

中国化学工程集团有限公司

China National Chemical Engineering Co.,LTD.

质量管理专业培训教材

第三分册 安装工程





中国化学工程集团有限公司 质量管理专业培训教材

第三分册 安装工程

CNCEC

二〇二〇年十一月

编 委 会

主 任：韩 兵

副主任：张学雷 梁华金 潘新宇 田贵斌（执行）

编 委：

冯军伦 张效康 黄俊斌 刘体义 徐承俊 郑国昌 张小汇 陈建军 彭兵虎 陈敬杰
聂述刚 黎 明 姜战士 徐宇霞 陈 燕 毕文生 马耀华

参加编制人员：（按姓氏笔画排列）

丁晓勇 丁晓峰 王 伟 王自颖 王 平 尹保文 付 磊 台德树 冯圣余 冯兆辉
田斌斌 孙 莹 刘思静 刘 军 李 强 李志强 李卫东 李立红 刘胜峰 刘晓亮
刘建平 刘 哲 纪 崇 许同山 陈先强 陈银川 陈桂喜 陈嘉熙 吴明傲 苏 华
严恒静 杨定雄 杨德义 苏玉贤 张建月 张 昶 张 培 张学进 张德福 张新彪
张 勇 张云霞 宗崇武 单春芳 贺建平 郭高魁 郭寅寅 展庆刚 唐朝全 夏明干
崔燕春 程国华 董 军 蔡 敏 薛慧峰 燕海银

主编单位：

中国化学工程第三建设有限公司

参编单位：

中化二建集团有限公司

中国化学工程第六建设有限公司

中国化学工程第七建设有限公司

中国化学工程第十一建设有限公司

中国化学工程第十三建设有限公司

中国化学工程第十四建设有限公司

中化学交通建设集团有限公司

中国化学建设投资集团有限公司

前 言

为深入贯彻中共中央国务院《关于开展质量提升行动的指导意见》和国资委《关于中央企业开展质量提升行动实施意见》精神，落实集团公司质量提升行动和精细化管理工作要求，全面提升工程项目质量标准化、规范化水平，有效防范工程项目质量风险，加快建设具有国际竞争力的一流企业，为集团公司健康可持续改革发展奠定坚实的质量基础，集团公司印发《关于组织编制集团公司〈工程项目质量管理专业培训教材〉的通知》（安质发〔2020〕15号），于2020年5月启动开展《质量管理专业培训教材》编制工作。

《质量管理专业培训教材》由中国化学工程第三建设有限公司主编，中化二建集团有限公司、中国化学工程第六建设有限公司、中国化学工程第七建设有限公司、中国化学工程第十一建设有限公司、中国化学工程第十三建设有限公司、中国化学工程第十四建设有限公司、中化学交通建设集团有限公司、中国化学建设投资集团有限公司等单位参与编写，经过多次广泛征求意见，历时一年编制完成。

《质量管理专业培训教材》共分为第一分册综合质量管理基础知识、第二分册建筑工程、第三分册安装工程、第四分册公路市政工程等四个分册。是集团公司适应新时代高质量发展的要求，是企业提升企业标准化管理水平、健康可持续改革发展的现实需要，对提高企业项目管理水平和工程产品质量，传播和提升品牌形象，提高市场核心竞争力，具有重大意义。

本教材在使用过程中，各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议寄送至中国化学工程集团有限公司安全质量监督部，以供今后修订时参考。

总 目 录

总 则	1~2
-----------	-----

第一分册 综合质量管理基础知识	3~188
-----------------------	-------

第一章 国家的质量有关的法律法规条例	3
第二章 集团公司质量管理文件	51
第三章 质量管理体系	58
第四章 质量管理体系内审员培训	67
第五章 建设工程项目质量控制	84
第六章 质量风险管理	109
第七章 焊接工艺评定、WPS、焊工资格考试	135
第八章 工程质量（问题）事故和应急预案管理	143
第九章 质量监督检查管理	155
第十章 工程质量服务	174
第十一章 新上岗 / 转岗质量员培训	179
第十二章 海外项目质量管理	183

第二分册 建筑工程	1~424
-----------------	-------

第十三章 地基与基础工程的质量控制和验收	1
第十四章 混凝土结构工程	103
第十五章 砌体工程	168
第十六章 钢结构工程质量控制	202
第十七章 屋面工程	234
第十八章 建筑装饰装修工程	242
第十九章 室内给排水、采暖、燃气工程	260
第二十章 通风与空调工程	274
第二十一章 建筑电气工程	308
第二十二章 建筑节能工程	380
第二十三章 地下（室外工程）管道安装	406

第三分册 安装工程	1~403
-----------------	-------

第二十四章 通用机械设备安装	1
----------------------	---

第二十五章	静设备安装.....	11
第二十六章	动设备安装.....	31
第二十七章	球罐制作安装.....	96
第二十八章	储罐制作安装.....	156
第二十九章	工业金属管道安装工程.....	225
第三十章	工业设备、管道防腐蚀和绝热工程	259
第三十一章	化工电气安装工程.....	285
第三十二章	化工仪表安装工程.....	303
第三十三章	无损检测、理化试验.....	324

第四分册 公路市政工程..... 1~331

第三十四章	公路工程.....	1
第三十五章	长输管线通用部分.....	264
第三十六章	给排水管道.....	285
第三十七章	热力管道.....	308
第三十八章	天然气管道.....	316

目 录

第三分册 安装工程	1~403
第二十四章 通用机械设备安装	1
第一节 基础交接、垫铁和地脚螺栓安装	1
第二节 一般设备安装质量控制	4
第二十五章 静设备安装	11
第一节 整体安装静设备工程.....	11
第二节 工业炉安装	13
第二十六章 动设备安装	31
第一节 一般泵、风机类设备安装、试车质量控制	31
第二节 起重设备安装	44
第三节 大型设备吊装技术要点及注意事项	53
第四节 大型压缩机组、磨煤机安装、试车质量控制方法	68
第二十七章 球罐制作安装	96
第一节 范围与定义	96
第二节 球罐制造	97
第三节 球罐安装	102
第四节 球罐热处理	127
第五节 球罐试压	139
第六节 球罐质量检验	141
第七节 球罐组装质量通病	151
第二十八章 储罐制作安装	156
第一节 储罐制作工程概述	156
第二节 储罐的安装技术措施.....	159
第三节 质量检验	198
第四节 储罐制作安装质量通病及防治措施	219
第二十九章 工业金属管道安装工程	225

第一节	基本规定	225
第二节	工艺管道材料控制	227
第三节	工艺管道安装	233
第四节	管道热处理、硬度检测	241
第五节	管道试压、清洗、吹扫	249
第六节	工艺管道安装质量控制点及质量通病治理	253
第三十章	工业设备、管道防腐蚀和绝热工程	259
第一节	工业设备、管道防腐蚀工程质量控制	259
第二节	工业设备、管道绝热工程质量控制	275
第三十一章	化工电气安装工程	285
第一节	化工装置电气专业特点	285
第二节	主要工作内容和分项工程	286
第三节	主要施工程序	286
第四节	主要施工规范	287
第五节	施工质量管理	289
第六节	主要电气分项工程部分施工质量要求	293
第七节	质量验收	298
第三十二章	化工仪表安装工程	303
第一节	仪表设备和材料的检验及保管	303
第二节	取源部件安装	304
第三节	仪表设备安装	306
第四节	仪表线路安装	310
第五节	接地工程	313
第六节	仪表管道安装	315
第七节	仪表伴热系统的安装	320
第八节	仪表试验	321
第三十三章	无损检测、理化试验	324
第一节	无损检测工程	324
第二节	理化试验	368

CNCEC

第三分册 安装工程

第二十四章 通用机械设备安装

第一节 基础交接、垫铁和地脚螺栓安装

一、设备基础交接验收

(一) 主要检查内容

1. 设备基础移交时，交方应提供基础施工的中心、标高、外形尺寸等自检实测合格记录。如有不影响设备安装的暂未处理的局部缺陷，也须在自检记录中注明。
2. 交方应有基础强度的试块试验报告。
3. 接方按土建基础图技术要求、机器的技术文件及规范要求对基础的外形尺寸、坐标、标高等进行复测，其允许偏差应符合规范规定，并不得有裂纹、蜂窝、空洞、露筋等缺陷。
4. 基础上已标出标高基准线及基础的纵横中心线。
5. 螺栓孔内的杂物和积水，必须清除干净。
6. 接方对预埋螺栓的基础，要复测螺栓直径、距基础中心的距离、相邻螺栓间距、顶标高均符合要求，螺纹部分无碰损。
7. 设计有要求时，提供基础的沉降观测点的位置及沉降观测记录。
8. 需进行防腐的基础，已完成防腐工作，并有基础防腐验收合格记录。
9. 设备基础验收合格并办理完交接手续后，才可进行设备安装。

(二) 设备基础允许偏差

表 24-1 块体式混凝土基础质量标准

序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	坐标位置 (纵横轴线)	± 20
2	不同平面的标高	0, -20
3	平面外形尺寸 凸台上平面外形尺寸 凹穴尺寸	± 20 0, -20 +20, 0
4	平面水平度 (包括地坪上需安装设备部分) (1) 每米 (2) 全长	5mm/m 10
5	垂直度 z (1) 每米 (2) 全长	5mm/m 10



序号	项 目	允许偏差 (mm)
6	预埋地脚螺栓 (1) 标高 (顶端) (2) 中心距	+20, 0 ± 2
7	预留地脚螺栓孔: (1) 标高 (2) 深度 (3) 孔壁垂直度	± 10 +20, 0 10
	预埋活动地脚螺栓锚板: (1) 标高 (2) 中心位置 (3) 水平度 (带槽的锚板) (4) 水平度 (带螺纹孔的锚板)	+20, 0 ± 5 5mm/m 2mm/m

表 24-2 框架式混凝土基础质量标准

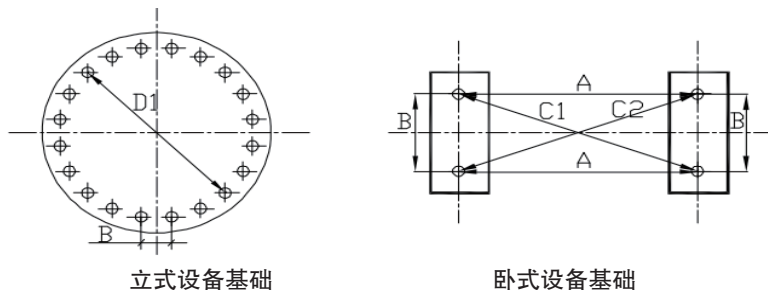
序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	坐标位置 (纵横轴线) 不同平面的标高	基础 15
		梁、柱 8
2	垂直度	每层 5
		全高 H1/1000 且不大于 20
3	标高	层高 0, -10
		全高 0, -20
4	截面尺寸	+8, -5
5	平面度	8
6	预埋设施中心线位置	预埋件 10
		预埋地脚螺栓 2
		预埋管 5
7	预留孔中心线位置	10
8	预埋管垂直度	3h1/1000

注: H1 为结构全高; h1 为预埋管高度

表 24-3 钢构式基础质量标准

序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	立式设备支撑梁式基础	坐标位置 20
		基础上平面的标高 ± 3
		基础上平面的水平度 L1/1000 且不大于 15
		地脚螺栓孔
		中心圆直径 D1 ± 5
		相邻孔中心距 B ± 2
2	卧式设备支座式基础	孔中心线垂直度 h1/250 且不大于 5
		坐标位置 20
		支座上平面的标高 ± 3
		支座上平面的水平度 L2/1000 且不大于 15
		支座的垂直度 H2/1000
		地脚螺栓孔
		纵向中心距 A ± 5
		相邻孔中心距 B ± 2
		对角线长度差 C1-C2 5

注: D1 为立式设备地脚螺栓中心圆直径; A 卧式设备纵向地脚螺栓间距; B 为相邻地脚螺栓中心距; C1 和 C2 为卧式设备地脚螺栓对角线长; L1 为梁的长度; h2 为上下两地脚螺栓孔的距离; L2 为支座的长度; H2 为制作高度。



二、基础处理和垫铁安装

(一) 基础处理检查

需要二次灌浆的基础表面，应按规范规定铲出麻面，麻点深度大于 10mm，密度为 3 ~ 5 个 / 平方分米，放置垫铁处的基础表面应铲平，二次灌浆砂浆层厚度不得小于 30mm。

(二) 垫铁安装检查

1. 地脚螺栓间距为 300mm 时，旁边至少有一组垫铁，地脚螺栓间距 > 300mm 时，应在地脚螺栓两侧各设置一组垫铁，垫铁组应靠近地脚螺栓。

2. 垫铁规格应根据承载和布置的组数计算得出。

3. 垫铁组高度应为 30 ~ 70mm，且不应超过四层 (五块)，不宜采用薄垫铁，如采用薄垫铁其厚度

不宜少于 2mm，且应放在中间。

4. 相邻两组垫铁间的距离宜为 500 ~ 1000mm，平垫铁露出设备底座外宜为 10 ~ 30mm，斜垫铁宜为 10 ~ 50mm。

5. 垫铁横向水平度不应大于 1/1000，纵向水平度不应大于 2/1000，垫铁组伸入设备底座内的长度必须超过地脚螺栓中心。

6. 用 0.05mm 塞尺塞入垫铁之间和垫铁与设备底座之间检查间隙，两侧塞入深度的总和不得超过

垫铁长度或宽度的 1/30。

7. 座浆法安装的平垫铁水平度不宜大于 0.5/1000，同时各部分的平垫铁的安装应保持在同一标高位置上 (其标高的允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$)；无垫铁安装法安装的临时垫铁安装水平度不应大于 1/1000，其标高的允许偏差为 +2mm；采用压浆法施工时应及时检查垫铁之间的间隙。

8. 二次找正后，在二次灌浆前应将每组垫铁点焊焊牢。

三、地脚螺栓检查

(一) 地脚螺栓光杆部分应无油污或氧化皮，螺纹部分应涂上少量油脂

(二) 螺栓应垂直无歪斜

(三) 地脚螺栓不得碰预留孔底部，螺栓上任一部位离孔壁的距离不得小于 15mm，与孔底距离不应小于 50mm。

(四) 预留孔内的碎石、泥土等杂物和积水必须清理干净



(五) 拧紧螺母后, 地脚螺栓露出长度应为 1.5 ~ 3 个螺距

第二节 一般设备安装质量控制

一、工程内容

泵、风机等一般动设备的安装。

二、执行标准

GB50231 《机械设备安装工程施工及验收通用规范》

GB50275 《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》

HG20203 《化工机器安装工程施工及验收规范》(通用规定)

SH3514 《石油化工设备安装工程质量检验评定标准》

SH3538 《石油化工机器设备安装工程及验收通用规范》

三、主要控制环节

- (一) 基础验收及处理
- (二) 初找平、一次灌浆
- (三) 二次找平、二次灌浆
- (四) 联轴节找正(对中)
- (五) 法兰连接无应力检查
- (六) 单机试车。

四、质量检验

- (一) 基础验收及处理〈略〉
- (二) 设备安装前检验

1. 对设备进行外观检查并清点零部件, 检查是否有碰损、缺件和严重锈蚀。
2. 查看随机资料是否齐全, 随机资料中对安装有无特殊要求。
3. 检查立式轴流泵和导叶式混流泵的泵轴和传动轴弯曲度、在轴颈处的径向跳动及联轴器的径向跳动、端面倾斜度; 叶片外圆对转子轴线的径向跳动及叶片外圆与叶轮外壳的间隙。

(三) 就位、粗找平、一次灌浆的主要检查内容

1. 泵、风机上作为定位基准的面、线和点对安装基准线的平面位置及标高的允许偏差:

表 24-4 设备的平面位置和标高对安装基准线的安装偏差

项次	项目	允许偏差 (mm)		检查方法
		平面位置	标高	
1	与其他设备无机械联系的	± 5	± 5	经纬仪 水准仪
2	与其他设备有机械联系的	± 2	± 2	

2. 检查机泵的水平度。

泵、风机找平时, 一般横向水平度的允许偏差为 0.1mm/m, 安装基准部位的纵向水平度的允

许

偏差为 0.05mm/m。

3. 地脚螺栓检查 (略)。

4. 泵、风机安装就位后, 应注意管口保护、封闭, 防止碰撞及异物掉入。

(四) 二次找平、二次灌浆前的主要检查内容

1. 设备安装的水平度应符合设备的技术文件的规定或有关规范的规定 L 机泵找平的基准测量点一

般应在下列部位中选择:

1.1 机体的加工平面

1.2 支承滑动部件的导向面

1.3 联轴节的端面和外圆周面

1.4 转动部件的轴颈或外露轴的表面

2. 垫铁检查 (略): 采用橡胶垫型减震垫铁时, 设备调平后经过 1 ~ 2 周应再进行一次调平。

3. 机泵设备找正 (精对中) 的主要检查内容

3.1 使用厚壁轴瓦的机器, 在精找正前应对轴瓦进行检查刮研, 其质量要求见表 23-5 和表 23-6, 其各部隙值按设备技术文件要求, 轴瓦的侧间隙为顶间隙的 1/2。

表 24-5 上下轴瓦瓦背与轴承座的接触要求

项目		接触要求	
		上轴瓦	下轴瓦
接触角 α	稀油润滑	130°	150°
	油脂润滑	120°	140°
α 角内接触率	60%	70%	
瓦侧间隙 b (mm)	$D \leq 200$ 时, 0.05 塞尺不得塞入, $D > 200$ 时, 0.1 塞尺不得塞入		

注: D 为轴的公称直径

表 24-6 上下轴瓦内孔与轴颈的接触要求

接触角 α		α 角范围内接触点 (点数 /25mm × 25mm)			
稀油润滑	油脂润滑	轴转数 (r/min)	轴瓦内径 (mm)		
			≤ 180	180~360	360~500
		≤ 300	4	3	2
		300~500	5	4	3
90° ~120°	90°	500~1000	6	5	4
		>1000	8	6	5

3.2 驱动机轴与泵轴, 驱动机轴与变速器轴以联轴器 连接时, 两半联轴器的径向位移、端面间隙、轴线倾斜均应符合设备技术文件规定。当设备技术文件无规定时, 应符合规范规定。



3.2.1 常见联轴器装配允许偏差见表 23-7:

表 24-7 弹性套柱销联轴器装配允许偏差

联轴器外径 mm	端面间隙	两轴心径向位移 mm	两轴线倾斜
71	2~4	0.04	≤ 0.02/1000
80			
95			
106			
130	2~5	0.05	≤ 0.02/1000
160			
190			
224	4~6	0.08	
250			
315			
400			
475	5~7	0.1	
600			

表 24-8 齿式联轴器装配允许偏差

联轴器外径 (mm)	两轴心径向位移 (mm)	两轴线倾斜	端面间隙 (mm)
170~185	0.30	≤ 0.5/1000	2.0~4.0
220~250	0.45		
290~430	0.65	≤ 1.0/1000	5.0~7.0
490~590	0.90	≤ 1.5/1000	
680~780	1.20		7.0~10.0

表 24-9 滑块联轴器装配允许偏差

联轴器外型最大尺寸 (mm)	两轴心径向位移 (mm)	两轴线倾斜	端面间隙 (mm)
≤ 190	<0.05	$<0.4/1000$	0.50~1.0
250~330	<0.10	$<0.6/1000$	1.0~2.0

表 24-10 弹性销轴联轴器装配允许偏差

联轴器外径 (mm)	两轴心径向位移 (mm)	两轴线倾斜	端面间隙 (mm)
90~160	≤ 0.05	≤ 0.2/1000	2.0~3.0
195~220			2.0~4.0
280~320	≤ 0.08		3.0~5.0
360~410			4.0~6.0
480	≤ 0.10		5.0~7.0
540~ 630			6.0~8.0

3.2.2 凸缘联轴器装配时，两个半联轴器端面应紧密接触，两轴心的径向位移 $\leq 0.03\text{mm}$ 。

3.3 驱动机轴与机器转轴以带或链连接时，两轴的平行度 $\leq 0.5/1000$ ，两轮的偏移 $\leq 1\text{mm}$ 。

3.4 汽轮机驱动的泵和输送高温、低温液体的泵在常温状态下找正时，应按设计规定预留温度变化的补偿值。

3.5 电动机与离心通风机找正时，联轴器的径向位移 $\leq 0.025\text{mm}$ ；轴线倾斜度 $\leq 0.2/1000$ 。

3.6 管道与机器连接的主要检查内容

3.6.1 检查与泵、风机的连接管道是否清理干净。

3.6.2 与泵、风机连接的管道，其固定焊口一般应远离机器，以避免焊接应力的影响。

3.6.3 管道与泵连接的配对法兰在自由状态下应平行且同心，偏差应符合规范规定。

3.6.4 管道与泵、风机等机器最终连接时，应在联轴器上用百分表监测其径向位移。转速 > 6000 转 / 分的动设备，应 $\leq 0.02\text{mm}$ ；转速 ≤ 6000 转 / 分的动设备应 $\leq 0.05\text{mm}$ ，否则应对管道进行调整。

3.6.5 管道与动设备最终连接后，必要时，应对联轴节两轴的对中偏差进行检查调整，其偏差不应超过规范规定。

4、电动机安装

4.1 对电动机的定子，转子进行检查，应符合有关规定；

4.2 定子支座与底座的连接，应清洗干净，连接面的接触应均匀，底座的固定符合要求；

4.3 轴承座与相连接的部件表面，应保持清洁，轴承座与底座，轴承座与连接件之间，必须安设绝缘衬套，轴承座与底座之间的绝缘电阻，应符合技术文件规定。

4.4 轴承的检查和安装应符合规范规定。

4.5 电动机的纵横向水平度应为 $0.02 \sim 0.05/1000$ 。

4.6 油路管道全部连接完成后，必须复测轴承座对地绝缘电阻，应符合技术文件的规定。

4.7 电动机的附属设备安装应按技术文件要求或相应的标准规范执行，观察及测量检查。

5. 泵单机试车的主要检查内容

泵单试前应检查机泵的转向，电机与泵的转向必须一致；固定连接部位应无松动，按技术文件或说明书规定加注润滑油、脂。

5.1 检查机泵入口处是否按规定安装过滤网（器）。

5.2 检查各项指示仪表，安全保护装置及电控装置情况。

5.3 盘车应灵活，无异常现象。

5.4 高温泵和低温泵在单试前应按规定进行预热或预冷。

5.5 检查泵管线阀门开关情况，离心泵应打开吸入管路阀门、关闭排出管路阀门，高温泵应按设备技术文件的规定执行。

5.6 水循环式真空泵在试车前还应检查。

5.6.1 其真空调节阀是否调整至合适的开度。

5.6.2 泵填函处的冷却水管路是否畅通。

5.6.3 泵体内是否注入清水，盘车冲洗干净。

5.7 蒸汽往复泵试车前还应检查。

5.7.1 配汽机构应保持原厂的装配状态和相对位置。

5.7.2 泵的吸液阀和排液阀应作煤油检漏试验，3 分钟内无渗漏。

5.7.3 采用平板式配汽阀时，检查阀板与阀座的接触是否严密，接触面积应大于全接触面积的 70%；采用活塞式配汽阀时，检查活塞与配汽缸的径向间隙应在 $0.08 \sim 0.10\text{mm}$ 范围内。

5.8 计量泵在试车前还应检查是否满足以下条件：

5.8.1 在调节机构内安全补油间组泵缸腔内或液压隔膜腔内按计设文件规定加注润滑油；液压隔膜式计量泵的液压腔内不得存有气。

5.8.2 柱塞式计量泵往复移动柱塞数次，不得有卡住现象；隔膜式计量泵的隔膜应密封良好。

5.8.3 柱塞式计量泵的行程调节机构灵敏可靠，卸荷装置应按设备技术文件进行调压试验；行程计数器和转数发送器等自控元件的动作应调整正确；调量表刻度、调节手轮刻度与柱塞行程长度应做对零或 100% 的调整和测量。

5.9 螺杆泵在启动前还应做好向泵内灌注输送液体和进出口阀门全开的确认检查。

5.10 立式轴流泵和叶导式混流泵在试运转前还应检查进水口的淹没深度和叶片的安装角度是否符合设备技术文件的规定，泵在启动前应确认。

5.10.1 打开出口阀门管路。

5.10.2 向填函上的接管引注清水以润滑橡胶轴承，直至泵出水为止。

5.10.3 带有真空泵的机组应启动真空泵，排出泵内气体。

5.10.4 全调节的泵宜减小叶片角度，特出水正常后方可调至允许范围。

5.11 通常泵试运转时应检查泵的转速、流量（或电流）、出口压力、振动、温升等是否符合设备技术文件和相应的规范要求。

5.12 检查泵的平衡盘冷却水管路是否畅通，吸入管路是否充满输送液体并排尽空气。

5.13 检查转子及各运动部件运转是否正常，有无异常声响。

5.14 检查泵机械密封或填料密封的泄漏量是否符合设计要求或规范规定。

5.15 泵、风机在额定工况点连续运转时间不应小于 2 小时；高速泵及特殊要求的泵试运转时间应符合设备技术文件规定。

5.16 泵单试完毕后，应关闭进出口阀门，将泵内积存的液体放净，防止锈蚀和冻裂。

6、风机单机试车的主要检查内容

6.1 一般风机在试运转前应进行以下检查确认：

6.1.1 轴承箱及润滑系统清洗合格并按设备技术文件规定 加注润滑油至规定油位。

6.1.2 电机与风机的转向一致。

6.1.3 风机转子盘车灵活，不得有碰刮现象及异常声响；机壳内无脏物和杂物。

6.1.4 各连接部位不得松动。

6.1.5 冷却系统按设备技术文件规定试完压，并接通该系统的冷却水。

6.1.6 进排气管路清洁畅通，进气口安装防护罩（网），其受压部分按规定做完严密性试验。

6.1.7 风门阀件应处于设备技术文件所规定的使风机为最小负荷时的启动位置。

6.2 离心通风机在试运转前应检查确认进气调节门是否关闭。

6.3 轴流通风机在试运转前还应检查叶片安装角、叶顶间隙、叶片调节装置功能和范围均应符合技术文件规定；叶片角度可调的风机应将叶片调节到技术文件规定的启动角度。

6.4 离心鼓风机在试运转前应检查确认阀件的控制装置处于设备技术文件规定的使风机为最小负荷时的启动位置。

6.5 罗茨和叶氏鼓风机试运转前应检查确认进气和排气阀门是否已全开。

6.6 轴流鼓风机在试运转时首先应点动电动机，各部位无异常现象和摩擦声响。通常风机试运转时应检查电动机的电流、电压、功率因数、出口风量风压、润滑系统的油温和油压、轴承温升、轴承部位的振幅与振动速度有效值等是否符合设备技术文件或规范要求。

6.7 离心通风机试运转时应符合下列要求；

6.7.1 启动达到转速后，可在调节门开度为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 之间进行小负荷运转 20 分钟。

6.7.2 小负荷运转正常后再逐渐开大 调节门，但电流不得超过额定值，直到规定的负荷为止，连续运转时间不小于 2 小时。

6.7.3 具有滑动轴承的大型通风机，负荷试运转 2 小时后应停机检查轴承，当轴承表面有局部研伤时，应进行修整，然后再连续运转 6 小时。

6.7.4 高温离心风机当进行高温试运转时，其升温速率不应大于 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；当进行冷态试运转时，其电机不得超负荷运转。

6.7.5 试运转中，滚动轴承温升不得超过环境温度 40°C ，滑动轴承温升不应超过 35°C 。

6.7.6 轴流通风机运转时其滚动轴承温升不应大于 40°C ，瞬间最高温度不应大于 80°C ；滑动轴承温度不应大于 70°C ；主轴温升稳定后时间不少于 6 小时。

6.7.7 离心鼓风机试运转分小负荷试运转与负荷试运转两个阶段；小负荷试运转 1 小时后应停机检查各轴承、轴颈的润滑情况，对有齿轮变速器的机组，应检测齿轮的触点情况，当有磨损或不合要求时，应及时进行修理调整。在负荷试运转的开始阶段，主机的排气应缓慢升压，每 5 分钟升压 $\leq 0.1\text{MPa}$ ，并逐步达到设计工况；启动时，不得在临界转速附近运转；试车中风机不得在喘振区内运转；负荷运转中，轴承壳体温度应符合表一的规定；轴振动双振幅值应符合设备技术文件规定，若无规定时， $\leq 50\mu\text{m}$ 。

表 24-11 轴承温度和轴承的排油温度

轴承形式	滚动轴承	滑动轴承
轴承体温度	\leq 环境温度 $+40^{\circ}\text{C}$	$<70^{\circ}\text{C}$
轴承的排油温度		\leq 进油温度 $+28^{\circ}\text{C}$
轴承合金层温度		主进油温度 $+50^{\circ}\text{C}$

7、罗茨和叶氏鼓风机试运转应符合下列要求：

7.1 在进气和排气阀门全开的条件下空负荷运转 30 分钟以上。

7.2 空负荷运转正常后逐步关闭排气间，直到排气压力调节到设计值时，检查电动机电流是否超过其额定值。

7.3 负荷运转中，不得全关进气、排气口的阀门，不得超负荷运转；并不得在满负荷下突然停机，而应在逐步卸荷后方可停机。

7.4 负荷试运转中，轴承温度不应超过 80°C ；润滑油温度不应超过 50°C 。



8、轴流鼓风机在试运转时主机启动达到额定转速后静叶尽快调节到最小工作角，不得在静叶关闭的启动状态下停留运转较长时间。

停机前应将静叶调节到最小工作角或静叶关闭状态，同时打开放空阀，关闭排气阀。

试运转中，在轴颈附近测得的轴振动双振幅值（用非接触式测振仪测得的峰—峰值），应符合设备技术文件或相应规范的规定。

CNCEC

第二十五章 静设备安装

第一节 整体安装静设备工程

一、主要控制环节

- (一) 设备基础的交接验收
- (二) 设备验收
- (三) 设备基础垫铁布置及地脚螺栓检查
- (四) 设备接管方位确认
- (五) 立式设备垂直度检查 (卧式设备水平度检查)
- (六) 塔盘水平度检查
- (七) 卧式设备滑动端检查
- (八) 设备封闭前检查
- (九) 设备强度试验或气密性试验

二、执行标准

GB50461 《石油化工静设备安装施工质量验收规范》

GB50252 《工业安装工程质量检验评定统一标准》

SH3514 《石油化工静设备安装工程施工技术规程》

SH3532 《石油化工换热设备施工及验收规范》

三、质量检验

- (一) 基础检查 (略)
- (二) 垫铁检查 (略)
- (三) 地脚螺栓检查 (略)
- (四) 接管方位复查

四、设备安装

- (一) 立式设备

立式设备安装质量应符合下表规定。

表 25-1 立式设备安装质量标准 (mm):

序号	检查项目		允许偏差	检查方法
1	支座纵、横中心线位置	$D0 \leq 2000$	5	尺量
		$D0 > 2000$	10	
2	标高		± 5	水准仪或尺量
3	垂直度	$H \leq 30000$	$H/1000$	经纬仪

序号	检查项目		允许偏差	检查方法
4	方位	$H > 30000$	$H/1000$ 且 ≤ 50	或线锤
		$D0 \leq 2000$	10	
		$D0 > 2000$	15	线锤尺量

注：D0 为设备外径；H 为两端部测点间的距离

高度超过 20 m 的设备，其垂直度测量工作不应在一侧受阳光照射或风力大于四级的条件下进行

(二) 卧式设备

1、卧式设备安装质量标准应符合下表规定。

表 25-2 卧式设备安装质量标准 (mm):

序号	检查项目		允许偏差	检查方法
1	支座纵、横中心线位置		5	尺量
2	标高		± 5	水准仪或尺量
3	水平度	轴向	$L/1000$	经纬仪或线锤
		径向	$2D0/1000$	

注：D0 为设备外径；L 为两端部测点间的距离

卧式设备滑动支座地脚螺栓在长圆孔中间的位置，应符合设计文件或设备技术文件，在工艺配管完成后，应松动螺母使其有 1-3mm 间隙，然后再安装一个锁紧螺母。滑动端支座接触面应涂润滑脂。

2. 换热设备

2.1. 立式及卧式换热设备安装找正应符合设计技术文件要求和表 1、表 2 的要求。

2.2. 板式换热器上、下导杆滑动表明和夹紧螺杆表面应清洗干净，并涂润滑。压紧板上的滚动轴承

应清洁、转动灵活，并加润滑脂；夹紧螺杆安装应交错对称均匀拧紧，管片侧面板边端处应平齐，压紧板安装后平行度应符合下列要求：

2.1. 压紧板夹紧尺寸小于 1000mm 时为 2mm。

2.2. 压紧板夹紧尺寸大于或等于 1000mm 时为 4mm。

3. 空冷器安装后应松开管箱与侧梁连接的滑动螺栓。空冷器换热器管束安装质量应下表的規定。

表 25-3 空冷器管束安装质量标准 (mm)

项次	检查项目	允许偏差	检查方法
1	管束纵、横中心位置	10	用钢尺检查
2	空冷器的漏气间隙	≤ 10	

4. 空冷器构架施工质量应符合以下规定：

4.1 构架的平面对角线之差不应大于 10mm。

4.2 立柱安装质量应符合下表规定：

表 25-4 立柱安装质量标准 (mm)

项次	检查项目	允许偏差	检查方法
1	柱脚底座中心线与定位轴线的偏差	5.0	用钢尺检查
2	立柱基准点标高	+5.0; -8.0	
3	立柱挠曲矢高	HS/1000 且 ≤ 15	拉线检查
4	立柱垂直度	HS/1000	吊线坠或经纬仪检查

注：HS 为立柱高度

4.3 风筒安装质量应符合下表规定：

表 25-5 风筒安装质量标准 (mm)

项次	检查项目	风机叶轮直径			检查方法
		1800~2000	2000~3000	3000~5000	
		允许偏差			
1	直径	± 2	± 3	± 4	钢尺检查
2	两端法兰盘平行度	4	5	6	
3	圆度	2	3	4	
4	风筒内壁与风机叶片尖端的	2~6	3~8	4~12	

5. 带有膨胀节的设备，其膨胀节外部壳体上固定板或固定螺栓在系统冲洗吹扫后可拆除或松开。

(四) 内件安装

设备内件安装前应清除表面油污、焊渣、铁锈、泥沙、毛刺等杂物。设备内部应清扫干净。

检验方法：观察检查。

(五) 安全附件安装

1. 安全阀安装前，应按设计文件规定进行调试。调试后的安全阀应加铅封，并封堵端口。

检验方法：观察检查和检查安全阀调试报告。

2. 压力表液位计、流量计、测量仪表等安装前应经校验合格并加铅印。安全附件安装应朝向便于观察的位置。

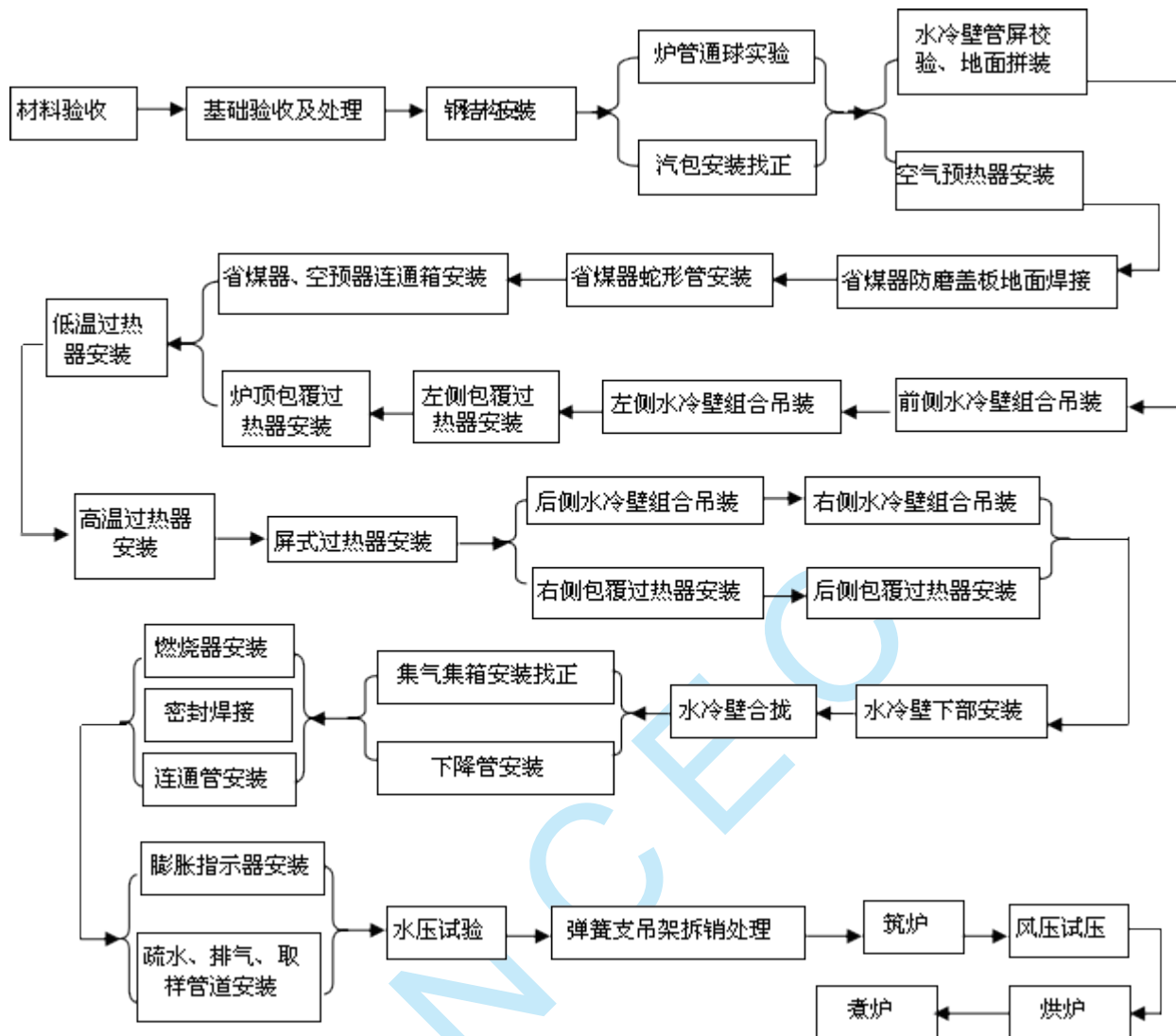
检验方法：观察检查和检查检定报告。

第二节 工业炉安装

一、工业锅炉安装工程

(一) 锅炉安装技术及质量控制

施工工艺流程（煤粉炉）



(二) 主要控制环节

1. 基础验收
2. 到货检验
3. 焊接工艺评定和焊接工艺规程
4. 焊工资格与技能考试
5. 钢材的检验
6. 钢结构安装
7. 锅筒、集箱安装
8. 炉管检验、焊接
9. 无损检测
10. 炉管安装和系统试压

(三) 施工准备

1. 技术准备

1.1 审查、熟悉图纸

——锅炉图纸（总图、安装图和主要受压部件图）。

——产品质量证明文件（包括产品合格证、主要受压部件材质证明书、无损检测报告、焊后热处理报告和水压试验报告等）。

——受压元件强度和安全阀排放量的计算书或计算结果汇总表。

——受压元件重大设计变更资料

——锅炉安装和使用说明书。对于额定压力大于或等于 3.8Mpa 的锅炉还应包括：热力计算、过热器壁温计算、烟风阻力计算的计算书或计算结果汇总表；热膨胀系统图。

1.2 编制施工组织设计（施工方案）

1.3 到当地特种设备安全监督管理部门办理告知

1.4 施工人员准备

1.5 施工机具、计量器具准备

1.6 施工文件准备（收集施工、验收标准规范，准备施工过程记录文件，对作业人员进行安全、技术交底等）

2. 锅炉施工方案的具体策划

2.1 钢架安装开口方式选择

钢架是锅炉的承重结构，为了保证安装质量，减少高空作业，钢架分片现场组对，为保证后续部件，尤其是水冷壁的吊装，应根据总平面图及预制场地的位置，综合考虑选择钢架安装开口方式。

2.2 吊装方法及其施工中大型起重机械选择原则

为保证安装质量，减少吊装机械费用支出，加快施工进度，锅炉钢架如果是室内布置，可考虑利用建筑结构，采用卷扬机配合回转式桅杆进行吊装。如锅炉为露天布置可采用塔吊配合履带吊分片组对吊装。

3. 设备材料到货检验

3.1 对设备、材料的名称、型号、规格、包装箱号、箱数。

3.2 按到货设备材料清单核对设备、材料数量，检查设备、材料外观有缺陷、变形、锈蚀等，以及运输过程中有无造成变形及损伤。

3.3 检查随机技术资料及专用工具是否齐全。

3.4 检查有无缺件。

3.5 重要部件、附件的质量证书和检验试验记录。

4. 焊接工艺评定审查

4.1 焊接工艺评定应为有效版本。

4.2 焊接工艺评定是否适用于该产品的焊接（材质、厚度、是否热处理、焊接位置、检验及试



验等)。

4.3 焊接工艺评定选用的焊接方法要与现场条件适应。

4.4 在进行焊接作业前,应根据焊接工艺评定的要求及现场作业条件,编制工艺规程(焊接作业指导书)。

5、焊工资格审查

焊工应持有效证件上岗,其合格项目应与施焊的项目、位置一致。对焊工技能有疑虑时,应对焊工进行现场技能考试,合格后方可上岗。

(四) 施工方法及质量要求

1. 基础验收及划线

锅炉基础应符合《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-2015)。定位轴线应与厂房建筑标准点校核无误。

