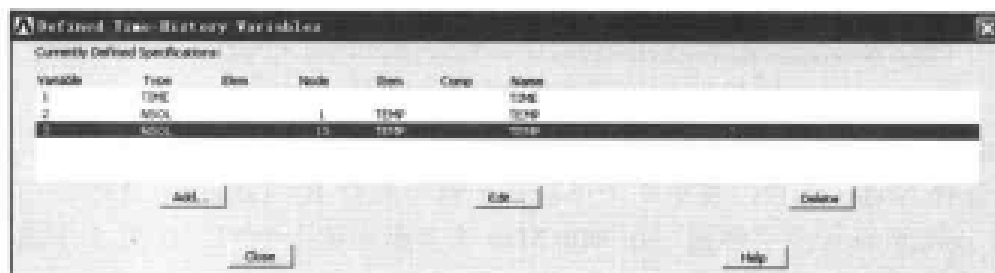


图 13-124 已定义的时间历程变量结果显示

(23) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在第 1 个文本框中输入 2, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示 A 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 13-125 所示。

(24) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在文本框中输入 3, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示 B 点温度随时间的变化关系曲线图, 如图 13-126 所示。

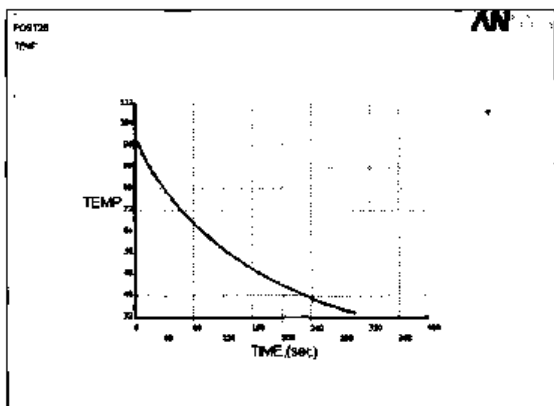


图 13-125 A 点温度随时间的变化关系曲线

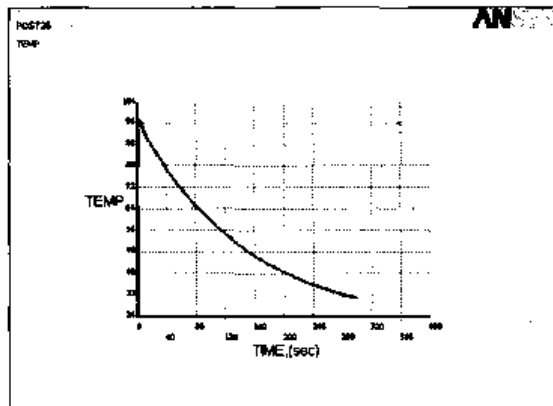


图 13-126 B 点温度随时间的变化关系曲线

(25) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

/FILNAME, EXERCISE5	! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL STRESS ANALYSIS TO A CONNECTING ROD	! 定义工作标题
/PREP7	! 进入前处理器
ET, 1, SOLID98	! 定义单元类型
MP, ALPX, 1, 2.05E-5	! 输入材料线膨胀系数
MP, PRXY, 1, 0.3	! 输入材料泊松比
MP, KXX, 1, 16.3	! 输入材料导热系数
MP, EX, 1, 220E9	! 输入材料弹性模量
MP, C, 1, 300	! 输入材料比热容
MP, DENS, 1, 7800	! 输入材料密度
K, 1, -0.18, 0, 0	! 创建关键点
K, 2, -0.18, 0.035, 0	
K, 3, -0.14, 0.035, 0	
L, 1, 2	! 由点生成线
L, 2, 3	
CSYS, 1	! 将当前坐标系转变为柱坐标系
K, 4, 0.14, 135, 0	
K, 5, 0.1, 180, 0	
K, 6, 0.1, 135, 0	
L, 3, 4	
L, 5, 6	
/PNUM, LINE, 1	! 显示线段编号
LPLLOT	! 显示线段

热分析教程与实例解析

```

LFILLT, 2, 3, 0.02
/REPLOT
WPROTA, 45
CSYS, 4
ALLSEL
LSYMM, X, 1, 5
WPROTA, -45
WPOFFS, 0.7
CSWPLA, 11, 1
K, 16, 0.07, 0, 0
K, 17, 0.07, 135, 0
K, 18, 0.04, 0, 0
K, 19, 0.04, 180, 0
L, 16, 17
L, 18, 19
LPLOT
CSYS, 0
LSYMM, X, 6, 7
LSYMM, X, 4, 9, 5
/PNUM, KP, 1
/REPLOT
K, 28, 0.25, 0.055, 0
K, 29, 0.52, 0.045, 0
BSPLIN, 17, 29, 28, 22
LFILLT, 14, 17, 0.03
LFILLT, 11, 17, 0.15
LSYMM, Y, 1, 19
NUMMRG, ALL
LPLOT
LSEL, S, , , 12, 31, 19
AL, ALL
LSEL, S, , , 4, 9, 5
LSEL, A, , , 15, 16
LSEL, A, , , 23, 28, 5
LSEL, A, , , 34, 35
AL, ALL
LSEL, S, , , 1, 3
LSEL, A, , , 5, 8
LSEL, A, , , 10, 11
LSEL, A, , , 13, 14
LSEL, A, , , 17, 22
LSEL, A, , , 24, 27
LSEL, A, , , 29, 30
LSEL, A, , , 32, 33
LSEL, A, , , 36, 38
AL, ALL
ALLSEL
/PNUM, LINE, 0
/PNUM, KP, 0
/PNUM, AREA, 1

```

```

! 两直线倒角
! 刷新显示
! 通过 X 轴顺时针旋转工作平面
! 将当前坐标系转变为工作平面
! 选择所有的点、线、面、体
! 通过 X 轴映射所有线段
! 通过 X 轴逆时针旋转工作平面
! 沿 X 轴平移工作平面
! 创建局部坐标系

! 将当前坐标系转变为直角坐标系

! 显示关键点编号

! 生成样条曲线

! 通过 Y 轴映射线段
! 合并同位置项目或等效项目

! 选择线段
! 由线段生成平面

! 关闭显示线段编号
! 关闭显示关键点编号
! 显示面编号

```


APLOT	! 显示面
ASBA, 3, 1	! 面相减操作
ASBA, 4, 2	
NUMCMP, ALL	! 压缩项目编号
/TITLE, PLANE MODEL	
APLOT	
VOFFST, 1, 0.02	! 拖拉面生成体
SMRT, 6	! 智能网格划分
MSHAPE, 1, 3D	! 设置单元形状
MSHKEY, 0	
VMESH, 1	! 对体划分网格
/VIEW, 1, 0.3, 0.5, 0.8	! 设置视图观测方向
WPSTYLE, , , , , , 0	! 关闭显示工作平面
/TITLE, ELEMENT IN MODEL	
EPLOT	! 显示单元
FINISH	
/SOLU	! 进入求解器
ANTYPE, 4	! 指定分析类型为瞬态分析
TRNOPT, FULL	
TIMINT, 1, STRUCT	! 打开结构分析时间积分选项
TIMINT, 1, THERM	! 打开热分析时间积分选项
TIMINT, 0, ELECT	! 关闭电场分析时间积分选项
TINTP, 0.005, , , -1, 0.5, -1	
TIME, 300	! 设置计算终止时间
DELTIM, 4, 4, 20	! 设置最小、最大计算时间步长
AUTOTS, ON	! 打开自动时间步长
KBC, 1	! 设置加载方式
OUTRES, , ALL	
BFUNIF, TEMP, 100	! 施加温度载荷
ASEL, S, , , ALL	! 选择所有面
NSLA, S, 1	! 选择面上所有节点
SF, ALL, CONV, 95, 20	! 施加对流载荷
ALLSEL	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最终求解结果
PLNSOL, TEMP	! 绘制温度场等值线图
PLNSOL, U, SUM	! 绘制合位移场等值线图
PLNSOL, S, X	! 绘制 X 方向应力场等值线图
PLNSOL, S, Y	! 绘制 Y 方向应力场等值线图
PLNSOL, S, Z	! 绘制 Z 方向应力场等值线图
PLNSOL, S, EQV	! 绘制等效应力场等值线图
FINISH	
/POST26	! 进入 POST26 后处理器
/AXLAB, X, TIME, (sec)	! 指定 X 坐标轴标题
/AXLAB, Y, TEMP	! 指定 Y 坐标轴标题

热分析教程与实例解析

```

/GTHK, AXIS, 3          ! 指定坐标轴粗度
/GTHK, CURVE, 3         ! 指定曲线粗度
/COLOR, CURVE, MRED, 1  ! 设置曲线显示颜色
WPCSYS, -1
NSEL, S, LOC, X, -0.18  ! 选择节点
NSEL, R, LOC, Y, 0
NSEL, R, LOC, Z, 0
*GET, NODE1, NODE, , NUM, MAX  ! 根据节点坐标读取最大节点编号
NSEL, S, LOC, X, 0.77
NSEL, R, LOC, Y, 0
NSEL, R, LOC, Z, 0
*GET, NODE2, NODE, , NUM, MAX
NSOL, 2, NODE1, TEMP      ! 定义变量 2
NSOL, 3, NODE2, TEMP      ! 定义变量 3
PLVAR, 2                  ! 绘制 A 温度随时间的变化规律曲线
PLVAR, 3                  ! 绘制 B 温度随时间的变化规律曲线
FINISH
/EXIT, ALL                ! 退出 ANSYS

```

13-6 实例 6——热喷涂过程中熔滴在基体表面沉积凝固后的残余应力分析

13-6-1 问题描述

热喷涂过程中，一金属 Ni 熔滴以一定速度在无限大碳钢基体表面沉积后，发生散流变形的同时与基体有热交换作用，最终凝固成圆片状固体颗粒。其纵剖面形状及几何尺寸如图 13-127 所示。金属 Ni 与碳钢的基本物性参数如表 13-6 所示。假定颗粒由最初的熔点温度 1454°C 冷却到室温 25°C ，忽略对流带来的影响，且假定平均制备温度 625°C 为参考温度。若定义路径 1 为线段 AB，定义路径 2 为线段 BC，求：

- (1) 熔滴经过 $100\mu\text{s}$ 时的温度场分布。
- (2) 点 A、点 B 的温度随时间的变化曲线。
- (3) $100\mu\text{s}$ 时，沿路径 1、路径 2 颗粒的轴向应力变化曲线与径向应力变化曲线。
- (4) $100\mu\text{s}$ 时，熔滴的轴向应力场与径向应力场。
- (5) $100\mu\text{s}$ 时，在三维方向熔滴（取 1/4 份）的轴向应力场与径向应力场。

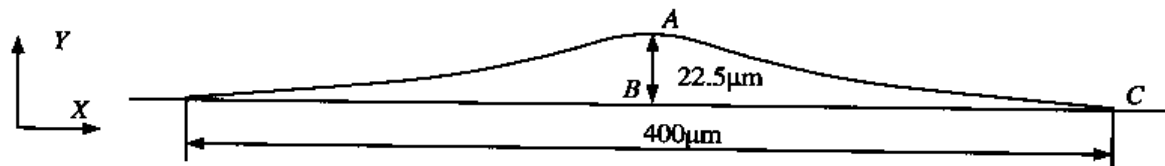


图 13-127 熔滴在基体表面凝固后的纵剖面形状及几何尺寸

表 13-6 材料性能参数

熔滴的材料属性 (Ni)	
弹性模量 (Gpa)	204
泊松比	0.28

续上表

熔滴的材料属性 (Ni)		
热膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C}$)	13.36e-6	
热导率 ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	87.86	
焓 (kJ/m^3)	0 $^{\circ}\text{C}$	0
	25 $^{\circ}\text{C}$	8.48e4
	355 $^{\circ}\text{C}$	1.45e6
	360 $^{\circ}\text{C}$	1.50e6
	365 $^{\circ}\text{C}$	1.55e6
	1454 $^{\circ}\text{C}$	6.65e6
基体材料属性 (碳钢)		
弹性模量 (Gpa)	215	
泊松比	0.26	
热膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C}$)	11.3e-6	
热导率 ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	71	
密度 (kg/m^3)	7900	
比热 ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)	460.24	

13-6-2 问题分析

根据题意, 可将问题简化为二维轴对称问题, 分析过程中取纵剖面的一半进行求解, 如图 13-128 所示, 对称面上取对称约束。对于无限大碳钢基体可在建模过程中取远远大于颗粒的尺寸近似代替 (本例按矩形取 $2000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$)。求解热应力采用间接耦合法, 即先用 Plane55 单元完成温度场计算后, 再转换成 Plane42 单元, 计算热应力。



图 13-128 模型的对称简化

为建模及分析问题方便, 统一取微米·毫克·微秒单位制。经单位制转换后, 各材料属性的数值如表 13-7 所示。注意, 取不同的单位制, 属性数值虽然会有所不同, 且将导致最终计算结果数值也相应不同, 但换算成相同单位制后, 结果是一致的。

表 13-7 经单位制转换后的材料属性数值

熔滴的材料属性 (Ni)		
弹性模量	0.204	
泊松比	0.28	
热膨胀系数	13.36e-6	
热导率	87.86e-6	
焓	0 $^{\circ}\text{C}$	0
	25 $^{\circ}\text{C}$	8.48e-5

续上表

熔滴的材料属性 (Ni)		
	355℃	1.45e-3
	360℃	1.50e-3
	365℃	1.55e-3
	1454℃	6.65e-3
基体材料属性 (碳钢)		
弹性模量	0.215	
泊松比	0.26	
热膨胀系数	11.3e-6	
热导率	7.1e-5	
密度	7.9e-9	
比热	460.24	

13-6-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令, 出现 Change Jobname 对话框, 在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 THERMAL STRESS ANALYSIS OF A MOLTEN NI PARTICLE IN THERMAL SPRAYING, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框。

(2) 单击 Add 按钮, 出现 Library of Element Types 对话框, 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Thermal Solid, Quad 4node 55 选项, 在 Element type reference number 文本框中输入 1, 如图 13-129 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 单击 Options 按钮, 出现 PLANE55 element type options, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 如图 13-130 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

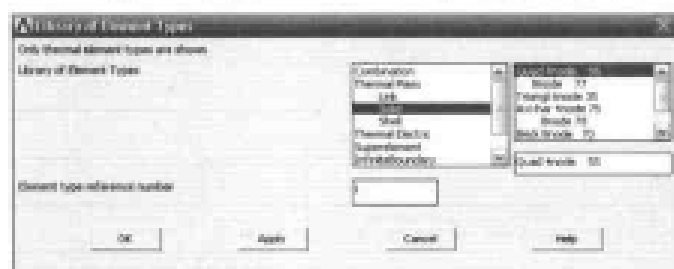


图 13-129 单元类型列表对话框

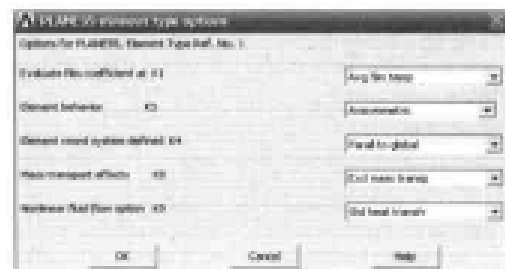


图 13-130 PLANE55 单元属性设置对话框

第三步：定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令，出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项，出现 Linear Isotropic Properties for Material Number 1 对话框，在 EX 文本框中输入弹性模量 0.204，在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.28，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal Expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项，出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框，在 ALPX 文本框中输入热膨胀系数 $13.36\text{e-}6$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在文本框中输入导热系数 $87.86\text{e-}6$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Enthalpy 选项，出现 Enthalpy for Material Number 1 对话框，连续单击五次 Add Temperature 按钮，在 Temperatures 文本框中依次输入 0、25、355、360、365、1454，在 ENTH 文本框中依次输入相对热焓 0、 $8.48\text{e-}5$ 、 $1.45\text{e-}3$ 、 $1.50\text{e-}3$ 、 $1.55\text{e-}3$ 、 $6.65\text{e-}3$ ，如图 13-131 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

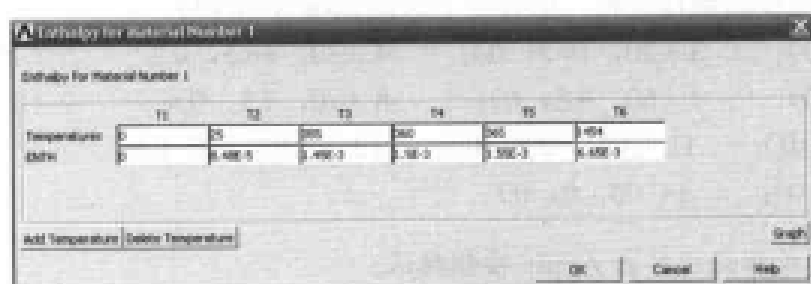


图 13-131 输入相对焓值对话框

(6) 在 Define Material Model Behavior 列表框中选择 Material | New Model 命令，出现 Define Material ID 对话框，在 Define Material ID 文本框中输入 2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项，出现 Linear Isotropic Properties for Material Number 2 对话框，在 EX 文本框中输入弹性模量 0.215，在 PRXY 文本框中输入泊松比 0.26，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项，出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 2 对话框，在 ALPX 文本框中输入线膨胀系数 $11.3\text{e-}6$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Density 选项，出现 Density for Material Number 2 对话框，在文本框中输入密度 $7.9\text{e-}9$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 2 对话框，在文本框中输入导热系数 $7.1\text{e-}5$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Specific Heat 选项，出现

Specific Heat for Material Number 2 对话框, 在文本框中输入比热 460.24, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(12) 在 Define Material Model Behavior 对话框中选择 Material | Exit 命令, 关闭该对话框。

第四步: 创建几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令, 出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框, 在 NPT Keypoint number 文本框中输入 1, 在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中分别输入 0、22.5、0, 如图 13-132 所示, 单击 Apply 按钮。

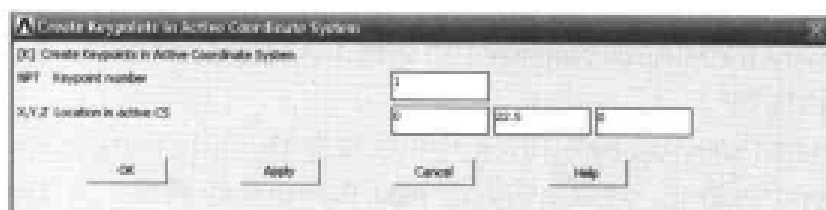


图 13-132 创建关键点对话框

(2) 参照上一步的操作过程, 创建以下关键点编号和坐标:

2 (10, 22, 0); 3 (20, 19.3, 0); 4 (30, 16.5, 0); 5 (40, 13.8, 0);
6 (50, 12, 0); 7 (60, 9.5, 0); 8 (70, 7.5, 0); 9 (80, 5.5, 0);
10 (90, 4.5, 0); 11 (100, 2.8, 0); 12 (110, 2.8, 0);
13 (200, 0, 0); 14 (0, 0, 0)

提示: 每次输入完成后必须单击 Apply 按钮确认。

(3) 在命令流文本框中, 输入如下命令流:

```
*DO, I, 1, 13
LSTR, I, I+1
*ENDDO
```

提示: 上述命令为循环语句, 用于将关键点 1 到 14 连成直线。*do 命令与*enddo 命令只能通过命令流的形式在命令流文本框中输入, 无等效的 GUI 方式。如图 13-133 所示。

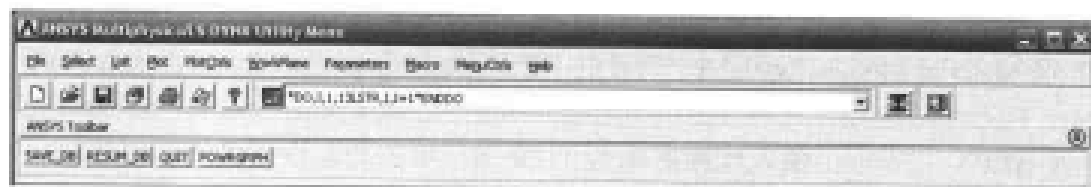


图 13-133 在命令流文本框中输入循环语句

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Lines | Lines | Straight Line 命令, 出现 Create Straight 对话框, 在文本框中输入 14, 1, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | By Lines 命令, 单击 Pick All 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Glue | Areas 命令, 出现 Glue Areas 对话框, 单击 Pick All 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Compress Numbers 命令, 出现 Compress Numbers 对话框, 在 Label Item to be compressed 下拉列表框中选择 Areas 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle by Dimensions, 参照图 13-134 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

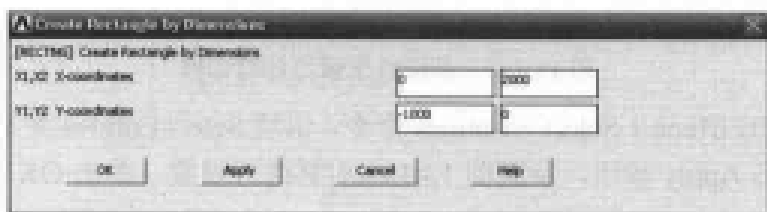


图 13-134 创建矩形参数设置对话框

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Picked Areas 命令, 出现 Area Attributes 对话框, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Area Attributes 参数设置对话框, 在 MAT Material number 下拉列表框中选择 2, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 对话框, 单击 Pick All 按钮, 网格划分结果如图 13-135 所示。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Numbering Ctrl | Merge Items 命令, 出现 Merge Coincident or Equivalently Defined Items 对话框, 参照图 13-136 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