表 25-6 基础划线允许偏差:

名称	距离	允许偏差 mm
柱子间距	$\leq 10\text{m}$	$\pm 1\text{mm}$
	$> 10\text{m}$	$\pm 2\text{mm}$
柱子对角线	$\leq 20\text{m}$	5mm
	$> 20\text{m}$	8mm

2. 钢架的检查

钢架一般在地面分片组对,大片吊装

2.1 钢架组对检查(见表 25-7)

序号	检查项目	允许偏差(mm)
	各立柱间距离	间距的 1/1000,最大不大于 10
	各立柱间的平行度	长度的 1/1000,最大不大于 10
	横梁标高	5
	横梁间的平行度	长度的 1.5/1000,最大不大于 5
	组合件相应对角线	长度的 1.5/1000,最大不大于 15
	横梁与立柱中心线相对错位	5
	护板框内边与立柱中心线距离	+5,0
	顶板的各横梁间距	3
	平台支撑与立柱、桁梁、护板框架的垂直度	长度的 2/1000,最大不大于 10
	平台标高	10
	平台与立柱中心线相对位置	10

2.2 钢架安装检查

2.2.1 根据柱子上托架和柱头标高,在柱子上确定并划出 1m 标高线,以作为安装锅炉各部、组件和进行安装尺寸检查时的基准标高。

2.2.2 检查钢架安装偏差,应符合下表要求(见表 25-8):

项 目	允许偏差 (mm)	检测方法
各柱子位置	± 5	尺量
任意两柱间距离 (宜去正偏差)	间距的 1/1000, 且不大于 10	尺量
柱子上的 1m 标高线与标高基准点的高度差	± 2	以支撑锅筒的任柱子为基准, 用水准仪测定其他柱子
各柱子相互间标高差	3	水准仪
柱子的垂直度	高度的 1/1000, 且不大于 10	经纬仪或吊线尺量
各柱间在垂直面内两对角线的长度差	长度的 1.5/1000, 且不大于 15	用钢尺在柱脚 1m 标高和柱头处测量
两柱子相应两对角线的长度差	长度的 1/1000, 且不大于 10	用钢尺在柱子的两端测量
支撑锅筒的梁的标高	0, -5	水准仪
支撑锅筒的梁的水平度	长度的 1/1000, 且不大于 3	水平仪
其他梁的标高	± 5	水准仪

2.2.3 检查柱脚底板与基础间灌浆层厚度, 不应小于 50mm。

2.2.4 检查基础预埋钢筋与柱脚的焊接, 钢筋是否紧靠柱脚上并且焊缝长度达到预埋钢筋直径的 6 ~ 8 倍。

2.2.5 检查平台、撑架、扶梯、栏杆和踢脚板等, 应安装平直, 焊接牢固, 栏杆柱间距应均匀, 栏杆接头焊缝表面应光滑。其安装尺寸偏差检查, 可参照“钢结构制安工程”中的有关要求。

3. 锅筒、集箱安装检查

锅炉钢架安装并按要求找正完毕后, 受热面部件安装前要使用经纬仪把炉膛及汽包的纵横中心线标注在锅炉支撑梁和维护的各层平台上, 重新检查 1m 标高点, 准确无误后作上清晰、牢固的标记, 使它保持到整个安装工程结束。

3.1 检查锅筒、集箱表面和焊接短管, 应无机械损伤, 焊缝应无裂纹、气孔和分层等缺陷。

3.2 根据锅筒、集箱管孔中心线复核锅筒、集箱两端水平和垂直中心线标记是否准确。

3.3 锅筒、集箱的支座和吊挂装置安装前, 检查接触部位圆弧应吻合, 局部间隙用塞尺检查不宜大于 2mm; 支座与梁接触应良好, 不得有晃动现象: 吊挂装置应牢固。

3.4 检查锅筒、集箱就位按其膨胀方向预留支座的膨胀间隙, 是否符合设计规定值。

3.5 锅筒、集箱的安装偏差应符合见 (表 25-9) 要求:

项 目	允许偏差 (mm)
主锅筒标高	± 5
锅筒纵向和横向中心线与安装基准线的水平方向距离	± 5
锅筒、集箱全长的纵向水平度	2
锅筒全长横向水平度	
上下锅筒间水平方向距离和垂直方向距离	± 3
上锅筒与上集箱的轴心线距离	± 3
上锅筒与过热器集箱的距离, 过热器集箱间的距离	± 3
上、下集箱间的距离, 集箱与相邻立柱中心距离	± 3
上、下锅筒横向中心线相对偏移	2
锅筒横向中心线和过热器横向中心线相对偏移	3

注: 锅筒纵向和横向中心线两端所测距离的长度之差不应大于 2mm



4. 受热面管安装检查

4.1 炉管的检查与校正

4.1.1 单根炉管的检查与校正

炉管校正前，应对所有的炉管进行分类及编号，分类编号的同时要清点数量，并把缺件做好详细记录，以便与制造厂联系补足缺件。

炉管的校正方法：冷校法与热校法。注意：热校法加热时，要掌握好加热温度，不得过烧或由于温度过高而引起变形。

炉管的校正检查：按图纸要求尺寸分别在钢平台上将受热面管子放出大样，对炉管逐根检查校正。

校正前，必须对每根管子进行外观检查，对有损伤的管子进行另行堆放，待修正或换掉后再进行校正。校正时，直管的弯曲度不应大于 3mm/m。

4.1.2 膜式受热面管检查与校正

首先对水冷壁管、过热器管、省煤器管进行分类。

分类之后，以汽包下十字线或炉膛中心线为分界线，水冷壁按前、后、左、右分别编号。其他管排类同做好标记。然后，按图纸要求尺寸分别将受热面管屏在钢平台上进行外观检查。若需校正，应有书面签证。

当分段的膜式管屏（管排）吊放到组合架后，要对管屏的宽度、长度、平整度、及对角线进行检查和调整。如管屏的宽度大于或小于设计尺寸时，可将鳍片间的焊缝割开适当的长度调整到规定的尺寸后，再重新焊好。焊接为防止焊接变形，采用分段焊接。管屏的对角线差值大于 10mm 时，可割开尺寸偏大的一端边部鳍片的焊缝，使管距缩小对角线差达到允许误差值，再焊鳍片。管屏不平时，可采用龙门架千斤顶顶压校正。

4.1.3 管子检查、校正之后，须进行通球试验。用不小于 0.6MPa 的压缩空气及直径为管内径 80% 的钢球进行通球检查，清理内部杂物，保证畅通。

表 25-10 通球试验的球径（mm）

弯曲半径 \ 外径	$D_1 \geq 60$	$32 < D_1 < 60$	$D_1 \leq 32$
$R \geq 3.5D_1$	$0.85D_0$	$0.80D_0$	$0.70D_0$
$2.5D_1 < R < 3.5D_1$	$0.85D_0$	$0.80D_0$	$0.70D_0$
$1.8D_1 < R < 2.5D_1$	$0.75D_0$	$0.75D_0$	$0.70D_0$
$1.4D_1 < R < 1.8D_1$	$0.70D_0$	$0.70D_0$	$0.70D_0$
$R < 1.4D_1$	$0.65D_0$	$0.65D_0$	$0.65D_0$

4.2 水冷壁安装

4.2.1 单根水冷壁管安装装管顺序依次为左、右侧水冷壁上下段、后水冷壁、前水冷壁，吊装时为防止管子产生较大变形，每根管子应多设绑扎点。

装管过程中要及时调整安装吊架、导向吊架、导向装置、托挂装置，调整炉室外形直到合格。

4.2.2 膜式水冷壁安装

4.2.2.1. 组对前，每片膜式壁的端部修磨整齐。组对时，将专用工具固定在装配孔上，用调整螺栓调整片与片之间的整体间隙。

4.2.2.2. 管与管的错口用楔子调整，必要时，可切割膜式壁的鳍片，增大调整余量，管间鳍片可切开 2.5 ~ 3mm 间隙，长度根据调整量大小而定。调整时管屏内外两侧均需人监测。

4.2.2.3 受热面管子对口时，间隙应均匀，内壁平齐，错口不应超过壁厚的 10%，且不大于 1mm。作业时膜式壁内外均派人监测，避免单面监测造成的另一方面错边量失控。

4.2.2.4 点固时，每片膜式壁均从两端向中间对称点焊，应首先点固间隙小的焊口，间隙较大者可暂时不点焊，由于点焊时，对口间隙会不断收缩，随着点焊的不断进行，其间隙收缩到规定的范围内，再点固，点固时每道焊口必须双面点固，待焊点冷却后，方可拆除楔子等调整工具。

双组对称互补焊接技术

膜式壁管屏管与管之间间距小，焊接空间小，焊接位置差，采用双组双人对称焊接，两焊工分别位于膜式壁管屏两侧，在每道焊口的组对位置引弧，焊接方向一致，焊接位置相互对应，收弧于另一焊工的引弧点。两焊工技能水平应相当，焊接电流、焊接电压、焊接速度力求一致。两名焊工里外配合焊接，避免了焊工爬进爬出炉膛次数，减少了劳动强度，提高了焊接速度。管屏找正管屏找正的原则：首先保证上部的准确性。找正后应及时进行临时固定，用型钢将组合件与周围固定结构或平台等连接起来，以防止走动。一面的水冷壁找正后，须及时地进行各片间的拼缝和刚性梁的连接，当四面水冷壁都找正好后，再进行转角拼缝和刚性梁的连接。拼缝间隙不宜过大，应符合图纸设计要求。装管过程中要及时调整安装吊架、导向吊架、导向装置、托挂装置，调整炉室外形直到合格。

表 25-11 水冷壁组合允许误差（mm）

序号	检查项目	允许误差（mm）	
		光管	
1	联箱水平度	2	2
2	组件对角线差	10	10
3	组件宽度全宽 < 3000 全宽 > 3000	± 3 ± 5	± 5 2/1000, 最大不大于 15
4	火口纵横中心线	± 10	± 10
5	组件长度	± 10	± 10
6	个别管子突出不平	± 5	± 5
7	水冷壁固定挂沟标高 错位	± 2 ± 3	
8	联箱间中心线垂直距离	± 3	± 3

表 25-12 刚性梁组合或安装的允许误差（mm）

序号	检查项目	允许偏差
1	标高（以上联箱为准）	± 5
2	与受热面管中心距	± 5
3	弯曲或扭曲	W 10
4	连接装置	膨胀自由

5. 过热器安装



5.1 过热器为蛇形管结构。水冷壁安装完毕后,即可进行过热器蛇形管的安装。为保证管内清洁,安装前蛇形管应进行压缩空气吹扫,并进行通球试验,球径为管内径的 75%。

5.2 小于 3.82Mpa 以下锅炉过热器安装

过热器单件安装既是先将过热器联箱安装找正,之后再行蛇形管的组对焊接。

过热器由一、二级过热器组成,安装时应先装低温过热器管束,再安装高温过热器管束。安装过程中要经常检查蛇形管间距及与炉墙的间隙,并要注意防磨盖板不漏装、错装。

5.3 大于 3.82Mpa 以上锅炉过热器安装

安装时应按尾部包墙管、一级过热器、二级过热器、屏式过热器、顶部连接管顺序进行。尾部过热器找正以下联箱为准。安装过程中要经常检查蛇形管间距及与炉墙的间隙,并要注意防磨盖板不漏装、错装。过热器管束、管组之间装有梳形板相互牵牢,以保证过热器在运行中不晃动。在装梳形板前,应认真调整管排间距、管排的不平整度、以及边缘管的间隙。可以用热校正和自制龙门卡用千斤顶配合使用。焊炉顶密封之前应对过热器进行初找,二次找正与装梳形板可同时进行。

表 25-13 过热器安装后尺寸应满足下表的要求:

序号	检 查	项目允差 (mm)
1	蛇形管自由端	± 10
2	管排间距	± 50
3	个别不平整度	$\nless 20$
4	边缘管与炉墙间隙	符合图纸

6. 省煤器安装

对于锅炉一、二级省煤器和空气预热器是设置在同一个垂直烟道内,锅炉运行时,烟气通过空气预热器、省煤器,最后进入水膜除尘器或静电除尘器。

6.1 安装方法

一、二级省煤器安装时,由于构造原因,实际和空气预热器是交叉安装的,安装前应将炉尾部护板安装到位,吊装使用 1t 或 2t 卷扬机单片吊装。

6.2 安装要求

安装前蛇形管进行压缩空气吹扫,并进行通球试验,球径为管内径的 75%,安装中要经常检查蛇形管间距及与炉墙间隙,并要注意防磨盖板不能漏装,墙体的焊接要严密不漏。具体安装允许误差见下表 25-14 ;

序号	检 查	项 目 允 差 (mm)
1	组件宽度误差	± 5
2	组件对角线	10
3	联箱中心距蛇形管弯头端部	± 10
4	组件边管不垂直度	± 5
5	边缘管与炉墙间隙	符合图纸

空气预热器由上、下级组成,管箱式结构。安装时它与省煤器交替安装。安装前每组管箱的上下管板应进行煤油渗透试验,以防漏风。安装过程中注意密封部件安装质量及膨胀节安装质量,

每组管箱的防磨套管不能漏装。连通箱和管箱间的焊缝要严密不漏，防止运行时空气与烟气短路。安装后的允许误差见下表 25-15：

序号	检查项目	允差 (mm)
1	支承板架上部不水平度	3
2	支承板架的标高偏差	± 5
3	管箱不垂直度	1/1000>5
4	管箱中心线与构架立柱中心线间的距离	± 5
5	相邻管箱的中间管板标高	± 5
6	整个空气预热器顶部标高	± 15
7	管箱上部对角线差	15
8	波形伸缩节冷拉值	符合图纸

8. 炉门类及密封件安装

水冷壁管安装完，炉膛整形合格后，进行门类及密封件的安装。

门类安装时位置要正确，梳形板，加强板焊接牢固并特别注意焊接质量，以防烧通。防爆门盖浇注混凝土后，开启灵活，无障碍物。

受热面上的密封铁板牢固正确，并不得妨碍膨胀。

炉膛下部要按图纸留出热膨胀间隙，并注意密封。

密封装置的安装要和炉墙的砌筑协调进行，并考虑锅炉的水压试验，必须在水压试验前安装。

9. 燃烧系统安装

煤粉炉燃烧系统安装

煤粉燃烧器四角布置，切圆燃烧。燃烧器与水冷壁为固定连接，燃烧器由恒力弹簧吊架及圆钢分别将其吊于构架梁和水冷壁角部鳍片上。运行时，燃烧器同水冷壁一起向下膨胀，其膨胀由风粉管吸收，安装应保证运行中，燃烧器不承受风粉管道施加的外力。

燃烧装置安装技术要求：配风器的焊缝和结合面应严密不得有漏风现象，须做漏风试验检查。

操作装置应灵活可靠，指示刻度与挡板实际位置相符，布风板安装应保持与膜式水冷壁管的间隙，火焰喷出的煤粉不得冲刷周围管子，安装位置允许误差应符合下列要求：

9.1 燃烧器喷口中心标高 $\pm 5\text{mm}$

9.2 各燃烧器间的距离 $\pm 5\text{mm}$

9.3 喷口与炉膛燃烧切圆 ($\phi 850$) 的切线误差不大于 0.5°

10. 本体管道的安装

主下降管和连接管的安装，安装时应遵循先大管后小管，先弯头少的管段后弯头多的管段。汽包找正之后，即可进行集中下降管直管段安装，焊接时需要对称焊接。

现场自行布置的管道，力求连线短捷，有疏水坡度，布局合理，支吊架牢固合理，不影响膨胀等，遵守管道安装的一般规定。

排污、疏放水管道在运行状态下有不小于 0.2% 的坡度，能自由热补偿，不影响汽包、联箱和管系的热膨胀；不同压力的排污、疏放水不能接入同一母管；取样管安装时要有足够的热补偿，

蒸汽取样器安装方向要正确，孔眼与蒸汽逆向；安全阀排汽管重量不要压在安全阀上。

11. 水压试验检查

11.1 试验范围及目的

试验范围：水冷壁、对流管、过热器、省煤器、汽包、联箱及本体管道及密封件焊接。

目的是检查受热面的安装、焊接、胀接质量及阀门、本体附件的密封情况。

11.2 试验前应具备的条件

11.2.1 受热面管道及吊挂装置安装完毕，并按规范要求进行了射线探伤，所有需在受压部件上施焊的工作都已完成。

11.2.2 给水、排污及本体管道安装完毕。

11.2.3 高压给水泵具备了送水条件，且送来的软水温度不超过 80℃。

11.2.4 试压泵安装完毕，具备使用条件，具备了三块校验合格，并在有效期内的压力表，精度 1.5 级以上。

11.2.5 汽包、联箱上的安全阀下部均加上盲板，汽包人孔封闭好。

11.2.6 汽包、过热器出口集箱各装一块符合要求的压力表，对空排汽管畅通，阀门开闭灵活。

11.2.7 检查汽包、联箱及水冷壁安装时用的临时支承是否拆除，并检查膨胀间隙是否符合图纸要求，方向是否正确。

11.2.8 试压前需封闭的管口列表公示。

11.3 试压程序

11.3.1 关闭锅炉上所有阀门，打开压缩空气阀给锅炉充气，分多个检查组对锅炉焊缝进行检查，如发现漏点，应关闭压缩空气阀，打开放空阀，待锅炉内无气压后进行处理，处理完毕后重新充气试漏直至无漏点为止。

11.3.2 空气试漏合格后进行水压试验。检查水质及水温是否符合试压要求，打开汽包和过热器集箱上的排气阀，关闭除排气阀和给水阀以外的其它阀门，开启高压给水泵给锅炉上水。

当最高点的排气口出水后，同时关闭给水阀和排气阀，关闭高压给水泵。

水上满后，对所有受热面及工艺管道进行一次全面检查，确认无泄漏后方可进行升压。

水压试验压力应符合下表 25-16 的规定。

名称	汽包（锅壳）工作压力 P_w	试验压力
炉本体	0.8MPa	1.5 P_w 但不小于 0.2MPa
炉本体	0.8 ~ 1.6MPa	$P_w+0.4MPa$
炉本体	> 1.6MPa	1.25 P_w
过热器	任何压力	与锅炉本体试验压力相同
可分式省煤器	任何压力	1.25 $P_w+0.5MPa$

12. 锅炉风压试验

12.1 锅炉风压试验的目的及试验范围

锅炉风压试验的目的是在锅炉安装完毕后，检查燃烧室、冷热风系统及烟气系统的严密性，

找出漏点并予以消除。

锅炉风压试验的试验范围包括炉膛、冷热风系统、烟道、各膨胀间隙、人孔、出灰孔等各种孔洞。

12.2 风压试验方法

风压试验可分两部分进行，第一部分包括送风机、送风管、空气预热器、一次风、二次风管直至炉膛；第二部分包括对流段管束、尾部烟道受热面、除尘器至引风机入口。第一部分是正压系统，第二部分是负压系统。

第一部分试验方法是：将引风机入口风门和各炉门全部关闭，在送风机入口放上烟幕弹，随后启动风机，检查第一部分各部位有无漏烟。

第二部分试验方法是：开启引风机，使燃烧室和烟道保持负压，采用蜡烛靠近炉墙和烟道的外表面各处移动，火焰不被负压吸引则合格。

12.3 风压试验需具备如下条件

引风机、送风机安装完毕并经单机试运转合格；烟、风道安装完毕，其各部位人孔、门类等已封闭；

12.3.1 二次风门操作灵活、开关指示正确，风压表安置完毕，显示正确；

炉本体内保温施工完毕，密封装置施工完毕。

预热器、冷热风道、烟道等内部检查合格，人孔、试验孔全部封闭；

（二）一段转化炉安装

1. 一段转化炉的作用与构成

一段转化炉是合成氨装置核心设备之一，从原料气压缩机来的天然气与水蒸气在镍触媒、高温高压的条件下，进行转化反应生成氢气、一氧化碳和二氧化碳，从一段转化炉出口的转化气进入二段转化炉进行更深一步的转化。

一段转化炉的主要结构有：辐射段、过渡段和对流段组成，猪尾管、集气管、转化管是一段转化炉的重要组成部分，猪尾管是原料气分配管系的重要元件，对原料气的分配和转化起着承上启下的关键作用。

集气管是一、二段转化炉相互联结的重要通道，具有输送转化工艺气的作用。转化管是一段转化炉中，转化管系里最关键的部件，他数量大、技术要求高，在生产中，通过外界吸热进行烃类蒸汽转化反应，使转化后工艺气出口甲烷含量达到 16.3% 以下的要求，起着一次转化中最关键的作用。

猪尾管、集气管、转化管采用的联结方法主要是：转化管排与一单独出口集气管联结，并采用连接管为内保温隔热方式，在中等温度下操作运行；猪尾管同转化管采用管座承插焊联接方式，属挠性连接，管道采用外保温隔热，检修极为方便。

2. 施工工艺流程：

施工准备——→材料验收——→辐射段侧墙板、底板安装——→炉顶结构安装——→炉顶屋架支撑结构安装——→转化炉管组件吊装进辐射段内——→转化炉管组件——→移至到设计位置——→炉管悬吊结



构安装——→下集气管吊装就位——→通过弹簧吊架调整转化炉管组件——→上集气管吊装就位——→安装转化气输气总管——→上猪尾管安装(焊接)——→下猪尾管安装(焊接)——→下猪尾管保温箱安装——→炉顶密封板、导向板安装——→烟道、烧嘴安装——→最终调整转化炉管弹簧到工作状态并作记录——→对流段钢结构安装——→对流段模块吊装——→对流段上部风道安装——→对流段模块与辐射段之间钢结构安装——→辐射段周遍烟道及部件安装——→空气预热器安装——→风机安装——→空气预热器进出口烟道安装——→非金属膨胀节, 风门、调节挡板的安装——→引风机进出口烟道安装——→工艺系统气密试验——→交业主组织烘炉

3. 主要控制环节

3.1 基础验收

3.2 到货检验

3.3 焊接工艺评定和焊接工艺规程

3.4 焊工资格与技能考试

3.5 钢材的检验

3.6 钢结构安装

3.7 转化炉管安装、焊接

3.8 炉管支架调整

3.9 无损检测

3.10 系统试压。

4. 施工方法及质量检验标准

4.1 基础验收(略)

4.2 材料验收

4.2.1 收到的所有设备、构件、配件等均须有合格证明书、设备到货后要核对实物与设计图纸及质量证明书相符。

4.2.2 按照到货装箱单核对到货的数量、规格与装箱单中是否一致并检查到货的表面质量, 检查到货规格、数量是否满足图纸中的要求。

4.2.3 钢结构组件到达现场后, 核对钢结构的尺寸与图纸是否相符, 钢结构的表面不得有大面积的损坏, 高强螺栓连接摩擦面不得涂漆并不得有锈蚀现象。

4.2.4 对钢结构的制作质量进行检验, 钢结构的制作质量须符合规范中要求。

4.2.5 所有配件的包装破损, 如果外部包装在运输过程中有损坏现象, 应立即检查内部设备是否受到损坏。

4.2.6 所有部件的螺纹部分均涂脂保护, 没有锈蚀、破损的情况。

4.2.7 转化管、猪尾管、上下集气管等重要组件表面不得有锈斑、划痕等缺陷。

4.2.8 转化管组件中管子长度允许偏差为 0-6mm, 平直度允许偏差为 1mm/1000mm, 全长不得大于 10mm。

4.2.9 有转动结构的部件,其转动部位应转动灵活,没有卡涩现象。

5. 焊接工艺评定审查

5.1 焊接工艺评定应为有效版本。首次使用的钢种,应根据钢号、板厚、焊接方法及焊接材料等,按国家现行标准进行焊接性试验,以确定合适的焊接工艺。

5.2 焊接工艺评定是否适用于该产品的焊接(材质、厚度、是否热处理、焊接位置、检验及试验等)。

5.3 在进行焊接作业前,应根据焊接工艺评定的要求及现场作业条件,编制工艺规程(焊接作业指导书)。

5.4 焊工资格审查

焊工应持有效证件上岗,其合格项目应与施焊的项目、位置一致。对焊工技能有疑虑时,应对焊工进行现场技能考试,合格后方可上岗。

5.5 辐射段钢结构安装:

辐射段钢结构的安装要求同锅炉钢结构结构

5.6 排气室安装

在屋架安装找正结束后悬吊排气室,使用弹簧吊架将排气室悬吊到房架结构上,通过弹簧吊架调整排气室的正确位置,中心线在垂直方向及水平方向的允许偏差均为 3mm。

5.7 转化管组件安装

5.7.1 将转化管开箱检查并运至现场,经检查合格后用 $\delta=50\text{mm}$ 玻璃纤维棉将转化管组件的每根炉管包好,防止在安装过程中及安装就位后发生炉管表面伤害,其中部分位置因为临时支架的影响等到吊装就位后再用玻璃棉包好。

5.7.2 在辐射段内部转化管的安装位置上每隔两米放置一个 $200*200*2000$ 的道木作为转化管的安装临时支架。

5.7.3 将弹簧吊架悬挂系统安装好,再安装弹簧吊架;利用安装吊耳将转化管吊至垂直状态并穿过炉顶和炉底板,将转化管上部法兰底部挂在弹簧吊架上。

5.8 上、下集气管安装:

5.8.1 用导链将集气管吊装到设计位置并将吊架安装好,通过吊架调整上集气管的位置及水平度,水平度允许偏差 3mm/m 。

5.8.2 上集气管安装后,要及时固定;上集气管的安装要注意其管接头的方向及其管接头与转化管的相对位置。

5.8.3 下集气管应在汽包框架安装前安装就位。

5.8.4 下集气管安装前应按要求进行基础的中间交接及处理,滑动支座处涂以二硫化钼润滑脂,并保证各滑动间隙。

5.8.5 因下集气管长度较大,且有隔热层,安装时应采用多点吊装,吊点应选在托架处。

5.9 弹簧吊架的安装与调整



使用弹簧吊架悬吊转化管组件，使弹簧的刻度标尺面对操作走道平台，按照转化炉辐射段组件调整平衡程序中的有关要求对辐射段转化管组件进行调整、平衡、组对，调整时先从中间 1/3 部分组件开始调整，中间部分调整完成后再调整两端的 1/3 部分组件。

5.9.1 射段中间 1/3 部分转化管组件调整程序：

A. 整各个弹簧杆的垂直度，在 1/8 英寸（3mm）垂直允差内。从上升管过渡段放下一根垂直线，确定该竖管与下集气管联接的中心。竖管的垂直对准应当在 $\pm 1/2$ 英寸（12mm）误差范围内。垂直线应当与钢底板上现有的孔相对应，如此处有冲突发生，应以垂直线的位置为首要优先位置，而钢底板上的孔需要作相应的改动。将上升管对中之后，调节上升管两侧所有中间段弹簧，使下集气管水平度的允许误差在 $\pm 3/8$ 英寸（10mm）/10 英尺（3m）长度范围之内。

B. 下集气管的标高，应当调定在低于设计下集气管最终标高大约 20mm 的位置上。这个位置将要求将整个转化式管结构升高到最终标高，并要有合适的焊接缝隙，以便以后焊接上升管。在此点，应当检查从钢地面板到下集气管底侧之间的空间。必须把地面砖屏蔽层和下集气管屏蔽层考虑在内，此时它们还没有安装上。上升管焊缝处的间隙为 3/4 英寸（19mm）。下集气管屏蔽下面的“净”空间，最少应为 8 英寸（200mm），以便能够接受在操作过程中上升管所产生的膨胀。下集气管整个长度下的足够充分的空间，对于补偿辐射盘管在炉子操作过程中所产生的向下热膨胀，是十分关键的。

C. 临时性地将下集气管锁定就位，以防止产生任何侧向移动，并且对下集气管进行临时性地支撑（从下面支撑），以保持其标高位置。

D. 读取弹簧压力标尺并记录下各个弹簧的编号、校准的弹簧负荷、弹簧常数值以及弹簧指示器的读数值。弹簧指示器的读数就是指示器的高于或低于校准的负荷标记的位置。高于校准的负荷标记时，从校准的负荷上减去重量，低于标准的负荷标记时，在校准的重量上加上重量。记录下高于或低于校准的负荷的位置（在弹簧压力标上以 1/10 英寸（1mm）递增测量的），用弹簧常数值乘读数值，然后将这个数加上弹簧校准的负荷，或者用弹簧校准的负荷减去这个数。将所有弹簧重量和读数值记录在转化式管子称重表上。

E. 按照最后步骤所记录的，重新调节弹簧，使整个转化式管子结构组件的重量分布均衡。支撑中间转化式管组件的每个弹簧，应当承载此段总重量的一个相同份额重量。

F. 再次检查上升管垂直线、下集气管的标高和水平度以及弹簧的平衡情况，如果都在规定的允许误差范围内，则可以开始调整两端组件。

5.9.2 平衡端头 1/3 转化式管结构组件的操作：与中间段的校平和平衡操作非常相似。但是，端头段没有上升管，并且端头段的调整，是根据中间段的现在位置来进行。

A. 垂线校正全部弹簧吊杆，使其达到 1/8 英寸（3mm）垂直偏差以内。

B. 调节所有端头段弹簧，使下集气管水平度的允许误差为 $\pm 1/4$ 英寸（6mm）/10 英尺（3m）长度范围内。

C. 将转化式管结构端头段的标高调定在稍许低于下集气管设计最终标高的位置，并且与中间

1/3 组件的标高相同。这个位置以后将需要升起整个转化式管结构,以达到最终标高高度和提供一个焊接上升管的合适焊接缝隙。

D. 在此点,应当检查钢底板上部至下集气管底侧的空间距离。必须把地面砖绝热层和下集气管绝热层考虑在内,此时它们还没有安装上。底部下集气管下面的:“净”空间,最少应为 8 英寸(200mm),以便能够接受在操作过程中上升管所产生的膨胀。

E. 读取弹簧压力标尺并记录下各个弹簧的编号、校准的弹簧负荷、弹簧常数值以及弹簧指示器的读数值。弹簧指示器的读数就是指示器的高于或低于校准的负荷标记的位置。高于校准的负荷标记时,从校准的负荷上减去重量,低于标准的负荷标记时,在校准的重量上加上重量。要获得最终的弹簧读数,你要记录下高于或低于校准的负荷的位置(在弹簧压力标尺上),用弹簧常数值乘读数值,然后将这个数加上弹簧校准的负荷,或者用弹簧校准的负荷减去这个数。与在中间段弹簧上使用的步骤方法是相同的。将所有弹簧重量和读数值记录在转化式管子称重表上。

F. 按照最后步骤所记录的,重新调节弹簧,使整个转化式管子结构组件的重量分布均衡。支撑端头转化式管结构段的每个弹簧,应当承载此段总重量的一个相同份额重量。

G. 调节弹簧吊杆(根据需要将其移动到顶部槽孔中),以便将端头下集气管坡口端定位在一个正确的位置,使其与中间下集气管坡口端有一正确的焊接缝隙。应当可以用不超过 25 磅(12kg)的力将下集气管段推在一起,以形成一个合适的焊接缝隙。检查中间段和端头段下集气管的校直对准情况,使它们处于一条直线上,如果从上面观察这两段,其允许偏差为 $\pm 1/4$ 英寸(6mm)/10 英尺(3m)长度。再次检查焊接间隙、下集气管的标高和水平、弹簧的平衡以及中间段的对准校直情况。如果一切都在规定允许偏差之内,则可以焊接端头段和中间段(焊接坡口在工厂已经加工好)。

H. 焊接时临时性的将下集气管锁定就位,以防止产生任何侧向移动,并且对下集气管进行临时性到支撑(从下面支撑),以便在焊接下集气管时,在弹簧下沉的情况下保持下集气管的正确标高。

5.10 输气总管安装

输气总管分三段,每段又分几节,分节吊装倒运至安装位置后组对,再分段吊装;与下集气管管口对好,达到设计和规范要求。

对于转化气总管到转化气出口的焊接,可采用歧管支架螺旋扣来确保安装齐平。在这个阶段。不能释放支架弹簧并且支架不能产生冷固进入系统中。必须在猪尾管安装前将出口歧管连接到转化气总管。

输气总管安装先使用分段总管上的法兰螺栓安装组对,待全部组对检查合格后由输气总管制造厂现场焊接;分段输气总管壁厚 24mm,材质为 16MnR,焊接材料: H08Mn2SiA 焊丝 /J507 焊条;输气总管与废锅管口壁厚 24mm,材质分别为 16MnR/13CrMo4-5,焊接材料: H08Mn2SiA 焊丝 /J507 焊条;下集气管变径段与输气总管的焊接由下集气管制造厂焊接。

在焊接程序规定中要为组件提供预热,在焊接前要将碳钢组件预热到 110-130℃,将低合金组件预热到 140-160℃。不能对有耐火衬里的焊缝进行焊后热处理。



5.11 猪尾管安装:

在上集气管及转化管安装、找正固定完毕后进行猪尾管的安装工作。猪尾管安装中注意以下事项:

5.11.1 猪尾管组对时可通过热变形或冷变形来调整猪尾管与上集气管及转化管之间的相对位置,猪尾管热变形或冷变形加工后不需要热处理,猪尾管组对时不得通过外力强制组对。

5.11.2 猪尾管在组对中注意保证猪尾管与承插焊管凸台间 2mm 的间隙。

5.11.3 炉顶密封板、导向板安装、烟道烧嘴安装

A. 所有附件应按设计图样、说明书及有关技术标准经检查验收合格后方可安装。附件的方位、标高应严格按设计文件的要求进行安装。

B. 燃烧器的安装应符合下列规定:

a、炉墙上预留的燃烧器孔位置,经验收合格后,方可安装燃烧器。

b、喷嘴在安装时,应按设计文件的规定进行对中。

c、燃烧器的供气、供油、供汽系统的管路必须畅通无阻;连接部位应严密,无泄漏;调节机构应准确、灵活。燃烧器的安装位置允许偏差为 $\pm 8\text{mm}$ 。

d、燃烧器内各通道必须畅通无阻,连接部位应严密,无泄漏,调节机构灵活。燃烧器安装完毕后,应采取措施将其保护起来,以免杂质进入燃烧器内,影响开车。

5.11.4 人孔、防爆门和看火门安装

门类安装时位置要正确,梳形板,加强板焊接牢固并特别注意焊接质量,以防烧通。防爆门重量必须符合设计文件的规定,盖浇注混凝土后,铰链转动应灵活,无障碍物。人孔门、观察孔和防爆门安装位置的允许偏差为 $\pm 8\text{mm}$ 。人孔门与门框、观察孔与孔盖均应接触严密。

5.11.5 烟道挡板安装

应转动灵活,挡板与衬里内壁的间隙应符合设计文件的要求,手动或电动调节系统应调试,使开、关位置与指标标记一样。受热面上的密封铁板牢固正确,并不得妨碍膨胀。炉膛下部要按图纸留出热膨胀间隙,并注意密封。烟道挡板和烟囱挡板的调节系统应进行试验,检查其启闭是否准确、灵活。

5.11.6 钢结构和烟道安装

对流段钢结构安装分两部分,首先要把模块底座下面的支撑结构在模块安装前安装完毕,待模块安装后再安装模块上部钢结构,然后再安装对流段烟风道。

5.11.7 空气预热器安装

结构组成及注意事项空气预热器由分流器、管箱、中间风道、连接法兰及胀缩节等组成,管箱式结构。安装前每组管箱的上下管板应进行煤油渗透试验,以防漏风。安装过程中注意密封部件安装质量及膨胀节安装质量,中间风道和管箱间的焊缝要严密不漏,防止运行时空气与烟气短路。

表 25-17 空气预热器安装后的允许偏差要求

序号	检查项目	允许偏差 (mm)	检查方法
1	框架安装顶面水平度	3	水位仪或水平尺检查

序号	检查项目	允许偏差 (mm)	检查方法
2	框架标高	± 10	水平仪、直尺检查
3	管箱垂直度	$1/1000 \geq 5$	吊线、直尺测量
4	管箱中心线与构架立柱中心线间距	± 5	直尺测量
5	相邻管箱的中间管板标高	± 5	水位仪、直尺检查
6	管箱上部对角线差	15	拉尺测量
7	整个空冷器的顶部标高	± 5	拉尺测量
8	波形膨胀节的冷拉值	按图纸规定	直尺测量

5.11.8 对流段模块的安装：

A、模块到场后核对模块连接面的尺寸并检查模块内部的衬里是否有损坏情况，如果模块内部衬里有损坏的先进行修补，修补合格后方能进行安装工作；

B、模块吊装时使用制造厂提供的吊装梁，吊点选择按照图纸中的要求进行；

C、模块吊装前，拆除模块底部的运输临时支架；

D、模块就位前按照图纸要求将绝热垫安装就位，模块安装时需确保模块的正确中心位置，要保证支柱的正确受力；

E、模块的安装按照随机文件要求的顺序进行；

F、模块吊装前在柱子上画出中心并焊上组对卡具，确保模块的正确就位。

G、模块之间的密封：各模块与对流段顶部烟道之间因为烟道内衬里工作未完成，在连接法兰的密封面上涂抹 3mm 厚的沥青，隔热垫需等到衬里工作完成后再安装；在其它的模块之间，在衬里支撑板上铺上 150mm 宽、25.4mm 厚的陶纤隔热垫片，在连接法兰的密封面上涂抹 3mm 厚的沥青，为保证陶纤隔热垫在受压后能紧密接触，垫片的接头处严格执行设计要求的接头型式：



H、模块就位并将中心位置调整后使用经纬仪检测模块的垂直度，模块的垂直度偏差不得大于 1/1000，模块的垂直度合格则开始焊接模块的支撑柱，支撑柱连接处的坡口已经由制造厂加工好，焊条选用 E4303；

I、在下一块模块吊装前拆除模块顶部的吊装梁及防水铁皮，不要过早的拆除防水铁皮，防止下雨淋潮内衬，特别是在顶部烟道安装的过程中要做好防雨的准备。

J、模块安装就位后将模块底部的临时拉杆拆除，在两端安装上 1 1/4 " 的管帽。

K、将模块人孔门中部的横梁割除，安装人孔门，在横梁割除的过程中注意保护，防止焊渣进入模块内部或破坏模块内衬。

5.11.9 焊接及焊接检验：

A、钢结构焊接采用手工电弧焊，承受压力的管道系统焊接采用氩弧焊或氩弧焊打底，手工电弧焊盖面。

B、辐射段工艺系统焊接工作量及焊接材料选用参见辐射段工艺系统焊接工作量及焊接材料选



用一览表。

C、参加焊接施工的焊工必须经过有业主焊接工程师、监理焊接工程师参加的按照 ASME 标准进行的焊工考试合格方能参加现场的焊接工作。

D、焊接工作开始前，结合现场施工条件进行焊接工艺评定工作，按照评定合格的焊接工艺评定编制焊接工艺规程（WPS），并将焊接工艺规程发放给对应的的施焊焊工。

E、焊接前将坡口表面及两侧 25mm 以内的油污、铁锈等杂物清理干净。

F、焊接前，焊工要检查坡口的组对质量，组对质量不合格的坡口，焊工拒绝焊接。

G、焊接工艺严格地按照焊接工艺规程执行，焊工不得私自修改焊接方法或焊接工艺参数。

H、一道焊缝应一次连续完成焊接工作，如因特殊原因中断焊接，下次开始焊接前要仔细检查原来的焊道是否出现裂纹，如出现裂纹，处理完毕后方能进行焊接工作。

J、焊接环境：当现场出现以下情况时，为保证焊接质量，如采取的防护措施仍然不能使焊接环境满足要求时，需停止现场施焊工作。

a. 手工电弧焊时风速大于 8m/s，氩电联焊时风速大于 2m/s。

b. 下雨或环境湿度大于 90%。

K、焊接结束后将焊缝表面的药皮、焊渣、飞溅清理干净，进行焊缝外观质量检验，要求焊缝外观成型良好，焊缝表面不得有裂纹、气孔、夹渣、弧坑等缺陷。

L、焊缝表面检验合格后进行无损检测，现场焊接的所有对接焊缝按照图纸要求进行 X 射线探伤，所有的角焊缝及对接焊缝进行液体渗透探伤，无损探伤方法及评定执行 ASME 第Ⅷ卷 第一部分中的相关规定。

M、焊缝返修：

现场无损检测发现有不合格缺陷的位置需进行返修，返修后重新检测至合格为止，如果焊缝同一部位返修次数超过两次，需制订专门的焊缝返修工艺并报业主、监理批准。

第二十六章 动设备安装

第一节 一般泵、风机类设备安装、试车质量控制

一、基本规定

本教材主要适用于化工、石油化工用泵、风机类机械的安装工程（包括整体安装和解体安装、单机试车）的质量控制要求。

二、执行标准

GB50275 《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》

HG20203 《化工机器安装工程施工及验收规范》（通用规定）

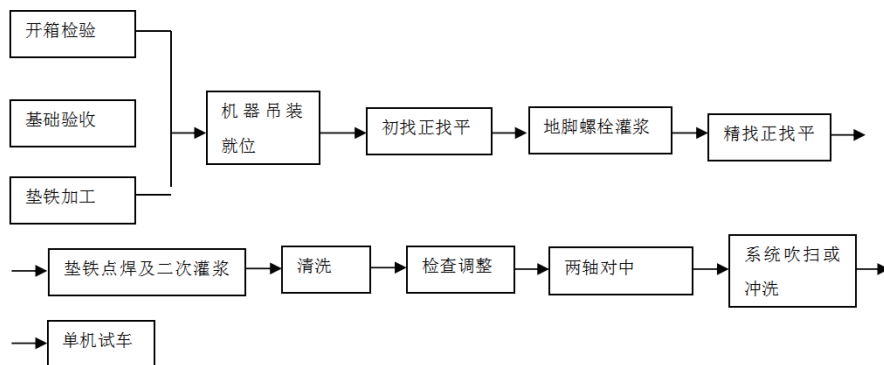
JB/T10562 《一般用途轴流式通风机技术条件》

JB/T10563 《一般用途离心通风机技术条件》

SH3514 《石油化工设备安装工程质量检验评定标准》

三、质量控制要点

（一）基本施工程序



（二）质量控制点

表 26-1 泵、风机安装质量控制点一览表

序号	质量控制点	主要控制方法	备注
1	机器及附件验收	依据设备装箱单核对设备及零部件有否缺损，核对随机技术文件资料专用工具是否齐全。	AR
2	基础验收	根据设备制造图纸对基础外形尺寸、中心线、标高及预留地脚螺栓孔进行检查、验收。	BR
3	设备吊装、初找平找正	按照有关规范规定，利用专用工具对设备调整。检查平面位移及纵横方向的水平度	CR
4	一次灌浆（地脚螺栓灌浆）	按照规范检查地脚螺栓的安装质量，检查地脚螺栓孔清洁质量	C
5	二次找平找正	采用水准仪、卡尺、千分表等对水平度、间隙等进行测量，符合规范要求方可灌浆。	BR
6	二次灌浆	按规范检查垫铁的安装、细石混凝土配比、浇灌及养护。	AR



序号	质量控制点	主要控制方法	备注
7	联轴节对中	采用千分表或激光找正仪对联轴节轴向、径向对中偏差进行测量,符合规范或厂家要求。	BR
8	润滑部位检查、注油	各润滑部位按规定加注润滑油(脂);润滑,油路、油位、冷却水系统正常。	C
9	电机转向检查	检查电动机的方向,工作机构的动作应平稳、可靠。	C
10	试运转	检查有无异常现象及介质泄漏现象	AR

(三) 各工序质量控制要点:

1. 施工前检查满足机器安装质量的保证条件。

1.1 对操作人员的能力的考核。考核的人员及内容见表 26-2

表 26-2 主要作业人员

序号	工种	持证上岗要求	备 注
1	钳工	持证上岗	上岗操作证
2	起重工	持证上岗	特殊工种资格证
3	电工	持证上岗	特殊工种资格证
4	仪表工	持证上岗	上岗操作证
5	管工	持证上岗	上岗操作证
6	焊工	持证上岗	特殊工种资格证

1.2 对测量、计量器具的数量、种类及有效性进行检查。

主要的测量、计量器具有:经纬仪、水平仪、百分表、游标卡尺、千分尺、塞尺、内径量表、红外线温度计、测振仪、钢卷尺、钢直尺、螺纹规、线坠等。

2. 设备的开箱验收、保管质量控制要点

2.1 开箱时,对主机、附属设备及零、部件进行外观检查。核实零、部件的品种、规格、材质、数量,还应核实随机配件的品种、规格、材质、数量。

2.2 风机外露部分各加工面应无锈蚀;转子的叶轮和轴颈、齿轮的齿面和齿轮轴的轴颈等主要零件、部件应无碰伤和明显的变形。

2.3 开箱后暂不安装的机器或零、部件,应采取适当的防护措施,妥善保管,严防变形、损坏、锈蚀、老化、错乱或丢失。

3. 基础质量验收要点:

3.1 泵、风机的基础位置,几何尺寸和质量要求,应符合现行国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》的规定,并应有验收资料或记录。机器安装前应按表 3.1 规定的允许偏差对设备基础位置和几何尺寸进行复检。

表 26-3 设备基础尺寸和位置的允许偏差

项 目	允许偏差 (mm)
坐标位置 (纵、横轴线)	± 20
不同平面的标高	$- 20$
平面外形尺寸	± 20
凸台上平面外形尺寸	$- 20$
凹穴尺寸	$+ 20$

项 目		允许偏差 (mm)
平面的水平度（包括地平上需安装设备的部分）	每米	5
	全长	10
垂直度	每米	5
	全长	10
预埋地脚螺栓	标高（顶端）	+ 20
	中心距（在根部和顶部测量）	± 2
预埋地脚螺栓	中心位置	± 10
	深度	+ 20
	孔壁铅垂度每米	10
预埋活动地脚螺栓锚板	标高	+ 20
	中心位置	± 5
	水平度（带槽的锚板）每米	5
	水平度（带螺纹孔的锚板）每米	2

3.2 泵及风机的设备基础表面和地脚螺栓孔中的油污、碎石、泥土积水等均应清理干净；预埋地脚螺栓的螺母应保护完好；放置垫铁部位的表面应凿平。

3.3 泵及风机安装前，基础混凝土强度应达到设计要求的 75% 以上。

4. 泵及风机安装用垫铁的加工、安装质量控制要点：

4.1 垫铁常用规格和材料见下表 26-4，形状见图 26-5。

表 26-4 常用垫铁规格 (mm)

斜 垫 铁					平 垫 铁					垫铁面积 /mm ²
代号	L	b	c	a	材料	代号	L	b	材料	A
斜 1	100	50	≥ 5	4	碳钢	平 1	100	50	普通碳钢或铸铁	5000
斜 2	120	60	≥ 5	6		平 2	120	60		7200
斜 3	140	70	≥ 5	8		平 3	140	70		9800
斜 4	160	80	≥ 5	10		平 4	160	80		12800
斜 5	200	100	≥ 5	10		平 5	200	100		20000

注：(1) 平垫铁用铸铁材料时，其厚度应大于 20mm，且上下两面应刨光，粗糙度 Ra 为 12.5 μm。

(2) 为了防止垫铁调整敲击时出现卷边，应将端面的棱角进行倒角。

(3) 垫铁厚度 h 可根据实际情况决定。

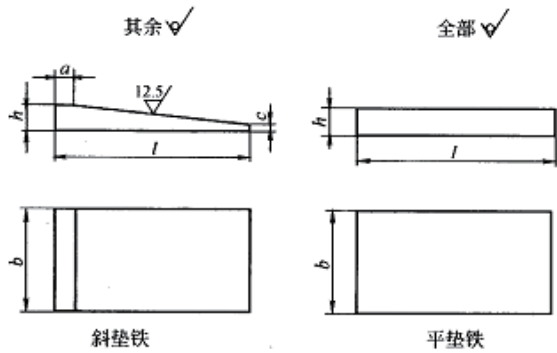


图 26-5 垫铁简图

4.2 垫铁非加工的表面应平整、无氧化物、飞边、毛刺等；斜垫铁的斜面粗糙度 R_a 为 $12.5\mu\text{m}$ ，斜度一般为 $1/20 \sim 1/10$ ；对于重心较高或振动较大的机器采用 $1/20$ 的斜度为宜。

4.3 斜垫铁应配对使用并进行优选，两块一组的斜垫铁应保证平行度，与平垫铁组成垫铁组时，不宜超过 4 块，且薄垫铁应放在两块厚平垫铁之间。

4.4 垫铁组直接放置在铲凿好的垫铁窝内，垫铁窝的尺寸应比垫铁长宽尺寸各大出 20mm 左右，垫铁与基础接触应均匀，其接触面积应大于 50%，垫铁组顶面水平度的允许偏差应小于 2mm/m ，其标高应符合设计要求。

4.5 安装后的垫铁组，用 $0.25 \sim 0.5\text{kg}$ 的手锤敲打检查应无松动，层间用 0.05mm 赛尺检查，垫铁同一断面处塞入深度之和不得超过垫铁边长的 $1/4$ ，检查合格后将垫铁点焊固定。

4.6 根据现场实际情况也可采用压浆法或座浆法放置垫铁组。

4.7 垫铁组布放的位置和数量，应符合泵设备出厂技术文件的要求。

5. 泵及风机吊装就位及初找平找正质量控制要点

5.1 机器吊装时，吊钩、索具、钢丝绳等应拴挂在底座或机器本体的吊环上；不允许拴挂在机器的进出口法兰或电机的轴、轴承座等易损部位上。

5.2 机器吊装就位基础上，装上地脚螺栓，用垫铁组进行初步找正找平，并拧上地脚螺栓的螺母和垫片。

6. 螺栓孔灌浆质量控制要点

6.1 机器地脚螺栓的灌浆，应符合现行国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》的规定。

6.2 灌浆前，灌浆处应清洗洁净；灌浆宜采用细碎石混凝土，其强度应比基础的混凝土强度高一级；灌浆时应捣实，并不应使地脚螺栓倾斜和影响设备的安装精度。

6.3 灌浆前应敷设外模板。外模板至设备底座面外缘的距离（图 3.5.3）不宜小于 60mm。模板拆除后，表面应进行抹面处理。

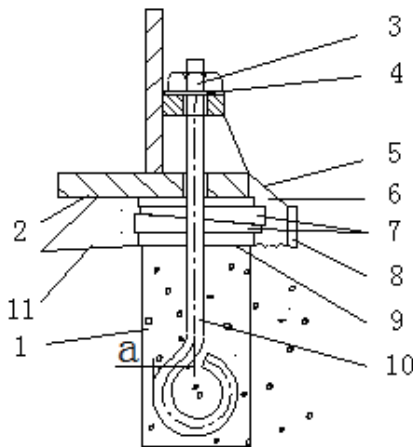


图 3.5.3 地脚螺栓灌浆示意图

1—基础；2—塔底座环；3—螺母；4—垫圈；5—灌浆层斜面；6—灌浆层；7—成对斜垫铁；8—外模板；9—平垫铁；
10—地脚螺栓；11—抹面

6.4 地脚螺栓灌浆应符合下列要求：

6.4.1 地脚螺栓在预留孔中应垂直，无倾斜；

6.4.2 地脚螺栓任一部分离孔壁的距离 a 应大于 15mm（图 3.5.3），地脚螺栓底端不应碰孔底；

6.4.3 地脚螺栓上的油污及氧化皮等应清除干净，螺纹部分应涂少量油脂；

6.4.4 螺母与垫圈、垫圈与设备底座间的接触均应紧密；

6.4.5 拧紧螺母后，螺栓应露出螺母，其露出的长度宜为螺栓直径的 $1/3 \sim 2/3$ ；

6.4.6 应在灌浆混凝土达到设计强度 75% 以上时拧紧地脚螺栓，各螺栓的拧紧力应均匀。

7. 精找正找平质量控制要点

7.1 泵设备精找正找平

7.1.1 泵设备的精找平应采用条形水平仪或光学合像水平仪，找平质量应符合下列要求：

7.1.1.1 离心泵

（1）整体安装的离心泵，应以进出口法兰、底座加工面或联轴器端面为基准进行找平。水平度允许偏差：纵向为 0.05mm/m，横向为 0.10mm/m。

（2）解体安装的离心泵，应以水平中分面、轴的外露部分、联轴器端面或其它加工面为基准进行找平。水平度允许偏差：纵向、横向均为 0.05mm/m。

（3）离心泵与电机采用联轴器连接时，用双表法对电机联轴器的径向和轴向偏差进行测量和调整，通过移动电机使两轴同心，其找正偏差应符合随机技术文件要求。两半联轴器的端面间隙应符合随机技术文件要求。

（4）联轴器的找正，还可采用激光找正仪对中找正法进行，当采用激光找正仪找正时，应按照仪器使用说明书进行测量调整。

（5）以胶带传动的离心泵，其胶带轮对中找正应符合如下要求：

①两轮的工作面中心位置应在同一平面上，两轮的相对轴向位移量允许偏差为：平胶带轮应小于 1.5mm；三角胶带轮应小于 1mm。

②两轴平行度的允许偏差 $\tan \theta$ 应小于等于 0.5/1000。

③两轮轴向位移和两轴平行度的检测，可以轮缘的相对边缘为基准。

（6）对于高温和低温或有其它特殊要求的离心泵安装，其安装位置、水平度允许偏差和联轴器找正应符合设计的要求。

7.1.1.2 齿轮泵

（1）整体安装的齿轮泵，应以进出口法兰、底座加工面或联轴器端面为基准进行找平。水平度允许偏差：纵向为 0.05mm/m，横向为 0.10mm/m。

（2）解体安装的齿轮泵，应以水平中分面、轴的外露部分、联轴器端面或其它加工面为基准进行找平。水平度允许偏差：纵向、横向均为 0.05mm/m。

（3）齿轮泵与电机采用联轴器连接时，用双表法对电机联轴器的径向和轴向偏差进行测量和调整，通过移动电机使两轴同心，其找正偏差应符合随机技术文件要求。两半联轴器的端面间隙

应符合随机技术文件要求。

(4) 联轴器的找正, 还可采用激光找正仪对中找正法进行, 当采用激光找正仪找正时, 应按照仪器使用说明书进行测量调整。

(5) 对于高温和低温或有其它特殊要求的齿轮泵安装时, 其安装位置、水平度允许偏差和联轴器找正应符合出厂随机技术文件的要求。

(6) 采用循环冷却水的齿轮泵, 其水冷夹套应经水压试验合格。

7.1.1.3 螺杆泵

其找正找平方法及要求同离心泵。

7.1.1.4 电动柱塞泵

(1) 整体安装的电动柱塞泵, 应以进出口法兰、底座加工面或联轴器端面为基准进行找平。水平度允许偏差: 纵向为 0.05mm/m, 横向为 0.10mm/m。

(2) 解体安装的电动柱塞泵, 应以水平中分面、轴的外露部分、联轴器端面或其它加工面为基准进行找平。水平度允许偏差: 纵向、横向均为 0.05mm/m。

(3) 电动柱塞泵与电机采用联轴器连接时, 用双表法对电机联轴器的径向和轴向偏差进行测量和调整, 通过移动电机使两轴同心, 其找正偏差应符合随机技术文件的要求。两半联轴器的端面间隙应符合随机技术文件要求。

(4) 联轴器的找正, 还可采用激光找正仪对中找正法进行, 当采用激光找正仪找正时, 应按照仪器使用说明书进行测量调整。

(5) 以胶带传动的电动柱塞泵, 其胶带轮对中找正应符合如下要求:

① 两轮的工作面中心位置应在同一平面上, 两轮的相对轴向位移量允许偏差为: 平胶带轮应小于 1.5mm; 三角胶带轮应小于 1mm。

② 两轴平行度的允许偏差 $\tan \theta$ 应小于等于 0.5/1000。

③ 两轮轴向位移和两轴平行度的检测, 可以轮缘的相对边缘为基准。

7.1.1.5 计量泵

计量泵找平找正方法及要求同电动柱塞泵。

7.2 风机设备精找正找平质量控制

7.2.1 风机设备的找正找平

7.2.1.1 风机设备安装就位前, 按设计图纸并依据现场测量基准点放出安装基准线。将设备基础表面的油污、泥土杂物清除和地脚螺栓预留孔内的杂物清除干净。

7.2.1.1 整体安装的风机的找正找平质量控制

(1) 整体安装的风机, 搬运和吊装的绳索不得捆绑在转子和机壳或轴承盖的吊环上。

(2) 整体安装风机吊装时直接放置在基础上, 用垫铁找平找正, 垫铁一般应放在地脚螺栓两侧, 斜垫铁必须成对使用。设备安装好后同一组垫铁应点焊在一起, 以免受力时松动。

(3) 风机安装在无减震器支架上, 应垫上 4 ~ 5mm 厚的橡胶板, 找平找正后固定牢。

(4) 风机安装在有减震器的机座上时，地面要平整，各组减震器承受的荷载压缩量应均匀，不偏心，安装后采取保护措施，防止损坏。

(5) 风机的机轴必须保持水平度，风机与电动机用联轴节连接时，两轴中心线应在同一直线上。

(6) 风机与电动机用三角皮带传动时涌拉线法进行找正，以保证电动机与通风机的轴线互相平行，并使两个皮带轮的中心线相重合。三角皮带拉紧程度一般可用手敲打已装好的皮带中间，以稍有弹跳为准。

(7) 风机与电动机安装皮带轮时，操作者应紧密配合，防止将手碰伤。挂皮带时不要把手指放入皮带轮内，防止发生事故。

(8) 风机与电动机的传动装置外露部分应安装防护罩，风机的吸入口或吸入管直通大气时，应加装保护网或其它安全装置。

(9) 输送特殊介质的风机转子和机壳内如涂有保护层、应严加保护、不得损坏。

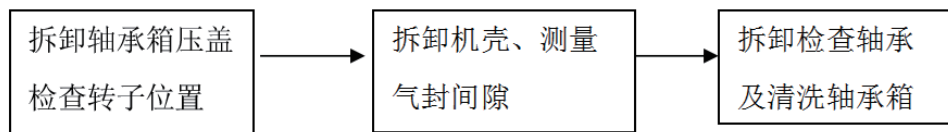
7.2.1.2 解体安装的通风机的组装质量控制

(1) 风机设备安装前，应将轴承、传动部位及调节机构进行拆卸、清洗，装配后使其转动，调节灵活，但叶轮直接装在电动机轴上的风机可不拆卸。

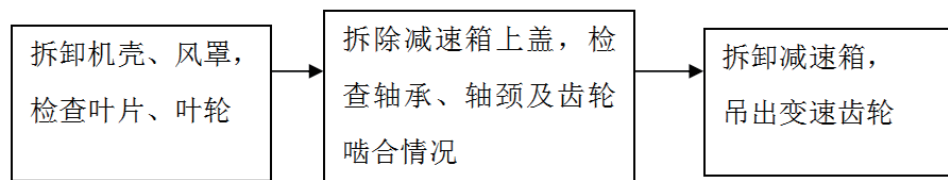
(2) 立式轴流通风机应清洗变速箱，齿轮副或蜗轮副。

(3) 拆卸顺序

①离心式通风机



②轴流通风机



(4) 回装通常按拆卸的相反顺序进行，回装时应对叶轮、主轴、轴承、轴封等部件仔细检查，各安装尺寸如轴承顶间隙、轴封间隙等应确保达到设计图纸要求。

(5) 解体轴流通风机组装质量控制要点：

①水平剖分机组应将主体风筒下部、轴承座和底座等在基础上组装后再调平。

②垂直剖分机组组装应符合下列要求：

1) 应将进气室放在基础上，用成对斜垫铁调平后安装轴承座，其轴承座与底座平面应接触均匀。

2) 以进气室密封圈为基体、将主轴装入轴承中，主轴与进气室的同轴度不应大于 $\phi 2\text{mm}$ 。

3) 应依次装上叶轮、机壳、静子和扩压器。

③各叶片的安装角度应按设备技术文件的规定进行复查和校正，其允许偏差为 $\pm 2^\circ$ ，并应



锁紧固定叶片的螺母；拆、装叶片均应按标记进行，不得错装和互换；更换叶片应按设备技术文件的规定执行。

④风机转子部件的连接螺栓应按设备技术文件规定的力矩拧紧；可调叶片在关闭状态下与机壳间的径向间隙应符合设备技术文件的要求。当无规定时，其间隙的算术平均值宜为转子直径的 $1/1000 \sim 2/1000$ ；其最小间隙不应小于转子直径的 $1/1000$ 。

⑤大型轴流风机组装，叶轮与机壳的间隙应均匀分布，并符合设备技术文件要求。叶轮与进风外壳的间隙见表 26-6。轴流防爆风机叶轮与机壳的径向单侧间隙，应符合表 26-7 的要求，且最小径向单侧间隙值不得小于 2.5 mm。

表 26-6 叶轮与主体风筒对应两侧间隙允差

叶轮直径 (mm)	≤ 600	600 ~ 1200	1200 ~ 2000	2000 ~ 3000	3000 ~ 5000	3000 ~ 5000	> 8000
对应两侧半径间隙之差不应超过 (mm)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.5	5.0	6.5

表 26-7 轴流防爆风机叶轮与机壳的径向单侧间隙

机号	≤ NO10	> NO10
单侧径向间隙 (mm)	2.5-4	(1.5%~3.5%)D

(6) 解体离心通风机组装质量控制要点：

①轴承箱的找平、调平应符合下列要求：

- 1) 轴承箱与底座应紧密结合。
- 2) 整体安装的轴承箱的纵向和横向安装水平偏差不应大于 $0.10/1000$ ；并应在轴承箱中分面上进行测量，其纵向安装水平也可在主轴上进行测量。

3) 左、右分开式轴承箱的纵向和横向安装水平，以及轴承孔对主轴轴线在水平面的对称度应符合下列要求：

每个轴承箱中分面的纵向安装水平偏差不应大于 $0.04/1000$ 。

每个轴承箱中分面的横向安装水平偏差不应大于 $0.08/1000$ 。

主轴轴颈处的安装水平偏差不应大于 $0.04/1000$ 。

轴承孔对主轴轴线在水平面内的对称度偏差不应大于 0.06mm，可测量轴承箱两侧密封径向间隙之差不应大于 0.06mm。

②具有滑动轴承的通风机，除应符合上述的规定外，尚应使轴瓦与轴颈的接触弧度及轴向接触长度、轴承间隙和压盖过盈量均符合设备技术文件的规定，当不符合规定时，应进行修刮和调整。当无规定时，应符合下列要求：

1) 轴瓦表面与轴颈接触应均匀；接触弧面不应小于 60° ；接触面和非接触面之间不应有明显的界限。轴向接触长度不应小于轴瓦长度的 80%。

2) 轴承推力瓦与主轴推力盘的接触应均匀，其接触面面积不应小于止推面积的 70%。

3) 轴瓦与轴颈之间的径向总间隙为轴颈直径的 $2/1000 \sim 3/1000$ 。

4) 轴瓦与压盖之间的过盈量宜为 0.03 ~ 0.06mm。

③ 机壳组装时，应以转子轴线为基准找正机壳的位置；机壳进风口或密封圈与叶轮进口圈的轴向插入深度和径向间隙应调整到设备技术文件规定的范围内，同时尚应使机壳后侧板轴孔与主轴同轴，并不得碰刮。当设备技术文件无规定时，轴向插入深度应为叶轮外径的 10/1000；径向间隙应均匀，其间隙值应为叶轮外径的 1.5/1000 ~ 3/1000（外径小者取大值）。高温风机尚应预留热膨胀量。离心防爆风机进风口与叶轮轮盖进口的径向单侧间隙和轴向重叠长度，应符合表 26-8 的要求：

表 26-8 离心防爆风机进风口与叶轮轮盖进口的径向

机 号	≤ NO10	> NO10
单侧径向间隙（mm）	2.5-4	(1.5‰-4‰)D
轴向重叠长度（mm）	(8‰-12‰)D	

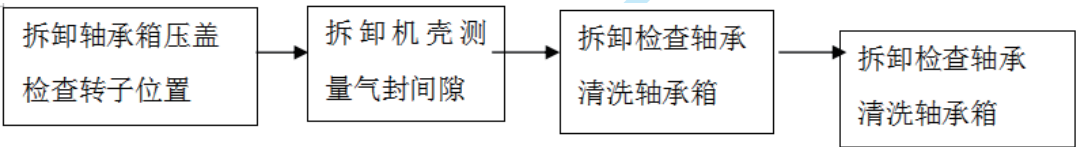
注：D 为叶轮直径

7.2.1.3 解体鼓风机组装质量控制要点

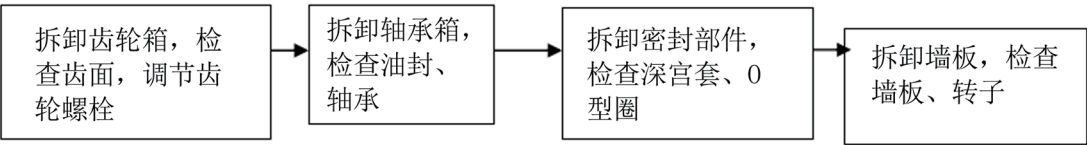
(1) 风机设备安装前，将轴承传动部位及调节机构进行拆卸、清洗，装配后使其转动、调节灵活。

(2) 拆卸顺序

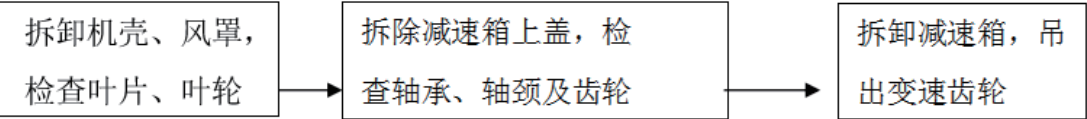
① 离心鼓风机



② 罗茨鼓风机



③ 轴流鼓风机



(3) 每次拆卸鼓风机后首先要仔细清洗各零部件，除去零部件表面上的防锈油（漆）、积灰、锈斑等，清洗后置于干净场地晾干备用，注意防止安装场地粉尘飞扬。对已拆卸的零部件主要进行如下检查：

- ① 检查鼓风机外观及内腔有无损伤、裂纹、碰痕、锈蚀等现象。
- ② 转子轴有无裂纹、碰痕、弯曲、磨损。
- ③ 两侧端板有无裂纹、磨损、轴承及密封座孔有无擦伤、锈蚀。
- ④ 齿轮轮齿有无毛刺、碰伤、磨损。
- ⑤ 橡胶密封圈有无变形、老化，金属气环有无弹性、脆化。对于上述的碰痕、毛刺及锈斑可

用细锉及砂布锉光磨平，轻微的磨损和细小的裂纹可用刷镀或堆焊修复，损坏严重且失效的零部件则必须更换。

(4) 离心鼓风机组装质量控制要点

① 检查上、下半定子有无损坏，定子水平中分面有无碰伤，转子轴颈、轴承体轴衬表面有无碰伤和变形。并检查其它零件是否完好。

② 转子应缓慢吊装。

③ 合上轴承体和轴承箱，分别打上定位销，拧紧螺钉。

④ 吊装上半定子，先将导柱装好，将上半机壳平稳地吊装到下半机壳上，打上定位销，拧紧螺钉。上下机壳的结合面应贴合；未拧紧螺栓之前其局部间隙，当设备随机技术文件无规定时，应符合下列要求：

1) 工作压力在 0.01 ~ 0.034MPa 以内的各类离心式鼓风机，间隙值不应大于 0.12mm。

2) 当超过上述间隙值应查找原因，并消除内装件过盈或局部堆高；当因机壳变形引起误差，且在拧紧螺栓后又能消除间隙时，在不影响机器装配精度的情况下，可不作修整。

3) 结合面之间，当无特殊要求时，应均匀涂上密封涂料。分机组装完毕后，用小于 $1000\text{N} \cdot \text{m}$ 力矩转动转子，如不能转动须重新检查组装。分机组装后，只能在小距离、微倾角作搬动。

⑤ 机组就位以变速器为基准找平、找正机器，调整固定变速器后，再以其轴线为准、调整固定其余机器。

1) 机组就位时联轴器端面间隙应保证在 5~6mm 之间。

2) 机组中心线应与基础中心线一致，其偏差不应大于 4mm。

3) 变速器的安装标高，其偏差不应大于 3mm。

4) 变速器的水平调整、轴向以轴颈为基准，横向以箱体水平中分面的四角为基准，其中水平度允差：纵向：0.02mm/m；横向：0.05mm/m。

⑥ 水平找好后应对称拧紧地脚螺栓，变速器找正找平后，机组鼓风机、液力耦合器、电机应保证联轴器的对中要求。

(5) 罗茨鼓风机组装质量控制要点

① 安装两侧端板时，先将定位销就位于定位孔中，然后再依次拧紧固定螺栓。勿要先拧紧螺栓，否则可能造成定位销孔错位，使端板与机壳之间的相对位置产生偏差，从而造成转子之间及转子与机壳之间的间隙不正确，影响罗茨鼓风机正常运行。

② 将两根转子轴装入两侧端板时，先将金属密封气环压缩后使之含入端板的座孔，再推装到位。否则就会把金属气环剪断，一方面引起气封失效，使得罗茨鼓风机内腔的压缩空气夹带粉尘窜入两侧轴承处，造成轴承被污染引起润滑失效而过早损坏；另一方面被剪断的金属碎片在运转过程中又极易擦伤端板的座孔，使端板磨损损坏。

③ 安装两端的橡胶唇形密封时，应确保密封圈的唇口不被转子轴颈整坏且唇口的弹簧不应脱出，否则容易损坏密封圈，造成油封失效漏油，及风机运行后受热蒸发的油气窜入风机内腔与空

气中的灰尘一起粘附在转子表面，影响转子的平衡。

④ 每次拆卸两侧罩壳重新安装时，为保证结合面密封的可靠性，应彻底清理结合面上的杂质，并在密封衬垫及机壳上均匀涂上一层密封胶后再安装上紧，密封胶干燥固化后才能注入润滑油。

⑤ H 型罗茨鼓风机的齿轮与转子轴采用了弹性环联接锁紧方式，它由两对内外弹性锥面钢环构成，在拧紧端面压块螺栓而产生的轴向压紧力作用下，两环抵紧，内环箍紧轴，外环撑紧壳，于是在两接触面间产生径向压力，力矩靠相伴而生的摩擦力来传递。因此在鼓风机安装中，应严格按设备说明书中规定的扭矩要求用扭力扳手拧紧，以保证端面压块螺栓有足够的预紧力，能传递足够的力矩。

(6) 轴流鼓风机组装质量控制要点参照轴流通风机机组质量控制要点

8.1 联轴节对中

8.1.1 联轴节对中一般采用双表法、激光找正法。

8.1.2 联轴节对中允许偏差应符合设备厂家的要求，或符合规范 GB50231 的要求。

8.1.3 对具有滑动轴承的电动机，应在测定电机转子的磁力中心位置后再确定联轴器间的间隙。

8.2 风机与电动机用三角皮带传动时应进行找正，安装时要求风机轴与电机轴应相互平行，通过在两三角皮带轮端面拉线的方法，以鼓风机的皮带轮为基准，调整电机机座使两三角皮带轮的端面位于同一平面内，允许误差为 0.5mm/m。

8. 与机器相连接的管道安装质量控制

9.1 与机器连接的管道，其固定焊口应远离机器，且应符合下列规定：

9.1.1 管道与机器的连接前，应在自由状态下，检查配对法兰的平行度和同轴度，偏差符合下表 26-9：

表 26-9 法兰平行度、同轴度允许偏差

机器转速 $V \text{ r/min}$	平行度 mm	同轴度 mm
$V \text{ r} < 3\,000$	$\leq D/1\,000$	全部螺栓顺利穿入
$3\,000 < V \text{ r} \leq 6\,000$	≤ 0.15	≤ 0.50
$V \text{ r} > 6\,000$	≤ 0.10	≤ 0.20

注：D 为法兰外径，mm。

9.1.2 配对法兰面在自由状态下的间距，以能顺利插入垫片的最小距离为宜；

9.1.3 管道与机器最终连接时，应在联轴器上或机器支脚处，用百分表监测转子轴和机器机体的径向和轴向位移：

1) 转速大于 6 000 r/min 的机器，位移应不超过 0.02 mm；

2) 转速小于或等于 6 000 r/min 的机器，位移应不超过 0.05 mm。

9.2 管道安装合格后，不得承受设计文件规定以外的附加载荷。

10、泵试车质量控制要点

10.1 试车前检查内容

10.1.1 核对泵和驱动机的规格、型号是否符合设计要求。



10.1.2 检查泵零部件应齐全，各紧固连接处不应松动，地脚螺栓已紧固，二次灌浆层强度已达80%以上。

10.1.3 泵与驱动机联轴器已可靠分离。

10.1.4 泵用手盘动转子应灵活，不卡涩，且无异常声响和振动。

10.1.5 泵按试车方案要求，管道系统已连接完毕，系统经冲洗合格，入口滤网符合要求。

10.1.6 泵已加注了合格适用的润滑油（脂）。

10.1.7 泵试车系统经试压合格，补水系统可靠。

10.1.8 驱动机试运行：

1) 驱动电机，经电气专业检查合格，即可点动电机，检查转向，同时用钳形电流表测量起动电流。

2) 电机转向正确，电流符合要求，转动平稳无异常声响和振动后，即连续运行2小时，同时每半小时做出记录。

3) 采用其它驱动机的泵，在与泵联轴器可靠分离后，进行驱动机试车，各项准备工作和试车结果应符合驱动机出厂文件的要求并做好试车记录。

10.2 泵试车的基本程序

泵试车要严格按照制造厂家提供的说明书的步骤进行

10.3 泵试车的合格标准：

10.3.1 泵运转中，滑动轴承温升不得超过 35°C ，最高温度不得超过 65°C 。滚动轴承温升不得超过 40°C ，最高温度不得超过 75°C ，填料函或机械密封的温度应符合出厂技术文件的要求。

10.3.2 泵的振动应符合出厂技术文件的要求。

10.3.3 电动机温升不得超过铭牌或出厂技术文件的要求。

10.3.4 出口压力和电流应符合设计要求，对于工作介质比重小于1的离心泵，当用水试运转时，应控制电机的电流不得超过额定值，且流量不应低于额定值的20%。

10.3.5 泵试运转，不应有异常声响和磨擦现象。

10.3.6 泵各润滑点的润滑油温度，密封液和冷却水的温度，不得超过出厂技术文件的要求。

10.3.7 泵的附属设备运行正常，管道应连接牢固无渗漏。

10.3.8 泵的软填料密封可根据输送介质粘度的不同，允许有5—20滴/分的均匀成滴泄漏。机械密封的允许泄漏量应符合出厂技术文件的要求。对于输送有毒、有害、易燃、易爆、贵重物料和要求介质与空气隔绝的泵，密封的泄漏量不应大于设计的规定值。

11、风机类试车质量控制要点：

11.1 试车前准备

11.1.1 检查安装记录，确认安装数据正确。

11.1.2 轴承箱清洗并检查合格，按规定加注润滑油（脂）；润滑，冷却水系统正常。

11.1.3 盘车灵活，不得偏重，卡涩现象。

11.1.4 安全防护装置齐全牢固。

11.1.5 进气调节风门开度 $0 \sim 5^\circ$ ，出口全开。

11.1.6 电机单机试运转，并确定旋转方向正确。

11.2 试车

按操作规程启动电机，各部位无异常现象和摩擦声响方可继续运转，风机在小负荷下运行时间不应小于 20min，小负荷运转正常后，逐渐开大进气风门，直至规定的负荷为止。

11.3 合格标准

11.3.1 滚动轴承温度不得超过环境温度 40°C ，其最高温度不得超过 80°C ；滑动轴承温度不得超过 65°C 。

11.3.2 风机振动不超过设计和规范要求。

11.3.3 风机的出口风压、风量达到工艺要求。

四、常见问题处理

(一) 泵常见故障分析及其处理方法见(表 26-10)

故障现象	故障原因	处理方法
电机过负荷	1、泵装配不好，动静部分摩擦或卡住 2、平衡管不畅通 3、填料压得太紧。 4、三相电源断相	1、对泵进行重新装配，消除动静部分的摩擦或卡住 2、疏通平衡管 3、调整填料压紧力 4、重新接好三相电源
振动超标	1、机组找正不合要求 2、轴承间隙过大 3、地脚螺栓松动 4、基础灌浆不实 5、连接的管道支架不牢 6、机器本身制造问题	1、重新严格找正 2、修理或更新新轴承 3、紧固地脚螺栓 4、重新灌浆 5、加固支架，保证无应力连接 7、要求厂家处理
轴承温度高	1、轴承间隙过小 2、轴承安装不正确 3、油量不足或过多，油质不良	1、修理或更换 2、重新安装，消除不合理因素 3、加适量合格的润滑油或更换。

(二) 风机常见故障分析及其处理方法见(表 26-11)

故障现象	故障原因	处理方法
减速机噪音	1、润滑油中有杂质、油位太低 2、机器本体质量问题	1、更换新油、合理加油 2、要求厂家处理
风机风噪过大	1、轮壳盖(风罩)松动 2、风筒组件松动 3、风机叶片固定螺栓松动	1、紧固轮壳盖(风罩)螺栓 2、检查风筒组件中各连接件，将松动者紧固 3、紧固
风机振动超标	1、机组找正不合要求 2、轴承间隙过大 3、叶片紧固螺栓松动、地脚螺栓松动 4、基础灌浆不实 5、连接的管道支架不牢 6、机器本身制造问题	1、重新严格找正 2、修理或更新新轴承 3、紧固螺栓 4、重新灌浆 5、加固支架 6、要求厂家处理
轴承温度高	1、轴承间隙过小 2、轴承安装不正确 3、油量不足或过多，油质不良	1、修理或更换 2、重新安装，消除不合理因素 3、加适量合格的润滑油或更换。



第二节 起重设备安装

一、工作内容

- (一) 适用于电动葫芦、梁式起重机、桥式起重机、门式起重机和悬臂起重机安装工程。
- (二) 起重设备安装工程应从设备开箱起,至设备试运转合格办理工程验收为止。
- (三) 特种设备起重机械,是指用于垂直升降或者垂直升降并水平移动重物的机电设备,其范围规定为额定起重量 $\geq 0.5\text{t}$ 的升降机;额定起重量 $\geq 3\text{t}$ (或额定起重力矩 $\geq 40\text{t}\cdot\text{m}$ 的塔式起重机,或生产率 $\geq 300\text{t/h}$ 的装卸桥),且提升高度 $\geq 2\text{m}$ 的起重机。
- (四) 对大型、特殊、复杂的起重设备的吊装或在特殊、复杂环境下的起重设备的吊装,必须制订完善的吊装方案。

二、执行标准

《特种设备安全监察条例》国务院第 549 号令

质检总局关于修订《特种设备目录》的公告国质检 2014 年第 114 号

《特种设备生产和充装单位许可规则》TSG 07-2019

《起重机械安全监察规定》国质监总局第 92 号令

《起重机械安全技术监察规程—桥式起重机》TSG Q0002-2008

《通用桥式起重机》GB/T14405-2011

《起重设备安装工程施工及验收规范》GB 50278-2010

《电气装置安装工程 起重机电气装置施工及验收规范》GB 50256-2014

《起重机械安全规程 第 5 部分:桥式和门式起重机》GB6067.5-2014

三、主要控制环节

- (一) 设备开箱检验
- (二) 检验、测量工具和校验仪器有效使用期的检查
- (三) 轨道基础的交接验收
- (四) 安装挠性提升构件的检查
- (五) 轨道安装的几何尺寸(标高、直线度、水平度、平行度等)和可靠性的检查
- (六) 起重机的检验
- (七) 主梁上拱度及跨度和悬臂上翘度的检测
- (八) 起重设备的动静负荷试验

四、质量检验

(一) 设备开箱检验

1. 按设备装箱清单检查设备、材料及附件,其型号、规格和数量应符合工程设计和设备技术文件的要求,随机技术文件应齐全,应有相应的质量证明文件、使用说明书及必要的出厂试验记录。
2. 设备应无变形、损伤和锈蚀,其中钢丝绳不得有锈蚀、损伤、弯折、打环、扭节、裂嘴和

松散的现象。

3. 对钢轨、吊钩等受力元件进行仔细的外观检查，应无破损、裂纹和变形的现象。

(二) 轨道基础的交验

1. 轨道基础的混凝土强度是否符合设计要求。

2. 轨道基础、起重机轨道梁的安装预埋件的标高、跨度和表面平整度等应符合设计和施工规范的要求。

(三) 起重安装挠性提升构件

1. 压板、楔块固定钢丝绳时，压板应无错位、无松动；钢丝绳紧贴楔块的圆弧段应楔紧、无松动。

2. 钢丝绳在出、入导绳装置时，应无卡阻；放出的钢丝绳应无打旋、无碰触。

3. 吊钩在下限位置时，除固定绳尾的圈数外，卷筒上的钢丝绳不应少于 2 圈。

4. 起升用钢丝绳应无编接接长的接头；其他方法接长时，接头的连接强度不应小于钢丝绳破断拉力的 90%。

5. 起重链条经过链轮或导链架时应自由、无卡链和爬链。

(四) 起重机轨道

1. 钢轨的检验

钢轨敷设前，应对钢轨的端面、直线度和扭曲进行检查，合格后方可铺设。

2. 轨道安装基准线的校核

轨道安装前，应确定轨道的安装基准线(应为起重机梁的定位轴线)；确定轨道的安装基准线时，应校核起重机与建筑物之间的安全距离是否符合设计文件的规定。

3. 轨道安装位置的检查

3.1 轨道平面位置：采用尺量的方法检查轨道中心线与起重机梁中心线的位置偏差，不应大于起重机梁腹板厚度的一半(图 3.0.3)，且不应大于 10mm。轨道中心线与安装基准线的水平位置偏差，悬挂起重机不应大于 3mm，其他起重机不应大于 5mm。

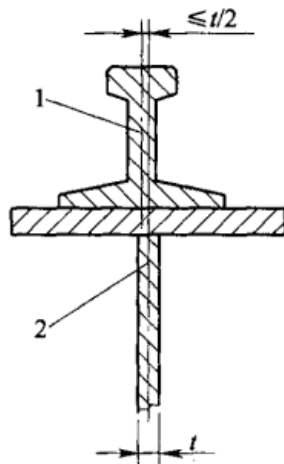


图 3.0.3 轨道中心线与起重机梁中心线的位置偏差

1— 轨道中心线；2— 起重机梁中心线；t— 起重机梁腹板的厚度



3.2 轨道立面位置：使用水准仪等测量方法检查轨道的标高偏差，悬挂起重机不应大于 5mm，其他起重机不应大于 10mm。同一截面内两平行轨道标高的相对差，悬挂起重机不应大于 5mm，其他起重机不应大于 10mm。