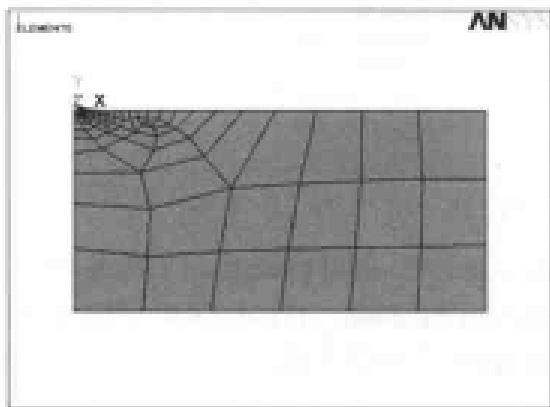


图 13-135 网格划分结果显示

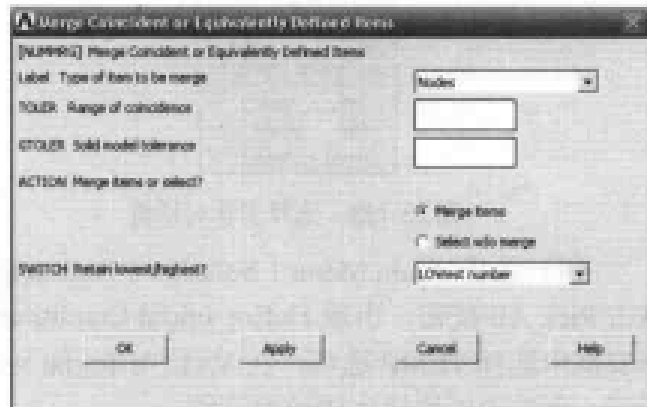


图 13-136 合并实体对话框

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database 文本框中输入 exercise61.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步: 加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令, 出现 New Analysis 对话框, 选择分析类型为 Transient, 单击 OK 按钮关闭该对话框, 出现 Transient Analysis 对

话框，采用默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Solution Ctrl 命令，出现 Nonlinear Solution Control 对话框，将 [SOLCONTROL] Solution Control 选项设置为 On，如图 13-137 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

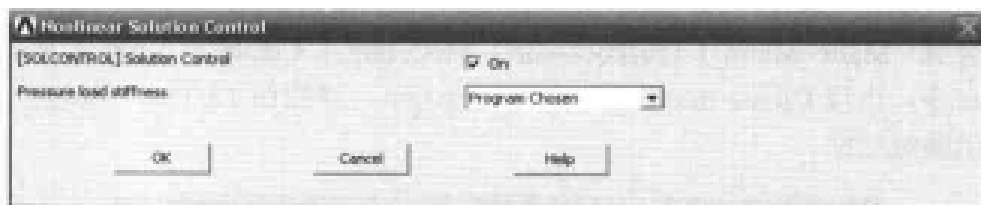


图 13-137 非线性求解控制对话框

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，参照图 13-138 对其进行设置，单击 Apply 按钮，参照图 13-139 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

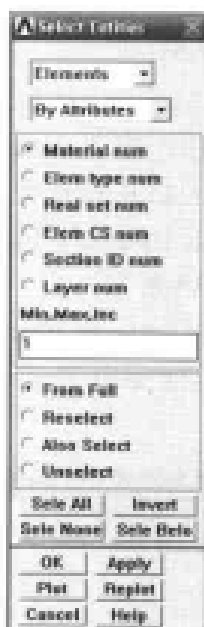


图 13-138 选择实体对话框

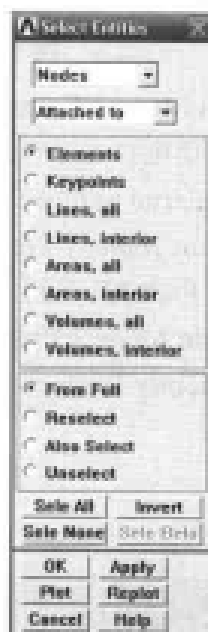


图 13-139 选择实体对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Initial Condit'n | Define 命令，单击 Pick All 按钮，出现 Define Initial Conditions on Nodes 对话框，在 Lab DOF to be defined 列表框中选择 TEMP 选项，在 VALUE Initial value of DOF 文本框中输入 1454，如图 13-140 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

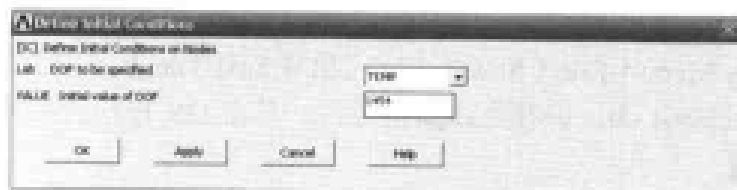


图 13-140 定义初始温度对话框

(5) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，在第 1 个下

拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选 Material num 单选按钮, 在 Min,Max,Inc 文本框中输入 2, 单击 Apply 按钮, 参照图 13-139 所示对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Initial Condit'n | Define 命令, 单击 Pick All 按钮, 出现 Define Initial Conditions on Nodes 对话框, 在 Lab DOF to be defined 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Initial value of DOF 文本框中输入 25, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令, 选择所有实体。

(8) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 参照图 13-141 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl's | DB/Results File 命令, 出现 Controls for Database and Results File Writing 对话框, 在 Item Item to be controlled 列表框中选择 All Items 选项, 在 FREQ File Write frequency 选项组中选 Every Substep 单选按钮, 如图 13-142 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(11) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise62.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

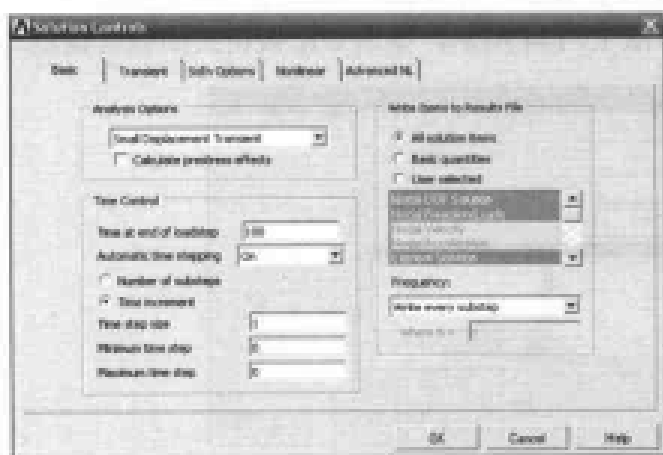


图 13-141 载荷步参数设置对话框

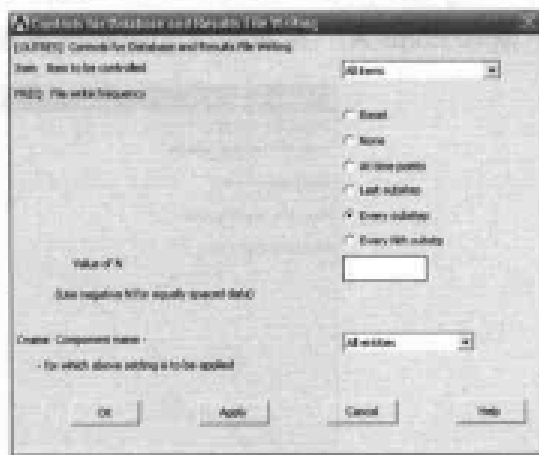


图 13-142 结果输出控制对话框

第六步: 查看温度求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框选择 By Attributes 选项, 在第 3 个选项组中选 Material num 单选按钮, 在 Min,Max,Inc 文本框中输入 1, 单击 Apply 按钮, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Elements 单选按钮, 在第 4 栏中选择 From Full, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF Solution | Nodal

Temperature 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框, ANSYS 显示熔滴 $100\mu\text{s}$ 时的温度场分布, 如图 13-143 所示。

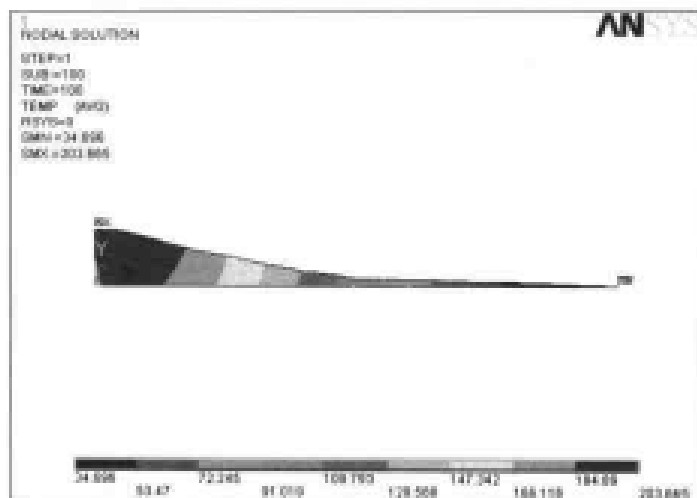


图 13-143 $100\mu\text{s}$ 时的温度场分布

(4) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables 命令, 出现 Defined Time-History Variables 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框, 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 参数设置框, 在 Name User-specified label 文本框中输入 Point-A, 其余选项采用默认设置, 如图 13-144 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

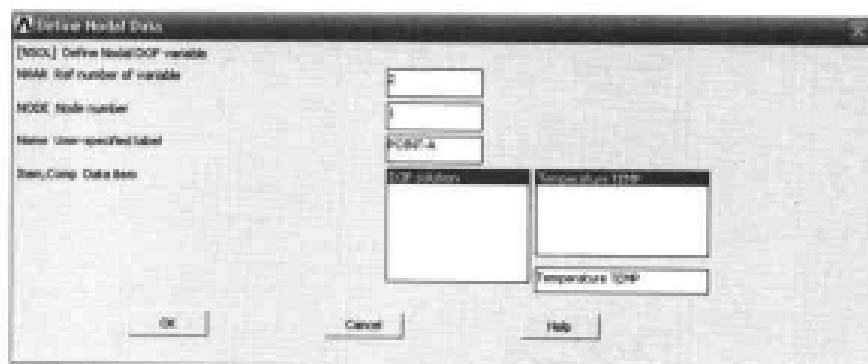


图 13-144 定义时间历程变量对话框

(5) 单击 Add 按钮, 出现 Add Time-History Variable 对话框; 选中 Nodal DOF result 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 对话框, 在文本框中输入 42, 单击 OK 按钮, 出现 Define Nodal Data 参数设置框, 在 Name User-specified label 文本框中输入 Point-B, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。单击 Close 按钮关闭 Defined Time-History Variables 对话框。

(6) 选择 Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables 命令, 出现 Graph Time-History Variables 对话框, 在 NVAR 1st variable to graph 文本框中输入 2, 在 NVAR2 2nd variable 文本框中输入 3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。点 A、点 B 的温度随时间的变化曲线如图 13-145 所示。

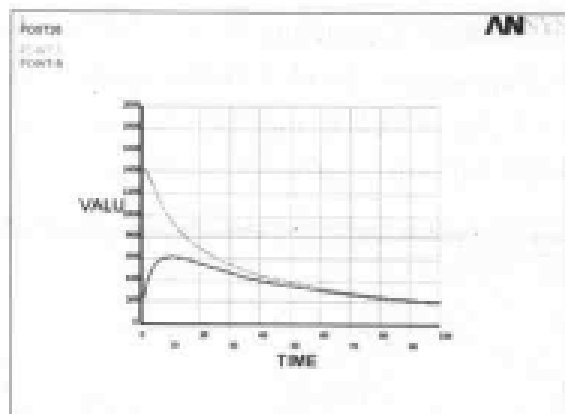


图 13-145 点 A、点 B 的温度随时间的变化曲线

(7) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令, 选择所有实体。

第七步 转换单元类型, 进行应力求解

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Switch Elem Type 命令, 出现 Switch Elem Type 对话框, 在 Change element type 下拉列表框中选择 Thermal to Struc 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令, 出现 Element Types 对话框, 单击 Options 按钮, 出现 PLANE42 element type options 对话框, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 按图 13-146 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes 命令, 出现 Apply U, ROT on Nodes 对话框, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply U, ROT on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 UX 选项, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入 0, 如图 13-147 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

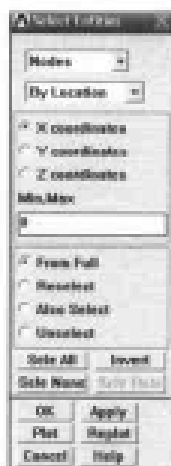
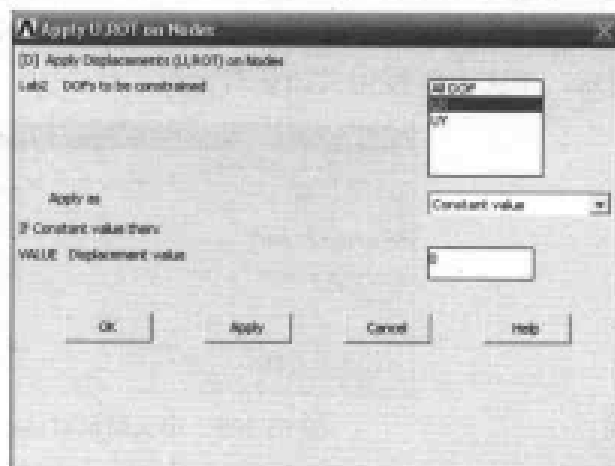
图 13-146 选择 $x=0$ 位置的所有节点

图 13-147 施加位移载荷对话框

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Settings | Reference Temp 命令, 出现 Reference Temperature 对话框, 在 [TREF] Reference temperature 文本框中输入 625, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令, 选择所有实体。

(7) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Structural | Temperature | From Therm Analy 命令, 出现 Apply TEMP from Thermal Analysis 对话框, 在 Fname Name of results file 文本框中输入 EXERCISE6.rth, 如图 13-148 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

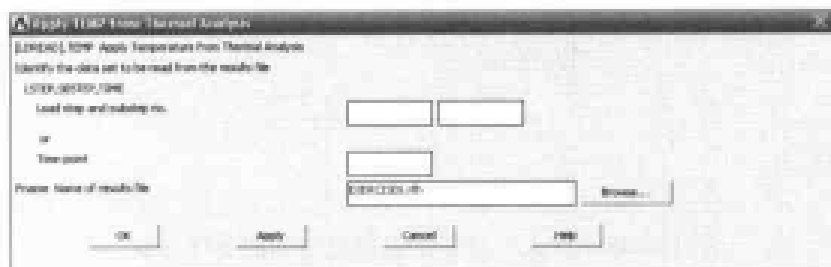


图 13-148 施加热分析温度载荷对话框

(8) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(9) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise63.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第八步: 查看应力求解结果

(1) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Elements 选项, 在第 2 个下拉列表框选择 By Attributes 选项, 在第 3 选项组中选中 Material num 单选按钮, 在 Min,Max,Inc 文本框中输入 1, 单击 Apply 按钮, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 选项组中选中 Elements 单选按钮, 在第 4 选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Nodes 命令, 出现 By Nodes 对话框, 在文本框中输入 1, 42, 单击 OK 按钮, 出现 By Nodes 对话框, 在 Name Define Path Name 文本框中输入 path1-sx, 在 nSets Number of data sets 文本框中输入 2, 如图 13-149 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

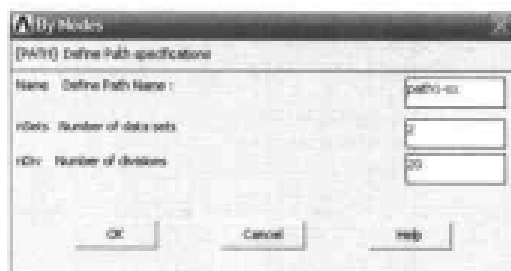


图 13-149 定义路径对话框

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 path1-sx; 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 Stress、X-direction SX 选项, 如图 13-150 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

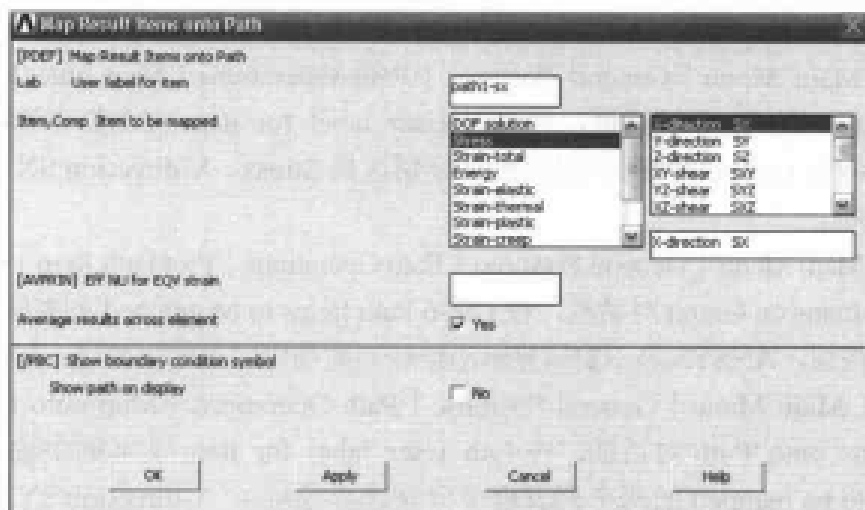


图 13-150 映射结果到路径对话框

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在 Lab1-6 Path Items to be graphed 列表框中选择 Path1-sx 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示沿路径 1 (液滴中心轴线上) 的径向应力变化曲线, 如图 13-151 所示。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 path1-sy; 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 Stress、Y-direction SY 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在 Lab-6 Path Items to be graphed 列表框中选择 Path1-sy 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示沿路径 1 的轴向应力变化曲线, 如图 13-152 所示。

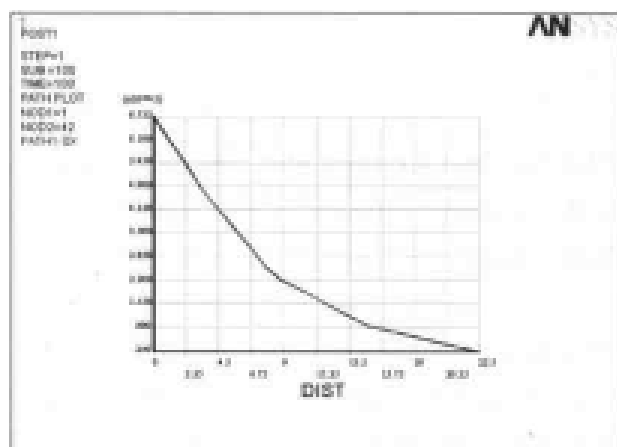


图 13-151 液滴中心轴线上径向应力变化曲线

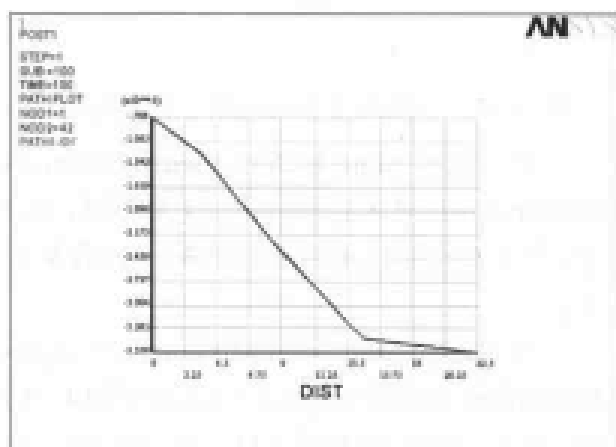


图 13-152 液滴中心轴线上轴向应力变化曲线

(7) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Nodes 命令, 出现 By Nodes 对话框, 在文本框中输入 42, 35, 单击 OK 按钮, 出现 By Nodes 对话框, 在 Name Define Path Name 文本框中输入 path2-sx, 在 nSets Number of data sets 文本框中输入 2,

单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 path2-sx; 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 Stress、X-direction SX 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在 Lab-6 Path Items to be graphed 列表框中选择 Path2-sx 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示沿路径 2 的径向应力变化曲线, 如图 13-153 所示。

(10) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 path2-sy; 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 Stress、Y-direction SY 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在 Lab-6 Path Items to be graphed 列表框中选择 Path2-sy 选项, 单击 O K 按钮, ANSYS 显示窗口显示沿路径 2 的轴向应力变化曲线, 如图 13-154 所示。

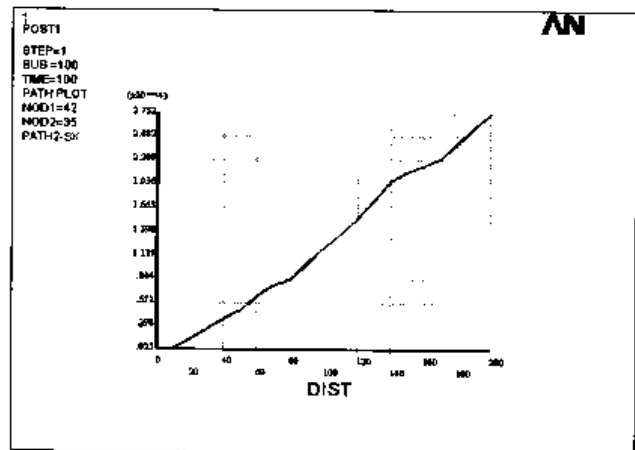


图 13-153 沿路径 2 的径向应力变化曲线

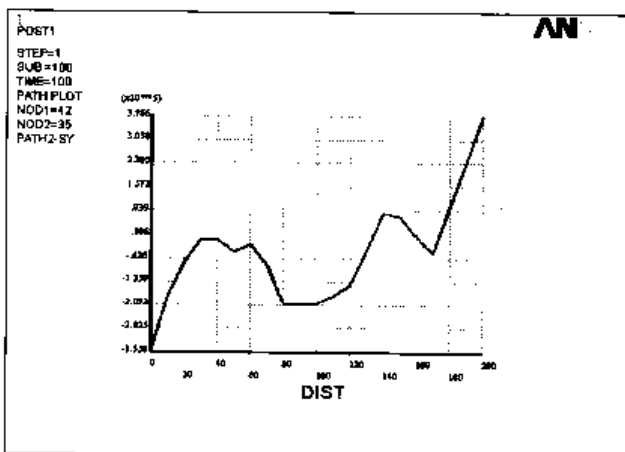
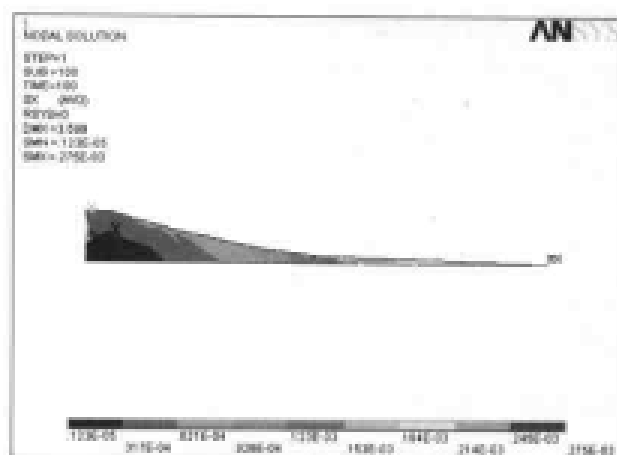
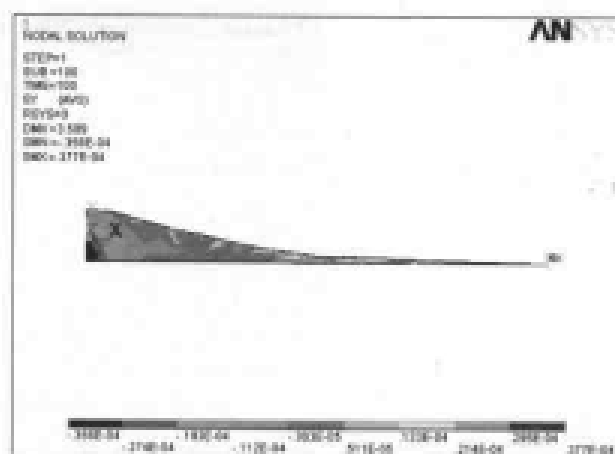


图 13-154 沿路径 2 的轴向应力变化曲线

(12) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框, ANSYS 显示熔滴 100 μ s 时的径向应力场分布, 如图 13-155 所示。

(13) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框, ANSYS 显示熔滴 100 μ s 时的轴向应力场分布, 如图 13-156 所示。

图 13-155 熔滴在 100 μ s 时的径向应力场图 13-156 熔滴在 100 μ s 时的轴向应力场

(14) 选择 Main Menu | General Postproc | Element Table | Define Table 命令, 出现 Element Table Data 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Define Additional Element Table Items 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 sx, 在 Item,Comp Results data item 的两个列表框中分别选择 Stress、X-direction SX 选项, 如图 13-157 所示, 单击 Apply 按钮; 在 Lab User label for item 文本框中输入 sy, 在 Item,Comp Results data item 的两个列表框中分别选择 Stress、Y-direction SY 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

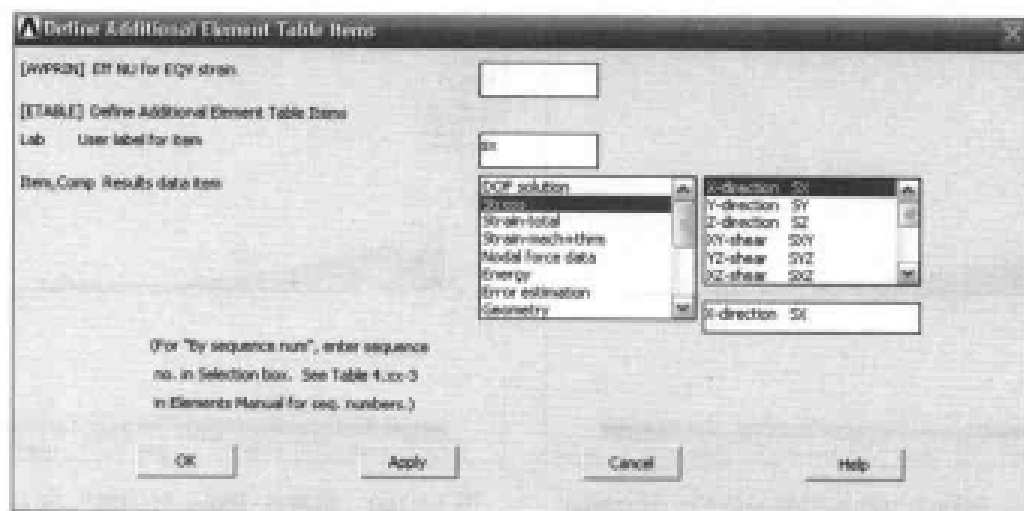


图 13-157 定义单元列表项目对话框

(15) 选择 Main Menu | General Postproc | Element Table | Multiply 命令, 出现 Multiply Element Table Items 对话框; 在 LabR User label for result 文本框中输入 sx-Mpa, 在 FACT1 1st Factor 文本框中输入 1e6, 在 Lab1 1st Element table item 下拉列表框中选择 SX 选项, 在 Lab2 2nd Element table item 下拉列表框中选择 none 选项, 如图 13-158 所示, 单击 Apply 按钮; 在 LabR User label for result 文本框中输入 sy-Mpa, 在 FACT1 1st Factor 文本框中输入 1e6, 在 Lab1 1st Element table item 下拉列表框中选择 SY 选项, 在 Lab2 2nd Element table item 下拉列表框中选择 none, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

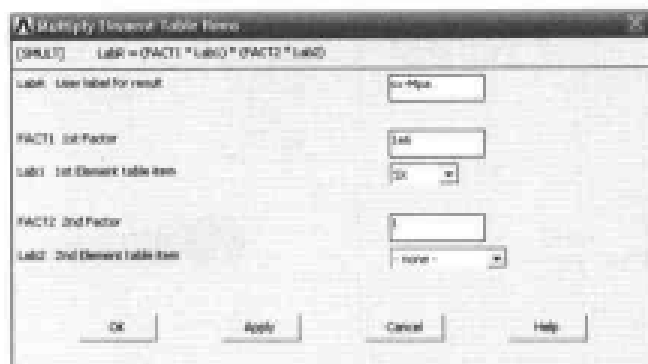
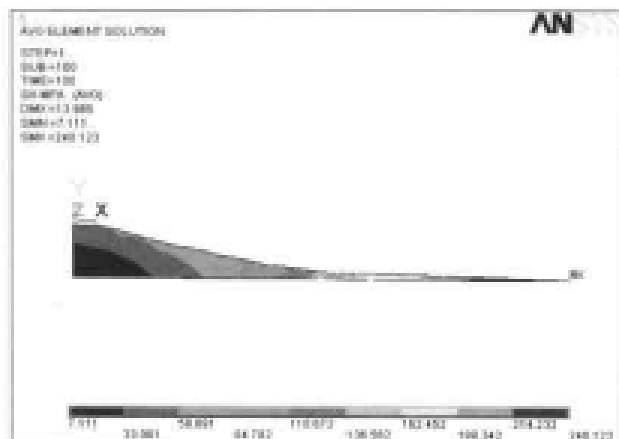
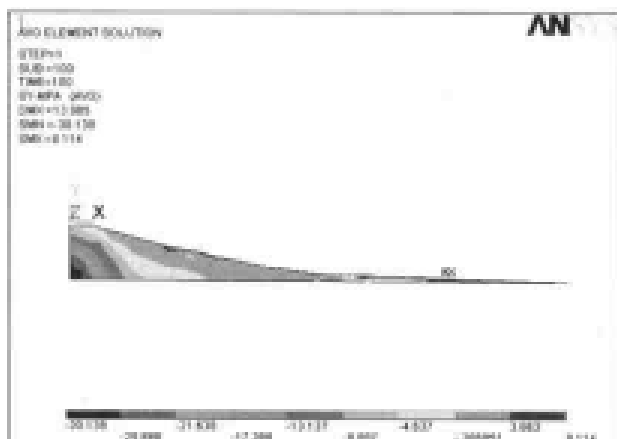


图 13-158 单元表项目相乘操作对话框

(16) 选择 Main Menu | General Postproc | Element Table | Plot Elem Table 命令, 出现 Contour Plot of Element Table Data 对话框, 在 Itlab Item to be plotted 下拉列表框中选择 SX-MPA 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框, ANSYS 显示窗口显示以 MPa 为单位的熔滴在 $100\mu\text{s}$ 时的径向应力场, 如图 13-159 所示。

(17) 选择 Main Menu | General Postproc | Element Table | Plot Elem Table 命令, 出现 Contour Plot of Element Table Data 对话框, 在 Itlab Item to be plotted 列表框中选择 SY-MPA 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框, ANSYS 显示窗口显示以 MPa 为单位的熔滴在 $100\mu\text{s}$ 时的轴向应力场, 如图 13-160 所示。

图 13-159 熔滴在 $100\mu\text{s}$ 时的径向应力场(Mpa)图 13-160 熔滴在 $100\mu\text{s}$ 时的轴向应力场(Mpa)

(18) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Symmetry Expansion | 2D Axi-Symmetric 命令, 出现 2D Axi-Symmetric Expansion 对话框, 在 Select expansion amount 列表框中选择 1/4 expansion 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Pan-Zoom-Rotate 命令, 出现 Pan-Zoom-Rotate 对话框, 单击 Obliq 按钮, 以斜视图形式显示 1/4 个熔滴在 $100\mu\text{s}$ 时的径向应力场, 如图 13-161 所示。

(20) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Styl | Symmetry Expansion | 2D Axi-Symmetric 命令, 出现 2D Axi-Symmetric Expansion 对话框, 在 Select expansion amount 列表框中选择 1/4 expansion 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 选择 Utility Menu | Pan-Zoom-Rotate 命令, 出现 Pan-Zoom-Rotate 对话框, 单击 Obliq 按钮, 以斜视图形式显示 1/4 个熔滴在 $100\mu\text{s}$ 时的径向应力场, 如图 13-162 所示。

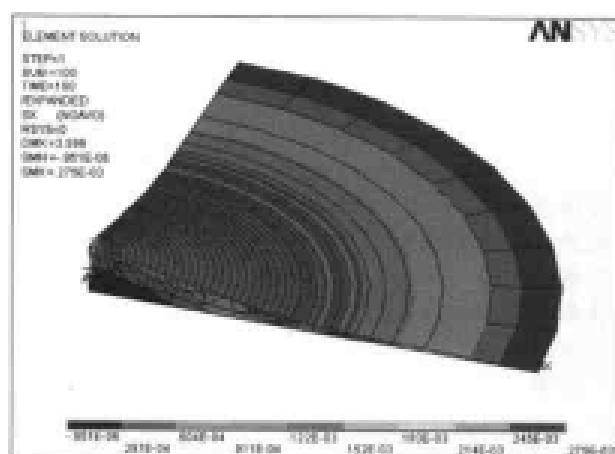


图 13-161 熔滴在 100 μ s 时的三维径向应力场

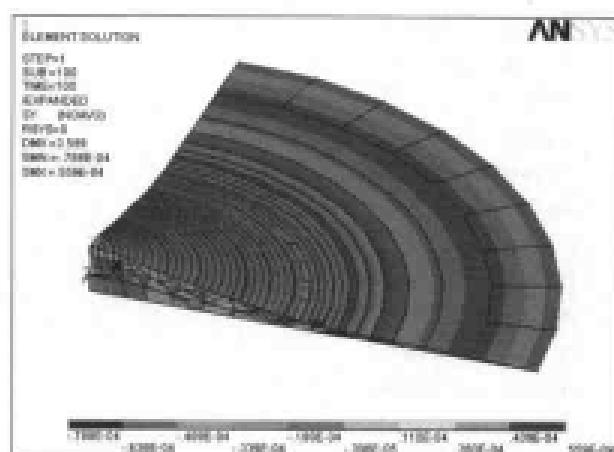


图 13-162 熔滴在 100 μ s 时的三维轴向应力场

(22) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE6                                ! 定义工作文件名
/TITLE, THERMAL STRESS ANALYSIS OF A MOLTEN NI PARTICLE IN THERMAL SPRAYING
! 定义工作标题
/PREP7                                                ! 进入前处理器
ET, 1, 55, , , 1                                     ! 定义单元
MP, EX, 1, 0.204                                     ! 输入材料 1 弹性模量
MP, NUXY, 1, .28                                     ! 输入材料 1 泊松比
MP, ALPX, 1, 13.36E-6                                ! 输入材料 1 线膨胀系数
MP, KXX, 1, 87.86E-6                                 ! 输入材料 1 导热系数
MPTEMP, 1, 0, 25, 355, 360, 365, 1454              ! 建立温度参数表
MPDATA, ENTH, 1, 1, 0, 8.48E-5, 1.45E-3, 1.50E-3, 1.55E-3, 6.65E-3
! 输入不同温度下材料 1 的焓值
MP, EX, 2, 0.215                                     ! 输入材料 2 弹性模量
MP, NUXY, 2, 0.26                                     ! 输入材料 2 泊松比
MP, ALPX, 2, 11.3E-6                                ! 输入材料 2 线膨胀系数
MP, DENS, 2, 7.9E-9                                  ! 输入材料 2 密度
MP, KXX, 2, 7.1E-5                                   ! 输入材料 2 导热系数
MP, C, 2, 460.24                                     ! 输入材料 2 比热

k, 1, , 22.5, 0
k, 2, 10, 22
k, 3, 20, 19.3
k, 4, 30, 16.5
k, 5, 40, 13.8
k, 6, 50, 12
k, 7, 60, 9.5
k, 8, 70, 7.5
k, 9, 80, 5.5
k, 10, 90, 4.5
k, 11, 100, 2.8
k, 12, 110, 2.8
    
```


热分析教程与实例解析

```
k, 13, 200, 0
k, 14, 0, 0
*do, i, 1, 13
lstr, i, i+1
*enddo
lstr, 14, 1
al, all
RECTNG, 0, 2000, -1000, 0,
aglu, all
numcmp, area
asel, s, area, , 2
aatt, 2,
asel, all
amesh, all
NUMMRG, NODE
SAVE, exercise61, db
FINISH

/solu
antype, 4
solcontrol, on
ESEL, S, MAT, , 1
NSLE, S
ic, all, temp, 1454
ESEL, S, MAT, , 2
NSLE, S
ic, all, temp, 25
allsel, all
time, 100
autots, on
deltim, 1
kbc, 0
outres, all, all
solve
SAVE, exercise62, db
FINISH

/post1
ESEL, S, MAT, , 1
PLNSOL, TEMP
FINISH

/post26
nsol, 2, 1, temp, , Point-A
nsol, 3, 42, temp, , Point-B
plvar, 2, 3
allsel, all
FINISH

/prep7
etchg, tts
keyopt, 1, 3, 1
NSEL, S, LOC, X, 0
```

! 连接关键点 14 与 1, 生成线
! 选择所有线生成面
! 生成矩形面
! 将面 1 与面 Glue 在一起
! 压缩面编号
! 选择面 2
! 将面 2 赋予材料属性 2
! 选择所有面
! 划分网格
! 合并重合节点

! 进入求解器
! 指定分析类型为瞬态分析
! 激活优化的非线性求解控制
! 选择材料 1 对应的所有单元
! 选择所选单元对应的所有结点
! 在熔滴上施加初始边界条件 1454℃
! 选择材料 2 对应的所有单元
! 选择所选单元对应的所有结点
! 在基体上施加初始边界条件 25℃
! 选择全部实体
! 设置计算时间为 100μs
! 打开自动时间步长
! 指定时间步长为 1
! 按 ramped 方式加载
! 将每一步计算结果均输出到结果文件
! 开始求解
! 将当前计算结果保存到文件 exercise62.db

! 进入 POST1 后处理器
! 选择材料 1 对应的所有单元
! 绘制 100μs 时熔滴的温度场分布

! 进入 POST26 后处理器
! 定义变量 POINT-A
! 定义变量 point-b
! 绘制 A、B 两点的温度~时间曲线
! 选择所有实体

! 进入前处理器, 进行应力场分析
! 转变单元类型
! 为单元设置轴对称关键选项
! 选择 X=0 处的所有结点


```

D, all, , 0, , , UX          ! 定义 UX=0 约束
tref, 625                     ! 设置参考温度为 625℃
allsel, all                   ! 选择所有实体
LDREAD, TEMP, , , , 'EXERCISE6', 'rth', ' '
                                ! 从文件 EXERCISE6.rth 读取温度载荷

/SOLU                          ! 进入求解器
SOLVE                         ! 开始求解计算求解
SAVE, exercise63, db          ! 将当前计算结果保存到文件 exercise63.db
FINISH