4. 轨道弯曲：轨道沿长度方向上，在平面内的弯曲，每 2m 检测长度上的偏差不应大于 1mm；在立面内的弯曲，每 2m 检测长度上的偏差不应大于 2mm。

5. 采用弹簧秤和钢尺测量的方法检查起重机轨道跨度的偏差，当跨度 (S) $\leq 10\text{m}$ 时，允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。当跨度 (S) $> 10\text{m}$ 时， Δs (允许偏差) = $\pm [3 + 0.25 (S - 10)]$ 但不超过 $\pm 15\text{mm}$ 。

当仅在一条轨道上采用水平导向轮时，轨道的跨度允许偏差可为本条上述要求允许偏差的 3 倍，但不超过 $\pm 25\text{mm}$ ；且车轮的踏面应覆盖轨道顶面的全宽。

6. 两平行轨道的接头位置沿轨道纵向应相互错开，其错开的距离不应等于起重机前后车轮的轮距。

7. 轨道接头（用钢直尺检查）：

7.1 轨道接头型式有焊接连接接头、鱼尾板连接接头、用垫板支承的方钢轨道等，均应符合国家现行有关标准的规定。

7.2 焊接接头顶面及侧面焊缝处应打磨光滑、平整。

7.3 鱼尾板连接轨道接头高低差及侧向错位不应大于 1mm，间隙不应大于 2mm。

7.4 方钢轨道接头处沿轨道纵向的垫板宽度应为其他垫板宽度的 2 倍。

7.5 伸缩缝处的预留间隙应符合工程设计的规定。

8. 使用尺量的方法检查门式起重机同一支腿下两根轨道的轨距偏差不应超过 2mm，相对标高偏差不应大于 1mm。

9. 弹性垫板的规格和材质应符合工程设计的规定；弹性垫板的安装质量应符合标准规范规定。

10. 钢起重机梁上敷设钢轨时，钢轨底面应与钢起重机梁顶面贴紧。当有间隙，且大于 200mm 时，应加垫板垫实，垫板规格符合规范要求，垫好后应与钢起重机梁焊接固定。

11. 检查车挡，同一跨端两轨道上的车挡均应与缓冲器接触。

（五）电动葫芦

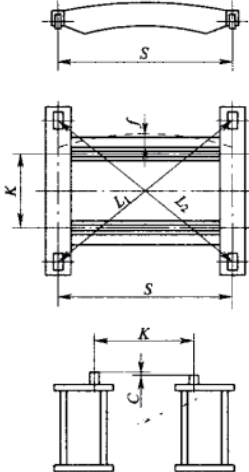
1. 用直尺检查电动葫芦车轮轮缘内侧与工字钢轨道下翼缘的间隙，应为 3mm ~ 5mm。

2. 检查连接运行小车两墙板的螺柱上的螺母拧紧情况，螺母的锁件必须装配正确。

梁式起重机安装前，应对其跨度、对角线的相对差、跨度的相对差、主梁水平弯曲、小车轨距、同一截面小车轨道的高低差进行复验。

（六）桥式起重机的检查

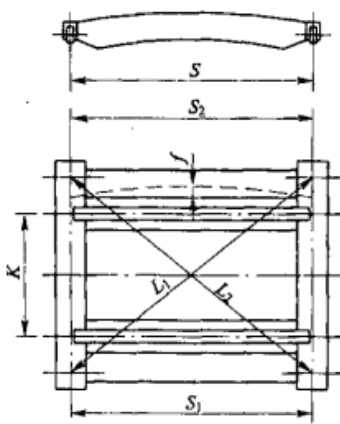
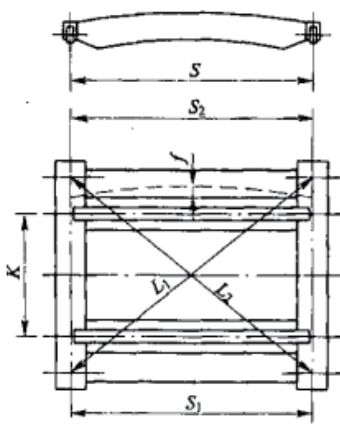
1. 电动葫芦桥式起重机的检验应符合见（表 26-12）；

检 验 项 目			允许偏差 (mm)	简 图
起重机跨度 S	无水平导向轮	S ≤ 10m	± 2	
		S > 10m	± [2+0.1 (S-10)]	
	单端有水平导向轮	S ≤ 10m	± 3	
		S > 10m	± [3+0.15 (S-10)]	
对角线的相对差 L1-L2			5	
小车轨距 K			± 3	
同一截面上小车 轨道高低差 C	k ≤ 2.0m		3	
	2m < k ≤ 6.6m		0.0015k	
	k > 6.6m		10	
主梁水平弯曲 f			Sz/2000, 且 ≤ 15	

注：* S_z 为主梁两端始于第一块大筋板的实测长度，在距上翼缘板约 100mm 的大筋板处测量；

* 当起重机的额定起重量小于等于 50t 时，主梁水平弯曲应向走台侧凸曲。

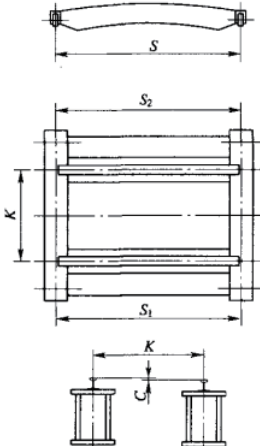
2、通用桥式起重机的检验应符合下表 26-13；

检 验 项 目				允许偏差 (mm)	简 图
起重机跨度 S	分离式端梁镗孔直接装车轮结构	S ≤ 10m		± 2	
		S > 10m		± [2+0.1 (S-10)]	
	焊接连接的端梁及角型轴承箱装车轮结构		--	± 5	
	单端有水平导向轮结构	S ≤ 10m	± 3		
S > 10m		± [3+0.15 (S-10)]			
焊接连接端梁及角型轴承箱装车轮结构起重机跨度的相对差 S1-S2				5	
对角线的相对差 L1-L2				5	
小车轨距 K	Gn ≤ 50t 正轨及半偏轨箱型梁	跨端	± 2		
			跨中	S ≤ 19.5m	
		S > 19.5m		+1	
				+7	
		+1			
	其他梁		--	± 3	
同一截面上 小车轨道高 低差 C	k ≤ 2.0m		3		
	2m < k ≤ 6.6m		0.0015k		
	k > 6.6m		10		
主梁水平弯 曲 f	正轨、半偏轨箱型梁	--	Sz/2000		
	其他梁	S ≤ 19.5m	5		
		S > 19.5m	8		

注：* S_z 为主梁两端始于第一块大筋板的实测长度，在距上翼缘板约 100mm 的大筋板处测量；

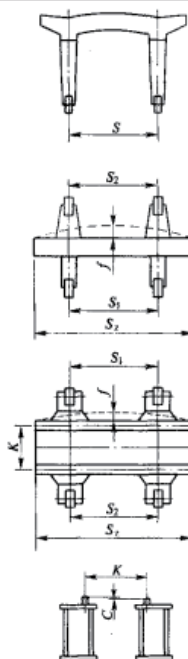
* 当起重机的额定起重量小于等于 50t 时，主梁水平弯曲应向走台侧凸曲。

3. 冶金起重机的检验应符合见下表 26-14;

检 验 项 目			允许偏差 (mm)	简 图
起重机 跨度 S	分离式端梁镗孔直 接装车轮结构	S ≤ 10m	± 2	
		S > 10m	± [2+0.1 (S-10)]	
	焊接连接的端梁及 角型轴承箱装车轮 结构	--	± 5	
	单端有水平导向轮 结构	S ≤ 10m	± 3	
		S > 10m	± [3+0.15 (S-10)]	
焊接连接端梁及角型轴承箱装车轮结构起重机跨度的相 对差 S1-S2			5	
小车轨距 K			--	
同一截面上小车轨道高低差 C		k ≤ 2.0m	3	
		2m < k ≤ 6.6m	0.0015k	
		k > 6.6m	10	

(七) 门式起重机的检查

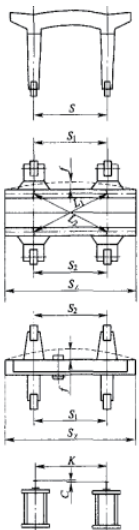
1. 电动葫芦门式起重机的检验应符合下表 26-15:

检 验 项 目			允许偏差 (mm)	简 图
起重机跨度 S	无水平导向轮	$S \leq 10\text{m}$	± 6	
		$10\text{m} < S \leq 26\text{m}$	± 8	
		$S > 26\text{m}$	± 10	
	单端有水平导向轮	$S \leq 10\text{m}$	± 9	
		$10\text{m} < S \leq 26\text{m}$	± 12	
		$S > 26\text{m}$	± 15	
起重机跨度 相对差 S1- S2	无水平导向轮	$S \leq 10\text{m}$	6	
		$10\text{m} < S \leq 26\text{m}$	8	
		$S > 26\text{m}$	10	
	单端有水平导向轮	$S \leq 10\text{m}$	9	
		$10\text{m} < S \leq 26\text{m}$	12	
		$S > 26\text{m}$	15	
小车轨距 K		± 3		
同一截面上 小车轨道高 低差 C	$k \leq 2.0\text{m}$		3	
	$2\text{m} < k \leq 6.6\text{m}$		$0.0015k$	
	$k > 6.6\text{m}$		10	
主梁水平弯曲 f			$S_z/2000$, 且 ≤ 20	

注: * S_z 为主梁的长度, 对箱型梁在距上翼缘板约 100mm 的大筋板处测量, 对桁架梁在主弦杆中心线处测量, 对工字梁在腹板中心线处测量;

* 当起重机的额定起重量小于等于 50t 时, 主梁水平弯曲应向走台侧凸曲。

2. 通用门式起重机的检验应符合下表 26-16:

检 验 项 目			允许偏差 (mm)	简 图 
起重机跨度 S	$S \leq 26m$		± 8	
	$S > 26m$		± 10	
起重机跨度的相对差 S1-S2	$S \leq 26m$		8	
	$S > 26m$		10	
对角线的相对差 L1-L2			5	
小车轨距 K	正轨、半偏轨箱型梁	跨端	± 2	
		跨中	+7	
	其他梁		+1	
	其他梁		± 3	
同一截面上小车轨道高低差 C	$k \leq 2.0m$		3	
	$2m < k \leq 6.6m$		$0.0015k$	
	$k > 6.6m$		10	
主梁水平弯曲 f	正轨、半偏轨箱型梁		$S_z/2000$, 且 ≤ 20	
	其他梁及单主梁		$S_z/2000$, 且 ≤ 15	

注: * S_z 为主梁两端始于第一块大筋板的实测长度, 在距上翼缘板约 100mm 的大筋板处测量;
* 主梁水平弯曲, 对双主梁, 当起重机的额定起重量小于等于 50t 时, 应向走台侧凸曲;
对单主梁应凸向吊钩侧;
* $L1-L2$ 应在支腿安装前测量。

3. 小车的安装检查

3.1 观察小车在全行程上, 防止脱轨的安全保护装置不应与轨道产生摩擦。

3.2 具有铰接缓冲装置的小车在无负荷时, 车架端部上平面应向下倾斜, 且倾斜量不应大于 5mm (尺量)。

4. 通用门式起重机安装后, 应即时装上夹轨器并进行试验。

4.1 夹轨器各节点应转动灵活, 夹钳、连杆、弹簧、螺杆和闸瓦不应有裂纹和变形。

4.2 夹轨器工作时, 闸瓦应在轨道的两侧夹紧, 钳口的开度应符合随机技术文件的规定, 张开时不应与轨道相碰。

(八) 悬臂起重机

1. 壁式悬臂起重机在安装大车轨道 (图 8.1) 时, 除了按第 4 条的规定外, 轨道安装的检验项目还应对下列项目进行复查:

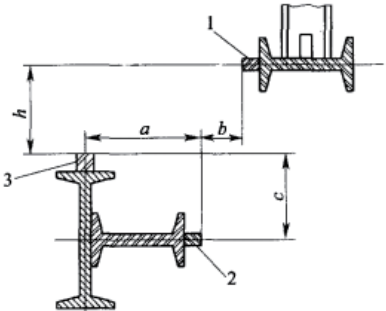


图 8.1 壁式悬臂起重机轨道安装



- 1.1 下水平轮轨道顶面至大车车轮轨道中心线距离；
- 1.2 下水平轮轨道中心线至大车车轮轨道顶面间距离；
- 1.3 上水平轮轨道中心线至大车车轮轨道顶面间距离；
- 1.4 上、下水平轮轨道顶面间距离。
- 1.5 大车车轮轨道中心线与起重机梁中心线的位置；
- 1.6 大车车轮轨道的纵向倾斜度。
2. 壁式悬臂起重机臂架安装时，应对其小车轨距、上、下水平轮间距进行检查。
3. 柱式悬臂起重机应检验其立柱对地面的铅垂度。

五、起重机试运转

（一）起重机试运转前的检查

1. 现场装配的联轴器，其端面间隙、径向位移和轴向倾斜应符合设备技术文件规定，设备技术文件无规定时，应符合国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》的规定。
2. 液压系统、变速箱、各润滑点及运动机构，所加润滑油的性能、规格和数量应符合随机技术文件的规定。
3. 制动器、起重量限制器、液压安全溢流装置、超速限速保护、超电压及欠电压保护、过电流保护装置等，应按随机技术文件的要求进行调整和整定。
4. 位装置、电气系统、联锁装置和紧急断电装置，应灵敏、正确、可靠。
5. 电动机的运转方向、手轮、手柄、按钮和控制器的操作指示方向。应与机构的运动及动作的实际方向要求相一致。
6. 钢丝绳端的固定及其在吊钩、取物装置、滑轮组和卷筒上的缠绕应正确、可靠。
7. 缓冲器、车档、夹轨器、锚定装置等应安装正确、动作灵敏、安全可靠。

（二）起重机空负荷试运转的检查

1. 各机构、电气控制系统及取物装置在规定的工作范围内，应正常动作；各限位器、安全装置、联锁装置等执行动作应灵敏、可靠；操作手柄、操作按钮、主令控制器与各机构的动作应一致。
2. 起升机构和取物装置上升至终点和极限位置时，其减速终点开关和极限开关的动作应准确、可靠、及时报警断电。
3. 小车运行至极限位置时，其终点低速保护、极限后报警和限位应准确、可靠。
4. 大车运行的检查内容：
 - 4.1 移动时应有报警声或警铃声。
 - 4.2 移动至大车轨道端部极限位置时，端部报警和限位应准确、可靠。
 - 4.3 两台起重机间的防撞限位装置应有效、可靠。
 - 4.4 供电的集电器与滑触线应接触良好、无掉脱和产生火花。
 - 4.5 供电电缆卷筒应运转灵活，电缆收放应与大车移动同步，电缆缠绕过程不得有松弛；电缆长度应满足大车移动的需要，电缆卷筒终点开关应准确、可靠。

4.6 大车运行与夹轨器、锚定装置、小车移动等联锁系统应符合设计要求。

5. 起重机空载试运转应分别进行各档位下的起升、小车运行、大车运行和取物装置的动作试验，次数不应小于 3 次。

（三）起重机静载试运转

1. 起重机静负荷试验应符合下列规定：

1.1 起重机应停放在厂房柱子处。

1.2 将小车停在起重机的主梁跨中或有效悬臂处，逐渐的加负荷做起升试运转，直至加到额定负荷后小车在桥架或悬臂全行程往返运行数次，检查各部分有无异常现象，卸去负荷后桥架结构有无异常现象；

1.3 将小车停在起重机的主梁跨中或有效悬臂处，无冲击地起升 1.25 倍额定负荷，在离地高度 10 ~ 20cm 处，悬吊停留 10min 后，应无失稳现象；

1.4 卸载后，检查桥架金属结构有无裂纹、焊缝开裂、油漆起皱、连接松动和影响起重机性能与安全的损伤，主梁无永久变形；

1.5 主梁经检验有永久变形时，应重复试验，但不得超过 3 次；

1.6 小车卸载后开到跨端或支腿处，检测起重机主梁的实有上拱度或悬臂实有上翘度，其值不应小于下表的规定。

表 26-17 起重机主梁实有上拱度或悬臂实有上翘度的最小值

起重机类别	检测部位	最小值 (mm)
手动单梁起重机、手动双梁起重机、手动悬挂起重机、电动葫芦桥式起重机、通用桥式起重机、冶金起重机、电动葫芦门式起重机、通用门式起重机	主梁跨中 S / 10 的范围内	0.7S / 1000
电动单梁起重机、电动悬挂起重机	主梁跨中 S / 10 的范围内	0.8S / 1000
电动葫芦门式起重机、通用门式起重机、悬臂起重机	有效悬臂处	0.7L0 / 350

注：★起重机主梁上拱度和悬臂上翘度的检测，应符合标准规范要求；

★S 为起重机的跨度（mm），L0 为有效悬臂的长度（mm）。

2. 起重机静载试验后，应以额定起重量在主梁跨中和有效悬臂处检测起重机的静刚度，静刚度值应符合随机技术文件的规定，应按下列要求检测：

2.1 将空载小车开到跨端或支腿处，在主梁跨中或有效悬臂处应定出测量基准点。

2.2 再将小车开至主梁跨中或有效悬臂处，应起升额定起重量的荷载距离地面 200mm，并应待荷载静止后检测。

2.3 起重机主梁或悬臂的静刚度值，应以测量基准点垂直向下移动的距离计。

3、起重机动载试运转

3.1 各机构的动载试运转应分别进行；当有联合动作试运转要求时，应按随机技术文件的规定进行。

3.2 各机构的动载试运转应在全行程上进行；起重量应为额定起重量的 1.1 倍，累计起动及运行时间，电动的起重机不应少 1 小时；手动的起重机不应少于 10 分钟；各机构的动作应灵敏、平稳、可靠，安全保护、联锁装置和限位开关的动作应灵敏、准确、可靠。

3.3 门式起重机大车运行时，载荷应在跨中。

3.4 柱式悬臂起重机在任何工况下，不应有悬臂自主回转和小车失控运行。

3.5 卸载后，起重机的机构、结构应无损坏、永久变形、连接松动、焊缝开裂和油漆起皱，液压系统和密封处应无渗漏。

六、检测设备的检查

属于检测用的设备、仪器，如水准仪、水平仪、千分卡、百分表等计量设备，应在检定有效期内，对于有效期满而未进行检定的，应及时停止其使用。

七、常见质量通病及预防

（一）钢轨弯曲变形未经校直调整就直接安装：钢轨安装前应逐根检查钢轨的弯曲度，其弯曲超过 $1/2000$ 的要进行校直后才能使用。

（二）两平行轨道的接头位置未错开：轨道安装时，应先测量起重机的轮距，使两平行轨道接缝错开，并使错缝位置距离不等于轮距。

（三）钢轨接缝错边量、间隙或钢轨伸缩缝超差，轨道纵向倾斜度超差，影响起重机运行：

1. 间隙过大和接缝错边会影响起重机平稳运行，间隙过小和不留伸缩缝会影响钢轨膨胀，甚至造成轨道弯曲。

2. 轨道施工时应按标准图正确施工，应从伸缩缝向两端施工，并将误差控制在 1mm 以内。轨道安装和紧固压板过程中应用水平仪测量监控轨道纵向倾斜度，如有超差应调整垫铁使倾斜度符合要求。

（四）起重机大梁与端梁连接不牢：其原因是未将车体大梁放到找好水平及轨距的临时轨道上进行组对，而是就地组对，在大梁和端梁存在变形的情况下将连接螺栓紧固，造成大梁与端梁连接部位的钢板端部不平，连接螺栓孔未对正吻合。

这会使起重机运行一段时间后大梁与端梁之间产生松动，易导致事故发生。

因此，组对前应先铺设水平和轨距均符合要求的临时轨道，将车体大梁放到轨道上进行组对，将大梁与端梁连接处的钢板端部调平，检查连接螺栓孔是否吻合，如有错位应分析清楚原因，不得随意修磨螺栓孔或螺栓。

紧固后应测量大车两对角线长度差，不应大于 5mm 并检查端梁接头焊缝有无裂纹等缺陷。

（五）钢轨与吊车梁顶面有间隙，且其长度超过 200mm 时，未加垫板，或者加设的垫板不合要求：在固定螺栓拧紧前，钢轨与下面的弹性垫板有间隙未加垫，待螺栓拧紧后又不易发现。在轨道安装后应认真仔细地进行全面的检查。

（六）起重机制动器（抱闸）过松或过紧影响动作平稳性：抱闸是很重要的安全部件，抱闸过紧过松都会使起重机不能正常运行，而且过松还可能会导致事故。要检查和清除闸轮上的污物、锈迹、油漆；检查衬料与闸瓦是否固定牢靠，并且铆钉埋入衬料内 25% 以上；检查闸轮与衬料接触面积不小于衬料总面积的 75% 。制动松紧程度在试车时进行调整，使其符合规范和设备技术文件要求。

第三节 大型设备吊装技术要点及注意事项

一、定义

大型设备是质量大于或等于 100t 或一次性吊装长度（或高度）大于或等于 60m 的设备，泛指塔器、反应器、反应釜、模块及构件等。

二、引用标准

本文主要涉及下列标准规范。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程。凡是不注日期的引用文件，其最新版本亦适用于本规程。

SH/T3515 石油化工大型设备吊装工程施工技术规程

SH/T21574 化工设备吊耳设计选用规范

GB50798 石油化工大型设备吊装工程规范

GB50484 石油化工建设工程施工安全技术规范

SH/T3557 石油化工大型设备运输施工规范

GB/T5972 起重机 钢丝绳 保养、维护、安装、检验和报废

GB5082 起重吊运指挥信号

GB50007 建筑地基基础设计规范

三、基本规定

（一）大型设备吊装应采用专业化管理模式。在吊装过程中，施工单位应根据装备资源、人力资源、现场环境等方面的条件选择吊装工艺。

（二）起重机械应有有效的安全检验合格证。

（三）吊索、吊具应有质量证明文件，不得使用无质量证明文件或试验不合格的吊索、吊具。

（四）起重机械和吊索、吊具严禁超负荷使用。

（五）吊装作业人员必须取得特种作业相关证件。

（六）大型设备吊装应编制吊装方案，并应按规定进行审批。当吊装方案实施过程中有变更时，应编制补充方案或变更说明，并按原程序审批。

（七）吊装方案编制完成并经吊装施工单位审批通过后，报监理和业主审批。对风险较大的设备吊装工程，必要时可邀请有关专家对吊装方案进行审查。

（八）吊装方案应由专业吊装工程师编制，项目技术负责人校核，高级工程师审核，企业技术负责人批准。吊装方案编制和审批人员的资格和职责要求见下表 26-18

表 26-18 吊装方案编制和审批人员的资格与职责

岗位	资格	职 责
编制	工程师	1. 现场调查和吊装机具调查、选用 2. 吊装方案编制和修订 3. 吊装方案交底



岗位	资格	职 责
校核	项目技术负责人	1. 校核吊装方案 2. 审查进度计划、交叉作业计划
审核	高级工程师	1. 审查吊装工艺及计算依据 2. 审查吊装机具的选择及布置合理性 3. 审查吊装安全技术措施
批准	企业技术负责人	吊装方案的最终批准

(九) 吊装作业前应由吊装方案编制人向所有相关作业人员进行吊装方案交底并记录, 交底完毕后, 交底人与被交底人应在技术交底中签字并存档。作业人员应熟知吊装方案、指挥信号、安全技术要求及应急措施。吊装方案交底应至少包括下列内容:

1. 设备吊装顺序
2. 设备吊装方案和吊装工艺
3. 吊装作业工序及要点
4. 安全技术措施

(十) 吊装方案编制人应负责方案的技术实施, 应至少包括下列内容:

1. 指导并监督作业人员正确执行方案
2. 解决吊装施工过程中出现的技术问题
3. 提出方案修改意见并编制补充方案

(十一) 吊装工程施工应建立完善的吊装安全保证体系。吊装施工准备和实施过程中, 吊装施工安全保证体系应正常运转。

(十二) 吊装前应根据吊装方案组织包括自检、联合检查等内容的安全质量检查。检查中发现问题时, 应由各级责任人员组织整改和落实。安全质量部门应对整改结果进行确认。

(十三) 大型设备正式吊装前应进行试吊, 试吊时主起重机水平提升设备, 使设备离支撑, 并对下列情况进行检查:

1. 起重机运转及设备重量情况。
2. 索具的受力情况
3. 安全距离及起重机站位处地基变化情况

(十四) 联合检查确认后, 设备吊装准备工作应符合吊装方案要求, 应由吊装总指挥签署 "吊装命令书" 后, 再进行吊装作业。

(十五) 吊装前, 应了解当地气象变化情况, 在雷雨、大雪、大雾、沙尘、能见度低、台风、风力等级大于或等于六级、环境温度低于或等于 -20°C 等恶劣条件下, 不得进行大型设备的吊装作业。

(十六) 吊装作业区域应按地基处理方案进行处理, 并应做好过程记录和确认。

(十七) 起重机械、吊索、吊具及设备与架空输电线路间的最小安全距离应符合表 26-19 的规定。

表 26-19 起重机械、吊索、吊具及设备与架空输电线路间的最小安全距离

项目	输电导线电压 /KV						
	<1	10	35	110	220	330	500
安全距离 /m	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.5

四、施工准备

(一) 技术准备

1. 吊装工程的技术准备应包括吊装规划和方案的编制等

2. 吊装规划应包括下列内容：

2.1 大型设备吊装参数汇总表。

2.2 吊装工艺。

2.3 吊装主要机具选用计划。

2.4 吊装顺序。

2.5 吊装进度计划。

2.6 吊点位置及其结构。

2.7 设备的供货条件。

2.8 吊装平面的布置。

2.9 吊装预留条件。

2.10 人力资源配置。

2.11 主要安全技术措施。

3. 吊装方案应包括下列主要内容：

3.1 编制说明及依据

3.2 工程概况，应包括下列内容：

3.2.1 工程特点

3.2.2 设备参数表

3.3 吊装工艺设计，应包括下列内容：

3.3.1 设备吊装工艺要求

3.3.2 吊装参数表

3.3.3 吊装机具安装拆除工艺要求

3.3.4 设备支、吊点位置及结构设计图和局部加固图

3.3.5 吊装平、立面布置图

3.3.6 地锚施工图

3.3.7 吊装作业区域地基处理措施

3.3.8 地下工程和架空电缆施工规定

3.3.9 吊装机具材料汇总表

3.3.10 吊装进度计划



3.3.11 相关专业交叉作业计划

3.4 吊装组织体系

3.5 安全保证体系及措施

3.6 吊装工作危险性分析表或健康、安全、环境危害分析

3.7 质量保证体系及措施

3.8 吊装应急预案

3.9 吊装计算书

(二) 机索具准备

1. 编制机索具进场计划。

2. 检查进入现场的吊装机械的完好性及相关证件。

3. 检查进入吊装现场的吊索具的质量证明文件,规格、尺寸及性能参数满足方案要求,并进行质量检查确认。

4. 对进入吊装现场的起重机械、吊索、吊具及其他设施或材料,应指定存放位置并由专人验收和保管。对每件机具、索具及材料应及时作出标识,并注明其规格、型号及使用部位。

(三) 现场准备

1. 吊装现场的场地、道路等条件应满足吊装作业要求,达到四通一平(水通、电通、路通、信息通、场地平)条件。

2. 吊装作业场地(包括吊车组拆、行走、站位及设备摆放区等)地基处理应满足吊装方案要求。

3. 机具设备存放场地应采取防护措施。

4. 起重机具应根据吊装方案的要求设置。

5. 与安装单位沟通,确定设备的平面布置和预制深度。

6. 与运输单位沟通,确定设备场内运输路线和卸车方式。

7. 根据吊装方案现场放线,标识吊装机械站位及设备卸车摆放位置。

(四) 设备现场调整

1. 大型设备运输时,由于工程现场条件或运输条件的限制使大型设备卸车位

置及方位不能满足吊装的条件要求时,应对设备的位置、方向和方位进行现场调整,并应制定相应的施工措施。

2. 设备的位置调整应符合下列规定:

2.1 调整方法主要有起重机吊装法、滚杠法和滑道滑移法。

2.2 起重机吊运设备时,设备离地面或障碍物高度宜为 300mm

2.3 滚杠法移动设备时,应设置两个以上设备支座且设备应固定牢固;牵引力应经计算确定。

2.4 作业区域应设警戒,受力绳内侧严禁站人。

3. 设备的方位调整应符合下列规定

3.1 调整方法主要有起重机吊装回转法和设备鞍座回转法。

3.2 起重机吊装回转法，设备离支撑面宜为 300mm。

3.3 鞍座支撑回转法调整设备方位时应检查确认在鞍座与设备接触面间无杂物及卡涩情况并加润滑脂；设备鞍座的包角不应小于 120°，鞍座支撑架回转受力侧的地基应满足设备回转时的要求。

五、质量保证体系

（一）吊装施工准备前，应建立现场吊装施工质量保证体系，且保证运转正常。

（二）吊装施工质量保证体系岗位职责应符合表 26-20 的规定。

表 26-20 现场吊装施工质量保证体系岗位职责

岗 位	职 责
吊装总指挥	全面负责吊装施工
吊装责任工程师	吊装方案编制及技术交底，方案实施过程的监督与技术指导
机械责任人员	起重机械保养运行的技术指导
安全责任人员	安全检查及监督
质量责任人员	吊装工程施工质量检查
材料责任人员	吊装所需材料的检查确认
起重队长（施工负责人）	负责劳动力组织、索具调配、进度控制
吊装指挥	试吊和正式吊装作业指挥
吊装副指挥	协助吊装指挥工作
起重工	岗位作业
吊装机械操作人员	机械操作和维护保养
电工、修理工	起草机械故障修理
监测员	规定部位监测

（三）吊装施工人员应符合下列要求：

1. 开工前，施工人员应进行相关知识培训，熟悉工程概况、设计图辑、施工技术要求，掌握标准、规范、施工工艺及检查细则。

2. 参加吊装的起重作业人员应取得《特种作业人员操作证》。

3. 起重机械司机应取得《特种设备作业人员证》，并应了解所操作起重机械的构造性能，掌握操作方法和保养规程。

4. 起重机械、吊耳及吊索具应符合下列要求。

5. 起重机械运抵工程现场时，吊装单位应通知业主或项目监理机构对进场的起重设备进行审查，办理相关手续后进入施工现场作业。

6. 对进场的起重机械，吊装单位应组织相关人员验收，核查机具维修、使用检验记录，确认技术性能符合质量要求：

7. 起重机械、吊索具应有质量证明文件，在使用前检查认可后，方可使用。

8. 吊耳及自制的专用吊具，应有相应的设计文件和质量证明文件，文件应存档。

9. 定期对起重机械、吊索具维护保养，使用完毕后及时回收。

（四）起重机械吊装作业需地基处理的应编制方案，并全过程监督地基处理施工及检测，做好检查记录。



(五) 吊装前应进行检查确认, 并填写检查确认表。

六、设备吊耳

(一) 一般规定

1. 设备吊点有下列常用形式

1.1 提升盖吊耳

1.2 管轴式吊耳

1.3 板式吊耳

2. 制作吊耳的材料应为塑性材料, 且必须有质量证明文件, 不得有裂纹、重皮、夹层等缺陷。

3. 吊耳焊接应按设备本体焊接工艺进行, 且应在设备制造时焊接。整体热处理的设备, 吊耳应在设备热处理前焊接, 并一同热处理, 消除焊接应力。

4. 吊耳与筒体连接焊缝应按设计文件规定进行检验。

5. 吊耳的结构形式应根据设备的特点及吊装工艺确定, 重型反应器顶部单吊点宜选用吊盖(提升盖); 塔类设备的吊点, 宜优先考虑选用管轴式吊耳; 立式设备溜尾吊耳宜选用板式吊耳。

6. 吊耳应满足最大允许吊装载荷下吊耳的自身强度和设备局部强度的要求。

7. 吊耳材质应与设备材质相同或接近, 其屈服强度下限值应不低于 235 MPa。

8. 编制焊接工艺, 明确质量检验要求。

9. 吊耳位置与数量应满足吊装工艺要求。

10. 设备到场后, 技术人员要对吊耳焊接位置及尺寸进行复测。

11. 设备吊点位置应符合下列规定:

11.1 有利于设备就位, 且使吊装机具处于合理的工作状态。

11.2 满足设备强度与稳定的要求, 且主吊点应设置在设备重心之上。

11.3 使吊装索具有足够的空间, 并便于吊后索具的拆除作业。

12. 不锈钢和有色金属设备吊耳加强板应与设备材质相同, 并防止油污和铁质污染设备。其余材质设备的吊耳补强板的材质应与设备材质相同或接近。

13. 在有充分计算依据的条件下, 吊耳可根据吊装工程的实际情况, 选用其他类型的吊耳。(见附录 C 板式吊耳选用及计算、附录 D 管轴式吊耳选用及计算)

14. 设备吊装就位后, 若需将吊耳切割拆除时, 火焰不得直接接触设备本体, 应采取保护措施。

15. 吊耳所有焊缝均应进行外观检查, 不得存在裂纹与未熔合等任何焊接缺陷。钢板卷焊成的管轴, 其对接焊缝应经过 100% 的 X 射线检测, 检查结果应符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 的有关规定, 11 级应为合格。其余焊缝除管轴式吊耳的内筋板、内加强环板外, 还应进行磁粉或渗透检测, 检查结果应符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 的有关规定, I 级应为合格。

16. 吊耳垫板、补强板应与设备壳体紧密贴合, 间隙不大于 1mm, 补强板上应设置透气孔。

17. 吊耳的吊耳板、垫板、补强板、吊耳管轴、筋板、挡圈等部件的切割表面不允许存在裂纹、

毛刺等缺陷。

18. 吊耳的公称吊重是指一个吊耳允许起吊的最大载荷。

19. 吊耳设计动载综合系数宜选用 1.5，不得小于 1.2。

(二) 提升盖吊耳

1. 提升盖适用于顶部中心设置有大接管法兰类设备（如反应器）吊装的主吊耳。

2. 在提升盖的基本结构选定后，必须根据设备的顶部法兰的结构尺寸、设备重量等已知条件设计出合理的提升盖结构尺寸，以保证提升盖各部位的强度均满足安全吊装使用要求。

3. 使用单位自行设计的吊盖应有施工（制作）图纸，安装说明和设计计算书，并作为工件吊装方案的一部分报批。

4. 提升盖的结构设计与连接不得损坏设备顶部法兰的密封结构。

5. 提升盖与设备顶部法兰间的连接螺栓应施加于一定的预紧力。预紧作业应使用力矩扳手，各螺栓受力应均匀。

6. 连接螺栓的预紧应采用分级、对称拧紧的方式进行。

7. 组合型吊盖式吊耳管轴中心线应与下盖板平行。

8. 吊盖式吊耳与设备顶部法兰之间的连接螺栓预紧力应进行计算。

(三) 板式吊耳

1. 板式吊耳可分为侧壁板式吊耳、顶部板式吊耳及卧式设备板式吊耳。

2. 板式吊耳与吊索的连接应采用卡扣，不得将吊索与板式吊耳直接相连。

3. 板式吊耳的吊耳板应平直，吊耳设置应与受力方向一致。工件吊装过程中，对于受力方向会随起升过程变化的吊耳，应在耳板的两侧设置筋板。

4. 板式吊耳的孔应采用机加工成型，不得有局部缺口等缺陷。

5. 侧壁板式吊耳宜仅承受竖向载荷，最大侧向受力角度不得超过 5° 。

(四) 管轴式吊耳

1. 立式设备的主吊耳宜采用管轴式吊耳

2. 管轴式吊耳的内筋板、外筋板、内挡圈和补强板应根据吊耳的具体使用条件、吊耳的强度及管轴的受压稳定性确定设置。

3. 管轴式吊耳的制造应保持管轴外表的圆整光滑，管轴与套筒应润滑。

4. 管轴式吊耳设计与使用应符合下列规定：

4.1 吊耳设计安全系数不宜小于 1.5，吊装过程中不得有冲击现象。

4.2 吊耳宜垂直受力，其受力张角不得大于 15° ，且应有防止钢丝绳脱落的挡圈。

4.3 吊耳管轴的选用长度应满足钢丝绳的排列股数和设备绝热层厚度的要求。

4.4 吊耳的补强圈应分别按设备在起吊和直立的受力状态下设备壳壁的强度和局部稳定性计算来确定。

4.5 吊耳的管轴外表面应圆整光滑，与钢丝绳的接触面之间应加注润滑脂，必要时，可增加润



滑套筒，使吊装钢丝绳通过润滑套管转动。

4.6 吊耳挡圈的设置位置应考虑到钢丝绳受力张角的影响，并应采取保护钢丝绳的措施。

4.7 吊耳管上的钢丝绳排列应整齐有序，不得相互挤压，并保持各股钢丝绳受力均衡。

5. 带内筋板的管轴式吊耳焊接宜按如下顺序和要求进行：

5.1 主筋板与设备本体

5.2 吊耳管与设备本体

5.3 补强圈与吊耳管及设备本体

5.4 挡圈与吊耳管

5.5 加强筋与挡圈及吊耳管

5.6 各主筋板之间的焊接采用双面交错间断焊

5.7 吊耳管与主筋板焊缝应大于管长的 1/3

5.8 补强圈拼接时，拼接板数量不得多于三块

5.9 角焊缝高度为两焊件薄板厚度

6. 采用钢板卷焊而成的管轴，其对接焊缝必须经过 100% 的 X 射线探伤检查，检查结果符合 GB3323《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》的规定，Ⅲ级为合格。

7. 管轴式吊耳应与设备轴向中心线垂直，偏差不大于 0.5° 。

8. 吊耳管轴应开单面外 55° 坡口后再与补强板或所吊工件的壳体相焊接。

七、吊索具

（一）一般要求

吊索具进场时应清点数量，检查外观质量，并对其规格尺寸进行复测。

（二）绳索

1. 麻绳

1.1 麻绳适用于在大型设备吊装作业中作为设备的溜绳，不得在机械驱动的吊装作业中作为起吊索具使用。

1.2 麻（棕）绳不得向一个方向连续扭转，以免松散或扭劲。发现上述现象时，应及时消除。

1.3 麻（棕）绳使用中，不得与锐利的物体直接接触，如无法避免时应垫以保护物。

1.4 麻（棕）绳在作走绳使用时，安全系数不得小于 10，作绳扣使用时，不得小于 12。

1.5 麻（棕）绳应存放在通风干燥的地方，不得受热、受潮，且不得与酸、碱等腐蚀性介质接触。

2 钢丝绳

2.1 吊装用的钢丝绳，应符合国家有关标准的要求且满足以下要求：

2.1.1 钢丝绳的最小安全系数不得小于表 26-21 的规定

表 26-21 钢丝绳的最小安全系数

用途	缆风绳	机动起重设备跑绳	系挂吊索	捆绑吊索	吊篮
安全系数	3.5	5	5	6	14

2.1.2 接长的钢丝绳不得用于起重滑轮组上，钢丝绳不得与电焊导线或其他电线接触，当发现钢丝绳受电弧伤害时不得使用。

2.1.3 钢丝绳使用中不得与有棱角及锋利物体接触，无法避免时增加保护措施进行保护。

2.1.4 钢丝绳不得折曲、扭结。

2.1.5 钢丝绳在使用过程中应定期检查、修整、润滑、保养，钢丝绳报废按 GB/T 5972 规定执行。如发现磨损、锈蚀、断丝等现象时，应按表 26-22、表 26-23 的规定，降低其使用能力，且折断之钢丝应从根部将其剪去，以免刮伤邻近钢丝。

表 26-22 钢丝绳的折减系数

钢丝绳破断力的折减系数	钢丝绳的构造					
	6x19+1		6x37+1		6x61+1	
	交捻	顺捻	交捻	顺捻	交捻	顺捻
	一个捻丝节距内钢丝绳断丝数					
0.95	5	3	11	6	18	9
0.90	10	5	19	9	29	14
0.85	14	7	28	14	40	20
0.80	17	8	33	16	43	21
0.00	>17	>8	>33	>16	>43	>21

表 26-23 钢丝绳折减系数的修正系数

磨损量按钢丝直径计 (%)	10	15	20	25	30	30 以上
修正系数	0.80	0.70	0.65	0.55	0.50	0

3. 合成纤维吊装带

3.1 合成纤维吊装带使用应符合下列固定

3.1.1 不允许交叉或扭转使用吊装带，使用过程中，不允许打结。

3.1.2 吊装带的使用环境温度宜为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ ，丙纶吊装带使用环境温度宜为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ ，聚醋及聚酷胶合成纤维吊装带使用环境温度宜为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ ，高分子量聚乙烯合成纤维吊装带使用环境温度宜为 $-60^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.3 吊装带不允许叠压或扭转使用，不允许在地面上拖曳。当接触尖角、棱边时应采取保护措施。

3.2 维护保养

3.2.1 吊装带应避开热源、腐蚀品、日光或紫外线长期辐射。

3.2.2 吊装带应存放在干燥、通风、清洁的场所内。

3.2.3 对潮湿的吊装带应晾干后保存。

3.3 吊装带存在下列情况之一时，不得使用。

3.3.1 吊装带本体被损伤、带股松散、局部破裂。

3.3.2 合成纤维出现变色、老化、表面粗糙、合成纤维剥落、弹性变小、强度减弱。

3.3.3 吊装带发霉变质、酸碱烧伤、热熔化、表面多处疏松、腐蚀。

3.3.4 吊装带有割口或被尖锐的物体划伤。



3.3.5 无标牌。

(三) 吊具

1. 卸扣

1.1 吊装施工中使用的卸扣应按额定负荷标记选用，不得超载使用，无标记的卸扣不得使用。

1.2 卸扣表面应光滑，不得有毛刺、裂纹、尖角、夹层等缺陷，不得利用焊接的方法修补卸扣的缺陷。

1.3 卸扣使用前应进行外观检查，发现有永久变形或裂纹应报废。

1.4 使用卸扣时，只应承受纵向拉力，严禁横向受力。

1.5 报废

1.5.1 卸扣扣体扭曲超过 10° 时。

1.5.2 锈蚀和磨损超过名义尺寸 10% 时。

1.5.3 卸扣扣体和销轴经探伤有裂纹时。

1.5.4 卸扣扣体和销轴发生明显变形时。

1.5.5 肉眼看出有裂纹和裂痕时

2. 吊梁

2.1 吊梁应有明显的载荷标志，不得超载使用。

2.2 起重机与吊梁的连接应可靠。

2.3 下部索具与吊梁连接应正确，且索具与吊梁应相匹配。

2.4 使用注意事项：

2.4.1 自行设计、制造的平衡梁，其设计文件（施工图纸，使用说明及计算书等）应随吊装施工技术方案的审批。平衡梁结构的强度计算宜按 GB50017 的规定进行。

2.4.2 应力求吊具处于平衡状态。

2.4.3 在试吊过程中，平衡梁有异常响声、梁体明显变形、焊缝开裂、螺栓脱出等异常现象应立即停止试吊。

2.4.4 吊运时应避免碰撞和冲击。

2.5 报废

2.5.1 主要受力件出现塑性变形或裂纹时。

2.5.2 吊轴的磨损量达到原件尺寸的 5% 时。

2.5.3 转动件转动不灵活或有卡阻现象，经修复达不到吊装技术要求时。

2.5.4 平衡梁锈蚀严重影响安全使用时。

3. 手拉葫芦（倒链）

3.1 使用注意事项

3.1.1 使用时应首先试吊，当重物离地后，确认手拉葫芦运转正常，制动可靠，方可继续起吊。

3.1.2 作业时使用者不得站在重物上面操作，也不得将重物吊起后停留在空中而离开现场。

3.1.3 不得使用非手动驱动方式起吊重物。发现拉不动时，不得增加拉力，要立即停止使用。检查重物是否与其它物体牵连，重物重量是否超过了额定吊装量，手拉葫芦部件有无损坏等。

3.1.4 使用前须对吊钩、吊装链条、制动装置等部件及润滑进行检查，认为完好无损后再使用。

3.1.5 吊装链条必须垂直悬挂，不得弯曲或扭结。

3.1.6 不可横拉或斜拉重物。（若必须横拉或斜拉建议使用手扳葫芦）

3.2 当发现有下列情况之一时不得使用。

3.2.1 断面磨损量超过名义尺寸的 10% 时。

3.2.2 吊钩口尺寸变形增大超过名义尺寸的 15% 时。

3.2.3 扭转变形超过 10° 时。

3.2.4 链环直径磨损超过名义尺寸的 10% 时。

3.2.5 棘轮、棘爪和弹簧出现严重磨损或腐蚀时。

3.3 维护保养

3.3.1 使用完毕后，应将手拉葫芦擦净，并应存放在干燥地点。

3.3.2 手拉葫芦机件应用煤油清洗，在齿轮和轴承部位应加润滑脂。

3.3.3 手拉葫芦经过清洗检修后，应进行空载和负载试验，并应确认运行正常后再使用。

4. 滑轮组

4.1 滑车滑轮的轮槽表面应光滑，不得有裂纹、凸凹等缺陷。

4.2 滑轮组仅使用其部分滑轮时，其吊装能力应按使用轮数计算。

4.3 动滑轮组与定滑轮组间的最小距离不得小于滑轮轮径的 5 倍，走绳进入滑轮的侧偏角不宜大于 5° 。

4.4 当滑轮组的轮数超过 5 个时，走绳宜采用双抽头的方式。采用隔轮花穿的方式时，应适当加大上、下滑轮之间的净距。

4.5 滑轮组所有转动部分应动作灵活、润滑良好，并应定期添加润滑脂。

4.6 吊钩上的防止脱钩装置应齐全完好，无防止脱钩装置时，应将钩头加封。

4.7 吊钩、吊环及吊梁的缺陷不得用焊接的方法修补。

4.8 滑轮组在使用前应检查，并应清理干净，同时应加润滑脂

4.9 滑轮组在使用时应经常检查，必要时，滑轮轴、吊环或吊钩应进行无损检测，当发现不符合现行行业标准《起重机用铸造滑轮》JB/T 9005 的有关规定时不得使用。

4.10 滑轮组使用后，应清理干净，应涂以防锈油，并应存放在干燥的库房内。

八、场内运输

（一）一般要求

1. 设备场内装卸、运输施工前应由专业技术人员编制施工方案，并按规定程序进行审批：当施工方案有变更时，应重新编制施工方案或补充说明并按原程序审批。

2. 大型设备场内装卸、运输施工前应向作业人员进行技术交底。



3. 运输前应对运输线路进行全线勘察、实地测量。对于通行高度、坡度等不满足要求的应进行预留或改造,对承载能力不满足要求的应进行加固处理。

4. 场内设备采用法杠法平移前,直边行滚排模拟耐压试验及滚排牵引拉力、启动系数、滚动摩擦系数测定试验。

(二) 装卸施工

1. 采用液压板车自顶升装卸时,鞍座强度应满足自装卸要求,不能满足时,鞍座下方应支垫足够强度的钢梁或其他方式进行加固。

2. 采用吊装机械装卸时,应根据设备的结构、重量和重心位置等情况,合理选择起重机械、受力点和装车位置。

3. 两台及两台以上起重机装卸设备时应按设备重心位置分配载荷并同步作业。

(三) 运输施工

1. 设备的场内运输主要采用地面平移法和车板运输法。

2. 地面平移法主要是利用拖排、滚杠及牵引设备(牵引车、卷扬机等)实施地面运输。适用于场地较狭窄、运输高度受限,运输车辆无法通过或不具备机械化运输条件、运距较短的情况。

3. 地面平移滚杠和走道铺设应按顺序进行,滚杠应放正,宜采用限位措施。

4. 拖排的结构和强度应满足设备运输载荷的要求。

5. 用多台牵引设备牵引时宜选用同型号牵引设备,牵引速度应保持一致。

6. 设备平移时的启动加速度、运行速度应满足设备的稳定性要求,必要时设置防倾覆措施。顺坡度往下运设备时,应在后方系挂拖拉绳。

7. 车板运输法根据货物的长度、重量以及道路通行能力,通常采用整板运输和长货转盘跨装运输两种运输形式。

7.1 整板运输适用于设备重量大、长度相对较短且道路通行能力好、转弯不受限的场合。

7.2 长货转盘跨装运输适用于设备长度长,重量相对较轻、且道路通行能力差、转弯受限的场合。

8. 设备转盘应放在车板的横中心线上,纵向位移时,应符合设备重心偏离货车横中心线的最大容许距离的规定,设备转盘的上架体与跨装设备,下架体与车辆应分别固定在一起。

9. 设备运输路面纵坡斜度应满足运输车辆牵引动力和车板升降高度要求,横坡斜度应满足运输车辆抗倾覆要求,要根据运输机具及运输配车等进行核算。

10. 设备运输路面受压部分距路边距离不宜小于 1m,与带电线路的距离应符合安全要求,否则应采取停电或其他安全措施。

九、地基处理与检测

(一) 一般规定

1. 设备吊装作业地面应参考项目所在地地质资料,依据吊装区域地面实际地耐力检测结果,当地耐力不能满足时应采取地基处理措施。

2. 设备吊装常用的地基处理方法有碾压法、换填法、强夯法(强夯置换法)、桩基法。

3. 常用的地耐力检测方法有浅层平板测试仪法和压重法。

(二) 地基处理

1. 换填垫层法

适用于浅层软弱地基及不均匀地基的处理,应用范围较广。因换土的宽深范围有限,采用该方法既安全又经济。经工程实践,换填垫层法效果良好,目前已广泛地用在吊装作业的地基处理中。

2. 预压法

2.1 预压法包括堆载预压法和真空预压法,预压法适用于处理淤泥质土、淤泥和冲填土等饱和黏性土地基。

2.2 重要的工程,应在现场选择试验区进行预压试验。

3. 强夯法

3.1 强夯法适用于碎石土、沙土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土等地基。

3.2 实施前必须通过现场试验确定其实用性和处理效果。

(三) 地基检测

1. 浅层平板测试仪法

1.1 采用小平板测试仪进行静压载荷测试

1.2 浅层平板载荷试验应按 GB 50007 — 2011 进行沉降观测,采用慢速维持荷载法逐级加载,加荷分级不应小于 8 级,每级荷载达到相对稳定后加下一级荷载。读数时间为 10min、10min、10min、15min、15min,以后每 30min 读记一次。

1.3 在连续两小时内,每小时的沉降量小于 1mm 时,则认为已趋稳定,即可加下一级荷载。

2. 压重法

2.1 根据起重机械作业对地压强的要求,计算每个测试点需要压重块的数量。

2.2 选择起重机吊装作业时对地压强最大的位置,叠放压重块,确定一个基准点,均布找出压重块上的 4 个位置作为测量点,并做好标志。

2.3 压重块应静置 24h,测量记录压重块 4 个位置的沉降量,若四个点最大沉降量不大于 50mm,则证明处理的地基合格。

十、吊车吊装

(一) 一般要求

1. 设备吊装重量不得大于吊车在该工况下的额定起重量。

2. 设备与吊臂之间的安全距离宜大于 500mm。

3. 当采用两台起重机作为主吊,抬吊高、细设备,起重机起重能力宜相同。

起吊重量不超过两台起重机在该工况下允许起重总和的 75%,每台起重机的吊装载荷不得超过其额定起重能力的 80%。当设有平衡装置或抬吊对偏载不敏感的粗矮或细长卧式设备,可按所分配的载荷选择起重机。

4. 吊装过程中,吊钩侧偏角应小于 10° 。



5. 立式设备吊装时，吊梁上部吊索与水平夹角宜大于等于 60 度。

6. 吊装前应确定设备重心，并应符合下列规定：

6.1 立式设备吊点位置应设置在重心以上，且宜采用管轴式吊耳形式。

6.2 卧式设备吊点应对称设置在重心两侧，且宜采用兜捆形式。

7 吊车司机应按吊车操作规程进行操作，且不宜同时进行两种及以上动作。

(二) 吊装方法

1. 吊车吊装可采用直接提升法、单主机抬吊递送法、双主机抬吊递送法、扳转法等方法。

2. 直接提升法

2.1 吊装前应确定设备重心位置，根据重心位置合理设置吊点位置及数量，吊装过程应保持设备平衡。

2.2 卧式设备吊装时吊车吊点间距宜大于设备长度的 1/3，宜使用吊梁吊装。

2.3 采用兜捆方式吊装时，应对索具与设备的边缘棱角接触部位进行保护，并对设备进行保护。

3. 扳转法

3.1 扳转法吊装设备尾部固定铰接处应设置防倾翻装置，防止设备直立过程中倾翻；

3.2 扳转法吊装设备尾部固定铰接及防倾翻装置设置完毕应进行检查调试，铰接处应灵活，防倾翻装置应安全可靠；

3.3 设备扳转力方向与设备翻转轴线应垂直。

4. 单主机抬吊递送法

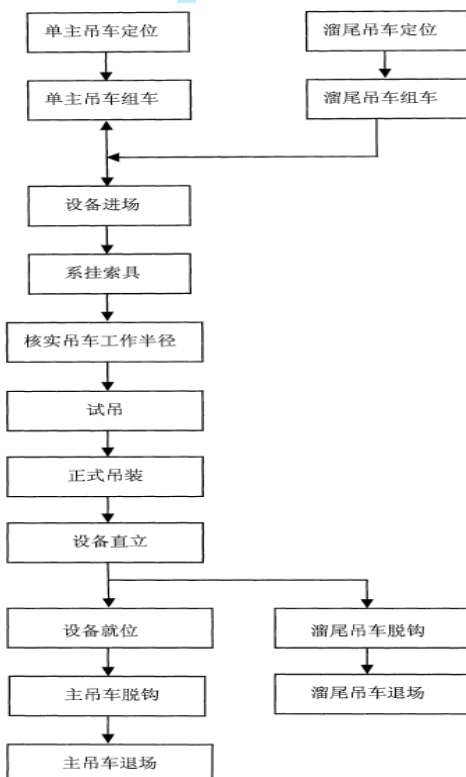


图 4 单主机抬吊递送法吊装工艺流程

5. 双主机抬吊递送法

5.1 两台主吊车需缓慢提升，且两台吊车应做到操作同步：

5.2 两台主吊车旋转中心线宜与设备基础中心在一条，直线上。

十一、注意事项

（一）履带吊带载行走

1. 必须是主臂工况，其他工况不允许带载行走
2. 起重量不得超过相应工况额定起重量的 70%
3. 地面应坚实、平整、不下陷，地面坡度小于 5‰
4. 行驶速度要慢，起重臂位于正前方，载荷离地面高度不应超过 25cm
5. 带载行驶转弯时，请先将重物放置地面，起重机转弯完成后，再将重物吊起，回转至前方行走。
6. 副臂工况禁止带载行走

（二）其它注意事项

1. 严禁超载
 2. 不允许采用插值法计算起重量
 3. 吊装作业时，地面平整度应小于 5‰，禁止在大于 1% 的斜坡上吊装回转。
 4. 地基承载力必须满足要求，否则会造成倾翻、倒塌等事故
 5. 起吊作业时，不允许同时操作两个动作，尤其在满负荷或接近满负荷的情况下，禁止同时操作两个动作。
 6. 自制的吊具需绘制图纸，进行强度、刚度及稳定计算，按有关工艺要求加工制作，并经荷载试验后方能使用。
 7. 风力达到 5 级时，不得露天进行迎风面大或重量接近额定负荷的起重工作。
- 当风力达到 6 级以上时，不得在露天进行作业。

十二、管理

（一）对制造厂和自制、改造的要求

1. 制造吊具与索具的单位，应对外购件、零部件、吊具的金属结构等质量全面负责。其它安全技术指标应不低于有关国家标准和专业标准的规定。
2. 对于自制、改造的额定起重量在 500kg 以上的吊具（不含吊索），应将设计图纸、计算书等与安全有关的技术资料和依据的标准、质量保证措施，报本企业主管部门审批。
3. 吊具与索具的专业制造厂，必须具备保证产品质量所必要的设备、技术力量、检验条件和管理制度，并取得劳动部门的安全认可证。

（二）对使用单位的要求

使用单位应根据所用吊具与索具的种类以及使用的具体情况，建立必要的规章制度。如：交接班制度、安全技术要求细则、操作规程细则、绑挂指挥细则、检修制度、培训制度、设备档案制度等。



1. 购置,购置吊具与索具时,必须购买已取得安全认可厂家的合格产品。
2. 设备档案,使用单位必须对本单位的吊具与索具建立设备档案,设备档案内容包括:
 - 2.1 吊具与索具出厂技术文件如图纸、质量证明书、安装和使用说明书。
 - 2.2 安装后开始使用时间。
 - 2.3 日常使用、保养、维修、变更、检查和试验等记录。
 - 2.4 设备、人身事故记录。
 - 2.5 设备存在的问题和评价。

3. 吊索具存放架、标示牌制作标准

3.1 存放架主要设置构成:主架、信息标示牌、吨位标示(见附录 E 吊索具存放架、标示牌制作标准)。

3.2 信息标示牌内容:吊索具使用规定、报废要求、定检周期、色标、管理员、吊具类型(文字+图片)。

3.3 吊索具的存放:吊索具使用后应及时摘下,按照规格悬挂于对应的吊索具架上,对应较长的吊索具应放置于托盘中,避免拖地造成对地面的损伤。对于不便于装卸、较重的吊索具,可以根据实际情况进行存放。

(三) 监督检验

监督检验应、在用户自检(初始检查、经常性检查、定期检查)基础上,由劳动部门认可的安全技术检验单位进行,并应符合下述要求:

1. 正常使用的吊具与索具,应每两年随同起重机械进行一次。
2. 经大修、新购置及自制、改造过的吊具(额定起重量在 500kg 以上)在使用前应进行检验合格。
3. 经重大事故、大地震等自然灾害后,使结构及其零部件受损坏的吊具(额定起重量在“以上”)应在修复后进行检验合格。
4. 闲置时间超过一年以上的吊具(额定起重量在 1t 以上)在使用前进行检验合格。

第四节 大型压缩机组、磨煤机安装、试车质量控制方法

一、基本规定

本教材主要适用于化工、石油化工装置大型压缩机组、磨煤机安装及试车工程的质量控制方法。

二、执行标准

《化学工业建设项目试车规范》HG 20231

《化工机器安装工程施工及验收规范(离心式压缩机)》HG/T 20205

《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539

《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544

《球磨机和棒磨机》GB/T25708

《破碎、粉磨设备安装工程施工及验收规范》GB 50276

《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB50275

《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538

《化工机器安装工程施工及验收通用规范》HG20203

《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231

《石油化工静设备安装工程施工技术规程》SH/T3542

《石油化工静设备安装工程施工质量验收规范》GB50461

《工业金属管道工程施工及验收规范》GB50235

《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB50236

《工程建设安装工程起重施工规范》HG20201

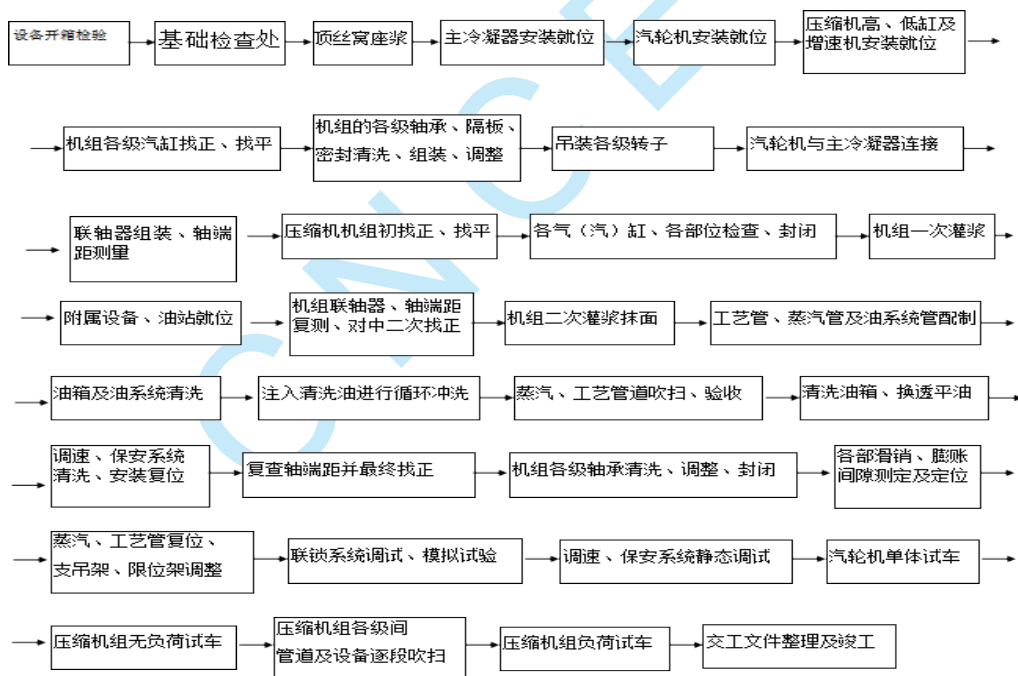
《工业安装工程质量检验评定统一标准》GB50252

《工业管道工程质量检验评定标准》GB50184

三、质量控制要点

(一) 保证安装质量的合理施工程序

1. 离心式压缩机组施工程序



注：1. 根据设备类型不同、到货状态差异及安装现场实际情况，上述不涉及逻辑先后的工序可适当调整安装顺序，同步、穿插或交叉进行作业。

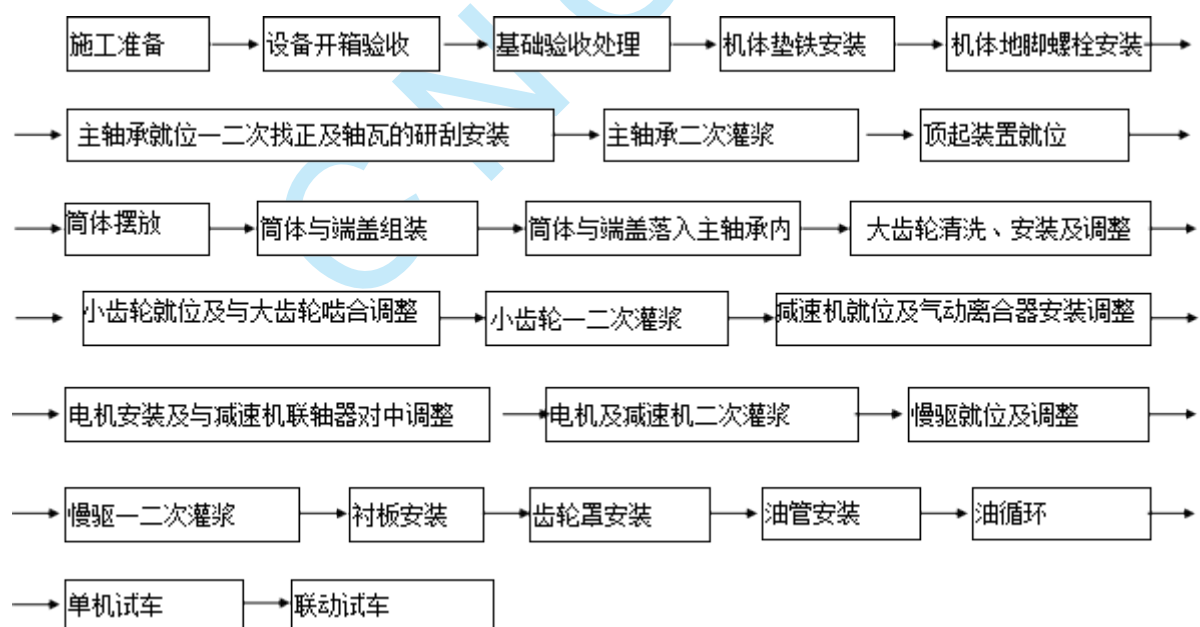
2. 对于整体供货的机组，揭盖及各部位清洗、检查，各气（汽）缸、各部位重新组装封闭，必须有制造厂商代表同意，并有专家现场指导，方可进行这项工作。

3. 蒸汽、工艺管道吹扫、验收和压缩机组负荷试车，应有建设单位组织、操作，施工单位配合。

2. 往复式压缩机机组施工程序



3. 棒磨机施工程序



(二) 质量控制点

1. 现场组装的离心式压缩机组安装质量控制点

表 26-24 现场组装离心式压缩机安装质量控制点一览表

序号	质量控制点	控制等级 (A、B、C)	控制措施
1	设计交底、图纸会审	AR	建设单位组织, 监理、施工单位参加, 设计交底
2	施工方案	AR	专业公司编制项目批准, 监理、建设单位会审
3	施工技术交底、下达自检记录	CR	专业公司技术人员交底、下达自检记录, 检查员检查
4	设备材料交接、检查、保管	AR	建设单位组织, 监理、施工单位参加
5	设备基础复查、验收	AR	建设单位组织, 监理、施工单位参加
6	主冷凝器安装就位	BR	按基础、设备施工图样监理、施工单位检查确认
7	汽轮机安装就位	BR	按基础、设备施工图样监理、施工单位检查确认
8	压缩机高、低缸及增速机安装就位	C	按基础、设备施工图样监理、施工单位检查确认
9	汽轮机找正、找平	B	以汽轮机为基准, 用水平仪或水准仪、百分表检测
10	汽轮机与主冷凝器连接	B	以汽轮机为基准, 调整主冷凝器
11	联轴器组装、轴端距测量	BR	以汽轮机或变速箱为基准, 用千分尺调整压缩机
12	机组各级汽缸找正、找平	BR	以汽轮机为基准, 用水平仪或水准仪、百分表检测
13	机组的各级轴承、隔板、密封清洗、组装调整	BR	按本标准的要求, 用塞尺检测、调整各部位间隙
14	吊装各级转子	C	按本标准的要求, 吊装各级转子
15	汽轮机与主冷凝器连接	B	以汽轮机为基准, 调整主冷凝器
16	联轴器组装、轴端距测量	BR	以汽轮机或变速箱为基准, 用千分尺调整压缩机
17	压缩机机组初找正、找平	B	以汽轮机为基准, 用水平仪或水准仪、百分表检测
18	各气(汽)缸、各部位检查、封闭	BR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
19	机组一次灌浆	B	按本标准的要求, 提出一次《灌浆委托书》
20	附属设备、油站就位	C	按基础、设备施工图样
21	机组联轴器、轴端距复测、对中二次找正	BR	按本标准的要求, 百分表检测, 监理、检查员确认
22	机组二次灌浆抹面(隐蔽工程记录)	BR	按本标准的要求, 提出二次《灌浆委托书》
23	工艺管、蒸汽管及油系统管配制	BR	按本标准及 GB50235 规范的要求,
24	油箱及油系统清洗	C	检查员进行检查、确认
25	注入清洗油进行循环冲洗	AR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
26	蒸汽、工艺管道吹扫、验收	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
27	清洗油箱、换透平油	A	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
28	调速、保安系统清洗、安装复位	A	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
29	复查轴端距并最终找正	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
30	机组各级轴承清洗、调整、封闭	AR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
31	各部滑销、膨胀间隙测定及定位	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
32	蒸汽、工艺管复位、支吊架、限位架调整	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
33	连锁系统调试、模拟试验	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
34	调速、保安系统静态调试	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
35	汽轮机单体试车	BR	按本标准的要求, 监理、施工单位检查确认
36	压缩机组无负荷试车	AR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
37	压缩机组各级间管道及设备逐段吹扫	AR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
38	压缩机组负荷试车	AR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认
39	交工文件整理及竣工	AR	按本标准的要求, 建设、监理、施工单位检查确认

2、往复式压缩机机组安装质量控制点

表 26-25 7 质量控制点

序号	检验项目	控制等级	控制措施
1	图纸会审、施工方案	AR	1、图纸进行专业会审，检查图纸中的错误、现场不符的情况以及专业交叉中有问题的地方；2、审查施工方案中的施工方法是否符合现场实际，是否具有可行性；技术参数是否符合图纸和规范的要求。
2	机组及附件接收	AR	1 加强对机组的材料、零部件的入库检验、保管，对检查出机组部件有质量问题的，及时向有关部门反映，确保用于工程的材料质量符合设计及规范要求；2、对质量证明书、合格证及复证记录确认。
3	基础交接、复查	BR	复测基础的外形尺寸、预留洞、预埋螺栓是否符合图纸要求，允许偏差是否符合规范和技术文件的要求。
4	电动机轴承箱、压缩机机身煤油试漏	B	检查轴承箱、压缩机缸体是否有裂纹、漏油现象。
5	压缩机机身就位初找正	C	机身水平度、中体水平度、中心线。
6	地脚螺栓灌浆前检查（隐蔽工程）（锚板结构的螺栓可省略）	AR	检查机组安装标高、中心线、水平度、地脚螺栓垂直度、垫铁层数、厚度等符合要求。
7	压缩机主机安装	AR	检查机组各部分的装配质量，各部装配间隙应符合图纸和规范要求。
8	电动机安装	AR	电动机定子与转子的空气间隙、滑动轴承的间隙检查。
9	联轴节对中	AR	检查压缩机主机和电动机转子的同心度。
10	二次灌浆前检查	AR	机组安装完整性确认。
11	附属设备、附件和管道安装	BR	1、检查管道安装质量，焊接质量； 2、与机组管口无应力连接检查。
12	油系统冲洗	AR	检查循环油的清洁度符合要求。
13	油系统整定	B	检查油系统整定值符合技术文件要求，连锁正常，各供油点的油流量的分配满足要求。
14	冷却系统	C	检查冷却水的温度、压力、流量符合要求。
15	控制和保护系统	B	检查控制保护系统动作正常。
16	盘车装置检查	C	检查盘车装置的连锁正常。
17	空负荷试运转	AR	检查机组的运转声音、振动，轴承温度、油温、油压、冷却水温度、压力。
18	系统吹扫	AR	检查机组段间管道、辅助设备的清洁度符合要求。
19	负荷试运转	AR	机组带负荷后的运转声音、振动，轴承温度、油温、油压、冷却水温度、压力，连锁正常。

注：A（R）业主单位 / 监理单位 / 总包单位（如有）参加检查项目；B（R）监理单位 / 总包单位（如有）参加检查项目；C（R）施工单位自检；其中带有 R 的需附书面检查记录。

3. 磨煤机质量控制点

表 26-26 质量控制点。

序号	质量控制点	控制等级 (A、B、C)	控制措施
01	设计交底、图纸会审	AR	建设单位组织，监理、施工单位参加，设计交底
02	施工方案	AR	专业公司编制项目部批准，监理、建设单位会审
03	施工技术交底、下达自检记录	CR	专业公司技术人员交底、下达自检记录，检查员检查
04	设备材料交接、检查、保管	AR	建设单位组织，监理、施工单位参加
05	设备基础复查、验收	AR	建设单位组织，监理、施工单位参加

序号	质量控制点	控制等级 (A、B、C)	控制措施
06	主轴承底座安装	C	目测, 自检合格, 作好交接记录
07	主轴承一次灌浆	BR	目测, 自检合格, 作好专业间交接, 填写隐蔽工程记录
08	筒体安装就位	A	量测法, 严控工序质量, 认真办理工序交接手续, 上道工序未经检验合格, 不得转入下道工序。作好机器安装检验记录
09	主轴承二次灌浆	AR	目测法, 自检合格, 作好专业间交接, 填写隐蔽工程记录
10	大小齿轮啮合	AR	量测法, 现场重点控制, 设置关键工序, 组织监理业主三方共检, 作好齿轮组装记录
11	齿轮箱与离合器对中	AR	量测法, 对中前作好技术交底, 使用钢丝绳找设备中心, 减小偶然误差, 作好机组轴对中记录
12	离合器与慢速驱动对中	AR	量测法, 找正前作好自检, 填写机组轴对中记录
13	附属设备、附件和管道安装	BR	检查管道安装质量, 焊接质量;
14	油系统冲洗	AR	检查循环油的清洁度符合要求。
15	油系统整定	B	检查油系统整定值符合技术文件要求, 连锁正常, 各供油点的油流量的分配满足要求。
16	冷却系统	C	检查冷却水的温度、压力、流量符合要求。
17	控制和保护系统	B	检查控制保护系统动作正常。
18	空负荷试运转	AR	检查机组的运转声音、振动, 轴承温度、油温、油压、冷却水温度、压力。
19	负荷试运转	AR	机组带负荷后的运转声音、振动, 轴承温度、油温、油压、冷却水温度、压力, 连锁正常。

(三) 质量检验标准和方法:

1. 离心式压缩机组质量检验标准和方法

表 26-27 离心式压缩机组质量检验标准及方法

序号	检验项目	检验方法	检验标准
一	保证项目		
1	设备安装前各种技术资料及随机资料齐全	检查技术文件和资料	《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538、《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
2	设备基础经中间交接并复验合格	检查中间交接记录及复验记录	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
3	必须有图纸会审、技术交底记录及经批准的施工方案	检查记录及安装方案	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
4	轴承箱就位前, 必须经煤油渗漏合格	检查煤油试漏记录	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
5	具有完整的施工记录	检查施工记录	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
二	基本项目		
6	设备底座垫铁配置和地脚螺栓安装质量检查	观察检查, 用小锤敲击, 塞尺测量、扳手拧试及检测隐蔽工程记录	《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538 《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
7	地脚螺栓孔及底座二次灌浆质量检查	观察检查	《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538 《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
8	滑动键和膨胀螺栓安装质量检查	塞尺测量, 滑动面涂色检查	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539



序号	检验项目	检验方法	检验标准
9	附属设备、附件和管道安装质量	观察检查	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
三	允许偏差项目		
10	中心线位置	钢尺检查	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
11	水平度	用水平仪检查	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
12	联轴器对中允许偏差	用千分尺、激光找正仪	《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
12	轴承间隙的允许偏差	用塞尺、压铅法或千分表抬轴法检查	设备的技术文件规定、《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539
13	各部位密封间隙	用塞尺、压铅法检查	设备的技术文件规定、《石油化工离心式压缩机组施工及验收规范》SH/T3539

2. 往复式压缩机质量检验标准和方法

表 26-28 往复式压缩机质量检验标准及方法

序号	检验项目	检验方法	检验标准
一	保证项目		
1	设备安装前必须经有关各方开箱检验合格，并具有产品合格证明书、重要零部件质量检验证书、平面布置图、总装配图、零部件图、安装使用说明书及机器试运转记录等技术资料；系统所属设备、附件及管材出厂合格证书及技术检验证明书齐全。	检查技术文件和资料	《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538、《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
2	设备基础经中间交接并复验合格	检查中间交接及复验记录	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
3	必须有图纸会审、技术交底记录及经批准的施工方案	检查记录及安装方案	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
4	机身就位前经煤油试漏合格，气缸和气缸夹套必须经水压试验合格	检查记录	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
5	电动机必须具有出厂合格证明书，重要零部件质量检验证书及试运转记录等技术资料	检查全部技术文件和资料	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
6	电动机轴承箱经煤油试漏合格，冷却器强度试验合格	检查煤油试漏及强度试验记录	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
7	电动机电气部分安装必须按电气专业有关规范检查合格	检查安装记录	《电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范》GB50170
8	机组完整性检查，对机组的机械传动部分、润滑系统、冷却系统、工艺系统、电气系统、自动控制系统等施工的完整性检查	对照图纸检查，并检查施工记录	《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538、《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
二	基本项目		
1	机器底座垫铁配置和地脚螺栓安装质量检验	观察检查及用小锤敲击、塞尺测量，扳手拧试及检查隐蔽工程记录	《石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范》SH/T3538、《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
2	地脚螺栓孔及底座二次灌浆质量检验	观察检查	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
3	附属设备、附件和管道安装质量检验	观察检查及检查试压记录	《工业金属管道工程施工质量验收规范》GB50184、《石油化工静设备安装工程施工技术规程》SH/T3542
4	润滑油密封油系统清洗质量检验	观察检查	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544

序号	检验项目	检验方法	检验标准
5	定子、转子、轴颈、电刷、滑环等外观质量检验	观察检查	《电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范》GB50170
6	电动机的安装质量检验	观察检查	《电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范》GB50170、《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
7	电动机试运转质量检验	观察及测量检查	《电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范》GB50170、《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
三	允许偏差项目		
1	压缩机机组基础的坐标、标高、几何尺寸、水平度、垂直度和螺栓孔位置	经纬仪、水准仪、拉线和尺量等	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
2	主机安装：机身水平度，主轴、气缸中心线与基础中心线位置，轴瓦与轴颈间隙，气缸余隙	水平仪、直尺、塞尺、压铅法等	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544、产品技术文件规定
3	气缸与滑道对中（同轴度）	施工过程中用激光准直仪或钢丝拉线法检查，最终检验时检查记录	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544
4	附属设备安装：标高、中心线、水平度、垂直度	水准仪、经纬仪、钢板尺等	《石油化工静设备安装工程施工技术规程》SH/T3542
5	电动机安装：水平度、轴颈与轴瓦间隙、电动机轴颈径向跳动	水平仪、塞尺、压铅法、百分表	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544、产品技术文件规定
6	电动机与压缩机、增速机、励磁机联轴器的对中偏差及端面间隙	塞尺和百分表	产品技术文件规定
7	定子与转子的空气间隙	塞尺	《石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范》SH/T3544、产品技术文件规定

3. 磨煤机质量检验标准和方法

表 26-29 磨煤机质量检验标准及方法

序号	检验项目	检验方法	质量标准
一	主控项目		
1	筒体安装质量	用水准仪、钢尺检查	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
2	空心轴检验	用水准仪、钢尺检查	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
3	主轴承检验	内径千分尺、钢尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
4	大齿轮检验	内径千分尺、钢尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
5	料斗检验	用水准仪、钢尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
二	一般项目		
6	基础标高	用水准仪、钢直尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
7	基础中心线	用水准仪、钢直尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
8	基础垂直度	用水准仪、钢直尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231

序号	检验项目	检验方法	质量标准
9	基础平面外形尺寸	用水准仪、钢直尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
10	基础凸台上平面外形尺寸	用水准仪、钢卷尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
11	基础凹穴尺寸	用水准仪、钢卷尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
12	预留螺栓孔中心位置	用水准仪、钢直尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
13	预留螺栓孔深度	用直尺、钢卷尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
14	预留螺栓孔孔壁铅垂直度每米	用直尺、钢卷尺检查	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231
15	轴承箱找正检查	条式水平检查	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
16	筒体端盖及大齿轮密封面清理	观察或用放大镜检查	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
17	中空轴与筒体组对检查	百分表检查	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
18	大小齿轮啮合检查	着色观察，塞尺检查	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
19	基础灌浆强度达标检查	试块送检	《球磨机和棒磨机》GB/T25708
20	试车时筒体衬板螺栓漏浆检查	观察	《球磨机和棒磨机》GB/T25708

(四) 各工序质量控制要点:

1. 施工前检查满足机组安装质量的保证条件。

1.1 对操作人员的能力的考核。考核的人员及内容见表 25-30

表 26-30 主要作业人员

序号	工种	持证上岗要求	备注
1	钳工		要有高级工
2	起重工	特殊工种资格证	要有高级工
3	机械工	机械操作证	要有中级工
4	电工	特殊工种资格证	要有中级工
5	仪表工	持证上岗	要有中级工
6	管工		要有高级工
7	焊工	焊工合格证	要有中级工
8	测量工	特殊工种资格证	要有中级工

1.2 对测量、计量器具的数量、种类及有效性进行检查。

计量和检测器具精度应满足施工要求，并经校验合格，在有效期内。

包含但不限于：条式水平仪、框式水平仪、合像水平仪、激光找正仪、外径千分尺、内径千分尺、水准仪、百分表、游标卡尺、塞尺、钢卷尺、钢板尺、压力表、温度计、激光准直仪、经纬仪、水准仪、测速仪、测温仪、测振仪、力矩扳手等。

2. 设备的开箱验收、保管质量控制要点

2.1 开箱时，对主机、附属设备及零、部件进行外观检查。核实零、部件的品种、规格、材质、数量，还应核实随机配件的品种、规格、材质、数量。

2.2 按照机器图样，实测实量主机各部位的结构几何尺寸、管接口的距离、法兰尺寸、地脚螺

栓孔的距离、加工精度及标识等，应符合随机图样和技术文件的要求；

2.3 机组外露部分各加工面应无锈蚀；转子的叶轮和轴颈、齿轮的齿面和齿轮轴的轴颈等主要零件、部件应无碰伤和明显的变形。

2.4 开箱后暂不安装的机器或零、部件，应采取适当的防护措施，妥善保管，严防变形、损坏、锈蚀、老化、错乱或丢失。

3. 基础质量验收要点：

3.1 机组的基础位置，几何尺寸和质量要求，应符合现行国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》的规定，并应有验收资料或记录。机器安装前应按表 26-31 规定的允许偏差对设备基础位置和几何尺寸进行复检。

表 26-31 设备基础尺寸和位置的允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)
坐标位置（纵、横轴线）		± 20
不同平面的标高		- 20
平面外形尺寸		± 20
凸台上平面外形尺寸		- 20
凹穴尺寸		+ 20
平面的水平度（包括地平上需安装设备的部分）	每米	5
	全长	10
垂直度	每米	5
	全长	10
预埋地脚螺栓	标高（顶端）	+ 20
	中心距（在根部和顶部测量）	± 2
预埋地脚螺栓	中心位置	± 10
	深度	+ 20
	孔壁铅垂度每米	10
预埋活动地脚螺栓锚板	标高	+ 20
	中心位置	± 5
	水平度（带槽的锚板）每米	5
	水平度（带螺孔的锚板）每米	2

3.2 设备基础表面和地脚螺栓孔中的油污、碎石、泥土积水等均应清理干净；预埋地脚螺栓的螺母应保护完好；放置垫铁部位的表面应凿平。

3.3 机组安装前，基础混凝土强度应达到设计要求的 75% 以上。

4. 机组安装用垫铁的加工、安装质量控制要点：

4.1 垫铁常用规格和材料见下表 26-32，形状见图 4.1。

表 26-32 常用垫铁规格（mm）

斜 垫 铁						平 垫 铁				垫铁面积 /mm ²
代号	L	b	c	a	材料	代号	L	b	材料	A
斜 1	100	50	≥ 5	4	普通碳钢	平 1	100	50	普通碳钢 或铸铁	5000