/post1                         ! 进入 POST1 后处理器
ESEL, S, MAT, , 1             ! 选择材料 1 对应的所有单元
path, path1-sx, 2
ppath, 1, 1
ppath, 2, 42
PDEF, path1-sx, S, X, AVG
PLPATH, path1-SX              ! 绘制路径 1 沿径向的应力变化曲线
path, path1-sy, 2
ppath, 1, 1
ppath, 2, 42
PDEF, path1-sy, S, y, AVG
PLPATH, path1-Sy              ! 绘制路径 1 沿轴向的应力变化曲线
                                ! 定义沿径向的路径 2
path, path2-sx, 2
ppath, 1, 42
ppath, 2, 35
PDEF, path2-sx, S, X, AVG
PLPATH, path2-SX              ! 绘制路径 2 沿径向的应力变化曲线
                                ! 定义沿轴向的路径 2
path, path2-sy, 2
ppath, 1, 42
ppath, 2, 35
PDEF, path2-sy, S, y, AVG
PLPATH, path2-Sy              ! 绘制路径 2 沿轴向的应力变化曲线
plesol, s, x                  ! 绘制 100μs 时, 熔滴的径向应力场
ETABLE, sx, S, X              ! 建立径向应力单元表 SX
ETABLE, sy, S, y              ! 建立轴向应力单元表 SY
SMULT, sx-mpa, SX, , 1000000, 1 ! SX 乘以 1E6 得到单元表 SX-mpa
SMULT, sy-mpa, SY, , 1000000, 1 ! sy 乘以 1E6 得到单元表 SY-MPa
PLETAB, SX-MPA, AVG           ! 绘制 100μs 时熔滴的径向应力场
PLETAB, Sy-MPA, AVG           ! 绘制 100μs 时熔滴的轴向应力场
/EXPAND, 9, AXIS, , , 10      ! 设置三维扩展模式
/VIEW, 1, 1, 2, 3             ! 设置斜视角度
/replot
plesol, s, x                  ! 绘制 100μs 时熔滴的径向应力场
plesol, s, y                  ! 绘制 100μs 时熔滴的轴向应力场
FINISH
/EXIT, ALL                     ! 退出 ANSYS

```

13-7 实例 7——滑块滑动摩擦生热分析

13-7-1 问题描述

如图 13-163 所示, A 滑块在 B 固定滑块上运动, 试求 A 滑块以 1m/s 的速度向前滑动 15mm

热分析教程与实例解析

时由于摩擦而引起的温升和应力（图中所示尺寸为 mm）。

材料参数：

弹性模量： $E=69\text{GPa}$ ；泊松比： $\nu=0.3$ ；

密度： $\rho=2700\text{kg/m}^3$ ；

导热系数： $K_{xx}=150\text{W/(s}\cdot\text{K)}$ ；

热膨胀系数： $\alpha=23.9\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ ；

比热： $C=900\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$ ；

摩擦系数： $\mu=0.2$

载荷： $P=40\text{MPa}$

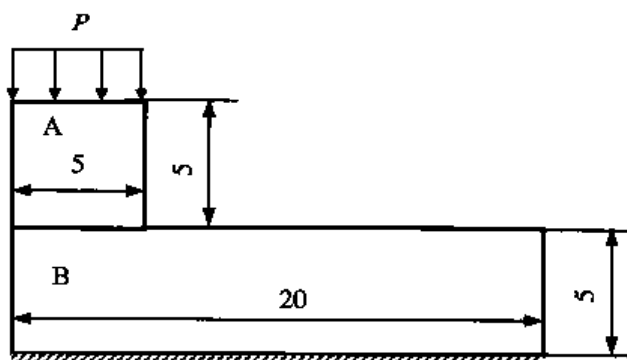


图 13-163 滑块滑动摩擦生热

13-7-2 问题分析

该问题属于瞬态动力学中的摩擦生热问题。选择 PLANE13 热结构耦合单元模拟滑块，选择 CONTA171 接触单元和 TARGE169 目标单元生成接触对。分两步对问题进行求解，第一步计算滑块运动过程中的摩擦生热；第二步计算由于热传导而引起的滑块温升。

提示：本例中，长度和位移单位采用 mm，力的单位采用 N，时间单位采用 s，温度单位采用 K，则输入材料参数和载荷如下：

弹性模量： $E=69000\text{MPa}$ ；泊松比： $\nu=0.3$ ；密度： $\rho=2.7\times 10^{-9}\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{mm}^4$ ；

导热系数： $K_{xx}=150\text{W/(s}\cdot\text{K)}$ ；热膨胀系数： $\alpha=23.9\text{E-}6\text{K}^{-1}$ ；

比热： $C=9\text{E}8\text{mm}^2/(\text{s}^2\cdot\text{K})$ ；摩擦系数： $\mu=0.2$ ；载荷： $P=40\text{Mpa}$

结果输出温度单位为 K，应力单位为 MPa。

13-7-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE7，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 FRICTION HEATING OF A SLIDING BLOCK，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Types 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Coupled Field、Vector Quad 13 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1；单击 Apply 按钮，在 Library of Element Types 的两个列表框中选择 Contact、2D target 169 选项，在 Element type reference number 选项输入 2；单击 Apply 按钮，在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 Contact、2 nd surf 171 选项，在 Element type reference number 选项输入 3，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Element Types 对话框中选择 Type 1 PLANE13 选项, 单击 Options 按钮, 出现 PLANE13 element type options 对话框, 在 Element degrees of freedom K1 下拉列表框中选择 UX UY TEMP AZ 选项, 在 Element behavior K3 下拉列表框中选择 Plane strain 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 13-164 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



图 13-164 PLANE13 单元属性设置对话框

(4) 在 Element Types 对话框中选择 Type 3 CONTA171 选项, 单击 Options 按钮, 出现 CONTA171 element type options 对话框, 在 Elem degrees of freedom K1 下拉列表框中选择 UX/UY/TEMP 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 13-165 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

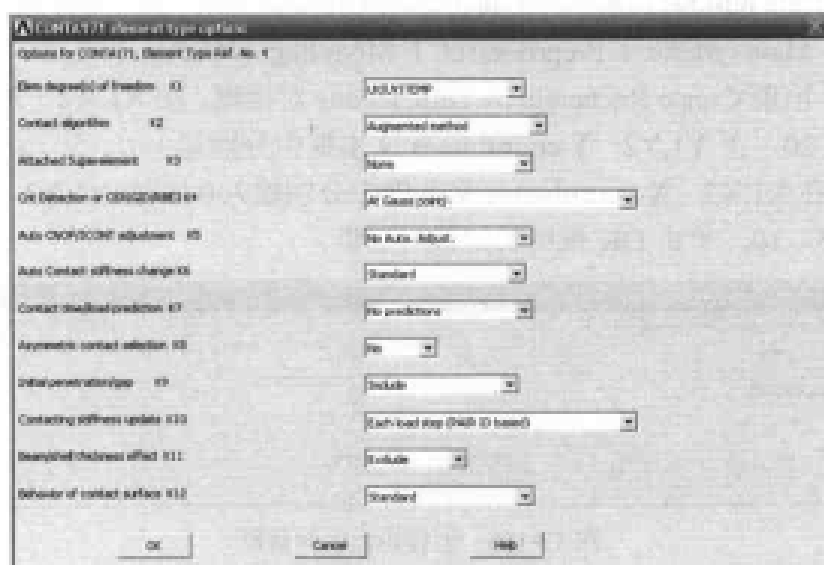


图 13-165 CONTA171 单元属性设置对话框

(5) 单击 Element Types 对话框上的 Close 按钮, 关闭该对话框。

第三步: 定义材料性能参数

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models 命令, 出现 Define Material Model Behavior 对话框。

(2) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Linear、Elastic、Isotropic 选项, 出现 Linear Isotropic Properties for Material Number 1 对话框, 在 EX 文本框中输入 69000, 在 PRXY 文本框中输入 0.3, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Density 选项, 出现 Density

for Material Number 1 对话框，在 DENS 文本框中输入 $2.7\text{E}-9$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Friction Coefficient 选项，出现 Friction Coefficient for Material Number 1 对话框，在 MU 文本框中输入 0.2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Structural、Thermal Expansion、Secant Coefficient、Isotropic 选项，出现 Thermal Expansion Secant Coefficient for Material Number 1 对话框，在 ALPX 文本框中输入 $2.39\text{E}-5$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Conductivity、Isotropic 选项，出现 Conductivity for Material Number 1 对话框，在 KXX 文本框中输入 150，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 在 Material Models Available 列表框中依次双击 Thermal、Specific Heat 选项，出现 Specific Heat for Material Number 1 对话框，在 C 文本框中输入 $9\text{E}8$ ，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 在 Define Material Model Behavior 对话框上选择 Material | Exit 命令，关闭该对话框。

第四步：创建有限元模型

(1) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 LINE Line numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令，出现 Create Rectangle by Dimensions 对话框，在 X1,X2 X-coordinates 文本框中分别输入 0、20，在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中分别输入 0、5，如图 13-166 所示，单击 Apply 按钮，在 X1,X2 X-coordinates 文本框中分别输入 0.5，在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中分别输入 5、10，单击 OK 按钮关闭该对话框。

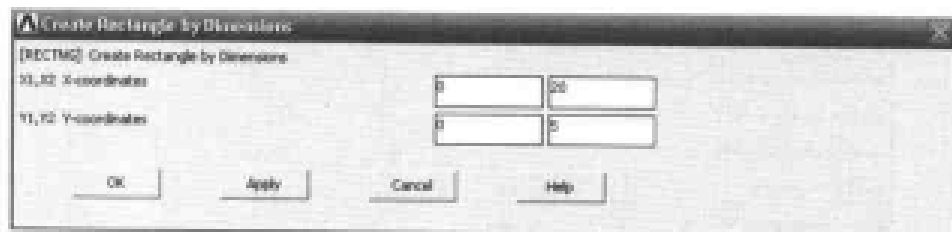


图 13-166 创建矩形面对话框

(3) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | All Lines 命令，出现 Element Sizes on All Selected Lines 对话框，在 Size Element edge length 文本框中输入 1，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令，出现 Mesh Areas 对话框，单击 Pick All 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令，显示所有线段。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框，在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项，在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮，单击 OK 按钮，出现 Select Lines 菜单，在文本框中输入 3，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 在第 4 选项组中选中 From Full 单选按钮, 如图 13-167 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes 命令, 出现 Element Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 2 TARGE169 选项, 在 [REAL] Real constant set number 下拉列表框中选择 None defined 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 13-168 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

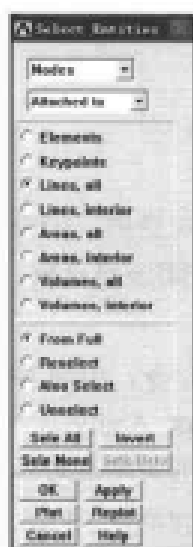


图 13-167 选择实体对话框

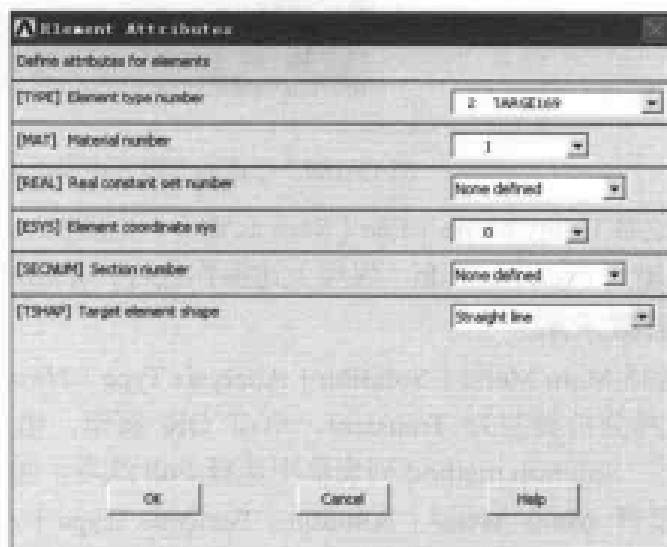


图 13-168 单元属性设置对话框

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Surf / Contact | Surf to Surf 命令, 出现 Mesh Free Surfaces 对话框, 在 Tlab Surface element form 下拉列表框中选择 Top surface 选项, 在 Shape Base shape of TARGE170 下拉列表框中选择 Same as target 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Mesh Free Surfaces 菜单, 单击 Pick All 按钮关闭该菜单。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令, 选择所有实体。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 5, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes 命令, 出现 Element Attributes 对话框, 在 [TYPE] Element type number 下拉列表框中选择 3 CONTA171 选项, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Surf / Contact |

Surf to Surf 命令，出现 Mesh Free Surfaces 对话框，采用其默认设置，单击 OK 按钮，出现 Mesh Free Surfaces 菜单，单击 Pick All 按钮关闭该菜单。

(15) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令，选择所有实体。

(16) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令，ANSYS 显示窗口将显示所生成的有限元模型，如图 13-169 所示。

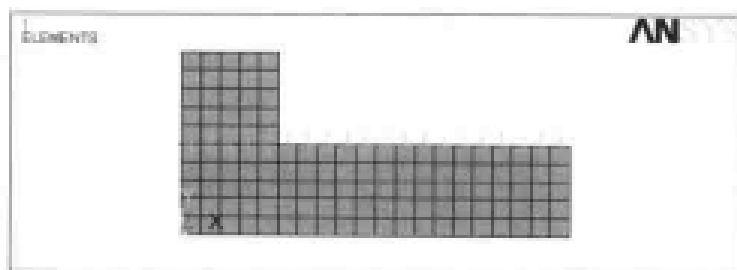


图 13-169 生成的有限元模型结果显示

(17) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令，出现 Save Database 对话框，在 Save Database to 文本框中输入 exercise71.db，保存上述操作过程，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步：加载求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | New Analysis 命令，出现 New Analysis 对话框。选择分析类型为 Transient，单击 OK 按钮，出现 Transient Analysis 对话框，在 [TRNOPT] Solution method 列表框中选择 Full 选项，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options 命令，出现 Full Transient Analysis 对话框，参照图 13-170 所示对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

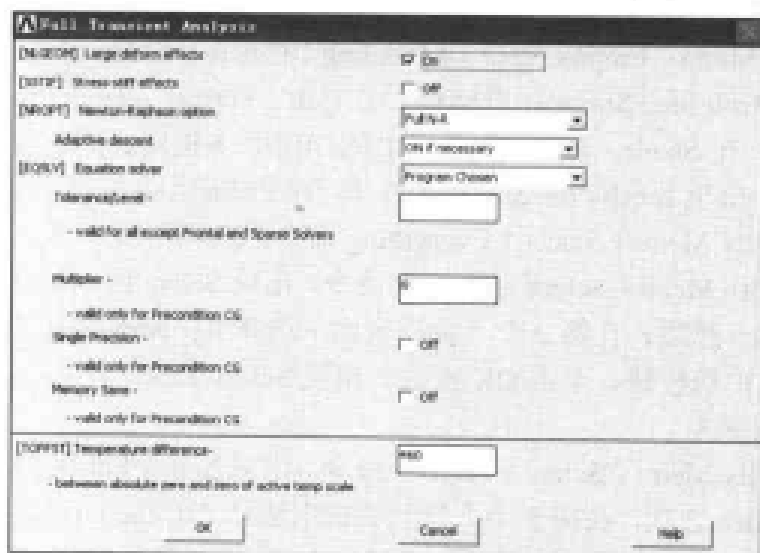


图 13-170 瞬态分析选项设置对话框

(3) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | Uniform Temp 命令，出现 Uniform Temperature 对话框，在 [TUNIF] Uniform temperature 文本框中输入 0，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time Integration |

Amplitude Decay 命令, 出现 Time Integration Controls 对话框, 参照图 13-171 所示对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令, 出现 Solution Controls 对话框, 参照图 13-172 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

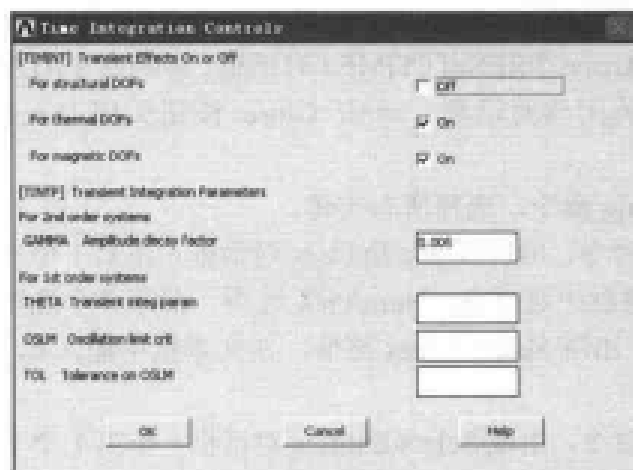


图 13-171 时间积分控制对话框

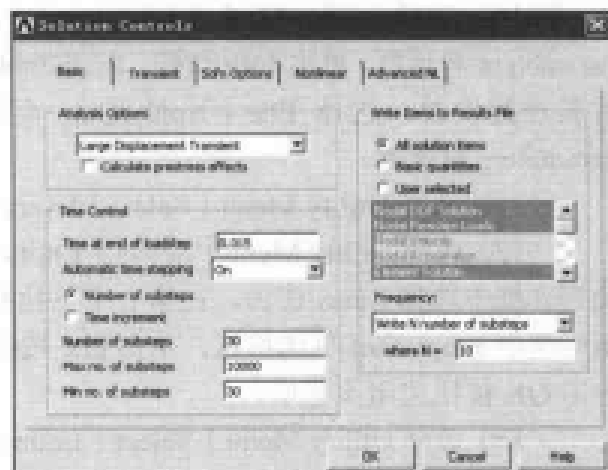


图 13-172 求解控制对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 7, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选择 From Full, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Utility Menu | Parameters | Array Parameters | Define/Edit 命令, 出现 Array Parameters 对话框, 单击 Add 按钮, 出现 Add New Array Parameter 对话框, 在 Par Parameter name 文本框中输入 PRESS, 在 Type Parameter type 选项组中选中 Table 单选按钮, 在 Var1 Row Variable 文本框中输入 TIME, 其余选项采用默认设置, 如图 13-173 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框, 单击 Close 按钮关闭 Add New Array Parameter 对话框。

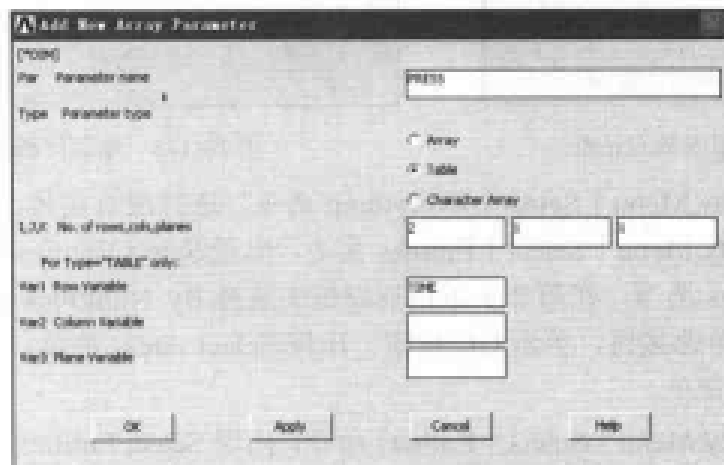


图 13-173 添加数组参数对话框

(9) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Pressure | On Nodes 命令, 出现 Apply PRES on Nodes 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply PRES on nodes 对话框, 在 [SF] Apply PRES on nodes as a 下拉列表框中选择 Existing table 选项, 单击 OK 按钮, 出现 Apply PRES on nodes 对话框, 采用其默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Parameters | Array Parameters | Define/Edit 命令, 出现 Array Parameters 对话框, 单击 Edit 按钮, 出现 Table Array: PRES=f(TIME) 对话框, 参照图 13-174 对其进行设置, 选择 File | Apply/Quit 命令关闭该对话框, 单击 Close 按钮关闭 Array Parameters 对话框。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令, 选择所有实体。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 6, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(13) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes 命令, 出现 Apply U,ROT on N 菜单, 单击 Pick All 按钮, 出现 Apply U,ROT on Nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 UX 选项, 在 VALUE Displacement value 文本框中输入 15, 如图 13-175 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

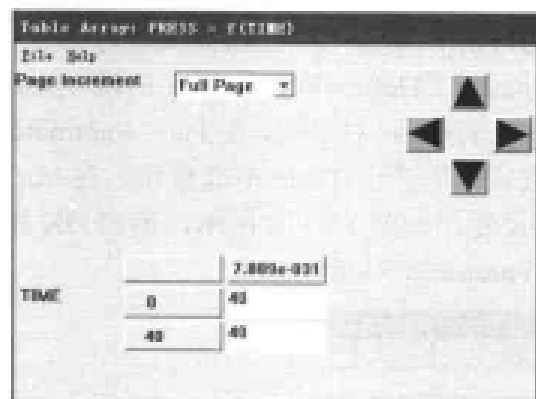


图 13-174 输入数组参数对话框

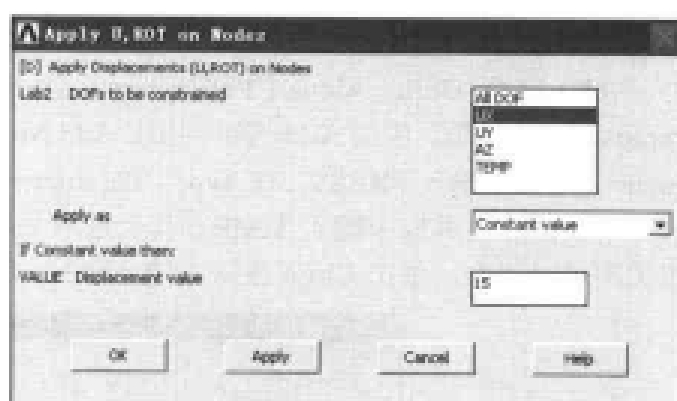


图 13-175 施加位移载荷对话框

(15) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令, 选择所有实体。

(16) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Areas 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/Pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Areas 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(17) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组

中选中 Areas,all 单选按钮,在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes 命令,出现 Apply U,ROT on N 菜单,单击 Pick All 按钮,出现 Apply U,ROT on Nodes 对话框,在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 UX、UY 选项,在 VALUE Displacement value 文本框中输入 0,单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令,选择所有实体。

(20) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令,出现 Solve Current Load Step 对话框,单击 OK 按钮,ANSYS 将开始求解计算。

(21) 求解结束时,出现 Note 提示框,单击 Close 按钮关闭该对话框。

(22) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令,出现 Save Database 对话框,在 Save Database to 文本框中输入 exercise72.db,保存求解结果,单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步:查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令,出现 Contour Nodal Solution Data 对话框,在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | DOF solution | Nodal Temperature 选项,单击 OK 按钮,ANSYS 窗口将显示如图 13-176 所示的滑块运动结束时的温度场等值线图。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令,出现 Contour Nodal Solution Data 对话框,在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | Stress | X-Component of stress 选项,单击 OK 按钮,ANSYS 窗口将显示如图 13-177 所示的滑块内部 X 方向力场等值线图。

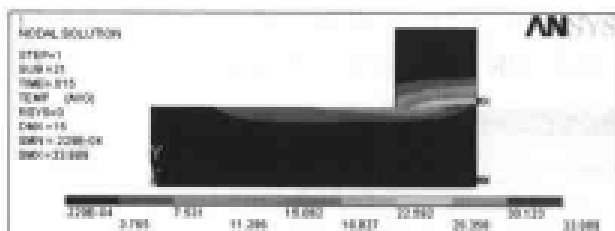


图 13-176 滑块运动结束时其内部温度场等值线

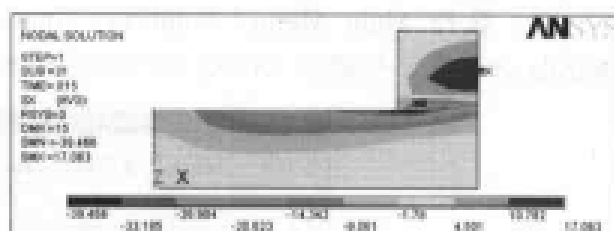


图 13-177 滑块内部 X 方向应力场等值线

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令,出现 Contour Nodal Solution Data 对话框,在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | Stress | Y-Component of stress 选项,单击 OK 按钮,ANSYS 窗口将显示如图 13-178 所示的滑块内部 Y 方向力场等值线图。

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令,出现 Contour Nodal Solution Data 对话框,在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | Stress | Z-Component of stress 选项,单击 OK 按钮,ANSYS 窗口将显示如图 13-179 所示的滑块内部 Z 方向力场等值线图。

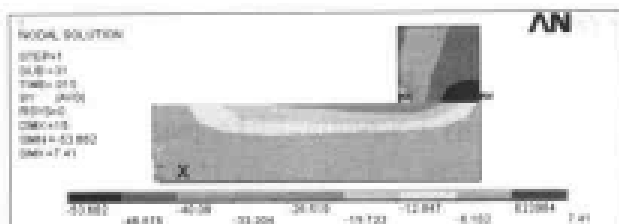


图 13-178 滑块内部 Y 方向应力场等值线

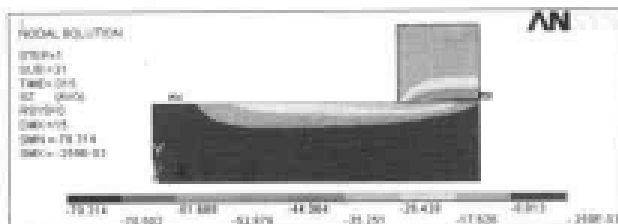


图 13-179 滑块内部 Z 方向应力场等值线

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框，在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项，单击 OK 按钮，ANSYS 窗口将显示如图 13-180 所示的滑块内部等效应力场等值线图。

(6) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令，出现 Contour Nodal Solution Data 对话框，在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | Total Strain | von Mises total strain 选项，单击 OK 按钮，ANSYS 窗口将显示如图 13-181 所示的滑块内部等效应变场等值线图。

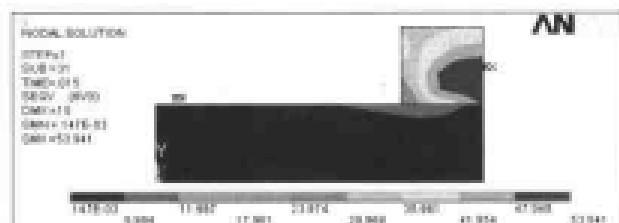


图 13-180 滑块内部等效应力场等值线



图 13-181 滑块内部等效应变场等值线

第七步：再次进入求解器，计算热传导过程

(1) 选择 Main Menu | Solution | Analysis Type | Sol'n Controls 命令，出现 Solution Controls 对话框，参照图 13-182 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

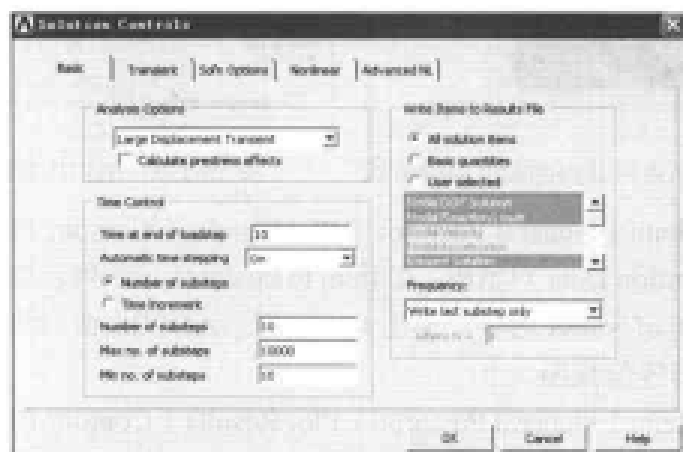


图 13-182 求解控制对话框

(2) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令，出现 Solve Current Load Step 对话框，单击 OK 按钮，ANSYS 将开始求解计算。

(3) 求解结束时，出现 Note 提示框，单击 Close 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise53.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第八步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 在 Item to be contoured 列表框中选择 DOF solution Temperature TEMP 选项, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口将显示如图 13-183 所示的 10 秒后的温度场等值线图。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 在 Item to be contoured 列表框中选择 Nodal Solution | Stress | von Mises stress 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口将显示如图 13-184 所示的滑块内部等效应力场等值线图。

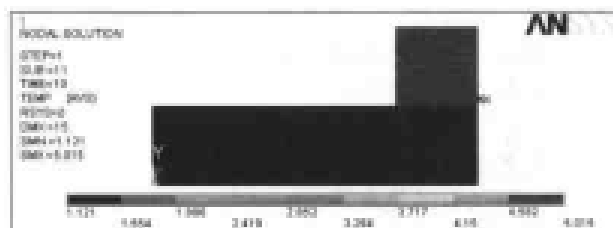


图 13-183 10 秒后的温度场等值

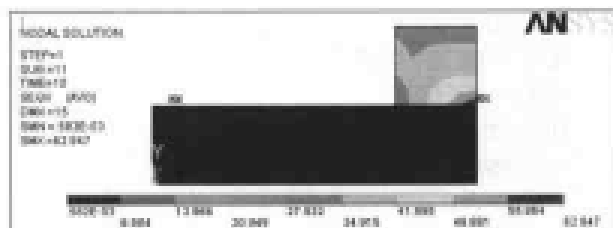


图 13-184 等效应力场等值线

(3) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/PILNAME, EXERCISE7                ! 定义工作文件名
/TITLE, FRICTION HEATING OF A SLIDING BLOCK    ! 定义工作标题

/PREP7                               ! 进入前处理器
ET, 1, PLANE13                       ! 定义工单元类型
ET, 2, TARGET169
ET, 3, CONTA171
KEYOPT, 1, 1, 4                      ! 定义单元关键字
KEYOPT, 1, 3, 0
KEYOPT, 3, 1, 1
MP, EX, 1, 69000                     ! 输入材料性能参数
MP, DENS, 1, 2.7E-9
MP, ALPX, 1, 23.9E-6
MP, PRXY, 1, 0.3
MP, MU, 1, 0.2
MP, KXX, 1, 150
MP, C, 1, 9E8

/PNUM, LINE, 1                      ! 显示线段编号
RECTNG, , 20, , 5                  ! 生成矩形面
RECTNG, , 5, 5, 10
LESIZE, ALL, 1, , , 1, 1          ! 设置单元等份数
AMESH, ALL                          ! 对面进行网格划分