斜 垫 铁					平 垫 铁				垫铁面积 /mm ²
斜 2	120	60	≥ 5	6	平 2	120	60		7200
斜 3	140	70	≥ 5	8	平 3	140	70		9800
斜 4	160	80	≥ 5	10	平 4	160	80		12800
斜 5	200	100	≥ 5	10	平 5	200	100		20000

注：(1) 平垫铁用铸铁材料时，其厚度应大于 20mm，且上下两面应刨光，粗糙度 R_a 为 $12.5\mu\text{m}$ 。(2) 为了防止垫铁调整敲击时出现卷边，应将端面的棱角进行倒角。

(3) 垫铁厚度 h 可根据实际情况决定。

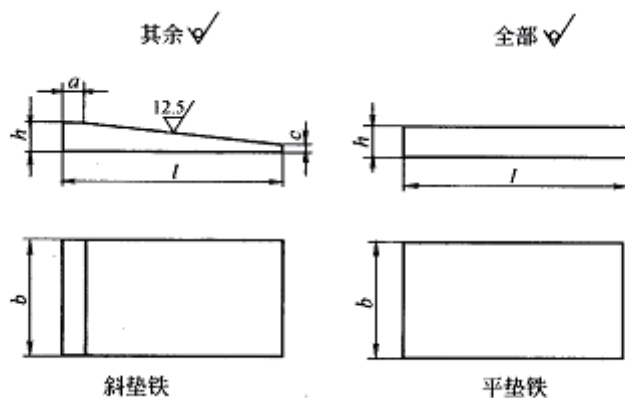


图 4.1 垫铁简图

4.2 垫铁非加工的表面应平整、无氧化物、飞边、毛刺等；斜垫铁的斜面粗糙度 R_a 为 $12.5\mu\text{m}$ ，斜度一般为 $1/20 \sim 1/10$ ；对于重心较高或振动较大的机器采用 $1/20$ 的斜度为宜。

4.3 使用斜垫铁和平垫铁找平机组时，应符合下列技术要求：

4.3.1 斜垫铁应配对使用，与平垫铁组成垫铁组时，一般不超过四层（配对斜垫铁为一层），薄垫铁应放在斜垫铁与厚平垫铁之间。垫铁组的高度一般为 $30 \sim 70\text{mm}$ ；

4.3.2 各垫铁组顶面的标高应与机器底面实际安装标高相符；

4.3.3 采用压浆法垫铁放置方法是：在基础混凝土达到设计强度的 75% 以上时，用几组临时垫铁先支承机器并经找平、找正合格后，在对地脚螺栓预留孔两侧进行用压浆法放置垫铁，放置方法：

4.3.3.1 在放置正式垫铁组位置的基础表面铲出麻点用水冲洗，并清除积水；

4.3.3.2 根据需要，在此位置堆积一定量的水泥砂浆（其强度要高于设备基础强度的一个等级以上）。按要求先在砂浆上放置一块平垫铁，用铁水平调整其水平度 $< 2\text{mm/m}$ ，并要求平垫铁四周挤出砂浆，且抹成 45° 的光坡后进行养护；

4.3.3.3 待压浆的水泥砂浆达到一定的强度，把搭配好的垫铁组放置平垫铁上面；

4.3.3.4 当压浆的水泥砂浆达到设计强度的 75% 以上时，拆出临时垫铁，用正式垫铁来调整、复查机器的安装精度，同时打紧垫铁，拧紧地脚螺栓。

4.3.4 另一种方法是：

4.3.4.1 机器就位之前，在放置正式垫铁组位置的基础表面铲出麻点用水冲洗，并清除积水；

4.3.4.2 根据需要在此位置堆积一定量的水泥砂浆（其强度要高于设备基础强度的一个等级以上）。然后放上一块厚度为 10—20mm 的平垫铁。

4.3.4.3 将垫铁四周的砂浆抹成 45° 光坡后进行养护；

4.3.4.4 当压浆的水泥砂浆达到设计强度的 75% 以上时，再放上垫铁组，并使顶标高略低于机器底标高，然后将机器就位，并用垫铁组调平。

表 26-33 压浆法放置垫铁 250 号水泥砂浆配比表

水	水泥 (425) 号	砂子	备注
0.4	1	2 (粒度 0.4 ~ 0.50 毫米)	应在压浆后及时浇水养护时间要求见注

注：养护时间：普通硅酸盐水泥及硅酸盐水泥不少于 7 昼夜，矾土水泥不少于 3 昼夜。

4.3.5 机器找平后，垫铁组应露出底座 10 ~ 30mm。地脚螺栓两侧的垫铁组，每块垫铁伸入机器底面的长度，均应超过地脚螺栓直径的 30 ~ 50mm 以上，且应保证机器的底座受力均衡。若机器底座的底面与垫铁接触不够时，垫铁组放置的位置应保证底座坐落在垫铁组承压面的中部；

4.3.6 对斜垫铁的搭接长度应不小于全长的 3/4，其相互间的偏斜角应不大于 3°（见图 4.3.6 斜垫铁放置示意图）；



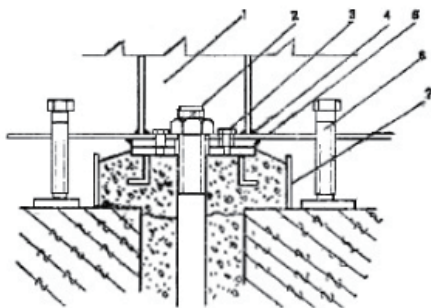
安放时偏斜角不能大于 3°

图 4.3.6 斜垫铁放置示意图

4.3.7 机器用垫铁找平找正后，用 0.25 或 0.5kg 重的锤敲击检查垫铁组的松紧程度，应无松动现象。用 0.05 毫米的塞尺检查，垫铁之间及垫铁与底座底面之间的间隙，在垫铁同一断面处从两侧塞入的长度总合，不得超过垫铁长（宽）度的 1/3。检查合格后应随即用电焊在垫铁组的两侧进行层间点焊固定，垫铁与机器底座之间不得焊接。

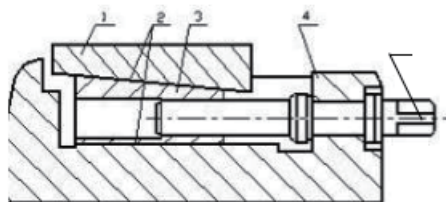
4.4 悬挂式垫铁的安装：

4.4.1 悬挂式垫铁是随机组带的，上面板应焊于机组底座下面，下面板用螺栓固定。安装时，悬挂式垫铁接触面应涂防锈油脂（见图 4.4.4）。



1. 机座；2. 地脚螺栓；3. 悬挂螺钉；4. 机器底板；5. 悬挂垫铁；6. 调整顶丝；7. 灌浆用木模

图 4.4.1 悬挂式垫铁的安装及灌浆示意图



1. 升降块；2. 调整块滑动面；3. 调整块；4. 垫座；5. 调整螺栓

图 4.5 机械式垫铁示意图



4.4.2 安装方法：

- 1) 先用顶丝将机组调整完毕。
- 2) 支上木模进行一次灌浆。
- 3) 松开悬置螺栓并拆去木模进行全底座的二次灌浆。

4.5 机械式垫铁的安装（见图 4.5），找平、找正符合下列技术要求。

4.5.1 调整螺栓的螺纹部分和调整块滑动面上涂以耐水性较好的润滑油脂。

4.5.2 调平应采用升高升降块的方法，当需要降低升降块时，应在降低后，重新再作升高调整；调平后，调整块应留有调整余量。

4.5.3 机械式垫铁座应用混凝土灌牢，但不得灌入活动部分。

4.6 无垫铁安装法

4.6.1 无垫铁安装法是机器的重量和地脚螺栓拧紧力等荷载均由二次灌浆层及基础承载的安装方法，称为无垫铁安装法。

4.6.2 无垫铁安装法是采用自制的小型螺丝千斤顶见图 3.2.3.2 (1)，或利用机器底板上已有的安装用的顶丝见图 3.2.3.2 (2)，或临时垫铁组进行找平机组。

4.6.3 采用自制的小型螺丝千斤顶、临时垫铁组进行机组的找平，均应在其下面的基础上铲出一个“垫铁窝”。

4.6.4 机器底板上带有调整顶丝的，在安装时，只需要在调整顶丝对应的基础表面上设置一块 100 ~ 150mm 方形钢板，厚度为 10 ~ 20mm，在方形钢板居中位置应钻个半球型顶丝孔，用高强度混凝土使其与基础相结合。

4.6.5 机组找平、找正合格后，用微膨胀混凝土（或无收缩混凝土）灌浆并捣实二次灌浆层。待二次灌浆层达到设计强度 75% 以上时，取出小型螺丝千斤顶或临时垫铁，并填实空洞；或机器底板上安装用的顶丝松掉后，一边对称均匀拧紧机组所有地脚螺栓，一边复测机组的水平度。

4.6.6 无垫铁安装法，适用于底座下面较平整的大型机器。对于高转速负荷较大的机器，二次灌浆层部分宜采用捣浆法或“自流平”进行灌浆。

4.7 机组垫铁组布放的位置和数量以及是否采用无垫铁安装法，应符合机组出厂技术文件的要求。

5 机组吊装就位及初找平找正质量控制要点

5.1 机组吊装就位前，要明确机器安装方位、标高及技术要求、质量标准。

5.2 机器底座与二次灌浆层接触的部位，必须清除油污垢、油漆、铸砂、铁锈等。并在机器底座上分出纵、横中心线，打上“样冲眼”，以便机器就位时对准基础上的纵、横中心线

5.3 与机器连接的法兰口应加设盲板，以免脏物掉入。

5.4 机器吊装时，吊钩、索具、钢丝绳等应拴挂在底座或泵体的吊环上；不允许拴挂在设备的进出口法兰或电机的轴、轴承座等易损部位上。

5.5 机器吊装就位基础上，装上地脚螺栓，用垫铁组进行初步找正找平，并拧上地脚螺栓的

螺母和垫片。

6、螺栓孔灌浆质量控制要点

6.1 机器地脚螺栓的灌浆，应符合现行国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》的规定。

6.2 灌浆前，灌浆处应清洗洁净；灌浆宜采用细碎石混凝土，其强度应比基础的混凝土强度高一级；灌浆时应捣实，并不应使地脚螺栓倾斜和影响设备的安装精度。

6.3 灌浆前应敷设外模板。外模板至设备底座面外缘的距离（图 6.3）不宜小于 60mm。模板拆除后，表面应进行抹面处理。

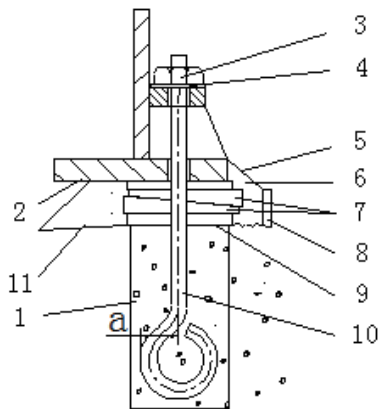


图 6.3 地脚螺栓灌浆示意图

1—基础；2—塔底座环；3—螺母；4—垫圈；5—灌浆层斜面；6—灌浆层；7—成对斜垫铁；8—外模板；9—平垫铁；
10—地脚螺栓；11—麻面

6.4 放置在基础预留孔中的地脚螺栓。符合下列要求：

6.4.1 地脚螺栓在预留孔中应垂直，无倾斜。

6.4.2 地脚螺栓任一部分离孔壁的距离 a 应大于 15mm（图 3.5.3），地脚螺栓底端不应碰孔底。

6.4.3 地脚螺栓上的油污及氧化皮等应清除干净，螺纹部分应涂少量油脂。

6.4.4 螺母与垫圈、垫圈与设备底座间的接触均应紧密。

6.4.5 拧紧螺母后，螺栓应露出螺母，其露出的长度宜为螺栓直径的 $1/3 \sim 2/3$ 。

6.4.6 应在灌浆混凝土达到设计强度 75% 以上时拧紧地脚螺栓，各螺栓的拧紧力应均匀。

6.5 放置带锚板的地脚螺栓，应符合下列要求：

6.5.1 清除锚板和地脚螺栓光杆上的油污、铁锈等，再对锚板、螺栓光杆部分进行防腐，如说明书无规定，则对锚板、螺栓光杆部分涂防锈漆两遍，外露螺纹部分涂上少量的油脂（钙基油脂）。

6.5.2 锚板与基础表面应接触均应，接触面积不得小于 50%。

6.5.3 用螺母托着的钢制锚板，锚板与螺母之间应定位焊固定或采取其他防松措施。

6.5.4 若锚板直接焊在地脚螺栓上时，其角焊缝高度应不小于螺栓直径的 $1/2$ 。

7. 机组本体安装质量控制要点

7.1 离心式压缩机本体安装质量控制要点

7.1.1 底座安装质量控制要点

7.1.1.1 施工程序

基础垫铁（顶丝）布置及找平→定位键安装→机组底座安装→底座找平

7.1.1.2 质量控制措施：

- (1) 定位键的中心线对准基础的定位线，并用螺栓千斤顶或顶丝调整定位键座的水平度。
- (2) 吊带或吊索挂在吊耳处，将底座起吊一定的高度后，在底座与垫板接触面涂以 MOS2 润滑脂，底座的调整螺钉的螺纹处涂以 MOS2 润滑脂。
- (3) 缓慢放下底座，采用拉线法使底座中心线与基础中心线对正，并传入地脚螺栓。
- (4) 底座找平采用基础上的螺栓千斤顶或顶丝，采用钳工水平仪测量，底座与底座之间的高差采用水准仪测量。
- (5) 底座找平后，使全面螺栓千斤顶或顶丝均匀受力，稍微拧紧地脚螺栓，检查底座水平度，如有偏差同样方法调整。

7.1.1.3 质量控制标准：

- (1) 底座中心线与基础中心允许偏差 $\pm 5\text{mm}$ ，机器标高允许偏差 $\pm 3\text{mm}$ （或参考厂家标准）。
- (2) 底座水平度允许偏差 $\pm 1\text{mm/m}$ （或参考厂家标准）。

7.1.2 初找正找平质量控制要点。

7.1.2.1 调整机组壳体的纵、横水平度（见图 7.1.2.1 (1)、图 7.1.2.1 (2)）。

7.1.2.2 采用激光找正仪，根据技术文件的规定（在静态工况下）数据，将机组壳体中心进行对中（见图 7.1.2.1 (2)）。

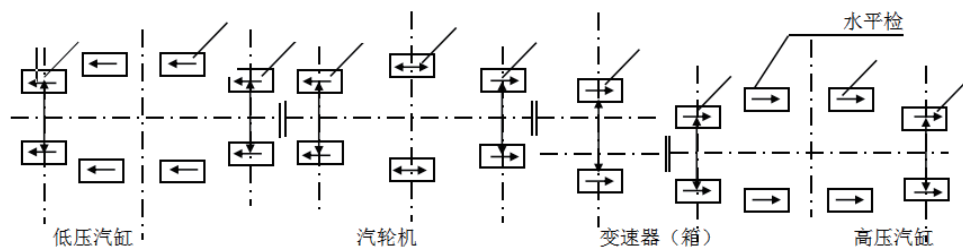


图 7.1.2.1 (1) 压缩机水平度检测位置示意图

1. 轴承箱中分面；2. 汽（气）缸支腿支撑面或中分面；3. 变速器（箱）中分；“→”纵向水平度检测趋势；“↕”横向水平度检测趋势

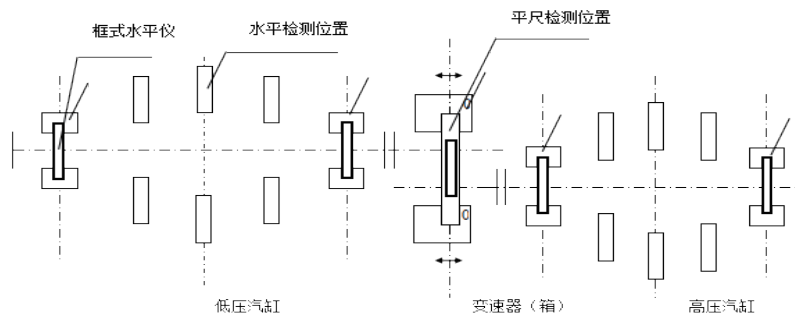


图 7.1.2.1 (2) 压缩机横向水平度检测位置示意图

1. 轴承箱中分面 2. 轴承箱中分面

7.1.3 压缩机组的机壳与隔板清洗、检查组装和各部分间隙的测量、调整质量控制要点

7.1.3.1 机壳（缸体）检查与安装

（1）检查机壳的外观，不得有裂纹、夹渣、气孔、铸砂和损伤等缺陷。

（2）壳体的水平或垂直剖分面应完好无损，接合面自由结合时，间隙不应大于 0.08mm，或每隔一个螺栓拧紧后，间隙不应大于 0.03mm。

（3）轴承箱内的铸砂、杂物等应清理干净。

7.1.3.2 机壳安装在底座支撑面上后，应检查以下内容：

（1）底座支撑面和机壳支座底面应紧密结合，自由状态下，宜用 0.03mm 的塞尺检查，不得塞入为合格。

（2）底座支撑面与轴承座地面应严密接触，应用 0.05mm 的塞尺检查，不得塞入为合格。

（3）支撑滑销系统的联系螺栓、滑动键的间隙及膨胀方向检查与调整，应符合技术文件规定。

7.1.3.3 隔板的检查与安装应符合下列要求：

（1）隔板外观检查，铸件不得有裂纹、气孔、未浇满和夹层等缺陷，扩压器和回流器的导流叶片应完整无损。

（2）隔板装进机壳时，应自由地落入槽中，无卡涩现象；隔板装配后，隔板与隔板及隔板与机壳中心的偏差应小于 0.05mm。

（3）两半隔板结合面应接触良好，结合面的局部间隙应小于 0.08mm。

（4）固定上下隔板的销子、定位键和对应孔槽的配合应符合技术文件的规定。

（5）隔板最终装配时，应在各结合面处涂干石墨粉或其它防咬合剂。

（6）隔板的吊装应使用专用工具。

7.1.4 密封装置的安装

7.1.4.1 迷宫密封的检查与安装应符合随机技术文件的规定，无规定时按下列要求：

（1）各密封片应无裂纹、卷曲等缺陷，镶装牢固，安装方向正确。

（2）以转子为准检查各部迷宫密封间隙，应符合随机技术文件的规定。

（3）迷宫式软密封的装配间隙，应符合技术文件的规定。

7.1.4.2 浮环油膜密封的检查与安装：

（1）内外浮环的合金表面不应有气孔、夹渣、重皮、裂纹等缺陷。

（2）测量内外浮环的直径及各部位尺寸并记录。

（3）浮环与密封体的接触应光滑、无碰伤、滑痕等缺陷，且接触应良好。

（4）浮环密封的“O”形环应完好无损。

（5）浮环密封组的装配间隙，应符合技术文件规定。

（6）浮环密封组装后，应活动自如，不得有卡涩现象。

7.1.4.3 机械密封的检查与安装，应符合下列要求：

（1）机械密封各零件不应有损伤、变形，密封面不应有裂纹、擦痕等缺陷。



(2) 检查密封环的平行度, 其偏差不应大于 0.01mm 端面垂直度偏差不应大于 0.05mm。

(3) 装配过程中, 零件必须保持清洁, 动环及静环的密封面应无灰尘和异物。

(4) 静环安装后应能沿轴向灵活移动。

(5) 安装后盘动转子应转动灵活。

(6) 机械密封的冲洗系统及密封系统必须保证清洁无异物。

7.1.5 径向轴承安装质量控制要点

7.1.5.1 质量控制措施

(1) 涂色法检查瓦背与轴承座孔贴合情况。

(2) 压铅法检查轴瓦、轴承座和轴承盖之间的过盈量。

(3) 用塞尺或千分表抬轴法测量径向轴承间隙, 如间隙不符合要求, 可调整瓦块下面的垫片的厚薄来调整间隙。

(4) 转子轴颈两端有凸缘时, 凸缘与轴瓦断面保持足够的轴向间隙, 按技术文件要求以保证运行时转子能顺利膨胀。

7.1.5.2 质量控制标准:

(1) 色法和目测检查瓦背与轴承接触面大于 75%, 轴颈与轴瓦大于 80%,

(2) 压铅和外径千分尺测量过盈量满足设备说明书或规范要求。

7.1.6 轴向轴承安装质量控制要点

7.1.6.1 质量控制措施:

(1) 推力瓦块应逐个编号, 测量其厚度差不大于 0.02mm, 超过此数时, 不宜立即修刮, 应做好记录并提供给制造商解决。

(2) 推力轴承端部支持弹簧的调整应适当、无卡涩, 并在转子放进后用铜棒敲打轴瓦使其水平结合面仍保持原来的纵向水平扬度不变。

(3) 推力轴承瓦块间的相互位置, 在拆装时应做好对位标识, 不能调换位置。

(4) 埋入推力瓦的温度测点位置应按图纸要求正确无误, 接线牢固。

(5) 推力轴承定位的承力面应光滑, 沿其周长各处厚度应不大于 0.02mm, 厚度值应记入安装记录。

7.1.6.2 质量控制标准:

涂色法和目测检查瓦块表面粗糙 Ra 不大于 $0.4\mu m$, 外径千分尺测量瓦块、垫片厚度差不大于 $0.4\mu m$ 。

7.1.7 转子安装质量控制要点

7.1.7.1 施工程序:

转子的清洗检查→转子吊装→转子的轴窜量测点与调整→转子跳动度测量

7.1.7.2 质量控制措施:

(1) 清洗转子, 目测或表面无损检测, 检查转子锈蚀、损伤、变形、裂纹等缺陷。

- (2) 转子吊装使用厂家提供的专业工具。
- (3) 百分表测量转子主轴颈及浮环密封配合处轴径的圆度、圆柱度。
- (4) 检查主轴颈及、浮环密封或进行密封配合处及径向探头监测区轴的表面粗糙度
- (5) 百分表测量转子与轴承之间的同轴度，水平仪测量轴水平度。
- (6) 百分表测量转子就位后各部位的径向跳动，断面跳动值。

7.1.7.3 质量控制标准：

- (1) 主轴颈及、浮环密封或进行密封配合处及径向探头监测区轴的表面粗糙度 R_a 不应大于 $0.4\sim 0.8\mu m$ ，推力盘表面粗糙度 R_a 不应大于 $0.4\mu m$ 。
- (2) 其他参数依据设备质量说明书要求。

7.1.8 封大盖质量控制要点：

7.1.8.1 施工程序

机壳内部清洁度检查→导向杆安装→中分面均匀涂抹密封、加 O 型密封圈→上机壳吊装找平→机壳封闭→盘转子检查→螺栓紧固。

7.1.8.2 质量控制措施：

- (1) 检查机壳内部清洁度，机壳内的紧固或定位螺栓拧紧、锁牢。
- (2) 机壳分面上均匀涂抹密封胶，密封胶应符合技术文件要求。
- (3) 装上导向杆，上气缸吊装应使用专用工具，保持上半部气缸中分面呈水平状态，必须沿导向杆平稳缓慢降落；在即将闭合时应将机壳的顶丝拧出剖分面 $3\sim 5mm$ ，装入定位销，检查轴封部位不得有错口现象，继续降落使周圈螺钉均匀接触下剖分面，然后对称均匀拧松顶丝使上下剖分面贴合。
- (4) 气缸闭合后盘动转子，内部无异常声音摩擦卡涩现象，转动灵活；及时封闭各连接管口。
- (5) 按规定顺序和紧固力矩拧紧机壳分面的连接螺栓。

7.1.8.3 质量控制标准：

- (1) 用 $0.05mm$ 塞尺测量中分面间隙，塞入深度不得超过气缸结合面宽度的 $1/3$ 。
- (2) 螺栓紧固力矩符合技术文件规定。

7.1.9 汽轮机的安装质量控制要点

汽轮机本体安装的质量控制部分参考离心压缩的本体安装相同部件的质量控制措施和标准，涉及到轴承安装、密封安装、转子就位、封大盖等。

针对汽轮机的工作特点和原理，还应进行以下的质量控制：

7.1.9.1 各处膨胀间隙、滑销间隙测量及定位销的定位要求

(1) 各固定支架处膨胀间隙的测定及调整：各处的膨胀间隙可用塞尺进行检查，当间隙不符合要求时可调换垫圈。但有时由于支座上的螺孔位置不正出现几个方向间隙不均匀的现象，此时可将联系螺栓进行局部锉削来满足要求。

(2) 各处滑销间隙测量及定位销的定位：滑销系统是为了起定位及导向作用，因此滑销与滑销

槽的配合间隙应符合随机技术文件的要求。滑销系统的间隙值一般是在汽轮机最终找正之后进行,间隙值不符合规定的应该进行修整。

(3) 滑销系统间隙检查完毕并符合要求后即可将各部位定位销定位,原位置有变化的应重新铰定位孔。

(4) 汽轮机滑销系统位置及间隙的检查与调整应符合随机技术文件的要求。

7.1.9.2 调速系统的安装及调试

(1) 调速系统的安装是随汽轮机已安装并作初步调试,且试车前应由制造厂商到施工现场再作调速系统与控制系统连接进行综合最终调试和模拟试验。

(2) 综合最终调试和模拟试验合格后,经建设单位、监理单位和施工单位进行联合检查,并填写最终调试记录,签字确认。

7.1.9.3 危急保安器的安装及调试

危急保安器的总成由制造厂商组装、调试合格,施工现场一般不须要调试。

7.1.9.4 控制系统的安装及调试

(1) 控制系统的安装及调试应由自动化仪表专业进行施工,机械专业应给予工作的配合。

(2) 控制系统在机组单体试车前,应与机器部分连接作联合模拟试验(假动作),各项参数应符合技术文件的规定,并作试验记录,经相关人员签字确认。

7.2 往复式压缩机本体安装质量控制要点

7.2.1 机身中体安装质量控制要点

7.2.1.1 电动机轴承箱、压缩机机身煤油试漏。机身外侧和底部涂白垩粉待其干燥后,机身内加注煤油至油池视镜上液位,静止4小时后检查轴承箱、压缩机缸体是否有裂纹、漏油现象。

7.2.1.2 压缩机机身、中体就位前应进行清洗除油污、锈蚀,机体中心线与基础偏差大于5mm,标高偏差不大于5mm。初找正,检查机身水平度、中体水平度、中心线。

7.2.1.3 地脚螺栓灌浆前检查,机组安装标高、中心线、水平度、地脚螺栓垂直度、垫铁层数、厚度等符合图纸和规范要求。

7.2.2 曲轴安装质量控制要点

7.2.2.1 施工程序:

曲轴、轴瓦清洗脱脂检查→瓦背与轴承座接触面检查→主轴承与轴颈配合间隙检查→曲轴安装→曲拐间距、开度值差及定位轴承的轴向间隙检查→主轴与滑道垂直度检查→主轴轴向窜量检查。

7.2.2.2 质量控制措施:

(1) 用煤油对曲轴进行清洗、脱脂、除锈,油孔压缩空气吹净,利用放大镜检查轴颈无裂纹、划痕等缺陷,并用外径千分尺检查其公差尺寸,测量主轴颈椭圆度。

(2) 清洗并检查轴瓦,观察表面合金层有无缺陷,轴瓦煤油浸泡30-60min擦净后沿瓦四周结合缝处涂刷白粉,30min后检查是否有煤油渗出,必要时更换轴瓦。

- (3) 下瓦与轴颈接触面不应有夹层或未接触的现象。
- (4) 主轴吊装时受力应均匀,防止吊装过程中产生变形,过程中平稳轻放,避免碰坏瓦口。
- (5) 采用着色法检查瓦背与轴承座贴合情况,主轴承为薄壁瓦时不得用刮研的方法调整精度。
- (6) 采用钢丝拉线法找正主轴与滑道垂直度。
- (7) 采用轴端打表推轴法测量定位轴承的轴向间隙。

7.2.2.3 质量控制标准

(1) 轴颈与轴瓦配合、接触情况检查合格后,装上下瓦吊入曲轴,在曲轴颈上复查轴向水平度,曲轴每转动 90° 的位置上的主轴颈上进行检测,也许偏差不大于 0.10mm/m 。

(5) 在曲柄销 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个位置测量曲轴颈水平度,检查曲柄颈对主轴颈在垂直的四个位置上的平行度且不得大于 0.15mm/m 。

7.2.3 活塞缸安装质量控制要点

7.2.3.1 施工程序

气缸及夹套水压试验→接筒、气缸安装→活塞、活塞杆、活塞环检查与安装→气缸与活塞间隙检查→活塞杆与十字头连接。

7.2.3.2 质量控制措施:

(1) 各级气缸夹套/填料函均需进行水压试压,试验压力为1.5倍工作压力,试压合格后将水排尽并检查是否有堵塞现象。

(2) 各级气缸安装前,应清洗气缸镜面、气缸体、气缸阀腔及中间连接面等部位并检查有无机械损伤,利用内径千分尺检查各气缸的圆柱度。

(3) 接筒与气缸出口进行定位,连接面上的O型密封圈全部放入沟槽中,涂上密封胶,对称均匀紧固连接螺栓确保气缸与接筒连接面无间隙,同样方法进行另端与中体的连接。

(4) 通过支承底板上的调整螺钉,保证气缸支承与缸体接触良好受力均匀。

(5) 气缸安装后,采用钢丝拉线或激光准直仪校正中体与气缸同轴度。

(6) 检查清洗十字头、连杆,十字头与滑履接触情况检查与刮研,并检查十字头与上下滑道的垂直度。

(7) 需要检查活塞、活塞环、活塞杆,不得有机械及外力损伤;在气缸前、中、后三个位置检查活塞环与镜面的严密度(漏光检查);活塞环在槽内应转动灵活,手按活塞环能全部沉入槽内,安装时相邻活塞环开口位置相互错开,并应避免气缸阀腔孔位置。

(1) 检查螺栓力矩以保证活塞杆与活塞连接牢固;活塞推入气缸前需在活塞杆尾部加装保护套,防止刮伤填料密封环。

(2) 检查活塞与气缸镜面之前的径向间隙,活塞在气缸内的内、外止点间隙,活塞在气缸前、后死点的余隙。

(3) 活塞杆与十字头必须连接牢固,并经液压紧固检查;连接后盘动十字头复测十字头滑履与滑道间隙、活塞体与气缸的径向位置;检查活塞杆水平方向和垂直方向的冷态跳动。



7.2.3.3 质量控制标准

按照设备说明书进行偏差控制

7.2.4 十字头与连杆的安装质量控制

7.2.4.1 检查清洗十字头、连杆，油路应畅通。对十字头的滑履和连杆的轴瓦的合金层质量进行检查。

7.2.4.2 十字头滑履与滑道间的间隙在行程的各位置上，应符合产品技术文件的规定。

7.2.4.3 对称平衡型压缩机的十字头组装时，应按制造厂所作的标记进行，且应保持活塞杆轴线与滑道轴线重合。十字头销的连接螺栓和锁紧装置，应拧紧和锁牢。

7.2.4.4 十字头从中体窗口装入滑道，安装时应注意保护，防止磕伤十字头滑履，正反十字头受力面位置不得调向，其中心位置应符合产品技术文件的规定。

7.2.5 吸、排气阀的检查与安装。

7.2.5.1 将吸、排气阀分别编号，用煤油清洗干净，并用白布擦净，检查阀片应有较高的光洁度，不允许有裂纹，明显划痕等缺陷，阀座与气缸的接触面应光滑，不得有径向划痕，锈蚀或砂眼等缺陷。

7.2.5.2 同一气阀的弹簧初始高度应相等，弹力应均匀；阀片和弹簧应能迅速自由升降，不得有卡涩和歪斜现象。

7.2.5.3 带有压叉的气阀，压叉应动作灵活，无卡涩现象，并能使阀片全部压下。

7.2.5.4 进行阀片与阀座结合面的严密度试验。将气阀水平位置倒放，然后灌入煤油，观察其渗漏，对于中低压气阀每分钟渗漏不得超过 20 滴，对于高压气阀每分钟渗漏不得超过 10 滴，对试验不合格者应更换阀片重新试验合格，试验合格的气阀应妥善保管好，待系统吹扫后，负荷试车前，逐级安装。

7.2.5.5 采用模拟压缩机工况进行气体泄露性检验的气阀，现场安装时不再进行严密性检查。

7.2.5.6 气阀装入气缸时应注意进、排气阀在气缸中的正确位置，不得装反。气阀连接螺栓应紧固，顶丝和锁紧装置应顶紧和锁牢。

7.2.5.7 气阀调节装置和阀片的升程应符合产品技术文件的规定。

7.2.6 电动机的安装质量控制要点

7.2.6.1 电动机的垫铁、地脚螺栓安装要求与机体相同。

7.2.6.2 在电动机底座与定子架、轴承座之间，加上厚度为 2~4mm 的调整垫片组，以便于维修调整。当电动机轴承座与定子架共用一个底座时，应在轴承座与底座之间加绝缘垫片（螺栓、定位销等也要有绝缘措施），防止感应电流通过轴承，破坏油膜。

7.2.6.3 电动机底板就位找正。用水平仪在电机底座横向进行找平，水平度偏差应小于 0.1mm/m，相对于机身的中心位置偏差应小于 0.5mm。

7.2.6.4 电动机安装应以压缩机为基准。轴向定位尺寸符合产品技术文件的规定，无规定时可按定子与转子磁极的几何中心线进行对准。

7.3 磨煤机本体安装质量控制要点

7.3.1 主轴承底座安装质量控制要点

轴承座如下图 7.3.1-1 所示,主轴承座由主轴承支座、轴瓦、主轴承底座、轴承上盖等组成,每台棒磨机由一对结构相同的主轴承支撑回转部,轴瓦固定在轴承座下半部上。棒磨机的轴瓦为球面瓦,对轴颈的包角为 120° ,球面瓦在运行时可以制动调整,适应制造和安装的误差。

(1)测量两端基础的中心线间的间距,确保两条中心线相互平行如图 7.3.1-2 所示 L 允许误差不大于 1.5mm。

(2)主轴承找正质量要求:两主轴承底板纵向中心线 CC 与 DD 应重合,同轴度允差 0.5mm,横向中心线 EE 与 FF 平行,其平行度允差 0.5mm/m。主轴承座底座单面允差 0.1mm/m,两主轴承底板的标高允差 0.5mm,且进料端高于出料端。

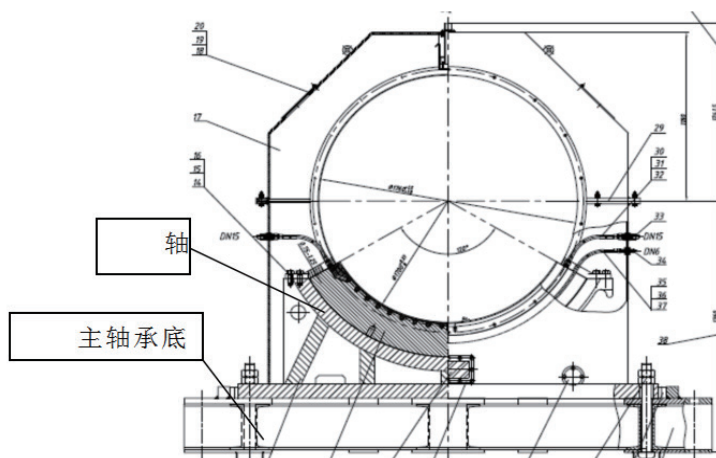


图 7.3.1-1 单侧主轴承内部结构图

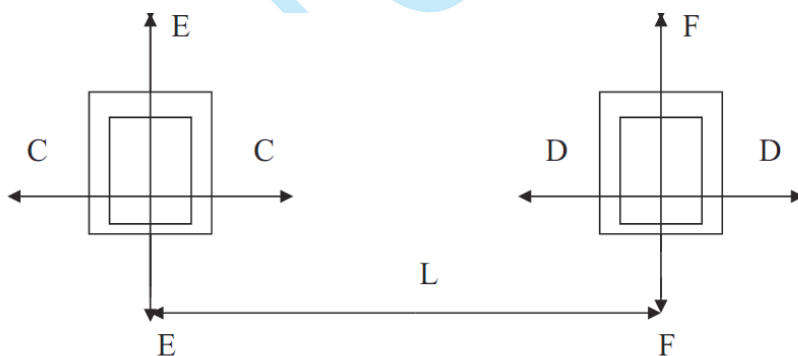


图 7.3.1-2 轴承座间距测量示意图

(3)轴承座找正采用水准仪在主轴承底座上平面的精加工面上进行。

7.3.2 棒磨机筒体组装质量控制:

7.3.2.1 筒体定位就是根据轴承底座的位置确定筒体摆放的中心线、标高、筒体端面距主轴承箱两侧的间距,确保中空轴能够落到主轴承箱内的瓦上,而不与轴承箱两侧相碰。

7.3.2.2 中空轴与筒体组对过程中,防止轴与轴瓦座相碰损坏轴面。

安装技术程序如下: 1. 中空轴轴面清理查找缺陷,分析缺陷的程度,是否影响到运行。

7.3.2.3 棒磨机安装中轴瓦到现场大部分都是毛坯瓦，现场精研刮，根据红丹分布确定研刮点确保瓦与轴接触面达到设计的要求后方可安装。

7.3.3. 大小齿轮间啮合质量控制

7.3.3.1 大齿轮的上下部分组装前做好大齿轮与筒体间的接合部及上下部分齿轮结合面的清洗。

7.3.3.2 利用百分表测量大齿轮的径向跳动值符合设备要求。

7.3.3.3 大小齿轮间间隙调整是棒磨机安装的重点，直接影响到运行时振动大小，其间隙必须调整到规定范围内，一般为 1.7mm–2.45mm。

7.3.4 衬板安装主要防止偏心旋转，衬板安装好后，所有衬板螺栓要拧紧。

7.4 机组联轴节对中质量控制要点

7.4.1 机组对中的基准机的选取原则

7.4.1.1 长系列机组一般选择中间位置的机器为基准机，以减少整个机组轴线扬度的误差。

7.4.1.2 有大型增速机的机组一般选择增速机为基准机。

7.4.1.3 对凝汽式汽轮机驱动的离心压缩机，其冷凝器位于汽轮机下方，且直接与汽轮机相连接的，应先将冷凝器就位，然后以汽轮机为基准机。

7.4.1.4 由电动机驱动的往复式压缩机组一般选择压缩机为基准机。

7.4.2 机组联轴节对中常用有三种方法，分别为：单表找正法、激光找正法、外缘端面三表法。具体具体控制要点如下：

7.4.2.1 找中心专用工具架应牢固，以免松弛影响测量准确度。

7.4.2.2 找中心专用工具固定在联轴器上应不影响盘车测量。

7.4.2.3 用千分表测量时，千分表应留有足够的余量，以免表杆顶死出现错误数据。

7.4.2.4 用塞尺测量时，塞尺片不多于 3 片，表面平滑无皱痕，插进松紧要均匀，以免出现过误差。

7.4.2.5 测量的位置在盘车后应一致，避免出现误差。

7.4.2.6 盘车时，要注意不要盘过头或没有盘够，以免影响测量准确度。

7.4.2.7 对中测量时，都需进行复核一次，若两次测量误差小于 0.02mm，则可结束，否则再进行第三次或第四次复测，若有两次测量结果小于误差要求，即可确认，否则应查找原因，再测。

7.4.3 联轴节对中质量检查要求：

7.4.3.1 检查百分表或千分表是否经过校验，是否在有效期内。

7.4.3.2 检查百分表或千分表是否能够正常归零。

7.4.3.3 检查轴承靠背轮表面是否光滑。

7.4.3.4 对中检查时要检查表架的挠度。

7.4.3.5 激光找正仪选择合适长度的固定架。

7.4.3.6 测量时盘车速度要均匀。

7.4.3.7 读数要准确、数据计算要准确。

8. 机组配管的无应力质量控制要求：

8.1 安装工序先主管后支管，必须预留 1-2 道“活口”，其“活口”应预留在机组管口的垂直管道与弯头之间，并应尽量远离机器。

8.2 管道安装时，先安装管道支、吊架（限位、活动、弹簧），在安装管道；严禁将管道载荷附着于机组的任何部位。

8.3 管道无损检测、试压、吹扫等检查合格后，再进行管道复位检查。

8.4 配管法兰与机组管口法兰在自由状态下，检测平行度、同心度符合技术文件要求。

8.5 管道与机器最终复位时候，应在联轴器上用千分表检测轴向、径向位移，满足技术文件要求。

9. 机组油系统安装、冲洗质量控制要点

9.1 质量控制措施

9.1.1 油系统设备随机和现场配制的碳钢或不锈钢管道，均需进行化学清洗，清洗合格后为避免灰尘等污染，应立即进行组装。

9.1.2 应对油箱内进行人工清洗，各角落应用面粉团粘净，并用与机组润滑油同一型号的油脂涂抹，以防再生锈。

9.1.3 油系统组成部分的拆洗：包括油过滤器、油冷却器、控制阀门等。

9.1.4 冲洗油加注前外观检查及抽检油品分析，再用压滤机向油箱内加注冲洗油，油位达到最高油位。

9.1.5 油循环冲洗过程中，宜采用热油（60-75℃）冷油（常温）交替油循环冲洗，同时在木锤在油管的弯头，三通及焊缝处不断地敲击振动，使得管内附着物脱落。

9.1.6 冷、热油交替冲洗过程中，应定时（一般 12 小时）拆检，清洗各处滤网。

9.2 质量检查标准：

9.2.1 过滤器前、后压差值不超过 0.01-0.015MPa。

9.2.2 临时滤网（200 目）可见软性杂质不超 2 点 /cm²，允许少量纤维，但不允许硬质机械杂质

10. 机组试车质量控制要点：

10.1 离心式压缩机组试车质量控制要点。

10.1.1 试车前的安装质量检查。

10.1.1.1 最终复核各段联轴节对中情况，复查合格后连接各段联轴节。

10.1.1.2 手动盘车检查转动是否轻便灵活，应无卡涩，摩擦异声。

10.1.1.3 各段间冷却器均应试压合格，接通循环冷却水。

10.1.1.4 检查机组各滑销系统是否符合要求，检查所有联系螺栓处的垫片的膨胀间隙是否符合要求，是否能自由活动。

10.1.1.5 气体吸入管线应已清扫干净。

10.1.1.6 与试运行有关的油、水系统，公用工程、电气仪表需要具备使用条件。

10.1.2 试车过程中的质量控制要求：



10.1.2.1 试车程序严格执行机组厂家的说明书及现场服务工程师的指挥，原则上操作由业主方的生产人员执行。

10.1.2.2 及时记录各测量点数值，每 30 分钟记录一次。发现异常及时汇报。

10.1.3 试车质量标准

10.1.3.1 主蒸汽温度，压力波动不能过大（温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，压力 $\pm 0.1\text{Mpa}$ ）。