```


热分析教程与实例解析

```
LSPLOT                                ! 显示线段
LSEL, S, , , 3                        ! 选择线段
NSLL, S, 1                            ! 选择线段上所有点
R, 1
TYPE, 2
ESURF                                ! 生成表面单元
ALLSEL                                ! 选择所有实体

LSEL, S, , , 5
NSLL, S, 1
TYPE, 3
ESURF                                ! 生成表面单元
ALLSEL
FINISH

/SOLU                                ! 进入求解器
ANTYPE, TRANS                        ! 指定分析类型为瞬态分析
NLGEOM, ON                           ! 打开大应变选项
NROPT, UNSYM
TOFFSET, 460                         ! 设置温度偏移量
TUNIF, 0.00                          ! 施加均匀温度载荷
TIMINT, OFF, STRUC                  ! 关闭结构时间积分选项
TINTP, , , , 1.0
TIME, 1.5E-2                         ! 指定计算终止时间
AUTOTS, ON                          ! 开启自动时间步长
NSUBST, 30, 10000, 30               ! 指定步长
OUTRES, ALL, -10                    ! 设置输出控制选项
LSEL, S, , , 7
NSLL, S, 1
*DIM, PRESS, TABLE, 2, 1, 1, TIME ! 创建数组
SF, ALL, PRES, %PRESS%              ! 施加压力载荷
PRESS(1, 0, 1)=0
PRESS(1, 1, 1)=40
PRESS(2, 0, 1)=40
PRESS(2, 1, 1)=40
ALLSEL
LSEL, S, , , 6
NSLL, S, 1
D, ALL, UX, 15                       ! 施加位移载荷
ALLSEL
ASEL, S, , , 1
NSLA, S, 1
D, ALL, UX, 0                         ! 设置位移边界条件
D, ALL, UY, 0
ALLSEL
SOLVE                                ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                                ! 进入后处理器
PLNSOL, TEMP                         ! 绘制温度场等值线图
```



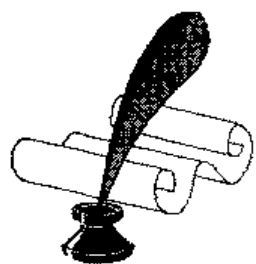
```

PLNSOL, S, X          ! 绘制 X 方向位移场等值线图
PLNSOL, S, Y          ! 绘制 Y 方向位移场等值线图
PLNSOL, S, Z          ! 绘制 Z 方向位移场等值线图
PLNSOL, S, EQV        ! 绘制等效应力场等值线图
PLNSOL, EPTO, EQV     ! 绘制等效应变场等值线图
FINISH

/SOLU                  ! 进入求解器
TIME, 10
AUTOTS, ON
TINTP, , , , 1.0
NSUB, 10, 10000, 10
OUTRES, ALL, LAST
SOLVE                  ! 开始求解计算
FINISH

/POST1                 ! 进入后处理器
PLNSOL, TEMP          ! 绘制温度场等值线图
PLNSOL, S, EQV        ! 绘制等效应力场等值线图
PLNSOL, EPTO, EQV     ! 绘制等效应变场等值线图
FINISH
/EXIT, ALL             ! 退出 ANSYS

```

[illegible]

Chapter 14

FLOTRAN 热分析实例详解

本章提示:

本章向读者介绍流体热分析的工程应用实例,通过实例分析和求解的形式加深读者对流体热分析过程及其分析步骤的进一步理解。

学习目标:

通过本章的学习,要求读者掌握 ANSYS 10.0 流体热分析的基本步骤,熟悉相应的界面操作步骤以及相关命令,并掌握实际流体热分析问题的建模方法、求解思路与技巧。

14-1 实例 1——层流流体受均匀壁面热通量

14-1-1 问题描述

有一圆柱形导管，传输液体水银，在入口处受大小为 p 的压力，在导管的外壁施加大小为 q 的壁面热通量，液体水银入口处温度为 T ，如图 14-1 所示。导管的几何参数、载荷与水银的材料参数如表 14-1、14-2 所示，求在以下假设条件下液体流动过程的速度场、温度场、壁面剪切应力场以及中心线上各点的速度和温度随位移的变化关系曲线。

假设条件：

- 液体流动为稳态流动；
- 液体为不可压缩液体；
- 忽略液体的重力；
- 液体材料参数为常量；
- 忽略导管壁面热阻抗；
- 液体径向与轴向速度均为 0。

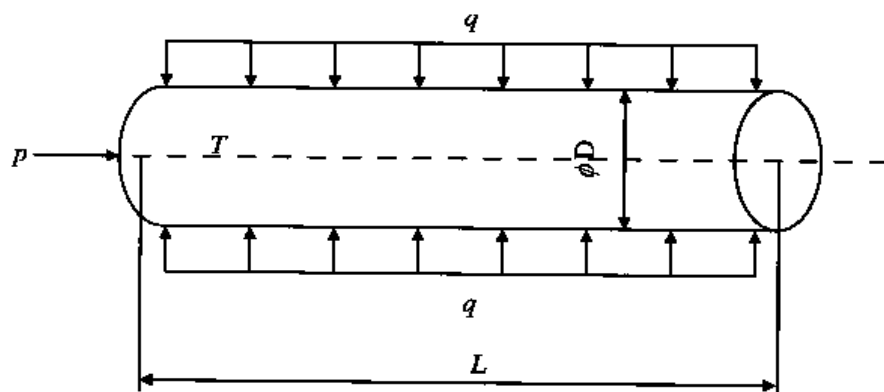


图 14-1 流体在导管中传送示意图

表 14-1 液体水银材料参数

密度 ρ kg/m^3	粘度 ν $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$	导热系数 K $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	比热 C $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
13530	1.52×10^{-3}	8.55	139.5

表 14-2 导管几何参数及载荷

直径 D m	长度 L m	压力 p Pa	温度 T K	壁面热通量 q W/m^2
0.006	0.12	1	350	3000

14-1-2 问题分析

该问题研究对象为圆柱形导管内的液体水银，根据问题的轴对称性，取液体水银纵截面的一半，建立有限元计算模型进行分析求解。

14-1-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE1，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 LAMINAR FLOW THROUGH A PIPE SUBJECTED TO UNIFORM THERMAL FLUX，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 FLOTRAN CFD 复选框，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(3) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 FLOTRAN CFD、2D FLOTRAN 141 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，如图 14-2 所示。

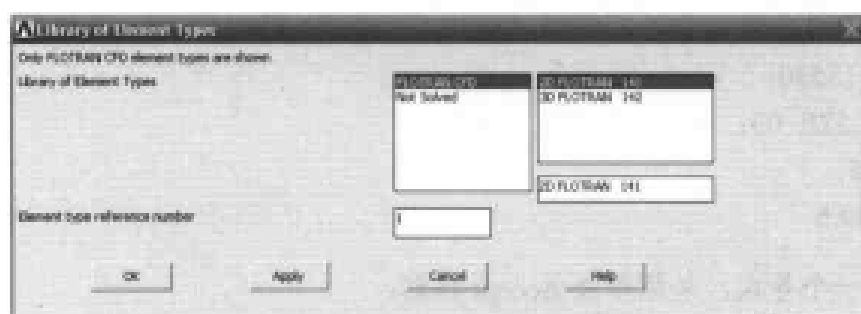


图 14-2 单元类型列表对话框

(3) 单击 OK 按钮，关闭 Library of Element Types 对话框。

(4) 单击 Element Types 对话框中的 Options 按钮，出现 FLUID 141 element type options 对话框，在 Element coordinate system K3 下拉列表框中选择 Axisymmetric about X 选项，其余选项均采用默认设置，如图 14-3 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

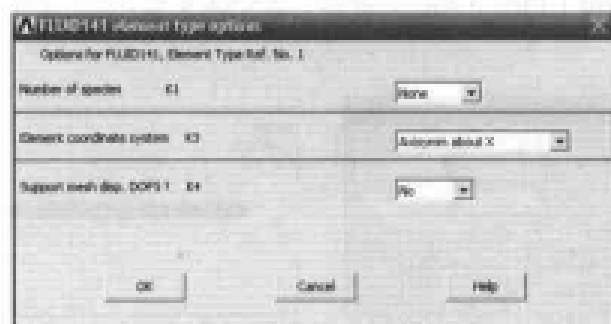


图 14-3 FLUID141 单元属性设置对话框

(5) 单击 Close 按钮，关闭 Element Type 对话框。

第三步：建立几何模型、划分网格

(1) 选择 Utility Menu | Parameters | Scalar Parameters 命令, 出现 Scalar Parameters 对话框, 在文本框中输入 $L=0.12$, 如图 14-4 所示, 单击 Accept 按钮。

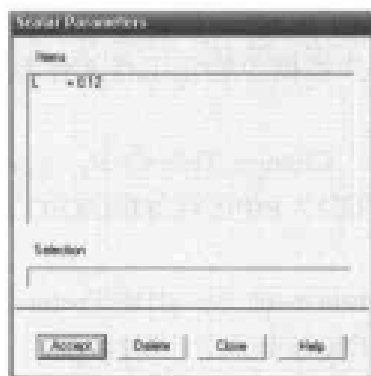


图 14-4 标定参量对话框

(2) 参照上一步的操作, 依次输入以下参数值:

$R=0.003$;

$PRES=1.0$;

$TEMP=350$;

$QW=3000$;

$RHO=13530$;

$MU=1.52E-03$;

$K=8.55$;

$CP=139.5$

提示: 每次输入一个等式, 必须单击 Accept 按钮。

(3) 单击 Close 按钮, 关闭 Scalar Parameters 对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Rectangle | By Dimensions 命令, 出现 Create Rectangle By Dimensions 对话框, 在 X1,X2 X-coordinates 文本框中输入 X 坐标 0、L, 在 Y1,Y2 Y-coordinates 文本框中输入 Y 坐标 0、R, 如图 14-5 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

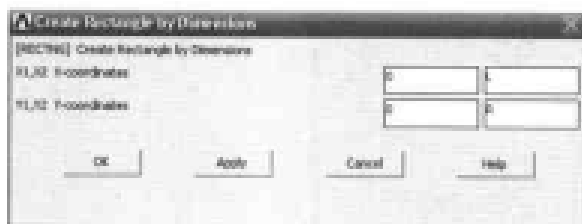


图 14-5 生成矩形面对话框

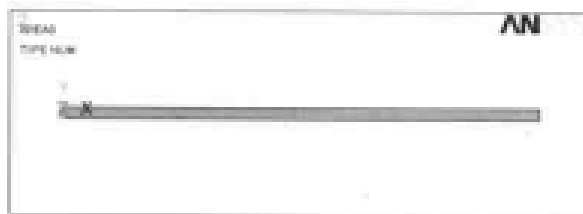


图 14-6 生成的几何模型结果显示

(5) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令, ANSYS 显示窗口将显示所生成的几何模型, 如图 14-6 所示。

(6) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Size and Shape 命令, 出现 Size and Shape 对话框

框, 在 RATOY Y distortion ratio 文本框中输入 10, 其余选项均采用默认设置, 如图 14-7 所示。

(7) 单击 OK 按钮, 关闭 Size and Shape 对话框。ANSYS 显示沿 Y 方向放大 10 倍的几何模型, 如图 14-8 所示。

提示: 该操作只是在显示时, 将模型沿 Y 方向放大 10 倍, 并不影响 ANSYS 的计算过程。

(8) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令, 出现 Plot Numbering Controls 对话框, 选择 LINE Line numbers 选项, 使其状态从 Off 变为 On, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

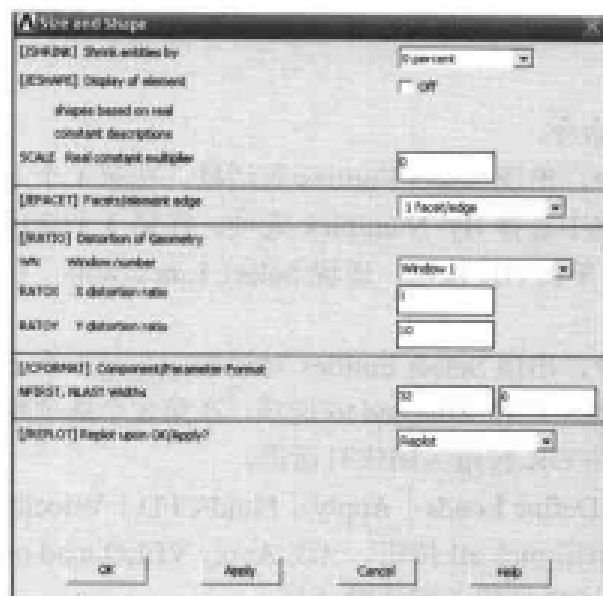


图 14-7 尺寸和形状设置对话框

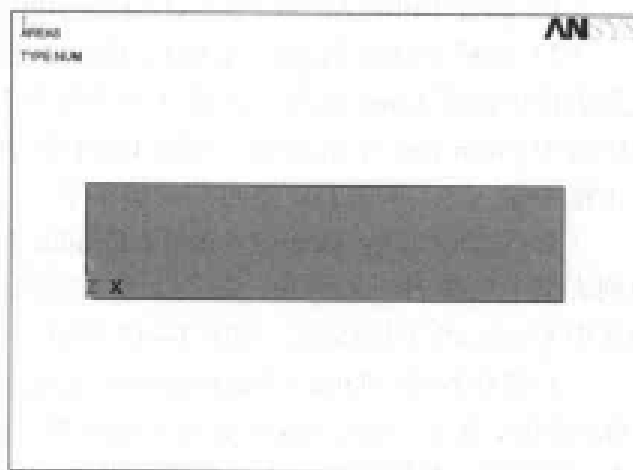


图 14-8 径向放大 10 倍的几何模型

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size cntrls | ManualSize | Lines | Picked lines 命令, 出现 Element Size On Picked Lines 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element 文本框中输入 10, 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入 -2, 如图 14-9 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

提示: 在 SPACE Spacing ratio 文本框中输入负值表示在网格划分过程中单元尺寸大小从几何模型的中间向两端变化。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size cntrls | ManualSize | Lines | Picked lines 命令, 出现 Element Size On Picked Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size On Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 100, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Area | free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮, 网格划分后的结果如图 14-10 所示。

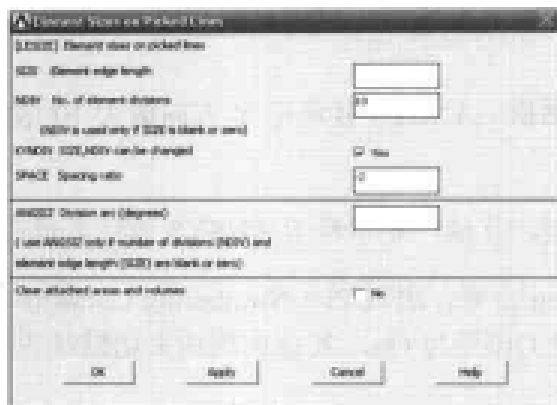


图 14-9 单元尺寸设置对话框

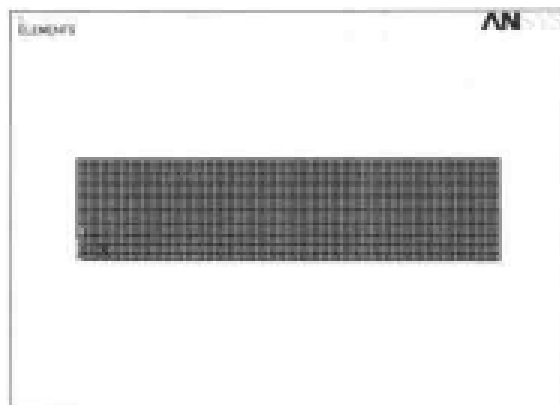


图 14-10 网格划分结果显示

第四步：施加载荷

(1) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(2) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项，在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮，如图 14-11 所示，单击 OK 按钮，出现 Select Lines 菜单，在文本框中输入 3，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(3) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令，出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项，在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项，在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮，如图 14-12 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Velocity | On Nodes 命令，出现 Apply V on Nodes 菜单，单击 pick all 按钮，出现 Apply VELO load on nodes 对话框，参照图 14-13 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

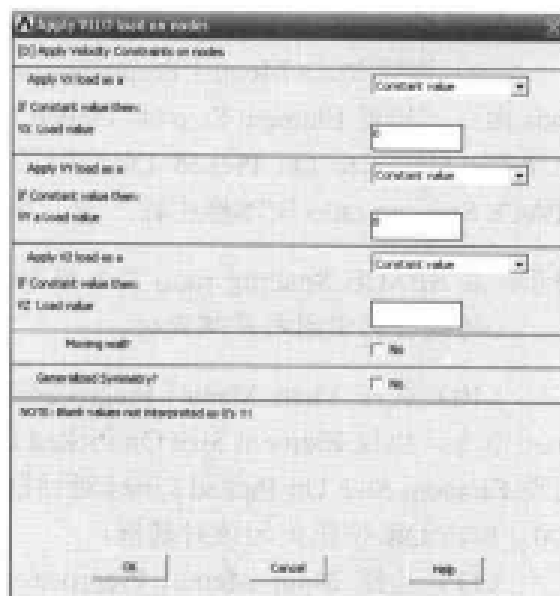
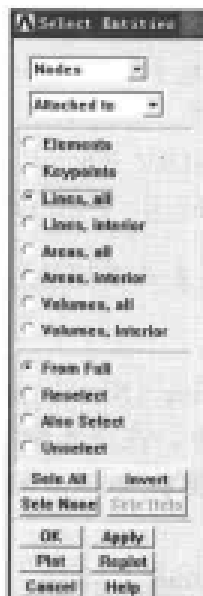
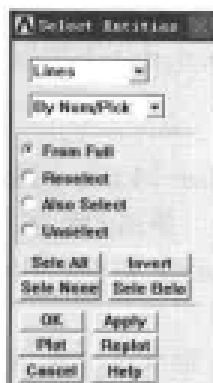


图 14-11 选择线段对话框 图 14-12 选择节点对话框

图 14-13 施加速度载荷对话框

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Heat Flux | On Nodes 命令，出现 Apply HFLUX on nodes 菜单，单击 pick all 按钮，出现 Apply HFLUX

on nodes 对话框。在 VALUE Load HFLUX value 文本框中输入 QW, 如图 14-14 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

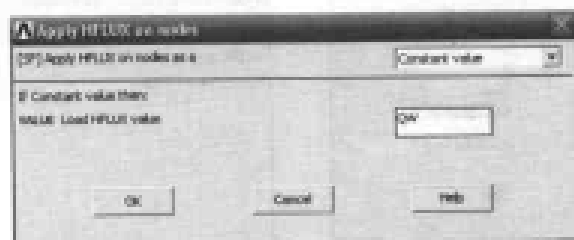


图 14-14 施加热流密度载荷对话框

(6) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 1, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(8) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Velocity | On Nodes 命令, 出现 Apply V on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply VELO load on nodes 对话框, 在 VY a Load value 文本框中输入 0, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(11) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 4, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Velocity | On Nodes 命令, 出现 Apply V on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply VELO load on nodes 对话框, 在 VY a Load value 文本框中输入 0, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on nodes 对话框, 在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 TEMP, 如图 14-15 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Pressure DOF | On Nodes 命令, 出现 Apply PRES on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply PRES on nodes 对话框。在 PRES Pressure value 文本框中输入 PRES, 如图 14-16 所示,

单击 OK 按钮关闭该对话框。

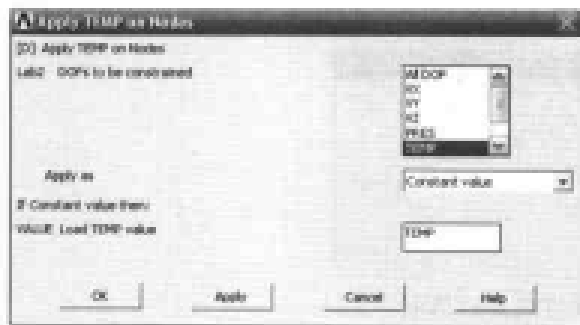


图 14-15 施加温度载荷对话框图

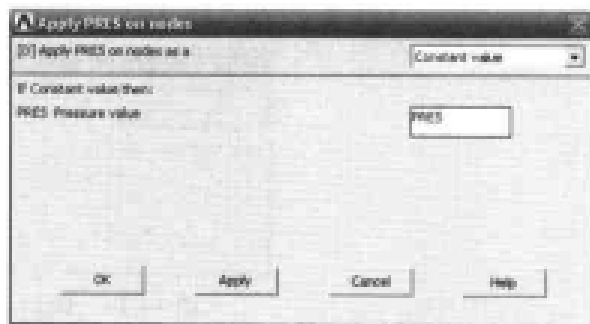


图 14-16 施加压力载荷对话框

(16) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(17) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Lines 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 By Num/pick 选项, 在第 3 个选项组中选 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮, 出现 Select Lines 菜单, 在文本框中输入 2, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(18) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框。在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选 Lines, all 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Velocity | On Nodes 命令, 出现 Apply V on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply VELO load on nodes 对话框, 在 VY a Load value 文本框中输入 0, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Pressure DOF | On Nodes 命令, 出现 Apply PRES on nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply PRES on nodes 对话框, 在 PRES Pressure value 文本框中输入 0, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(21) 选择 Utility Menu | Plot | Element 命令, ANSYS 显示窗口显示加载后的结果, 如图 14-17 所示。

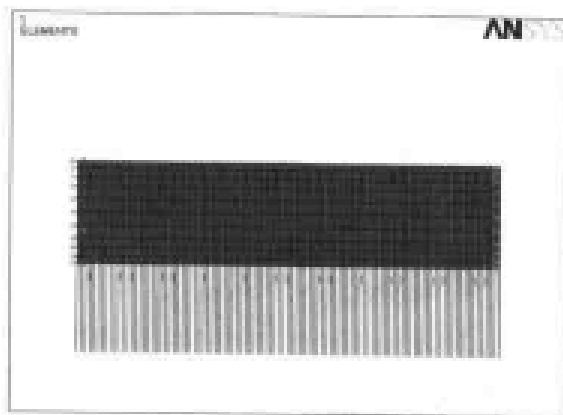


图 14-17 加载后的结果显示

(22) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise11.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第五步：求解

(1) 选择 Main Menu | Solution | FLOTTRAN Set Up | Execution Ctrl 命令，出现 Steady State Control Settings 对话框，参照图 14-18 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Solution | FLOTTRAN Set Up | Fluid Properties 命令，出现 Fluid Properties 对话框，在 Density 下拉列表框中选择 Constant 选项，如图 14-19 所示，单击 OK 按钮，出现 CFD Flow Properties 对话框，参照图 14-20 对其进行设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Solution | FLOTTRAN Set Up | Flow Environment | Ref Conditions 命令，出现 Reference Conditions 对话框，在 [FLDATA14],TEMP,NOMI Nominal Temperature 文本框中输入 TEMP，其余选项采用默认设置，如图 14-21 所示，单击 OK 按钮关闭该对话框。

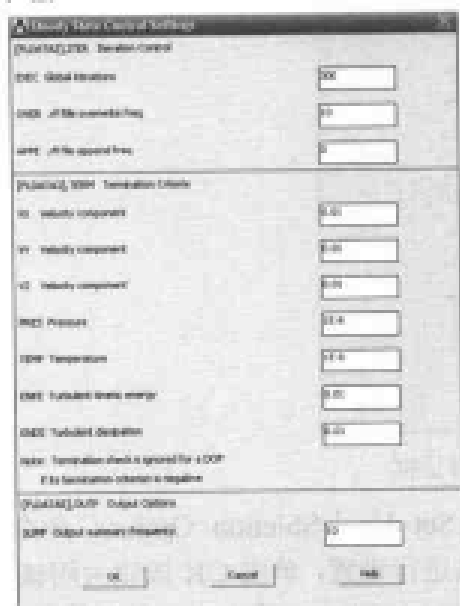


图 14-18 稳态求解控制选项设置对话框

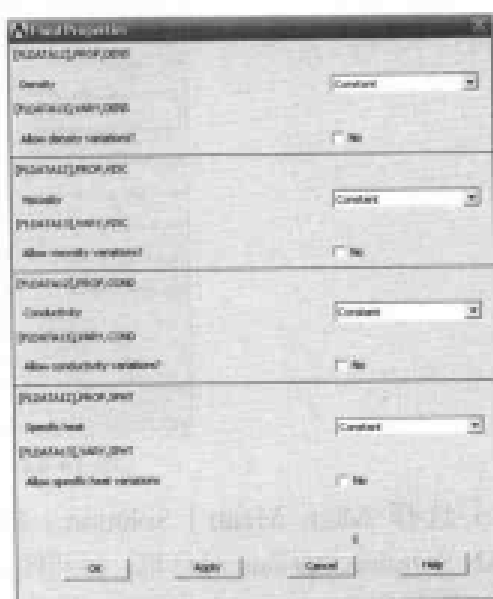


图 14-19 流体属性设置对话框

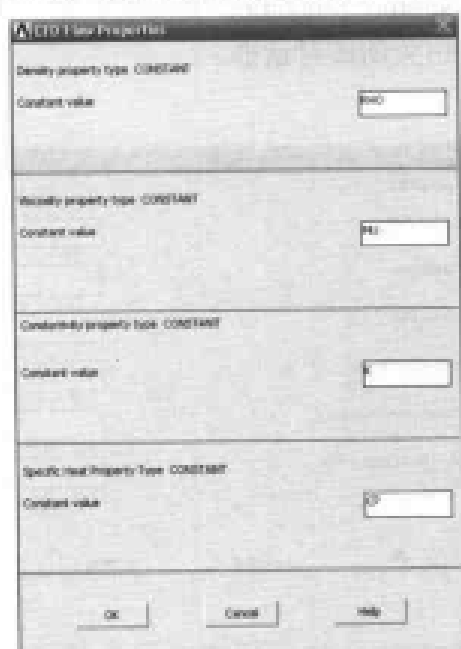


图 14-20 输入流体材料性能参数对话框

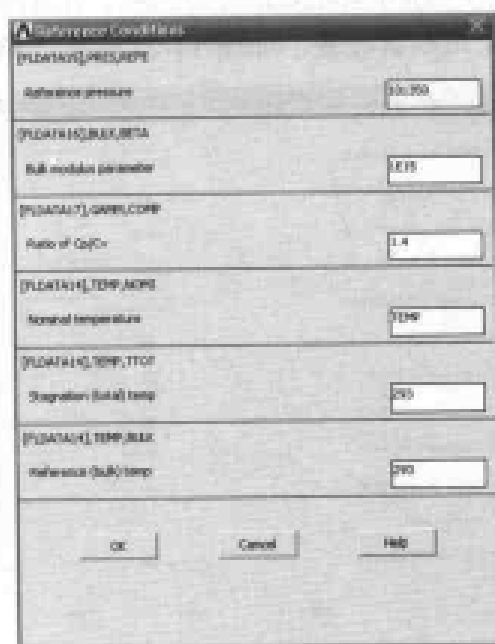


图 14-21 输入环境参数对话框

(4) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Additional Out | RFL Out Derived 命令, 出现 RFL Output Derived 对话框, 参照图 14-22 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(6) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击其上的 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Execution Ctrl 命令, 出现 Steady State Control Settings 对话框, 在 EXEC Global Iterations 文本框中输入 50, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

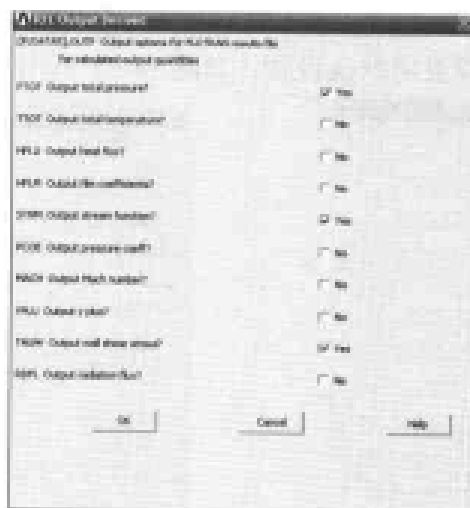


图 14-22 输出设置对话框

(8) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Solution Options 命令, 出现 FLOTRAN Solution Options 对话框, 参照图 14-23 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Relax/Stab/Cap | DOF Relaxation 命令, 出现 DOF Relaxation 对话框, 在 TEMP Temperature relaxation 文本框中输入 1, 其余选项均采用默认设置, 如图 14-24 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

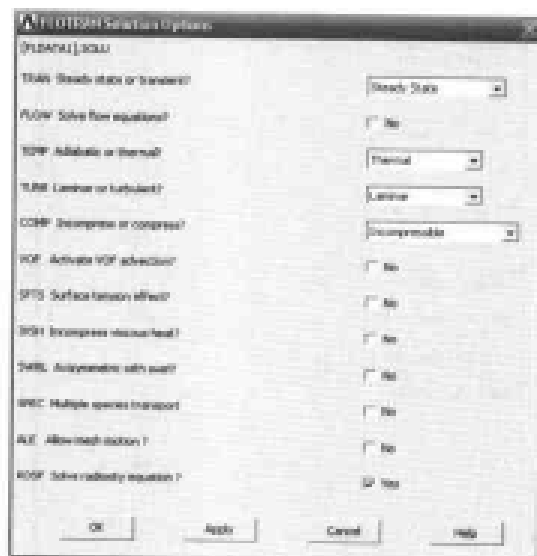


图 14-23 求解设置对话框

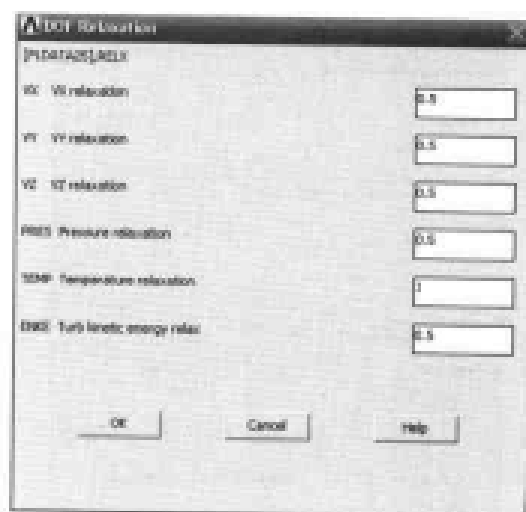


图 14-24 温度载荷松弛因子设置对话框

(10) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。

(11) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击其上的 Close 按钮关闭该对话框。

(12) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database 到文本框中输入 exercise12.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第六步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示如图 14-25 所示的流体纵截面温度场分布等值线图。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF solution | X-Component of fluid velocity 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示如图 14-26 所示的流体轴向速度场分布等值线图。

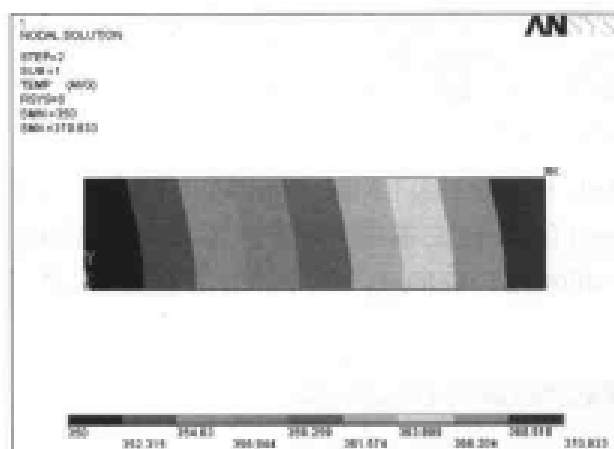


图 14-25 流体纵截面温度场分布等值线图

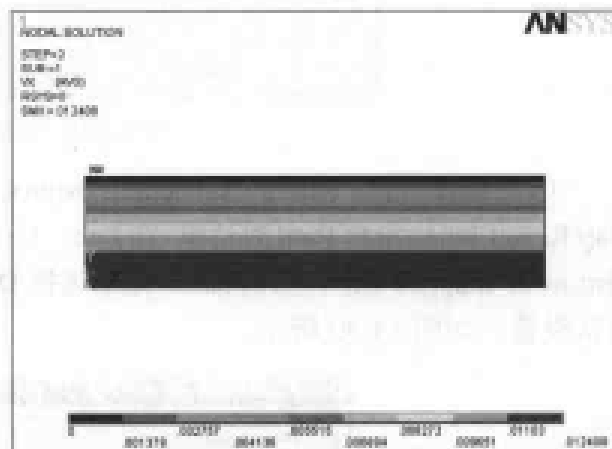


图 14-26 流体轴向速度场分布等值线图

(4) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | Other FLOTRAN Quantities | Shear stress at the wall, 单击 OK 按钮, ANSYS 窗口显示如图 14-27 所示的流体与导管壁间的壁面剪切应力场分布等值线图。

(5) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Location 命令, 出现 By Location 对话框, 在 Name Define Path Name 文本框中输入 PIPE1, 其余选项采用默认设置, 如图 14-28 所示。

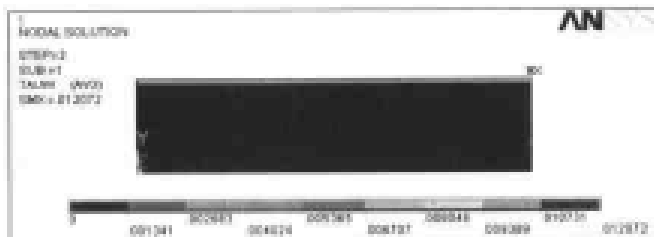


图 14-27 壁面剪切应力场分布等值线图

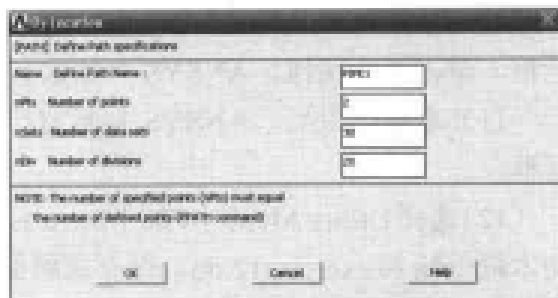


图 14-28 设置路径对话框

(6) 单击 OK 按钮, 出现 By Location in Global Cartesian 对话框, 参照图 14-29 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 By Location in Global Cartesian 对话框, 在 NPT Path point number 文本框中输入 2, 在 X,Y,Z Location in Global CS 文本框中依次输入 L、R、0, 单击 OK 按钮, 出现 By Location in Global Cartesian 对话框, 单击 Cancel 按钮关闭该对话框。

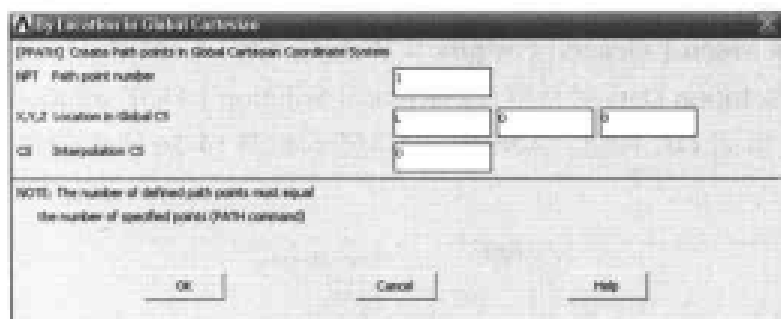


图 14-29 定义路径点对话框

(7) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 VX, 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 DOF solution、Velocity VX 选项, 其余选项采用默认设置, 如图 14-30 所示。