10.1.3.2 润滑油压应在规定范围内，油冷器出口油温控制在 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{C}$ ，油过滤器压差应 $\leq 0.15\text{Mpa}$ 。

10.1.3.3 轴承温度应 $\leq 65^{\circ}\text{C}$ 。

10.1.3.4 汽轮机排汽缸温度应 $\leq 65^{\circ}\text{C}$ ，否则应调节喷水量。

10.1.3.5 机组轴振动，轴位移应在指标范围内。

10.1.3.6 机组无异常噪音和声响。

10.1.3.7 机组滑销系统允许机组自由膨胀，记录机组热膨胀值。

10.1.3.8 各分离器液位，调节各冷却器循环水量，控制出口气体温度在指标内。

10.1.3.9 电气、仪表、自控连锁装置运行正常。

10.2 往复式压缩机组试车质量控制要点。

10.2.1 试车前的安装质量检查。

10.2.1.1 压缩机组的全部安装工作结束。

10.2.1.2 全部电气设备均可受电投用，仪表联锁装置调试合格。

10.2.2.3 水、汽系统、润滑油系统、注油系统达到投用条件。

10.2.2 试车过程中的质量控制要求：

10.2.2.1 试车程序严格执行机组厂家的说明书及现场服务工程师的指挥，原则上操作由业主方的生产人员执行。

10.2.2.2 及时记录各测量点数值，每 30 分钟记录一次。发现异常及时汇报。

10.2.3 试车质量标准

10.2.3.1 机组无异常噪音和声响。

10.2.3.2 轴承、填料函和滑道的温升在规定范围内。

10.2.3.3 运动部件的供油情况正常。

10.2.3.4 气缸进、出口的气体温度和冷却水温度在指标范围内。

10.2.3.5 气缸吸入及排出压力在规定范围内。

10.2.3.6 密封良好。

10.2.3.7 缓冲器及油水分离器的排油、水情况正常。

10.2.3.8 管道的振动在规定范围内。

10.2.3.9 电气、仪表、自控连锁装置运行正常电气、仪表工作情况。

10.3 磨煤机试车质量控制要点

10.3.1 试车前的安装质量检查

10.3.1.1 全部安装工作结束，尤其要检查各连接螺栓必须拧紧、设备内无遗留任何杂物。

10.3.1.2 全部电气设备均可受电投用，仪表联锁装置调试合格。

10.3.1.3 润滑冷却系统运行正常，符合设计要求。

10.3.2 试车过程中的质量控制要求：

10.3.2.1 试车程序严格执行机组厂家的说明书及现场服务工程师的指挥，原则上操作由业主方的生产人员执行。

10.3.2.2 及时记录各测量点数值，每 30 分钟记录一次。发现异常及时汇报。

10.3.3 试车合格质量标准

10.3.3.1 主轴承温度在规定范围内。

10.3.3.2 主轴承的振动值在允许范围内。

10.3.3.3 润滑系统工作正常。

10.3.3.4 衬板等各处的连接螺栓没有产生松动现象。

10.3.3.5 各密封点不泄露。

四、常见问题处理

(一) 表 26-34 离心式压缩机常见问题分析及其处理方法

存在的问题	原因分析	处理方法
轴承温度高	1、轴承间隙过小。 2、油内混有水分或油变质 3、冷油器的冷却水量不足，进油温度过高	1、重新测量轴承间隙，安装调整到合适间隙或更换 2、检查冷油器，排除漏水故障或更换新油 3、调节冷油器冷却水的进水量
轴承振动超标	1、机组找正不合要求 2、轴承间隙过大 3、气缸内有积水或固体沉积物 4、地脚螺栓松动 5、基础灌浆不实 6、机器本身制造问题（动平衡问题、转子轴弯曲等）	1、重新找正水平和中心 2、重新检查、调整轴承间隙。 3、排除积水或固体沉积物 4、紧固地脚螺栓 5、检查，灌浆 6、要求厂家处理
油循环冲洗长时间不合格	1、油站内管道、设备不干净 2、油管安装清洁度未保证 3、油管酸洗冲洗不到位	1、对油站管道、阀门、垫片及冷油器、油滤器、油箱进行重新检查清理 2、重新冲洗、吹扫。 3、重新酸洗，冲洗

(二) 表 26-35 往复式压缩机常见问题分析及其处理方法

存在的问题	原因分析	处理方法
曲柄连杆机构发出异常声音	1、连杆螺钉、轴承盖螺钉、十字头螺母松动所引起的响声。 2、主轴承、连杆大头、小头瓦、十字头滑道等间隙过大，发出不正常声音。 3、曲轴与联轴器配合松动。	1、检查、紧固。 2、检查并调整间隙。 3、检查调整。
轴承或十字头滑道发热	1、轴颈和轴瓦或十字头与滑道间隙过小。 2、两摩擦面之间贴合不均匀，或安装时，轴承有偏斜，十字头有偏斜。 3、油内混有杂质或油变质。	1、调整间隙。 2、用涂色法刮研，调整间隙。 3、更换润滑油。
气缸发生不正常振动	1、支撑不对或垫片松。 2、配管振动所引起。 3、气缸内有异物。	1、调整支撑间隙或垫片。 2、消除配管振动。 3、消除异物。

存在的问题	原因分析	处理方法
气缸内发出异常声音	1、活塞螺帽松动，活塞松动。 2、气缸余隙太小。 3、异物掉入气缸。	1、检查、紧固。 2、适当加大余隙。 3、清除异物。
机体发生不正常振动	1、各轴承及十字滑道间隙过大。 2、各部位接合不好。 3、气缸内有积水或固体沉积物。 4、地脚螺栓松动。 5、基础灌浆不实。 6、机器本身制造问题（加工精度、配对质量等）。	1、调整间隙。 2、检查、调整。 3、排除积水或固体沉积物。 4、紧固地脚螺栓。 5、检查，灌浆。 6、要求厂家处理。

（三）表 26-36 磨煤机常见问题分析及其处理方法

存在的问题	原因分析	处理方法
机器振动超标	1、筒体、电动机与小齿轮底座的平面度、平行度等存在误差。 2、齿轮啮合间隙过大 3、地脚螺栓松动 4、基础灌浆不实	1、重新找正 2、重新检查、调整齿轮啮合间隙。 3、紧固地脚螺栓 4、检查，灌浆
漏浆	1、衬板螺栓固定不牢，砂浆通过衬板螺栓孔被甩出 2、溜管密封不严	1、紧固衬板螺栓 2、检查补焊密封

五、案例分析

（一）阜新煤制气项目空分压缩机组试车过程中出现大量漏油。

油循环过程中，没有安排人24小时监控，油管法兰泄露没有得到及时处理，造成大量机油泄露，污染设备和环境。

在油循环过程中，要有专门班组负责，24小时安排专人值班，确保油循环工序的安全。

（二）海南大化肥项目合成气压缩机合成气管道无应力找正长时间不达标。

案例过程：合成气压缩机合成气管道高温高压，管径大，管壁厚。因工期紧，业主限制了开车时间，当最后工序管道与机器相连接时，无应力检查不合格，调整难度极大，最后通过切口重焊等多种措施的综合处理，连夜加班方才解决问题。

原因分析：经过了解，与压缩机相连的管道在配管的过程中，没有严格按照无应力连接的要求进行，造成最终检查偏差过大，无法通过微调纠正，只能采用切口重新按正确的程序进行施工，费工费时。

经验总结：大型压缩机配管前要综合考虑到试压、吹扫及无应力连接的要求，合理安排管道施工工序及黄金口的设置。

（三）张家港丙烷脱氢项目压缩机油循环长时间不合格。

案例过程：张家港丙烷脱氢项目压缩机做油循环之前，我们建议厂家提供油冷却器的封头垫片，准备对油冷却器进行抽芯清理，厂家答复油站内部已清理干净，不需现场清理，可以直接油循环冲洗，在业主和厂家的要求下，没有对油站进行检查清理的情况下进行了油循环，但两个月过去，油循环仍然没有合格。经过对过滤网上的杂质进行检查，主要杂质有铜屑、石棉碎渣。经与厂家服务人员的了解，油站管道上所用的垫片为石棉垫，规格与法兰不配套，造成油冲洗过程中被破坏进入油中，另外油冷却器在制造过程中，列管为铜管，加工过程所产生的铜屑没有清理干净。通过原因分析，现场采取了油站内垫片全部换程配套的缠绕垫，油冷却器返厂清理。油站通过处

理后再次油循环冲洗仅一个星期就达到标准。

经验总结：大型压缩机的润滑油系统的冲洗质量和工期的保证，主要在于油冲洗前对系统的检查、清理工作，现场必须对油站各部位进行检查，涉及到阀门、管道内部、油箱、油冷却器、油过滤器等，发现有内部有杂物必须想办法清理干净，方可正式进油打循环。

（四）宁煤神华煤制油项目空分压缩机联轴节振动超标，造成跳车。

案例过程：宁煤神华煤制油项目空分压缩机机组空压机与汽轮机是通过中间轴承箱进行轴连接的，现场按照西门子公司提供的冷态找正参数进行找正，偏差符合厂家要求。但在开车过程中，检测到轴承箱振动偏大达到联锁值（ $124\mu\text{m}$ ）停机，造成跳车。原因排查排除了轴承箱振动异常与基础无关，与冷态找正参数无关。进一步的检查发现轴承箱护罩连接件温度异常，现场采用冷水降温后，振值有大幅度降低，现场拆检轴承箱及联轴器护罩，发现油封下部间隙小，最小处为 0.03mm ，对油封间隙进行调整，保证回装时间隙在 $0.2\sim 0.4\text{mm}$ 。再次开车后，振值在 $24\sim 26\mu\text{m}$ ，符合要求。通过分析，确定轴承箱振动超标的主要原因是轴承箱汽轮机测温度偏高造成冷态找正参数在温度较高的情况因膨胀超标，从而造成振动大。

最终解决办法是：将联轴器拉伸量调大为 $1.5\sim 2\text{mm}$ ，在联轴器护罩温度比较高的位置（联轴器连接法兰盘区域）增加排烟罩降低温度。

经验总结：联轴器冷态对中的数据要考虑运行状态下的温度影响，并进行合理的数据调整。

第二十七章 球罐制作安装

第一节 范围与定义

一、球罐定义

球形储罐是指壳体为球形的储罐。球形储罐简称球罐是指设计压力大于或等于 0.1MPa 且不大于 4MPa、公称容积大于或等于 50m³ 的桔瓣式或混合式以支柱支撑的碳素钢、低温钢和低合金钢制焊接球形储罐的施工。球罐国内执行的标准设计为《钢制球形储罐》GB12337 及《压力容器》GB150，施工标准《球形储罐施工规范》，国家法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R21。

球罐主要由球壳、支座及附属构件组成。球壳结构有单层、双层和多层 3 种。球壳由多块预压成一定形状的球片板拼焊而成，球罐排板主要有环带式（瓜瓣式）及足球式。支座有支柱式、半埋式和裙式等。附属构件有操作平台、外部扶梯、人孔及阀门等。用以贮存液化气的球罐，外部还装有降温喷淋、喷雾及火灾隔热喷淋装置。对受压或受真空的球罐，装有安全阀或真空阀。

对于下列球形储罐的施工：

- （一）核能装置中的球形储罐。
- （二）非固定（相对运动，如车载或船载）的球形储罐。
- （三）双层结构的球形储罐。
- （四）公称容积小于 50m³ 的球形储罐。
- （五）膨胀成形的球形储罐。
- （六）做疲劳分析的球形储罐。

由于其执行的标准与球罐执行标准不同，因此不属于球罐范畴，但施工可以参考相关施工技术。

二、球罐施工范围界定

（一）球壳及与其连接的受压零部件，应界定在下列范围内：

1. 球形储罐接管与外部管道焊接连接的第一道环向接头坡口面。
2. 球形储罐接管与外部管道螺纹连接的第一个螺纹接头。
3. 球形储罐接管与外部管道法兰连接的第一个法兰密封面。
4. 专用连接件或管件连接的第一个密封面。

（二）球形储罐开孔的承压盖及其紧固件。

三、球罐工程依据标准

TSG21 《固定式压力容器安全技术监察规程》

GB150 《压力容器》

GB12337	《钢制球形储罐》
GB50094	《球形储罐施工规范》
NB/T47015	《压力容器焊接规程》
NB/T47013	《承压设备无损检测》
NB/T47014	《承压设备焊接工艺评定》
GB/T228	《金属材料常温拉伸试验方法》
GB/T229	《金属夏比缺口冲击试验方法》
GB/T232	《金属材料弯曲试验方法》
GB/T5117	《非合金钢及细晶粒钢焊条》
GB/T5118	《热强钢焊条》
JB/T3223	《焊接材料质量管理规程》
GB/T3965	《熔敷金属中扩散氢测定方法》
GB/T18591	《焊接预热温度、道间温度及预热维持温度的测量指南》
GB50205	《钢结构工程施工质量验收标准》
SH3503	《石油化工建设工程项目交工技术文件规定》
GB/T50484	《石油化工建设工程施工安全技术标准》
SH/T3022	《石油化工设备和管道涂料防腐蚀设计标准》

第二节 球罐制造

一、材料要求

(一) 钢板

钢板应符合 GB713《锅炉和压力容器用钢板》，且为正火状态。同时还须按 NB/T47013《承压设备无损检测》进行 100% 超声波检测，其质量等级应不低于Ⅱ级。制造单位还应按容规第 25.1 条规定内容进行复验。复验合格后方可用于生产。球壳用钢板应每批取一张进行夏比（V 型缺口）低温冲击试验。在球壳压制前，采购方派人对钢板质量进行验收。

(二) 锻件

受压元件（包括凸缘、厚壁管、法兰、法兰盖）所用的锻件应符合 NB/T47008—47010 标准的要求，且为正火状态。

(三) 焊接材料

用于受压元件焊接的焊条采购应具有质量证明书。质量证明书应包括熔敷金属的化学成份、力学性能、扩散氢含量。除特殊要求外，各项指标应符合 NB/T47018 标准的规定。

二、制造工艺

(一) 球壳板制造



1. 受压件的材料在切割 (或加工) 前应进行标记移植。移植内容为炉批号、位号、件号、钢号。方法采用打印或字模喷漆。

2. 球壳板

2.1 球片压形前严格清除钢板表面的氧化皮及其杂物, 压形过程中要随时清扫球壳板及胎膜上的氧化皮以防压伤板面。

2.2 球壳板须采用多点冷压成型, 严禁急剧成形加工。

2.3 每块球壳板均不得拼接, 且表面不允许存在裂纹、气泡、结疤、折叠和夹杂等缺陷, 并不得有分层。

2.4 尺寸偏差应符合下述要求:

2.4.1 长度方向弦长允差不大于 $\pm 2.5\text{mm}$ 。

2.4.2 宽度方向弦长允差不大于 $\pm 2\text{mm}$ 。

2.4.3 对角线弦长允差不大于 $\pm 3\text{mm}$ 。

2.4.4 两条对角线应处在同一平面, 其两条对角线垂直距离偏差不得大于 5mm 。

3. 坡口

3.1 坡口表面应光滑, 不得有熔渣, 氧化皮存在, 且表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $25\mu\text{m}$ 。其平面度 B 不大于 1mm 。坡口表面不得有裂纹, 重皮等缺陷。

3.2 存放及转运过程中应在钢板之间加木垫, 不得随意加铁块等物, 防止人为的磕碰划伤。

4. 支柱制作

4.1 支柱的制作与组焊应符合下列要求:

4.1.1 每段支柱的接料长度不应小于支柱全长的 $1/3$ 。

4.1.2 接料支柱其接口处在管内须放置加强衬环。当图样没有作出具体规定时, 应按工艺图进行制作。接料支柱的对接焊缝应进行超声波检测。

4.1.3 支柱各部零件拼焊前应进行检验, 焊后支柱的几何尺寸、各部件的角度、位置均符合图样要求, 支柱的焊接严格按焊接工艺规程执行。

4.2 上、下段支柱制作允许偏差。

4.2.1 支柱的直线度允许偏差不得大于上、下段支柱长度的 $1/1000$ 。

4.2.2 支柱底板与支柱的垂直度允许偏差不得大于 2mm 。

4.2.3 每根支柱经检验合格后应在支柱底板上面打制钢印、编号并做好检查记录。编号方法为产品编号 + 顺序号。

5. 部件与球壳板组焊

5.1 上、下极中板的组焊顺序是先拼焊人孔凸缘再拼焊接管 (包括预先焊接完成的接管法兰) 。

5.2 上、下极中板与人孔凸缘、接管焊接后, 经校型合格后方可出厂。

5.3 人孔凸缘、接管与上、下极中板的焊接应在专用焊接工装上进行, 其工装应保证控制焊接变形、预热等设施的安装。

5.4 上段支柱与赤道带板的组焊应在组焊平台上进行上段支柱与赤道板拼配定位焊时要测量垂直度及支柱底面至赤道板中心线的高度，经检查不合格应及时调整，保证各部几何尺寸要求。焊接时应在工装胎上进行。焊接应按焊接工艺规程进行。

三、焊接

（一）焊接方法

根据钢种、结构、位置的不同，由下列方法中选择适当的焊接方法。

1. 焊条电弧焊
2. 自动或半自动埋弧焊
3. 用二氧化碳气体、惰性气体保护下的自动或半自动电弧焊
4. 电渣焊或等离子电弧焊

（二）焊接设备

1. 焊条电弧焊机：焊条电弧焊机主要有交流弧焊机及特效整流式直流弧焊机，使用的焊条要有充足的储量；对焊机应经常检查维护，使其一直处于良好状态。另外使用带电击防护器的焊机时，应使焊机的二次线越短越好。使用低氢系列焊条时，应采用热启动及类似的方法，在远离施工现场时采用装有遥控装置的焊机及整流装置。

2. 自动及半自动焊接装置：自动及半自动焊用的控制装置，要求操作简单，动作准确。稳定，另外在使用条件下，应有足够的电流量。

3. 焊接工具

焊接用的电缆、焊钳、面罩等，应有足够的可靠性和安全性。

4. 焊工的技能资格

4.1 焊条电弧焊：从事焊条电弧焊的焊工应按《特种设备焊接操作人员考核细则》的规定进行中厚钢板的对接焊接考试合格者，并持有有效的特种设备作业人员证，或者通过其他公认的技术检测高于以上资格级别的考试合格者，并持有有效的合格证。另外，在必要时应根据其检测考试规定的名称、记号（种类、级别）等，在施焊过程中验证其能够焊接的位置及板厚。

4.2 自动电弧焊：从事半自动电弧焊的焊工，应持有《特种设备焊接操作人员考核细则》的规定进行中厚钢板焊接所必须的资格证，或者被确认为具有同等资格以上能力的人员，并且是对使用的焊接方法熟练的人员。

4.3 自动焊：从事自动焊的人员，必须对所有的焊接操作及焊接设备有充足的知识与经验。

（三）焊接准备工作

1. 焊接接头的检查及清理：施焊前应检查、确认坡口的形状是否在允许的偏差内；是否有凹坑、分层等缺陷。另外，要彻底清除铁锈、灰尘、油污、水份等对焊接有害的污垢，清理后应尽快施焊。

2. 选定焊接条件：焊接使用的电弧焊焊条、焊丝、焊剂、保护气体等焊接材料的种类及电流、电压、焊接线能量、预热温度等，按 NB/T47015 予以确定。

3. 焊接材料的烘干及管理：电弧焊焊条、焊剂等，为避免变质应妥善保管，使用前要按规定

的温度及时间进行烘干。特别是在使用低氢型电弧焊焊条，烧结型埋弧自动焊用焊剂时，应详细记录其炉号及烘干温度，并严格控制其放置在大气中的时间。

（四）定位焊

1. 进行定位焊的焊工应与施工焊接焊工为同等资格的焊工。
2. 定位焊在需要预热时应以相同的标准进行预热，定位焊焊道的长度一般取 50mm 以上。
3. 定位焊焊肉不应残留在施工焊接时的熔敷金属内。拆除定位焊使用定位板、工卡具时的伤痕，应按修补进行处理。

（五）施焊

1. 焊接位置：在制造允许的情况下，应尽量采用平焊。其他场合应充分考虑焊工的熟练程度及施焊场所，以保证得到最好的效果。

2. 焊接顺序：施工时为了使焊接产生的变形及残余应力最小，并能防止焊接裂纹，应制定适当的焊接顺序进行并列施工。同时可采用防止变形的工卡具，以达到更好的效果。

3. 预热：根据被焊件的材质、板厚。接头的拘束度、焊条、气温等条件，按需要进行预热及规定的消除应力热处理条件下的预热，按下述选用。

3.1 对焊接部位进行均匀的加热保温，但对拘束力较高的部位（人孔、接管的接头处）及冬季寒冷时期（5℃以下），应采用高于标准的预热温度，扩大预热范围或延长预热时间等方法。

3.2 预热温度的测定：在临焊前及焊接过程中测量温度采用表面温度计进行测量。

预热的宽度一般从焊缝中心，两侧各取板厚的 3 倍（最大 100mm），温度测定应在焊缝一侧约 50mm 处进行，但对使用焊接线能量较大的自动焊，确定其焊接工艺的可不受此限制。

4. 焊接线能量：根据被焊件的材质、钢板厚度、焊接位置。使用温度等，按规范确定，并对其进行管理。焊接线能量管理是对焊接过程中的电流、电压及焊接速度等的测定进行控制并记录在案。

5. 焊道起点终点的处理：由于焊道的起点终点易产生缺陷，因此在焊道的起点使用引弧板或装有热起动的焊机或端部加工过的焊条：终点应待弧坑填满后再行熄弧。

6. 焊根清理：对接双面焊，单侧焊完后应根据需要用砂轮、碳弧气刨机加工等方法对焊根进行清理，另外，对焊根清理部位还应根据需要进行打磨，用目测及渗透检测或磁粉检测等方法确认其有无缺陷。

7. 后热：对母材强度高、钢板厚度大、拘束力大的焊接接头部位，为了促进扩散氢的逸出，焊接完毕应立即进行后热处理，实施时应依据焊接施工工艺说明中的施工范围、施工条件及施工工艺决定，并进行管理。后热的时间，只限于在必要的最小时限内。

（六）焊接附件

球罐的附件、补强圈等直接与球罐焊接时，为防止焊接裂纹，应注意下列事项：

1. 壳体上开孔安装附件：人孔、接管等在壳体上开孔安装时，附件与开孔的间隙越小越好，并应正确的安装。
2. 安装补强圈：安装补强圈时，应充分贴紧壳体表面。

3. 异种钢焊接: 高强度钢或低温钢与低碳钢的焊接条件, 应符合高强度钢或低温钢的焊接条件。

(七) 焊缝的检查

施焊完毕, 应进行外观检查, 不准有裂纹、咬边、焊瘤、弧坑、夹渣、气孔等有害缺陷。如须修补, 按规定的修补方法进行修补。

(八) 焊接施工记录

为了确认焊接施工是否按焊接施工工艺说明进行, 应作好焊接施工记录, 该记录在竣工后, 作为施工记录保存。

四、焊后消除应力热处理

附件组焊完毕并经无损检测合格后方可进行消除应力热处理的, 消除应力热处理在炉内进行。具体操作及要求详见第四节球罐热处理。

五、出厂

(一) 坡口面的防腐

出厂前球壳的坡口应根据需要, 在焊接坡口表面涂上临时防腐剂。

(二) 法兰面的保护

为了保护人孔及接管等的法兰面, 应当用硬质材料做好防护后才能出厂。

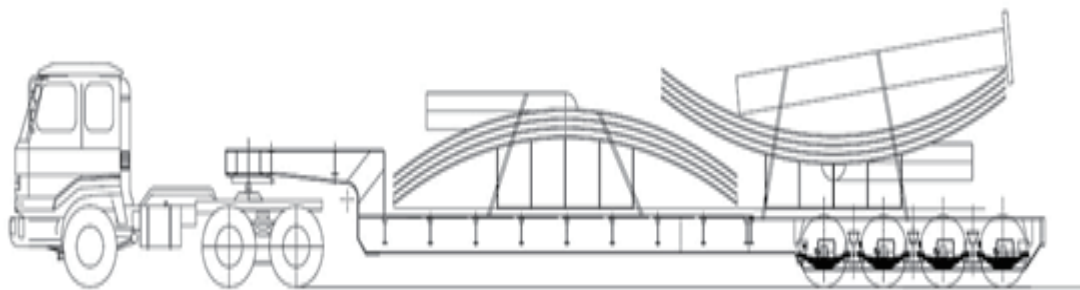
(三) 包装及运输

1. 运输时因为起动、制动、弯边行驶等惯性及道路纵坡、横坡、风力等外力都将使货物与承载车产生相对滑动。设备(球壳板)发运前, 根据球壳板曲率制作专用钢制运输支架, 每个包装架的总重量不得超过 30t。将球壳板用帮扎带固定在运输支架上, 球壳板之间放置木块增加摩擦系数, 防止滑动。将运输支架及球壳板合理放置在运输车辆上, 前、中、后用葫芦, 钢丝绳下垫防滑铁皮捆绑, 防止滑动产生, 绑扎点必须合理, 确保不对设备、车辆产生破坏。

2. 配对法兰、试板、铭牌、备品备件及其它零部件应分别进行装箱并附详细的装箱清单, 装箱前应对每件进行编号, 做明显标记。

3. 拉杆等件集束包扎, 所有加工件密封面及螺纹表面应涂防锈油脂, 拉杆螺纹采用软包装妥善保护。

4. 球壳板、支柱、拉杆等零部件的油漆、包装、运输的其它要求按有关规定。



运输示意图



第三节 球罐安装

一、施工准备

(一) 技术准备

1. 施工技术资料

施工图纸及设计相关资料、施工记录表格及球壳板、球罐零部件的质量证明文件等。

2. 现行施工标准规范

GB150.1 ~ 4《压力容器》

GB12337《钢制球形储罐》

GB/T17261《钢制球形储罐型式与基本参数》

GB50094《球形储罐施工规范》

NB/T47014《承压设备焊接工艺评定》

NB/T47013《承压设备无损检测》

NB/T47015《压力容器焊接规程》

NB/T47016《承压设备产品焊接试件的力学性能检验》

NB/T47018《承压设备用焊接材料订货技术条件》

GB/T5117《非合金钢及细晶粒钢焊条》

GB/T5118《热强钢焊条》

JGJ46《施工现场临时用电安全技术规范》

GB/T50484《石油化工建设工程施工安全技术标准》

TSGZ6002《特种设备焊接操作人员考核细则》

TSG21《固定式压力容器安全技术监察规程》

3. 施工方案

球形储罐安装施工方案（施工组织设计）

焊接工艺评定及焊接工艺指导书

临时用电施工方案

脚手架搭拆施工方案

球形储罐焊接施工方案

球形储罐无损检测施工方案

球形储罐热处理施工方案

球形储罐耐压施工方案

球形储罐防腐绝热施工方案

(二) 作业人员

主要作业人员见下表 27-1 所示：

序号	工种	持证上岗要求	备注
1	电焊工	持证上岗	合格证中的项目应与施焊项目相符特种设备作业人员证
2	铆工		
3	起重工	持证上岗	特种作业操作证
4	架子工	持证上岗	特种作业操作证
5	电工	持证上岗	特种作业操作证
6	钳工		
7	探伤工	持证上岗	无损检测资格证

（三）设备、材料的验收与保管

1. 一般要求

1.1 球壳板及球罐部件的验收由合同双方和施工单位组织材料员、技术员、质检员及相关单位负责人共同验收，并告知技术监督局监察。合格后办理入库手续。

1.2 到达现场的设备、材料应设置专用场地进行保管存放；法兰、阀门、螺栓、垫片等材料应当按照图纸及材料标记核对合格证及材质证明文件，对于用于球罐本体受压元件，生产单位应经过质量技术监督部门认证，配套压力管道元件生产单位需具备制造许可证书。

1.3 对于进场的设备、材料应当妥善保管，零散部件和不锈钢件应当设置专门库房存放。管材、板材保管应当防潮、防涝；不锈钢材料应当同碳钢材料分开存放并防止渗碳。管件等零散部件应放置在独立货架上，并挂牌标明规格尺寸、压力等级、材质。合格材料、不合格材料、待检材料分别存放，并应有标识。

1.4 开箱后应保留设备及附件上的原标签，若有丢失应及时补齐。在施工过程中发现的缺陷问题，应会同有关单位及人员，查明原因，及时处理解决。

1.5 对有防护要求的特殊设备及附件，应按专业要求分类保管。配套的电气、仪表件应由专业人员进行验收，并按要求妥善保管。

2. 球壳板及零部件质量证明文件检查

2.1 特种设备监督检验机构出具的产品监检证书

2.2 压力容器产品合格证

2.3 制造竣工图样

2.4 质量计划或检验计划

2.5 主要受压元件材质证明书及复验报告

2.6 材料代用审批证明（如果发生代用情况）

2.7 钢板、锻件及零部件无损检测报告

2.8 球壳板周边及坡口无损检测报告

2.9 焊接接头无损检测报告（包括检测部位图）

2.10 球壳板测厚报告

2.11 产品焊接试板试验报告

2.12 焊接记录



2.13 结构尺寸检查报告

2.14 排版图

2.15 与球壳板焊接的组焊件热处理报告

2.16 国外供货的球壳板、焊接材料商检证明

2.17 产品铭牌的拓印件或复印件

2.18 与风险预防和控制相关的制造文件

3. 球壳板和试板的外观检查

3.1 球壳板的结构形式应当符合设计文件，每块球壳板本身不得拼接。

3.2 球壳板不得有裂纹、气泡、结疤、折叠、夹杂和压入的氧化皮等缺陷。球壳板不得有分层。

3.3 坡口型式应符和图样要求，坡口表面应平滑，表面粗糙度应 $\leq 50\mu\text{m}$ 、无裂纹、分层、挂渣和氧化皮，气割坡口平面度不应大于球壳板名义厚度的4%且不应大于1mm，标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的钢材、低温球罐及采用分析设计的球罐球壳板坡口表面应经过磁粉或渗透检测抽查，不应有裂纹、分层和夹渣等缺陷。若有缺陷时，应修磨或焊补，焊补前应进行磁粉或渗透检测确认无缺陷后方可补焊，补焊后磨平，使其保持原有坡口的形状和尺寸。抽查数量为球壳板数量的20%，且每带不应少于2块，上、下极各不应少于1块，若发现超标缺陷，应当加倍抽查；若仍有不允许的缺陷，应逐件100%检测。

3.4 球壳板周边100mm的范围内应当按NB/T47013.3《承压设备无损检测第3部分：超声检测》的规定进行全面积超声波检测抽查，抽查数量不得少于球壳板总数的20%，且每带不应少于2块，上下极板不应少于1块；对球壳板全面积有超声检测要求的还应进行超声检测抽查。抽查数量应与周边抽查数量相同。当低温球罐球壳板厚度大于20mm，抽查数量不应少于球壳板总数的40%，设计文件另有规定的依照设计文件规定进行，应符合NB/T47013.3《承压设备无损检测第3部分：超声检测》规定要求，应力分析设计球罐球壳板周边100mm的范围内、与支柱相连的已形成赤道板在距支柱与赤道板预焊位置周边150mm范围内进行超声波检测。

3.5 球壳板实际厚度不得小于设计厚度。抽查数量应为球壳板数量的20%，且每带不应少于2块，上、下极板不应少于1块。每张板检测不应少于5点，其中4个点分布在距离边缘100mm左右的位置并包括各顶角附近，1个点位于球壳板的中心附近。若发现不合格，应当加倍抽查；若仍不合格，应对球壳板逐张检查。不合格材料不得用于球罐组装。

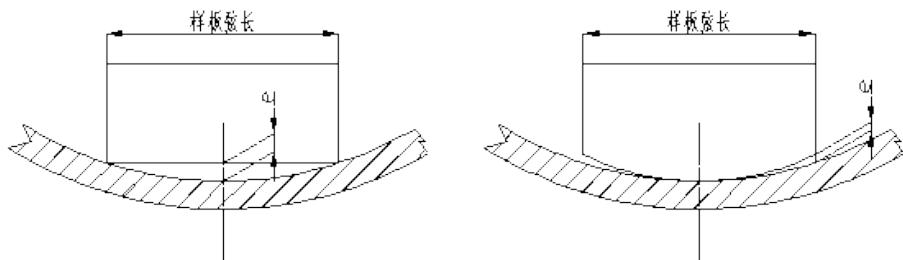
3.6 球壳板组对标识与排版图相符，材料标识清晰。

3.7 低温球罐球壳板标识不能采用钢印标记。

4. 球壳板几何尺寸检查

4.1 使用样板检查球壳板曲率，检测时样板与球壳板保持垂直，每块球壳板不少于5个测量点，样板的弦长和曲率允许偏差符合下图（1）和下表（27-2）的规定。应力分析设计球罐当球壳板弦长大于或等于2000mm时，样板弦长不得小于2000mm，当球壳板弦长小于2000mm样板现场不得小于球壳板的弦长，样板与球壳板的间隙e除球壳板周边150mm范围内不得大于2.5mm，其余部

位不得大于 3mm。

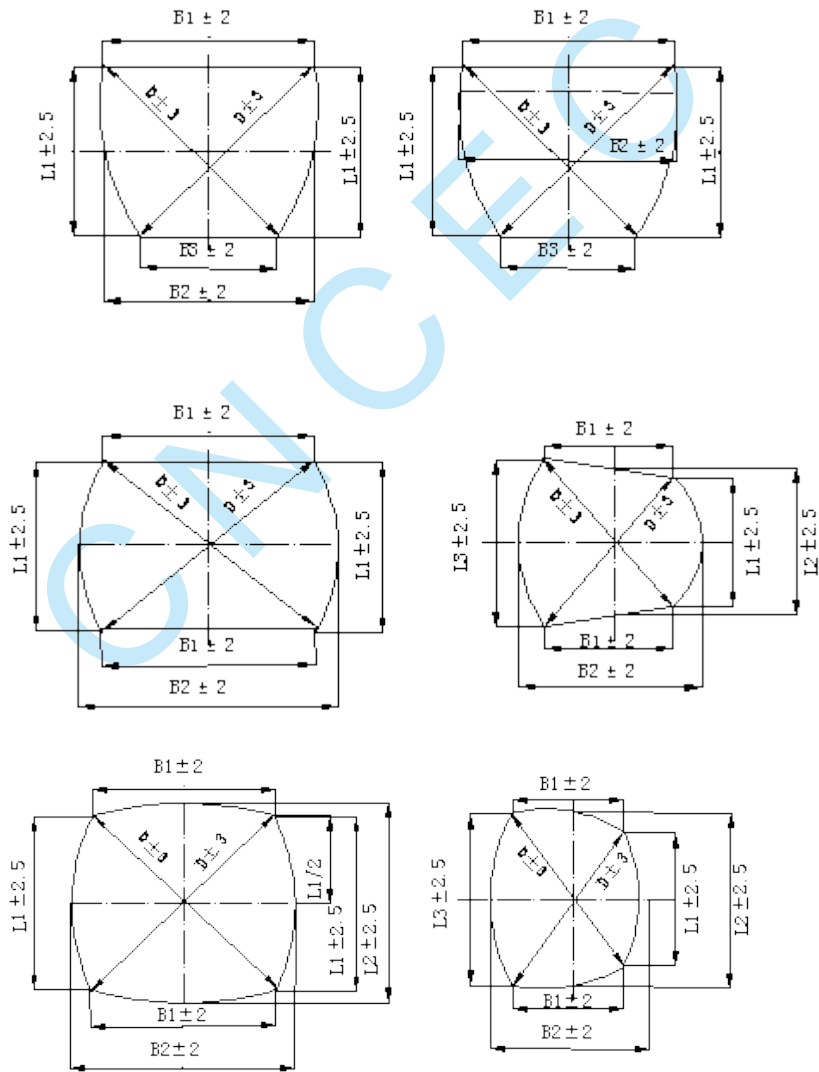


图（1）球壳板曲率检查示意图

表 27-2 样板及球壳板与样板允许间隙

球壳板弦长（m）	样板弦长（m）	允许间隙（mm）
≥ 2	2	≤ 3
<2	与球壳板弦长相同	≤ 3

4.2 球壳板几何尺寸用钢板尺检查，焊于极板上的人孔和接管用钢尺测量。测量时应在坡口处放置定位样规，其几何尺寸允许偏差应符合下图（2）和下表（27-3）的规定。



图（2）球壳板几何尺寸检查示意图

表 27-3 球壳板几何尺寸允许偏差

项目	允许偏差值 (mm)
长度方向弦长 L1、L2、L3	± 2.5
任意宽度方向弦长 B1、B2、B3	± 2
对角线弦长	± 3
两条对角线间的距离	≤ 5.0

注：对于刚性小的球壳板只检查弧长，不检查两条对角线间的垂直间距。但球壳曲率需符合规范要求

4.3 分段支柱上端与赤道板组焊后现场用弦长不小于 1000mm 的样板检查焊缝部位外向 300mm 以内的赤道板的曲率，最大间隙不得大于 3mm。

4.4 球壳板制造单位提供的产品试板和工艺评定用的试板，其材料标识及厚度应和球壳板相一致，其尺寸应当为 180×600mm。每台球罐产品试板数量不应少于 6 块，焊接工艺评定所需产品试板数量应符合合同及设计文件规定。当球壳板厚度大于 30mm 以上，应当考虑试件厚度，拉伸强度试验大于试验设备能力时应当按照 NB/T47016《承压设备产品焊接试件的力学性能检验》的相关要求制备试件，数量酌量考虑，在订货时向制造单位提出。

4.5 人孔、接管与极板焊接后应符合下列要求：

4.5.1 人孔、接管开孔位置及外伸高度的允许偏差不大于 5mm。

4.5.2 开孔球壳板周边 100mm 向内至开孔中心一倍开孔直径向外之间的范围内，用弦长不小于 1000mm 的样板检查极板的曲率，最大间隙不得大于 3mm。

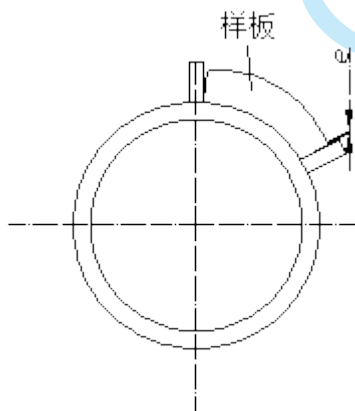
5. 球罐支柱几何尺寸检查

5.1 支柱直径及长度用钢尺、钢卷尺检测长度符合图纸要求，全长度偏差不得大于 ± 3 mm，分段支柱上下段接头段圆度不应大于 2mm，运输过程中造成的圆度超标，组装前应当修复。

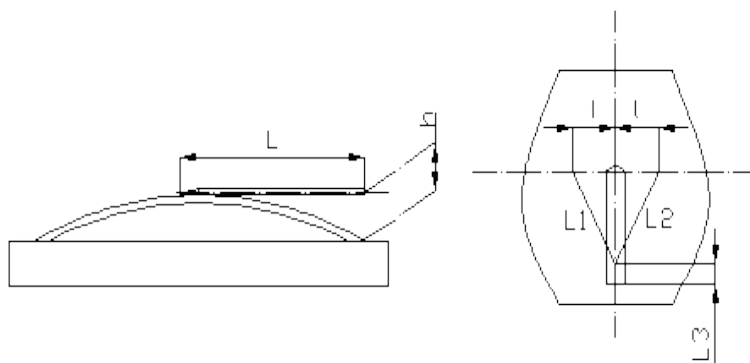
5.2 支柱全长的直线度偏差应小于或等于全长的 1/1000，且不应大于 10mm。