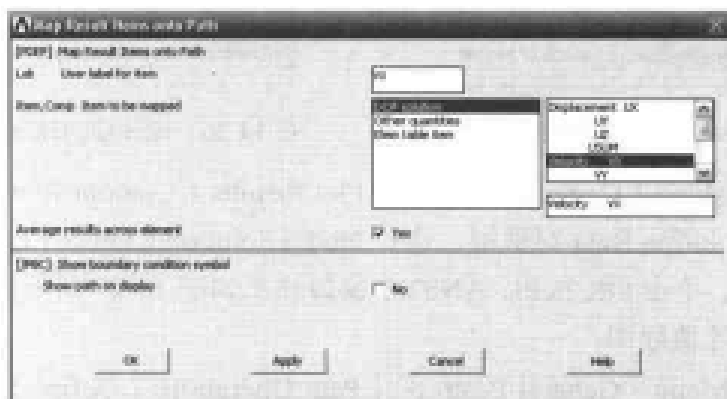


图 14-30 映射计算结果到路径上对话框

(8) 单击 Apply 按钮, 在 Lab User label for item 文本框中输入 TEMP, 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 DOF solution、Temperature TEMP 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Style | Size and Shape 命令, 出现 Size and Shape 对话框, 在 RATOY Y distortion ratio 文本框中输入 1, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令, 出现 Change Title 对话框, 在文本框中输入 AXIAL VELOCITY PROFILE, VX(R), 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 参照图 14-31 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

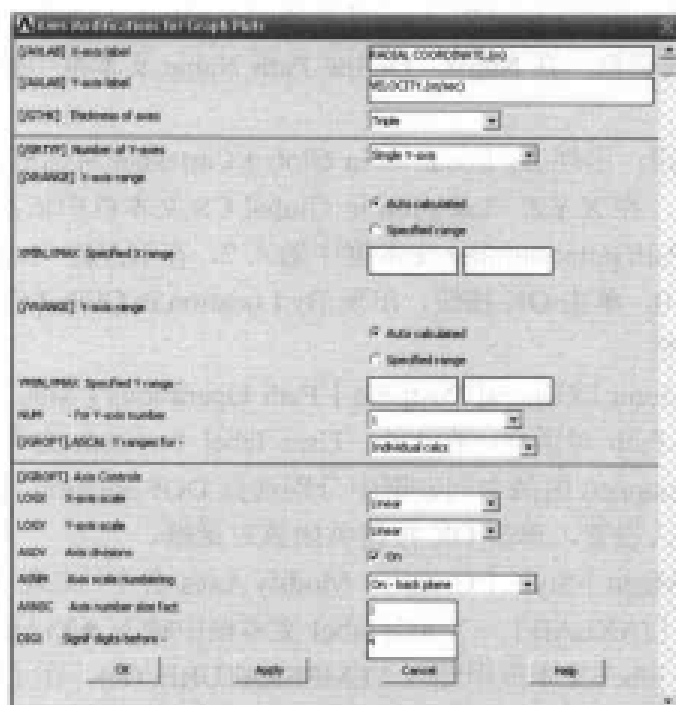


图 14-31 坐标轴设置对话框

(12) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Curve 命令, 出现 Curve Modifications for Graph Plots 对话框, 参照图 14-32 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(13) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在列表框中选择 VX 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示出口处流体轴向速度和径向位移的关系曲线, 如图 14-33 所示。

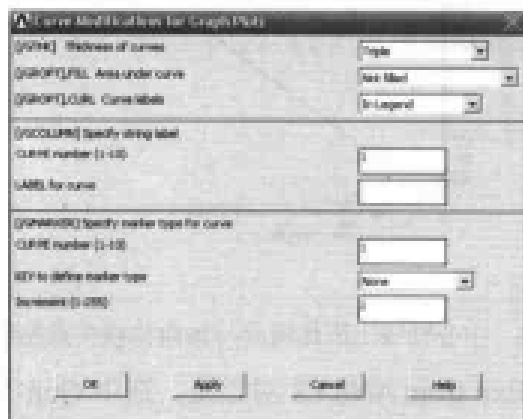


图 14-32 曲线设置对话框

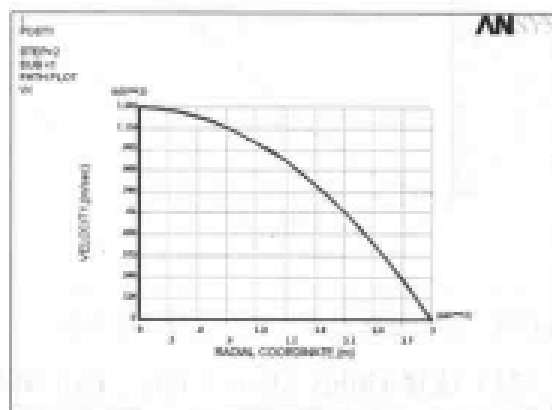


图 14-33 出口流体轴向速度与径向位移关系曲线

热分析教程与实例解析

(14) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 RADIAL COORDINATE,(m), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 EMPERATURE, (K), 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(15) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在列表框中选择 TEMP 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示出口处流体温度和径向位移的关系曲线, 如图 14-34 所示。

(16) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Location 命令, 出现 By Location 对话框, 在 Name Define Path Name 文本框中输入 PIPE2, 其余选项采用默认设置。

(17) 单击 OK 按钮, 出现 By Location in Global Cartesian 对话框, 在 NPT Path point number 文本框中输入 1, 在 X,Y,Z Location in Global CS 文本框中依次输入 0、0、0, 单击 Apply 按钮, 在 NPT Path point number 文本框中输入 2, 在 X,Y,Z Location in Global CS 文本框中依次输入 L、0、0, 单击 OK 按钮, 出现 By Location in Global Cartesian 对话框, 单击 Cancel 按钮关闭该对话框。

(18) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path 命令, 出现 Map Result Items onto Path 对话框, 在 Lab User label for item 文本框中输入 TEMP, 在 Item,Comp Item to be mapped 的两个列表框中分别选择 DOF solution、Temperature TEMP 选项, 其余选项均采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(19) 选择 Utility Menu | Style | Graphs | Modify Axes 命令, 出现 Axes Modifications for Graph Plots 对话框, 在 [/AXLAB] X-axis label 文本框中输入 AXIAL COORDINATE, (m), 在 [/AXLAB] Y-axis label 文本框中输入 TEMPERATURE, (K), 在 [/GTHK] Thickness of axes 下拉列表框中选择 Triple 选项, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(20) 选择 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Plot Path Item | On Graph 命令, 出现 Plot of Path Items on Graph 对话框, 在列表框中选择 TEMP, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示中心轴线上流体温度和轴向位移的关系曲线, 如图 14-35 所示。

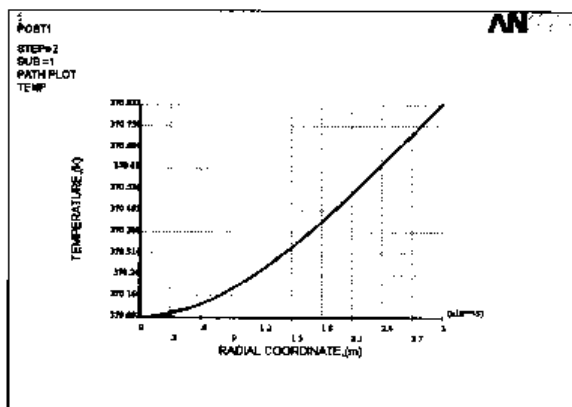


图 14-34 出口流体温度与径向位移关系曲线

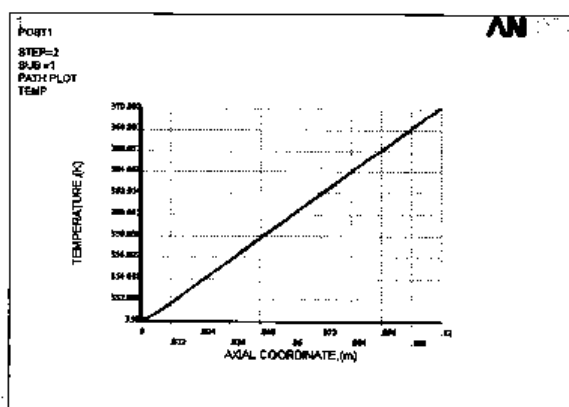


图 14-35 中心轴线上流体温度与轴向位移关系曲线

(21) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 退出并关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE1                ! 定义工作文件名
/TITLE, LAMINAR FLOW THROUGH A PIPE SUBJECTED TO UNIFORM THERMAL FLUX
                                      ! 定义工作标题
KEYW, PR_CFD, 1                     ! 选择分析类型为流体分析

/PREP7                               ! 进入前处理器
ET, 1, FLUID141                     ! 定义单元类型
KEYOPT, 1, 3, 2                     ! 设置单元关键字

L=0.12                               ! 输入参数值
R=0.003
PRES=1.0
TEMP=350
QW=3000
RHO=13530
MU=1.52E-03
K=8.55
CP=139.5

RECTNG, , L, , R                    ! 生成矩形面
/RATIO, , , 10                      ! 将 Y 轴尺寸放大 10 倍
LPLOT                                ! 显示线段
/PNUM, LINE, 1                      ! 显示线段编号
LSEL, S, , , 2, 4, 2                ! 选择编号为 2、4 的线段
LESIZE, ALL, , , 10, -2             ! 设置线段份数
LSEL, S, , , 1, 3, 2                ! 选择编号为 1、3 的线段
LESIZE, ALL, , , 100                ! 设置线段等份数
ALLSEL                               ! 选择所有实体
AMESH, 1                             ! 对面 1 进行网格划分
EPLOT                                ! 显示单元
LSEL, S, , , 3                      ! 选择编号为 3 的线段
NSLL, S, 1                           ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, VX, 0                       ! 施加速度载荷
D, ALL, VY, 0
SF, ALL, HFLUX, QW                  ! 施加热通量载荷
LSEL, S, , , 1                      ! 选择编号为 1 的线段
NSLL, S, 1                           ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, VY                           ! 施加速度载荷
LSEL, S, , , 4                      ! 选择编号为 4 的线段
NSLL, S, 1                           ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, VY, 0                       ! 在进口处施加速度载荷
D, ALL, PRES, PRES                  ! 在进口处施加压力载荷
D, ALL, TEMP, TEMP                  ! 在进口处施加温度载荷
LSEL, S, , , 2                      ! 选择编号为 2 的线段
NSLL, S, 1                           ! 选择线段上的所有节点
D, ALL, VY, 0                       ! 在出口处施加速度载荷
D, ALL, PRES, 0                     ! 在出口处施加压力载荷
ALLSEL                               ! 选择所有实体
FINISH

```


热分析教程与实例解析

```
/SOLU
FLDATA, ITER, EXEC, 300
FLDATA, ITER, CHEC, 10
FLDATA, TEMP, NOMI, TEMP
FLDATA, NOMI, DENS, RHO
FLDATA, NOMI, VISC, MU
FLDATA, NOMI, COND, K
FLDATA, NOMI, SPHT, CP
FLDATA, OUTP, TAUW, T
SOLVE

FLDATA, ITER, EXEC, 50
FLDATA, SOLU, TEMP, T
FLDATA, SOLU, FLOW, F
FLDATA, RELX, TEMP, 1.0
SOLVE
FINISH

/POST1
SET, LAST
PLNSOL, TEMP
PLNSOL, VX
PLNSOL, TAUW
PATH, PIPE1, 2
PPATH, 1, , L, 0, 0
PPATH, 2, , L, R, 0
PDEF, VX, VX
PDEF, TEMP, TEMP
/RATIO
/AXLAB, X, RADIAL COORDINATE, (m)
/AXLAB, Y, VELOCITY, (m/sec)
/DEVICE, RASTOR, ON
/GTHK, AXIS, 3
/GTHK, CURVE, 3
PLPATH, VX
/AXLAB, Y, TEMPERATURE, (K)
PLPATH, TEMP
PATH, PIPE2, 2
PPATH, 1, , 0, 0, 0
PPATH, 2, , L, 0, 0
PDEF, TEMP, TEMP
/AXLAB, X, AXIAL COORDINATE, (m)
/AXLAB, Y, TEMPERATURE, (K)
PLPATH, TEMP
FINISH
/EXIT
```

! 进入求解器
! 指定迭代次数
! 指定检测频率
! 指定流体温度
! 指定流体密度
! 指定流体粘度
! 指定流体热导率
! 指定流体比热
! 指定输出壁面剪切应力
! 开始求解计算

! 指定迭代次数
! 激活能量方程
! 关闭流动方程
! 指定温度松弛因子
! 开始求解计算

! 进入 POST1 后处理器
! 读取最终求解结果
! 显示温度场等值线图
! 显示轴向速度等值线图
! 显示壁面剪切应力等值线图
! 设置路径
! 通过坐标设置路径点

! 将轴向速度映射到路径上
! 将温度映射到路径上

! 定义 X 坐标轴标题
! 定义 Y 坐标轴标题

! 指定坐标轴粗度
! 指定图形曲线粗度
! 曲线显示路径
! 定义 Y 坐标轴标题
! 曲线显示路径
! 设置路径
! 通过坐标设置路径点

! 将温度映射到路径上
! 定义 X 坐标轴标题
! 定义 Y 坐标轴标题
! 曲线显示路径

! 退出 ANSYS

14-2 实例 2——空腔中空气的热稳态层流分析

14-2-1 问题描述

图 14-36 所示为八边形空腔，空腔内气体为空气，工作环境名义温度为 193K，参考压力为 1.0135E5Pa，重力加速度为 9.81m/s^2 ，雷诺数为 $1.01\text{E}5$ ，空腔左壁面承受载荷 $T_1=360\text{K}$ ，空腔右壁面承受载荷 $T_2=200\text{K}$ ，求空腔内气体流动情况。

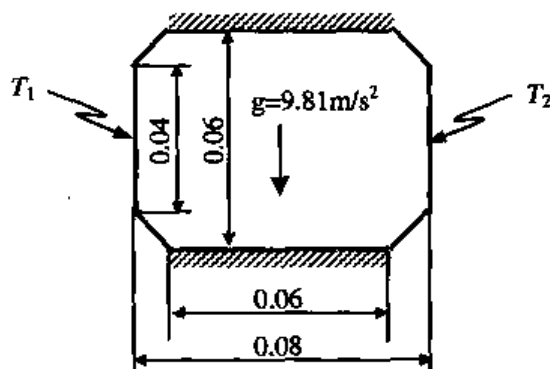


图 14-36 空腔结构示意图

14-2-2 问题分析

由于空腔内气体温度的变化导致了气体密度的变化，而气体密度的变化又引起了层流流动。在分析过程中选择空腔建立几何模型，采用 FLUID141 热-流体耦合单元进行求解。

14-2-3 求解步骤

第一步：建立工作文件名和工作标题

(1) 选择 Utility Menu | File | Change Jobname 命令，出现 Change Jobname 对话框，在 [/FILNAM] Enter new jobname 文本框中输入工作文件名 EXERCISE2，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Utility Menu | File | Change Title 命令，出现 Change Title 对话框，在文本框中输入 BUOYANCY DRIVEN FLOW IN AN OCTAGONAL CAVITY，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(3) 选择 Main Menu | Preferences 命令，出现 Preferences for GUI Filtering 对话框，选中 FLOTRAN CFD 单选按钮，单击 OK 按钮关闭该对话框。

第二步：定义单元类型

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete 命令，出现 Element Type 对话框，单击 Add 按钮，出现 Library of Element Types 对话框。

(2) 在 Library of Element Types 的两个列表框中分别选择 FLOTRAN CFD、2D FLOTRAN 141 选项，在 Element type reference number 文本框中输入 1，单击 OK 按钮，关闭该对话框。

(3) 单击 Element Type 对话框上的 Close 按钮关闭该对话框。

第三步：建立几何模型、划分网格

(1) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Keypoints | In Active CS 命令，出现 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框，在 NPT Keypoint number 文本框中输入关键点编号 1，在 X,Y,Z Location in active CS 文本框中依次输入 0、0、0，如图 14-37 所示，单击 Apply 按钮。

(2) 参照上一步的操作，在 ANSYS 显示窗口创建以下关键点编号及坐标值：

2 (0.06, 0, 0); 3 (0.07, 0.01, 0); 4 (0.07, 0.05, 0);

5 (0.06, 0.06, 0); 6 (0, 0.06, 0);

7 (-0.01, 0.05, 0); 8 (-0.01, 0.01, 0)



图 14-37 生成关键点对话框

提示：每次输入之后必须单击 Apply 按钮。

(3) 单击 OK 按钮关闭 Create Keypoints in Active Coordinate System 对话框。

(4) 选择 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Areas | Arbitrary | Through KPs 命令，出现 Create Area thru 菜单，在文本框中输入 1, 2, 3, 8，单击 Apply 按钮，在文本框中输入 8, 3, 4, 7，单击 Apply 按钮，在文本框中输入 7, 4, 5, 6，单击 OK 按钮关闭该菜单。

(5) 选择 Utility Menu | Plot | Areas 命令，ANSYS 显示窗口将显示生成的几何模型，如图 14-38 所示。

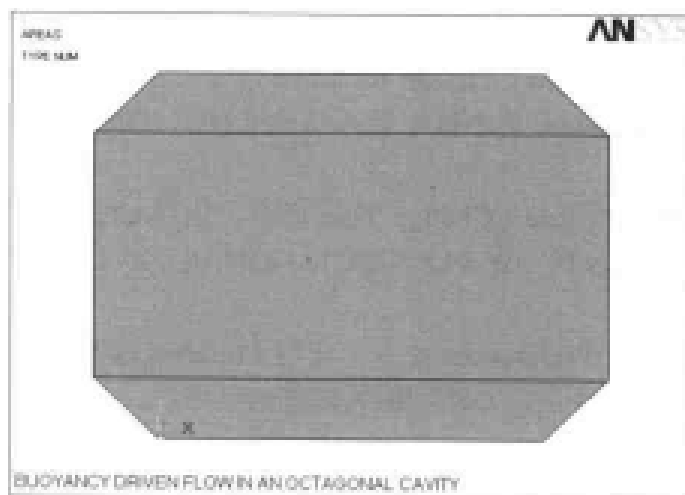


图 14-38 生成的几何模型结果显示

(6) 选择 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering 命令，出现 Plot Numbering Controls 对话框，选择 LINE Line numbers 选项，使其状态从 Off 变为 On，其余选项采用默认设置，单击 OK 按钮关闭该对话框。

(7) 选择 Utility Menu | Plot | Lines 命令，显示所有线段。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 1, 3, 6, 9, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 30, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(9) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 2, 4, 8, 10, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 6, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(10) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrls | ManualSize | Lines | Picked Lines 命令, 出现 Element Size on 菜单, 在文本框中输入 5, 7, 单击 OK 按钮, 出现 Element Size on Picked Lines 对话框, 在 NDIV No. of element divisions 文本框中输入 20, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free 命令, 出现 Mesh Areas 菜单, 单击 Pick All 按钮关闭该菜单。

(12) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(13) 选择 Utility Menu | Plot | Elements 命令, ANSYS 显示窗口显示如图 14-39 所示的网格划分结果。

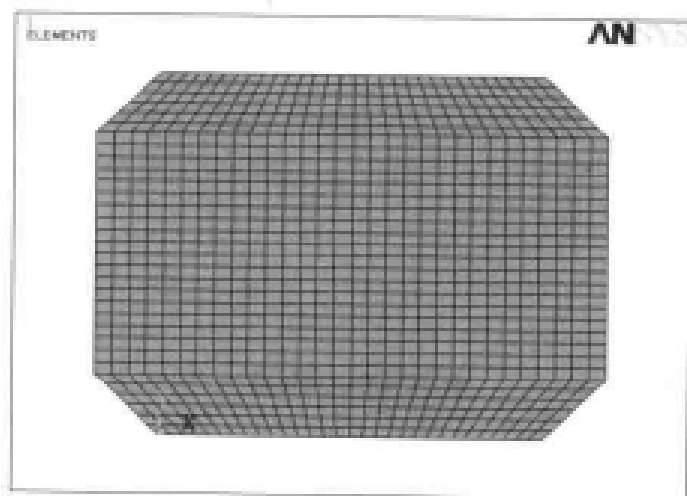


图 14-39 网格划分结果显示

(14) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise21.db, 保存上述操作过程, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

第四步: 加载求解

(1) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 参照图 14-40 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(2) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Fluid/CFD | Velocity | On Nodes 命令, 出现 Apply V on Nodes 菜单, 单击 Pick all 按钮, 出现 Apply VELO load on nodes 对话框, 参照图 14-41 对其进行设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(5) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单, 单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 360, 如图 14-43 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(6) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 参照图 14-42 (a) 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 Select lines 菜单, 在文本框中输入 2, 5, 8, 单击 OK 按钮关闭该菜单。

(7) 选择 Utility Menu | Select | Entities 命令, 出现 Select Entities 对话框, 在第 1 个下拉列表框中选择 Nodes 选项, 在第 2 个下拉列表框中选择 Attached to 选项, 在第 3 个选项组中选中 Lines,all 单选按钮, 在第 4 个选项组中选中 From Full 单选按钮, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(8) 选择 Main Menu | Preprocessor | Loads | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes 命令, 出现 Apply TEMP on Nodes 菜单。单击 pick all 按钮, 出现 Apply TEMP on Nodes 对话框。在 Lab2 DOFs to be constrained 列表框中选择 TEMP 选项, 在 VALUE Load TEMP value 文本框中输入 200, 单击 OK 按钮关闭该对话框, 施加载荷后的结果如图 14-44 所示。

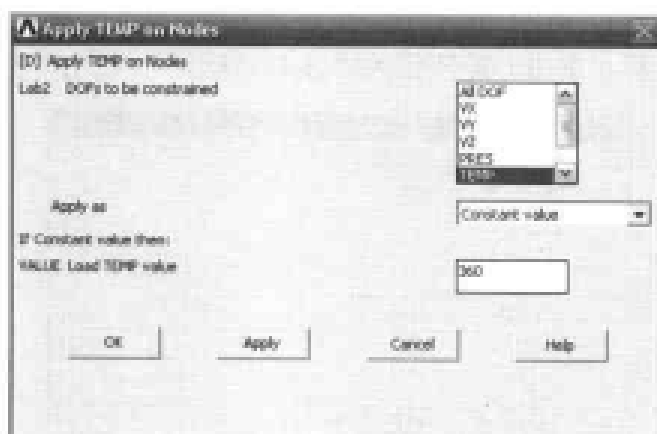


图 14-43 施加温度载荷对话框

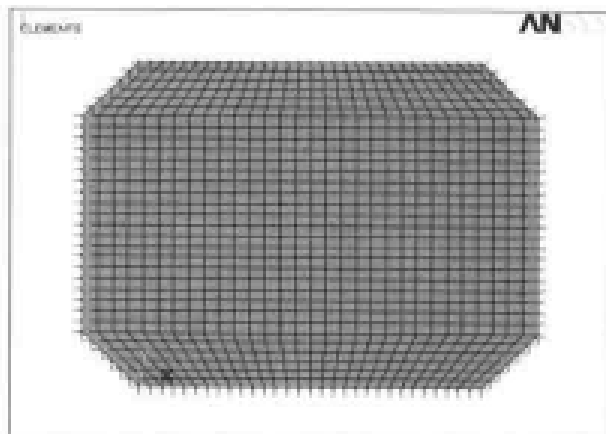


图 14-44 加载后的结果显示

(9) 选择 Utility Menu | Select | Everything 命令。

(10) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Solution Options 命令, 出现 FLOTRAN Solution Options 对话框, 在 TEMP Adiabatic or thermal 下拉列表框中选择 Thermal 选项, 如图 14-45 所示, 其余选项采用默认设置, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(11) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Execution Ctrl 命令, 出现 Steady State Control Settings 对话框, 在 EXEC Global Iterations 文本框中输入 200, 在 OVER .rfl file overwrite freq 文本框中输入 50, 在 SUMF Output summary frequency 文本框中输入 50, 其余选项采用默认设置, 如图 14-46 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

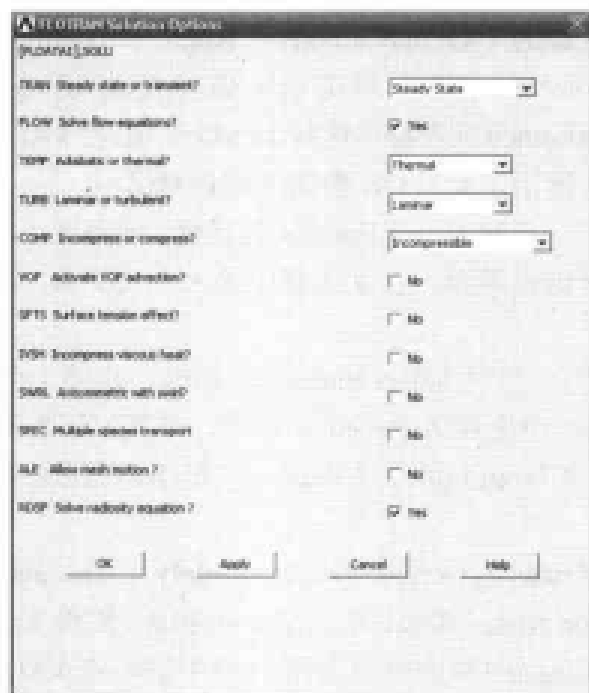


图 14-45 求解设置对话框图

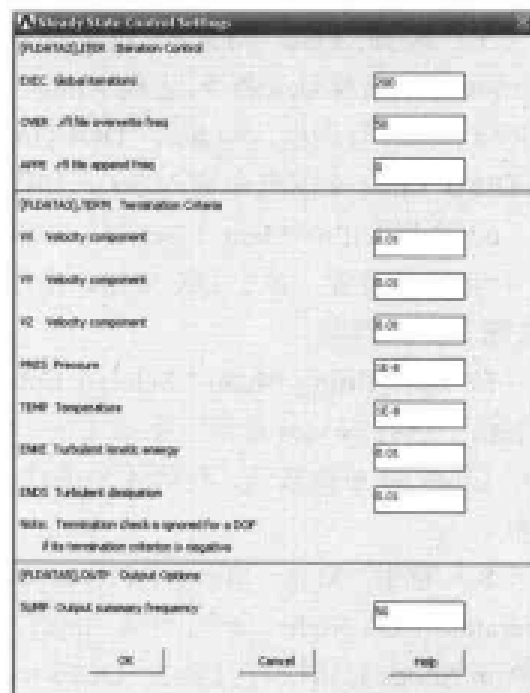
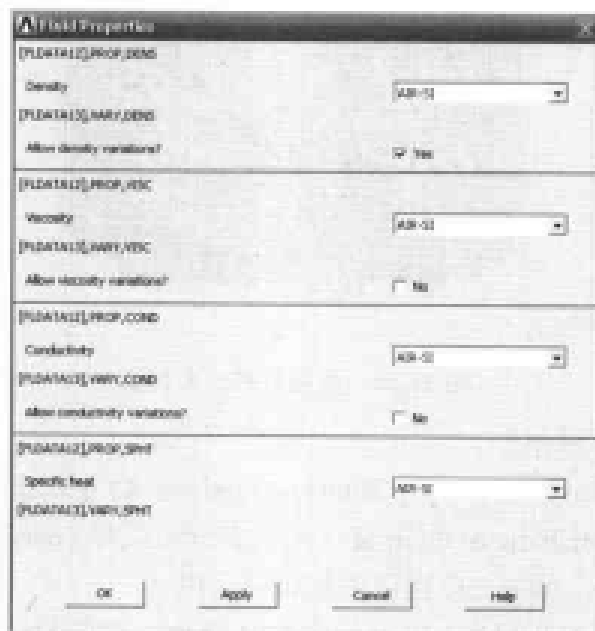
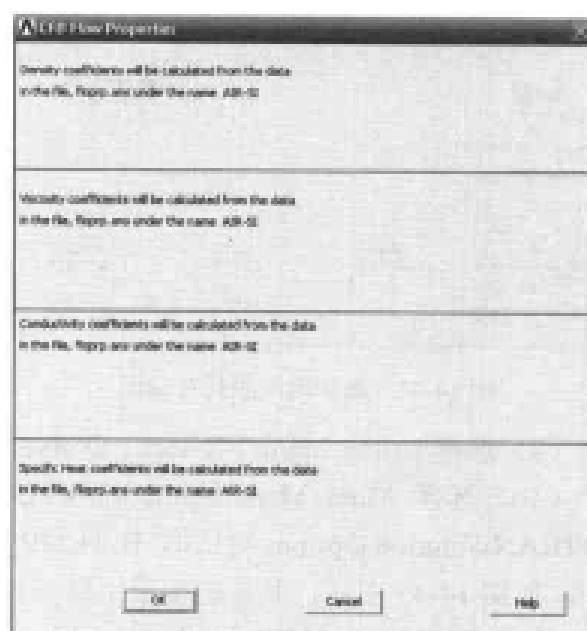


图 14-46 稳态求解选项设置对话框

(12) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Fluid Properties 命令, 出现 Fluid Properties 对话框, 参照图 14-47 (a) 对其进行设置, 单击 OK 按钮, 出现 CFD Flow Properties 对话框, 采用其默认设置, 如图 14-47 (b) 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。



(a)



(b)

图 14-47 流体属性设置对话框

(13) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | Flow Environment | Gravity 命令, 出现 Gravity Specification 对话框, 在 ACELY Accel in Y direction 文本框中输入 9.81, 如图 14-48 所示, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

(14) 选择 Main Menu | Solution | FLOTRAN Set Up | CFD Solver Control | PRES Solver CFD 命令, 出现 PRES Solver CFD 对话框, 选中 TDMA 单选按钮, 如图 14-49 所示, 单击 OK 按钮, 出现 TDMA Pressure 对话框, 在 No. of TDMA sweeps for pressure 文本框中输入 100, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

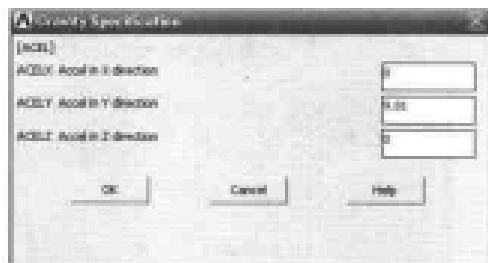


图 14-48 输入重力加速度对话框

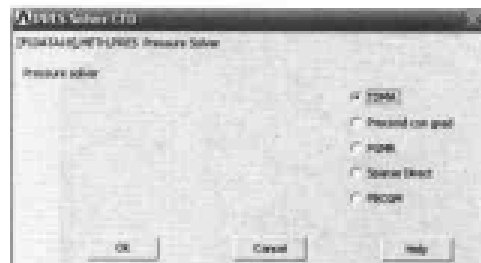


图 14-49 压力求解器设置对话框

(15) 选择 Main Menu | Solution | Solve | Current LS 命令, 出现 Solve Current Load Step 对话框, 单击 OK 按钮, ANSYS 开始求解计算。图 14-50 是 ANSYS 平衡迭代过程时间跟踪图。

(16) 求解结束后, ANSYS 显示窗口出现 Note 提示框, 单击 Close 按钮关闭该对话框。

(17) 选择 Utility Menu | File | Save as 命令, 出现 Save Database 对话框, 在 Save Database to 文本框中输入 exercise22.db, 保存求解结果, 单击 OK 按钮关闭该对话框。

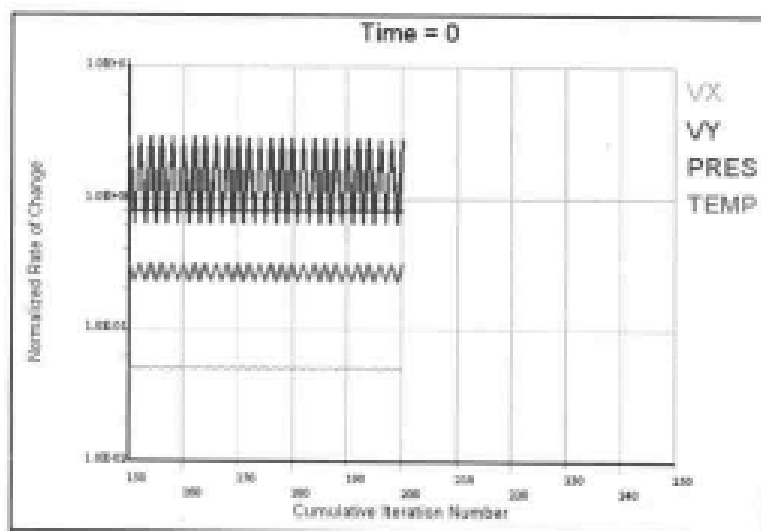


图 14-50 平衡迭代过程时间跟踪图

第五步: 查看求解结果

(1) 选择 Main Menu | General Postproc | Read Results | Last Set 命令。

(2) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令, 出现 Contour Nodal Solution Data 对话框, 选择 Nodal Solution | DOF solution | Nodal Temperature 选项, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口显示如图 14-51 所示的温度场分布等值线图。

(3) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Contour Plot | Nodal Solu 命令,

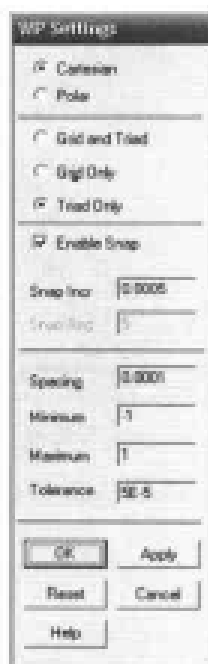


图 14-55 工作平面设置对话框

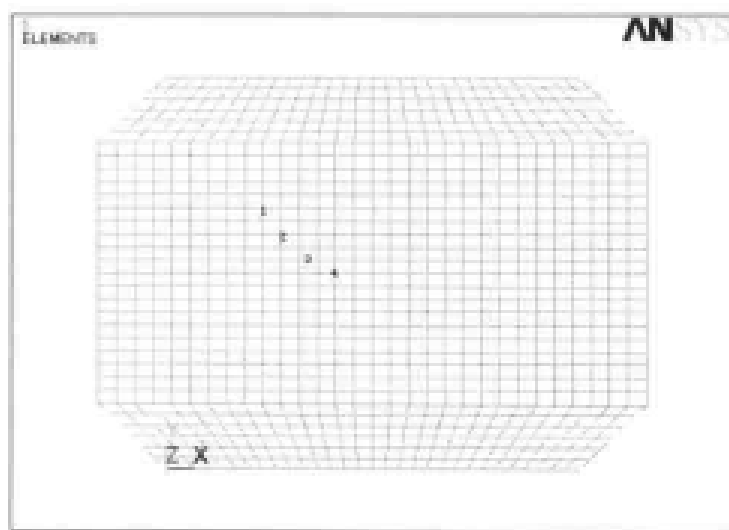


图 14-56 定义轨迹显示点结果显示

(8) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Plot Flow Tra 命令，出现 Plot Flow Trace 对话框。参照图 14-57 对其进行设置，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示如图 14-58 所示的粒子轨迹显示的温度等值线图。

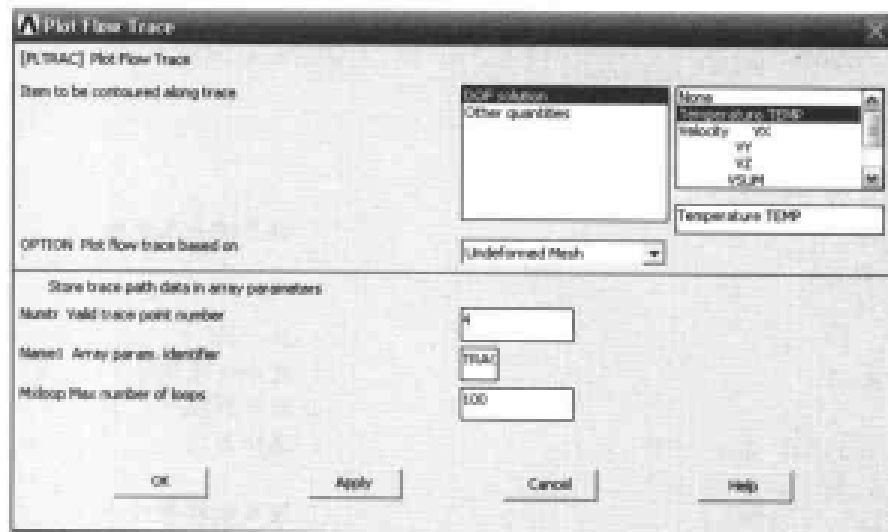


图 14-57 粒子轨迹显示设置对话框

(9) 选择 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Plot Flow Tra 命令，出现 Plot Flow Trace 对话框。在 Item to be contoured along trace 的两个列表框中分别选择 DOF solution、Velocity VSUM 选项，在 Numtr Valid trace point number 文本框中输入 4，在 Mxloop Max number of loops 文本框中输入 100，单击 OK 按钮，ANSYS 显示窗口显示如图 14-59 所示的粒子轨迹显示的速度等值线图。

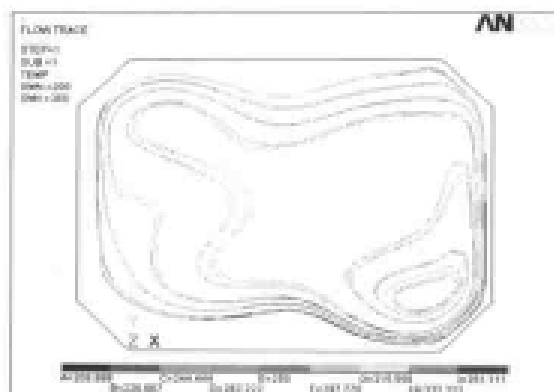


图 14-58 粒子轨迹显示的温度等值

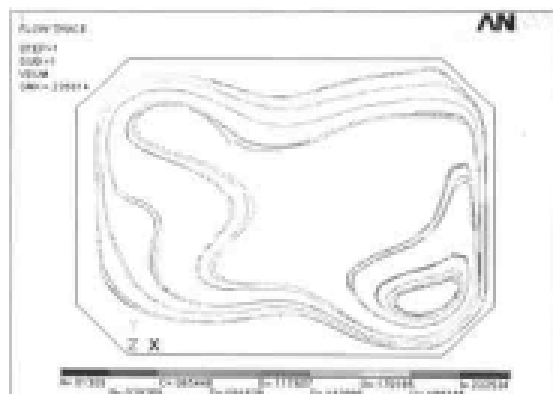


图 14-59 粒子轨迹显示的速度等值线

(10) 选择 Utility Menu | File | Exit 命令, 出现 Exit from ANSYS 对话框, 选中 Quit-No Save! 单选按钮, 单击 OK 按钮, 关闭 ANSYS。

命令流文件

```

/FILNAME, EXERCISE2                ! 定义工作文件名
/TITLE, BUOYANCY DRIVEN FLOW IN AN OCTAGONAL CAVITY
                                      ! 定义工作标题
KEYW, PR_CFD, 1                     ! 选择分析类型为流体分析
/PREP7                               ! 进入前处理器
ET, 1, FLUID141                     ! 选择单元类型
K, 1, 0, 0, 0                       ! 定义关键点
K, 2, 0.06, 0, 0
K, 3, 0.07, 0.01, 0
K, 4, 0.07, 0.05, 0
K, 5, 0.06, 0.06, 0
K, 6, 0, 0.06, 0
K, 7, -0.01, 0.05, 0
K, 8, -0.01, 0.01, 0
A, 1, 2, 3, 8                         ! 由关键点生成面
A, 8, 3, 4, 7
A, 7, 4, 5, 6
APLOT                                ! 显示面
/PNUM, LINE, 1                       ! 显示线段编号
LPLLOT                               ! 显示线段
LSEL, S, , , 1, 3, 2                 ! 选择线段
LSEL, A, , , 6, 9, 3
LESIZE, ALL, , , 30                 ! 设置线段等份数
LSEL, S, , , 2, 4, 2
LSEL, A, , , 8, 10, 2
LESIZE, ALL, , , 6
LSEL, S, , , 5, 7, 2
LESIZE, ALL, , , 20
AMESH, 1, 3                          ! 对面进行网格划分
ALLSEL                               ! 选择所有实体
EPLOT                                ! 显示单元
FINISH
    
```


/SOLU	! 进入求解器
NSEL, S, EXT	! 选择外部节点
D, ALL, , , , , VX, VY	! 施加速度载荷
LSEL, S, , , 4, 10, 3	! 选择线段
NSLL, S, 1	! 选择线段上的所有节点
D, ALL, TEMP, 360	! 施加温度载荷
LSEL, S, , , 2, 8, 3	
NSLL, S, 1	
D, ALL, TEMP, 200	
ALLSEL	
FLDATA1, SOLU, TEMP, 1	! 求解选项设置
FLDATA2, ITER, EXEC, 200	! 设置迭代次数
FLDATA2, ITER, OVER, 50	
FLDATA5, OUTP, SUMF, 50	
FLDATA7, PROT, DENS, AIR-SI	! 定义流体属性
FLDATA7, PROT, VISC, AIR-SI	
FLDATA7, PROT, COND, AIR-SI	
FLDATA7, PROT, SPHT, AIR-SI	
FLDATA8, NOMI, COND, -1	
FLDATA13, VARY, DENS, 1	
ACEL, 0, 9.81, 0	! 定义重力加速度
FLDATA18, METH, PRES, 1	! 设置 FLOTTRAN 求解器
FLDATA19, TDMA, PRES, 100	
SOLVE	! 开始求解计算
FINISH	
/POST1	! 进入 POST1 后处理器
SET, LAST	! 读取最终计算结果
PLNSOL, TEMP	! 显示温度场等值线图
PLNSOI, STRM	! 显示流线型等值线图
/SHOW, WIN32C	! 设置矢量显示方式
/DEVICE, VECTOR, 1	
/DEVICE, BBOX, 1	
/DEVICE, DITHER, 1	
/DEVICE, ANIM, BMP	
PLVECT, V, , , , VECT, ELEM	! 显示速度矢量等值线图
WPSTYL, 0.0005, 0.0001, -1, 1, 0.00005, 0, 2, , 5	! 设置工作平面
EPLOT	
FLST, 2, 4, 8	! 定义轨迹显示的关键点
FITEM, 2, 0.0135, 0.0385, 0	
FITEM, 2, 0.0165, 0.0345, 0	
FITEM, 2, 0.02, 0.031, 0	
FITEM, 2, 0.024, 0.029, 0	
TRPOIN, P51X, P51X	
PLTRAC, FLUID, TEMP, , 4, , 100	! 粒子轨迹显示温度等值线图
PLTRAC, FLUID, V, SUM, 4, , 100	! 粒子轨迹显示速度等值线图
FINISH	
/EXIT	! 退出 ANSYS