5.3 支柱与底板垂直度允许偏差 2mm。

5.4 支柱斜拉杆的支耳方位用样板检查其间隙 $e \leq 4$ mm，见图（3）所示。



图（3）间隙检查



图（4）赤道带板上支柱测量检查示意图

5.5 焊于赤道带板上的支柱用钢尺检查，其允许偏应符合图（4）和下表（27-4）的规定。

表 27-4 赤道带板上的支柱允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
支柱长度 L	± 2
支柱与球壳板的距离 h	± 3
支柱中心线与球壳中心偏移 $ L_1-L_2 $	≤ 2

注：图中 $L \geq 500, L_3 \leq 200$

5.5.1 支柱间可调式斜拉杆的螺纹应当进行外观检查，不得有锈蚀和断扣现象，否则应当进行修磨除锈，螺纹配合良好，并应当涂抹润滑油防止生锈。

6. 球罐附属的平台、梯子、喷淋装置及其他零部件应当依据设计文件检查材料的规格尺寸、产品质量证明书、材料标记，并做好记录。

7. 安全阀安装前应经当地技术监督部门检测校验，起跳压力、回座压力均应符合设计规定，并应有检测调试报告。

（四）主要施工机具

1. 主要机械设备

起重机、电焊机、烘干箱、恒温箱、除湿机、热处理设备、空压机、试压泵、无损检测设备等。

2. 主要工具

焊条保温筒、角式磨光机、活扳手、大锤、砂轮、手锤、粉线、样冲、气焊工具、台钻、电加热片、链式手拉葫芦、索具、千斤顶等。

（五）测量及计量器具

压力表、水平仪、经纬仪、盘尺、角尺、铁水平尺、焊接检测尺、钢卷尺、钢板尺、水平尺、磁力线坠、量角规、划规、测厚仪等。所有的测量及计量器具应保证在检定周期内使用，并按检定周期要求及时进行检定。

（六）作业条件

1. 开工审批

1.1 球壳板到达施工现场前向设备安装所在地当地质量技术监督部门进行特种设备安装告知。

1.2 球罐安装前，应至少提供下列文件的原件或带有施工单位印章的影印件供审查。

特种设备制造许可证。

球形储罐安装质保工程师及责任人员任命文件。

焊工、无损检测人员的名单及资质证件。

为本工程编制的施工技术文件。

2. 现场施工应具备的条件

2.1 编制完成施工方案或施工组织设计等施工技术文件。

2.2 施工图纸经过图纸会审。

2.3 施工质量、安全及职业健康、环境管理体系已经建立。

2.4 特种设备安装许可告知已经上报当地技术监督部门，并经过批准。

2.5 施工所需要的各种记录、质量检验及质量评定等表格已经准备齐全。

2.6 施工场地平整，道路通畅，施工消防水系统、动力和照明系统完备；

2.7 球罐材料检查验收合格。

2.8 球罐基础检查验收合格，基础交接手续办理完毕。

3. 技术交底

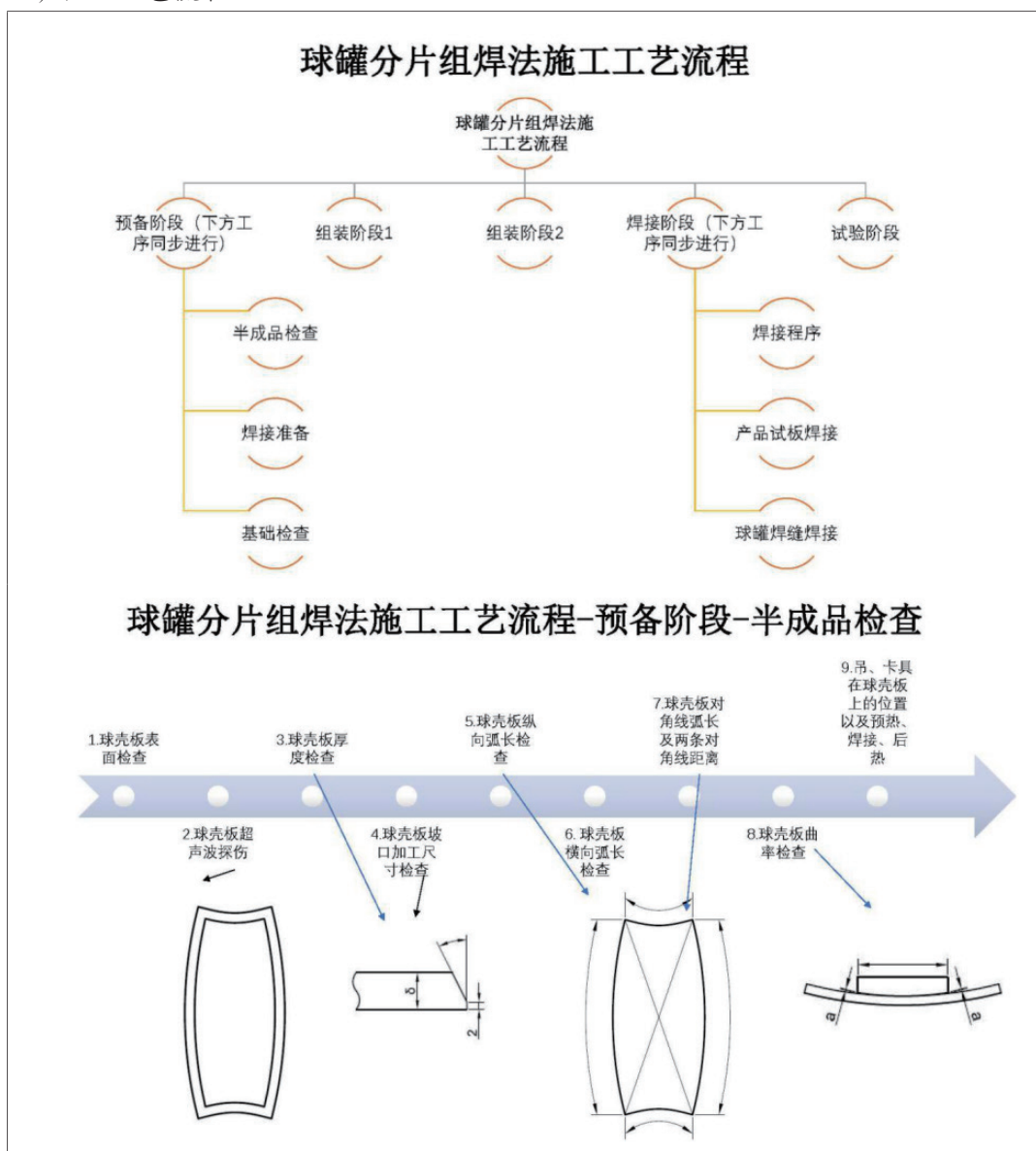
3.1 项目技术人员在开工前向施工队或班组施工人员进行施工和安全技术交底。

3.2 技术交底要全面、有针对性，内容包括：工程概况和特点、施工方法、质量标准、安全措施、环境控制措施、工期等。

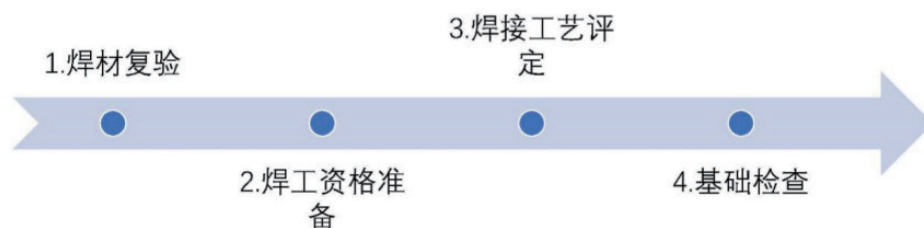
3.3 技术交底应做好书面记录（记录应包括时间、内容、交底人、参加人）并签字保存。

二、组装

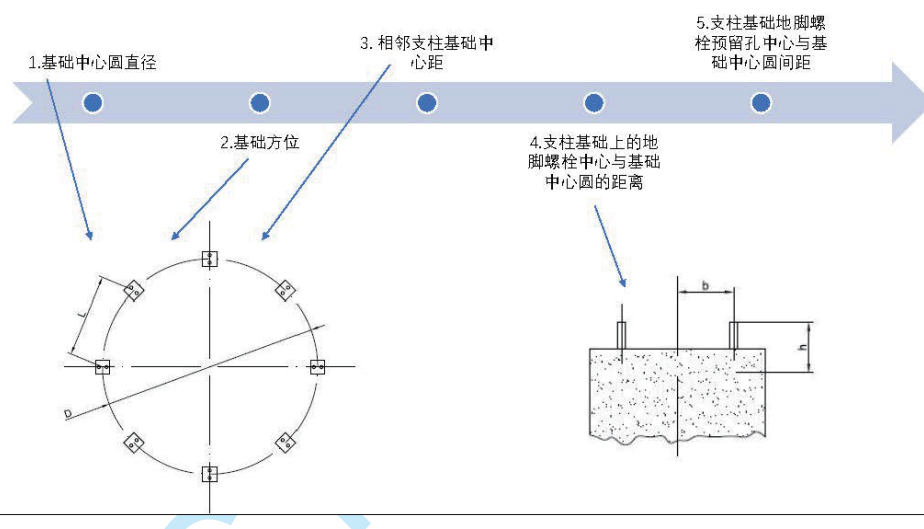
（一）施工工艺流程



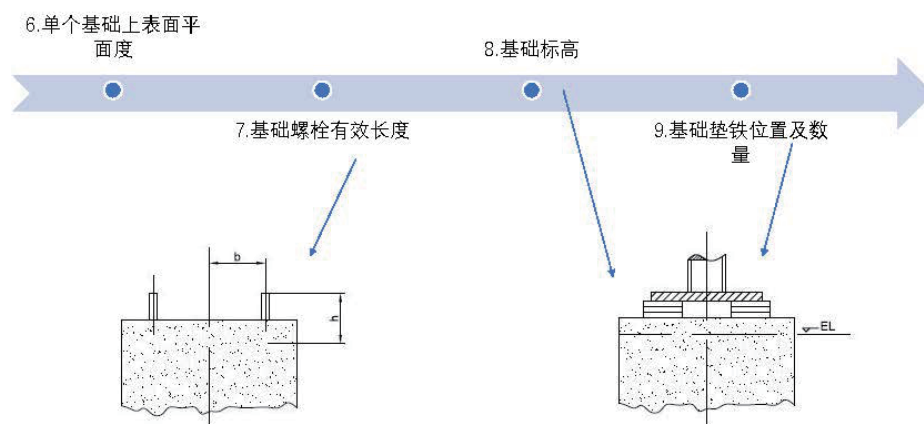
球罐分片组焊法施工工艺流程-预备阶段-焊接准备



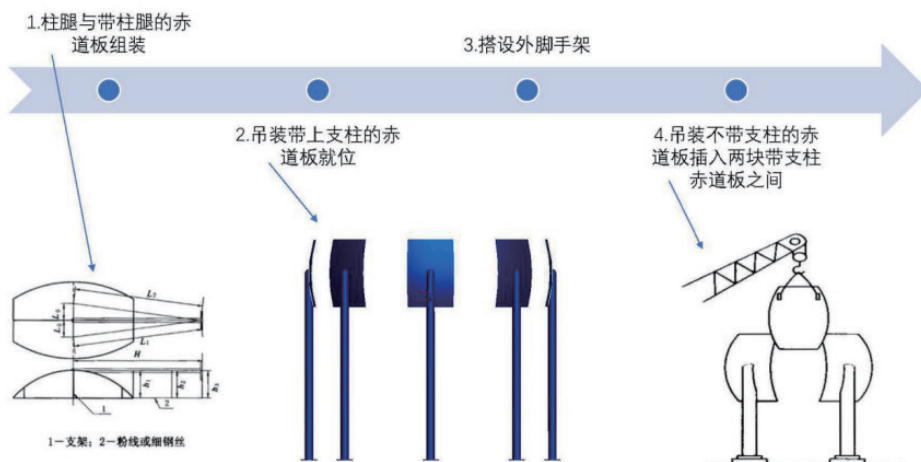
球罐分片组焊法施工工艺流程-预备阶段-基础检查



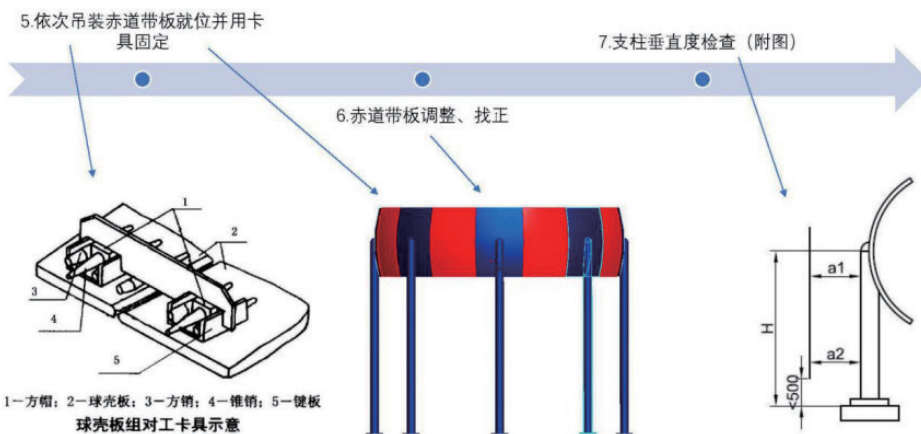
球罐分片组焊法施工工艺流程-预备阶段-基础检查



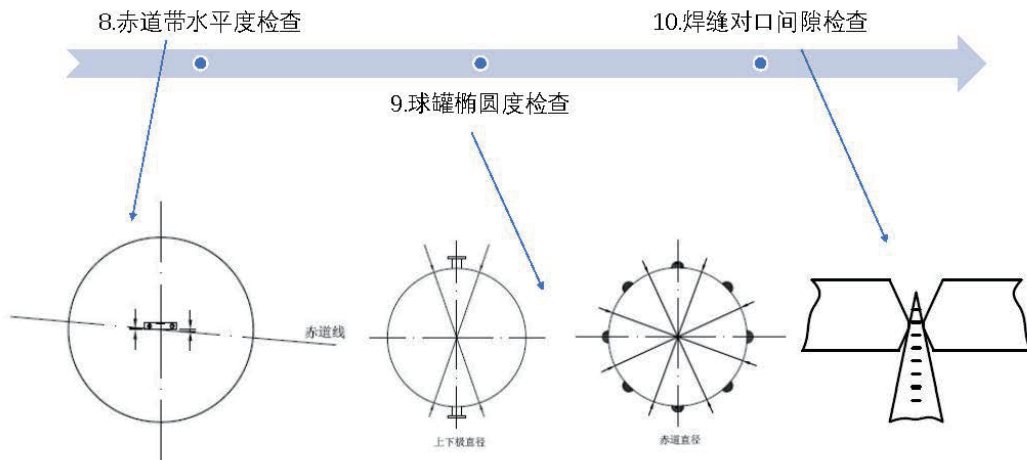
球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段1



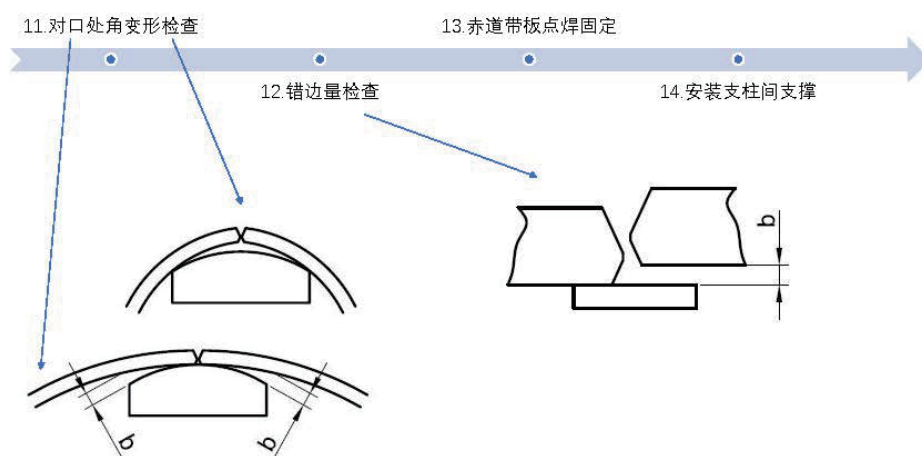
球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段1



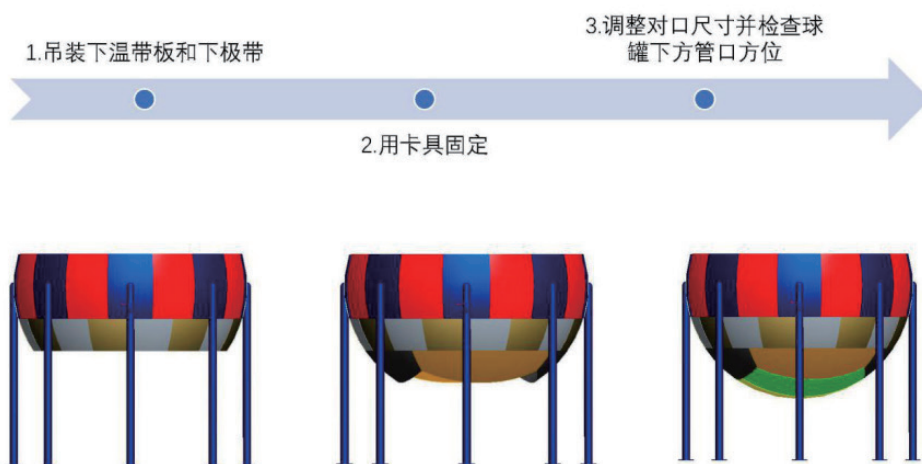
球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段1



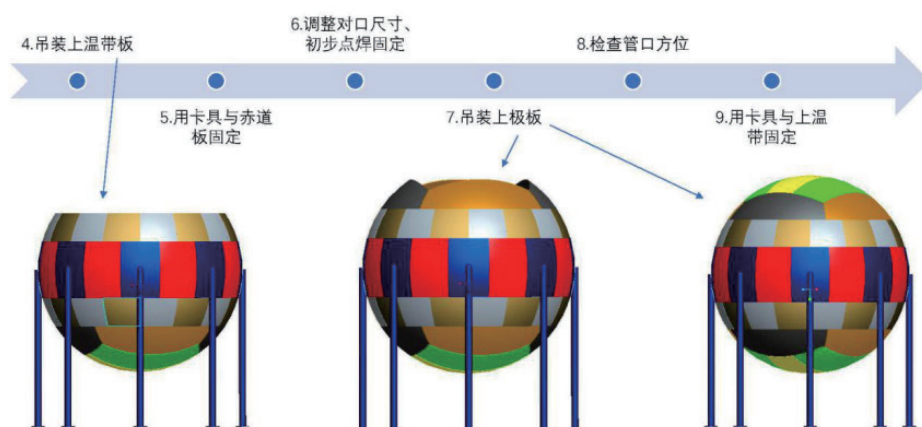
球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段1



球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段2



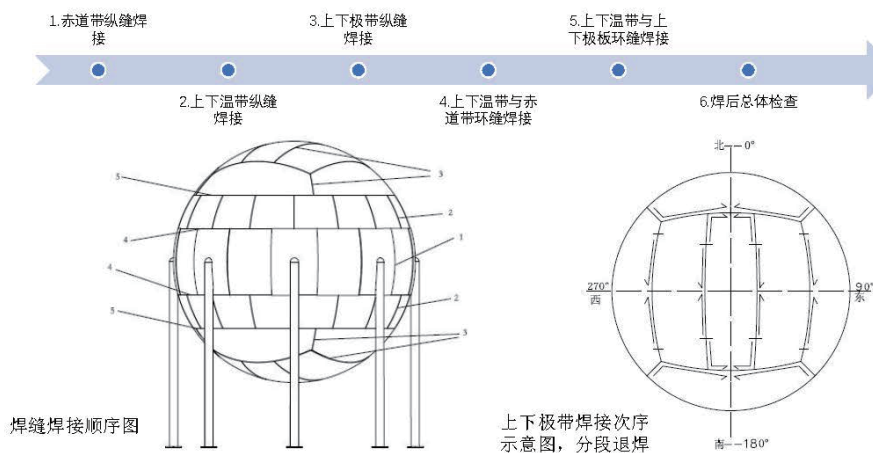
球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段2



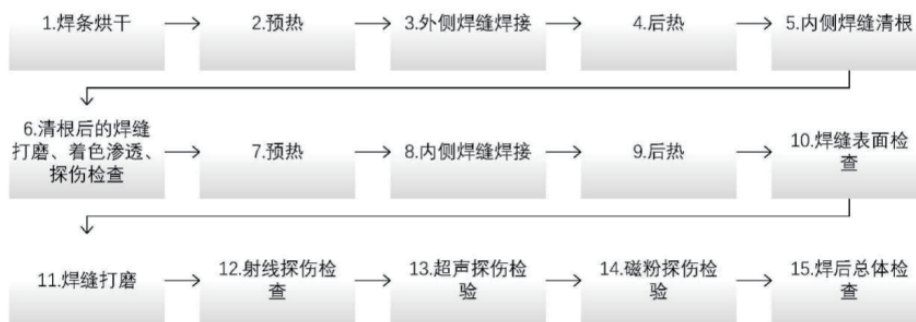
球罐分片组焊法施工工艺流程-组装阶段2



球罐分片组焊法施工工艺流程-焊接阶段-球罐焊缝焊接

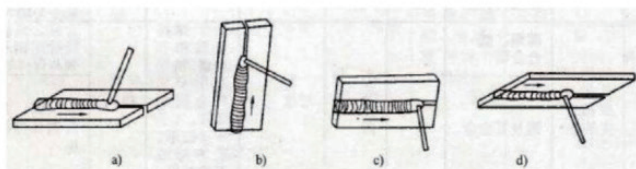


球罐分片组焊法施工工艺流程-焊接阶段-焊接程序



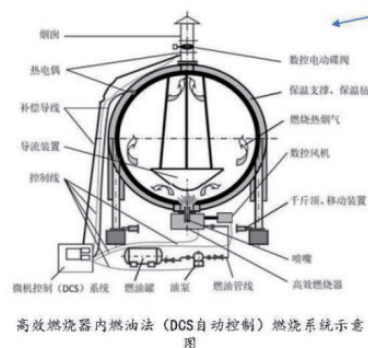
球罐分片组焊法施工工艺流程-焊接阶段-产品试板焊接

产品试板与球罐同焊工、同工艺。每个球罐3块试板代表全位置焊接，分别为a)、d) 1+4G一块试板，b) 3G一块试板，c) 2G一块试板。热处理后试板做力学性能试验。

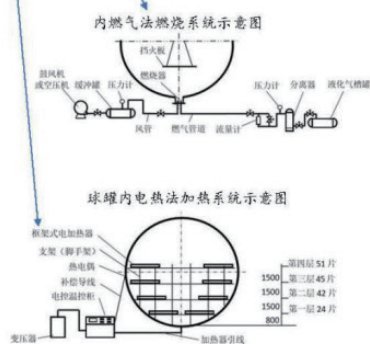


球罐分片组焊法施工工艺流程-试验阶段

1. 附件安装

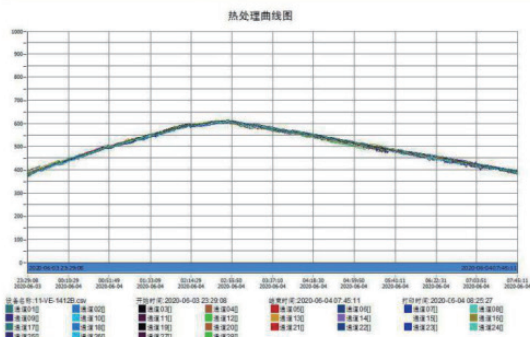


2. 焊后整体热处理

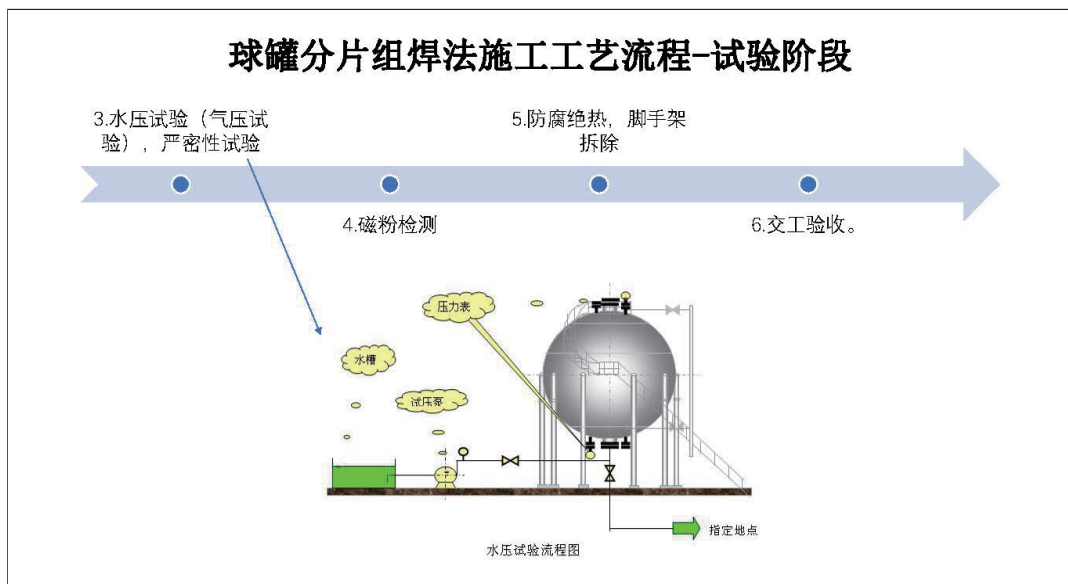


球罐分片组焊法施工工艺流程-试验阶段

1. 附件安装



2. 焊后整体热处理



(二) 基础检查验收

1. 基础应达到设计强度的 75% 以上，基础标高、方位标记和基准点应完整清晰，基础的尺寸偏差应符合下表 27-5 的要求：

表 27-5 基础的尺寸偏差要求

序号	项目			允许偏差
1	基础中心圆直径 (D1)	球罐容积< 1000m ³		± 5mm
		球罐容积≥ 1000m ³		± Di/2000mm
2	基础方位			1°
3	相邻支柱基础中心距			± 2mm
4	支柱基础地脚螺栓中心与基础中心圆的间距			± 2mm
5	支柱基础地脚螺栓预留孔中心与基础中心圆的间距			± 8mm
6	基础标高	采用地脚螺栓固定的基础	各支柱基础上表面的标高	-Di/1000mm, 且不低于 -15mm
			相邻支柱的基础标高	4mm
		采用预埋地脚板固定的基础	各支柱基础地脚板上表面标高	-3mm
			相邻支柱的基础标高差	3mm
7	单个支柱基础上表面的水平度	采用地脚螺栓固定的基础		5mm
		采用预埋地脚板固定的基础地脚板		2mm

注：Di 为球壳设计内直径，mm

2. 预留地脚螺栓孔的基础或现场安装地脚滑板的基础，按放样直径在基础上画圆，并按支柱数等分，画出滑板安放的十字中心线，铲平基础墩并加垫铁（或水泥砂浆垫墩），放上滑板，固定地脚螺栓。滑板的十字中心线与基础墩十字中心线对齐，然后测量高差并进行调整，要求所有滑板上平面绝对高差 ≤ 4mm，相临两柱墩上滑板的高差为 ± 2mm。

3. 基础灌浆混凝土达到规定强度后，重新在基础滑板上画线放样，标出十字中心线，打上样冲。

4. 垫铁的安装

4.1 需二次灌浆的设备基础表面应铲出麻面，麻点深度一般不小于 10mm，密度以每平方分米 3 ~ 5 点为宜。

4.2 放置垫铁处的基础表面应铲平，每组垫铁水平度允许偏差为 2mm/m。

4.3 在地脚螺栓两侧各放置一组，每个支柱的垫铁不得少于四组，相邻垫铁组间距不应大于 400mm。

4.4 直接承受负荷的垫铁组，应使用成对斜垫铁，其搭接长度不小于全长的 3/4，偏斜角度不超过 3° ，每组垫铁不超过 4 块。垫铁组高度一般为 30 ~ 60mm，斜垫铁下面应有平垫铁。

4.5 每组垫铁均应放置整齐平稳，接触良好，垫铁表面油污等应清理干净；支柱及赤道板找正找平后用 0.25Kg 小锤检查，各组垫铁应被压紧。垫铁露出底板边缘 10 — 20mm 为宜。

5. 水泥砂浆垫墩施工

5.1 支柱基础表面设置垫墩前，应当将基础表面铲成麻面，水冲洗干净，使用不低于 1:2 质量比的水泥砂浆在基础上表面堆砌垫墩，高度一般要求 50 ~ 80mm，然后在水泥沙墩顶部埋设平垫板。

5.2 用钢板尺、水平仪、水平尺检查基础圈垫板上表面，其顶部标高与球罐底板下表面的设计标高相同，允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ，垫板的水平度允许偏差不得大于 2mm/m。

5.3 将砂浆墩上部垫板四周抹成 45° 的边坡，进行养护，达到设计强度 75% 以上后方可安装支柱。

5.4 钢垫板安装前应当将同砂浆接触面的表面油污、铁锈、油漆等杂物清理干净，钢板同砂浆墩之间应当垫平垫牢。

6. 需要进行焊后整体热处理的球罐，支柱底板与垫铁之间或水泥砂浆垫墩之间应当设置滑动垫板，垫板同底板之间涂抹润滑脂。

(三) 支柱组对安装

1. 支柱组对安装

1.1 整体支柱组对安装

1.1.1 在已抄平的小平台上放出实样，赤道板放置平台上并找平，球罐支柱组对允许偏差见下图 (6) 和下表 27-6 所示。

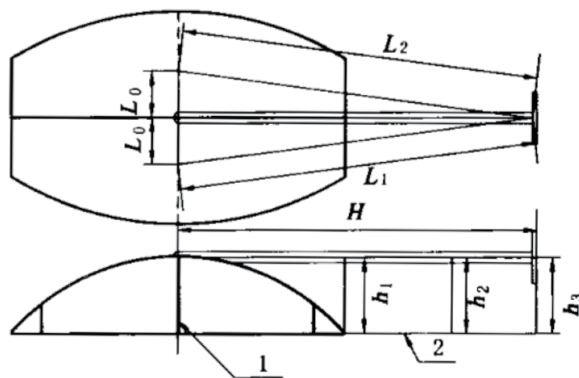


图 (6) 支柱组对示意图

1— 支架；2— 粉线或细钢丝

表 27-6 球罐支柱组对允许偏差

序号	检查项目	允许偏差 (mm)
1	支柱底板下表面到赤道线距离 H	± 3
2	支柱直线度	3
3	支柱与赤道带板轴线的平行距离 L1-L2	2
4	支柱中心线与赤道带四角所在平面的距离 h1、h2、h3 之间的偏差	2

注：取图中 $L0 \geq 500\text{mm}$

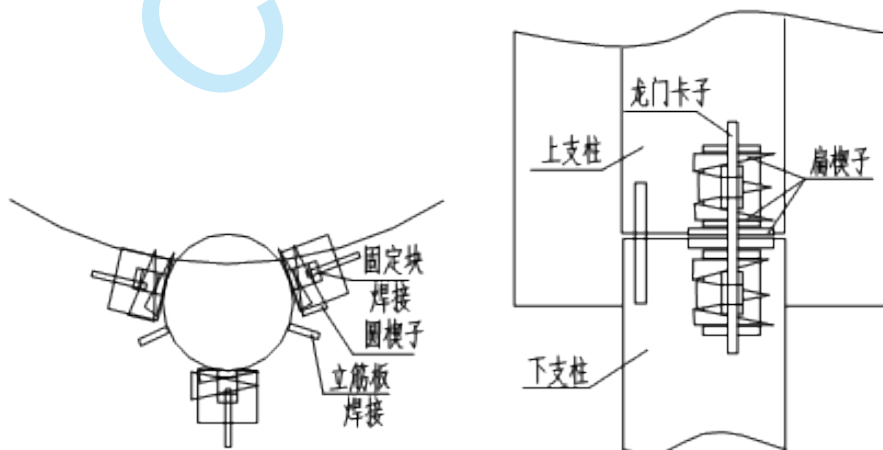
1.1.2 支柱与赤道带板的相贯线组对后，检查相贯线处支柱与赤道板之间的间隙，偏差不得大于 2mm。

1.1.3 组对后，对支柱与球壳板间的焊缝进行加固焊接，支柱下托板覆盖的焊缝全部满焊，焊角高度应满足图纸要求；其余未覆盖焊缝处的焊接要求为每隔 100mm，焊接 100mm 长。焊接过程中应随时监控支柱的变形，如发现支柱与球壳板轴线的平行度不能满足要求，应及时改变焊接顺序进行矫正。组装焊接下托板，焊角高度按图纸要求。相贯线焊接按照焊接工艺要求进行，严格控制焊接电流，焊后按设计要求进行无损检测。

1.2 分段支柱的安装

1.2.1 按照基础中心圆的位置安装支柱的下端，使用经纬仪或线坠找正支柱，用卡具固定支柱。

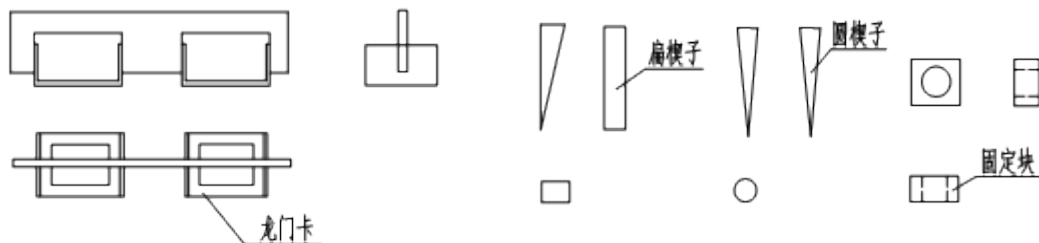
1.2.2 先将带上支柱的赤道带板吊装到安装好的下支柱上，操作人员站在搭设好的脚手架上，使用工卡具调整上下支柱连接口，经仔细调整测量准确就位后，操作人员用大锤将工卡具砸牢稳固好，可以在上、下支柱连接处设置立筋板焊牢，防止连接口移动，几何参数超标，影响组装质量，待球罐整体组装完后在对上、下支柱连接口进行整体焊接。吊装就位的支柱赤道带板，上口使用钢丝绳和手拉葫芦在赤道带板的径向内外各设置一根锚固绳，封牢固吊装好的赤道带支柱板，然后用同样的方法吊装相邻的赤道带支柱板，待第二块赤道带支柱板吊装好后，如果上拉耳设置在上支柱上，地面操作人员要迅速将两支柱间的拉杆安装拉好，注意控制好两张带支柱的赤道带板之间的上中下尺寸，准备好吊装两板之间的插板。（图示）



上下支柱连接调整图示

2.4 吊装吊耳、组装卡具的安装

2.4.1 组装工卡具包括固定块、龙门卡、圆楔子、扁楔子等。



工卡具图示

2.4.2 球壳板安装前应当焊接吊耳；吊耳按照标准选用，否则应当经过强度校核。组装卡具方块按照球壳板拼接缝对应的位置焊接。球壳板在组装前，应当对每块球壳板和焊缝进行编号，球壳板的编号宜沿着球罐 0° 、 90° 、 180° 、 270° 、 0° 进行编排，编号为 1 的球壳板应当排在 0° 或紧靠 0° 向 90° 方向偏转的位置上。

2.4.3 固定块的数量和间距应根据球壳板的长度和厚度的确定，纵向间距宜为 1.1 ~ 1.3m，环向间距宜为 0.5 ~ 0.8m，固定块与球壳板边缘的间距按卡具的中心距确定。

2.4.4 吊点、卡具布置在方便组装吊装的位置。

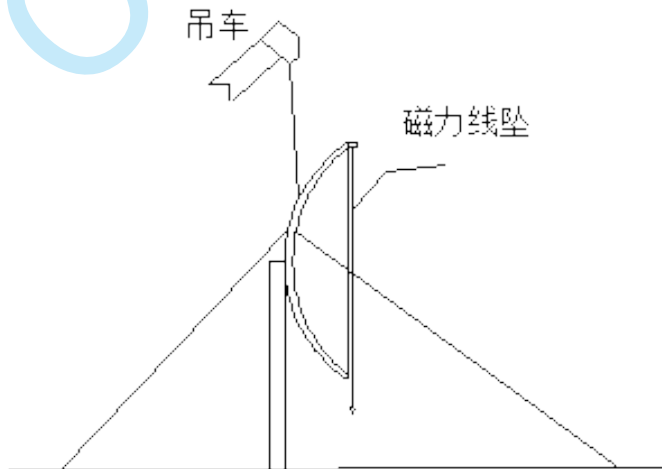
2.4.5 焊接吊、卡具应当执行合格的焊接工艺评定，需要预热、后热的必须进行焊前预热和后热；

2.4.6 球壳板与吊卡具焊接前应当将焊接处的油漆、铁锈清理干净。

2.5 赤道带的组装

2.5.1 第一块赤道板的吊装

将初步焊接完成的第一块带支柱赤道带板吊到基础地脚板上，对准地脚板上的十字中心线。上端暂用拖拉绳拉住，内外拉绳拴住球壳板上的吊点，保证起吊平稳安全，通过倒链调整支柱与地面的垂直度，以确保整体就位之后的垂直度和水平度。见图（7）所示。



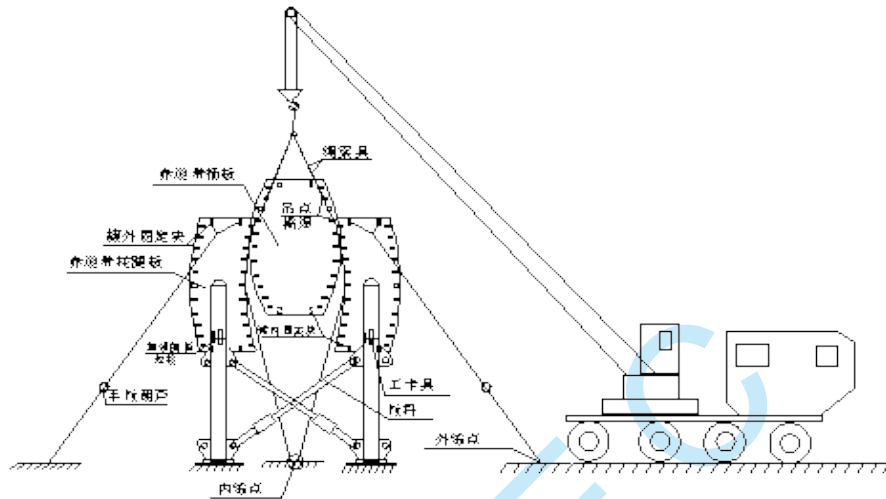
图（7）赤道板的吊装

2.5.2 第二赤道板的吊装

第二赤道板的吊装方法与第一块相同,安装在相邻的另一个基础上。并安装好两柱之间的拉杆。

2.5.3 第三块赤道板的吊装

第三块赤道板安装在装好的的两块带支柱的赤道板中间,然后通过悬挂式脚手架进行组装,吊入时应缓慢平稳,以防将球壳板的坡口碰伤,吊装到位后,找平上下边缘,同时卡上龙门卡具,组装间隙保持 1—4mm,定位完成后,把相邻两支柱的拉杆安装好。如下图(8)所示:



图(8) 赤道带吊装示意图

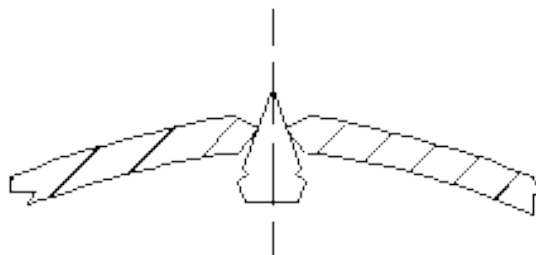
2.5.4 其他赤道板的吊装顺序是:装一块带支柱的赤道板,插入一块不带支柱的赤道板,直至装完,装配方法与前三块相同。

2.5.5 赤道带组装完后,应对本阶段组装质量进行曲率、对口间隙、错边量、圆度和水平度的检查,并根据检查结果,进行必要的调整,以保证整体受力均匀、稳定的状态。

2.5.6 定位焊时,必须按制定的焊接工艺进行,并按要求对坡口进行清理和预热,采用的焊条与施焊时所采用的焊条相同,并按要求进行烘干和发放。

2.5.7 球壳板组装间隙、错边量和棱角度要求:

2.5.7.1 采用焊条电弧焊时,组对间隙宜为 $2 \pm 2\text{mm}$,采用药芯焊丝气体保护焊时,组对间隙宜为 $3 \pm 1\text{mm}$;采用其他焊接方法时,其组对间隙应由焊接工艺评定确定,球壳板对口间隙检测见图(9)所示。



图(9) 球壳板对口间隙测量

2.5.7.2 球壳板组对错边量 b 不应大于球壳板名义厚度的 $1/4$ ，且不大于 3mm ，当组对的两板厚度不相等时，不应计入两板厚度差值。错边量 $\leq t/4 + |t_2 - t_1|$ ，且不大于 4mm 。

2.5.7.3 用弦长不小于 1 米的样板检查球壳板组装后的棱角度（见下图（10）所示），并按照下列公式计

算：

$$E = l_1 - l_2$$

$$l_2 = |R - R_0|$$

式中：

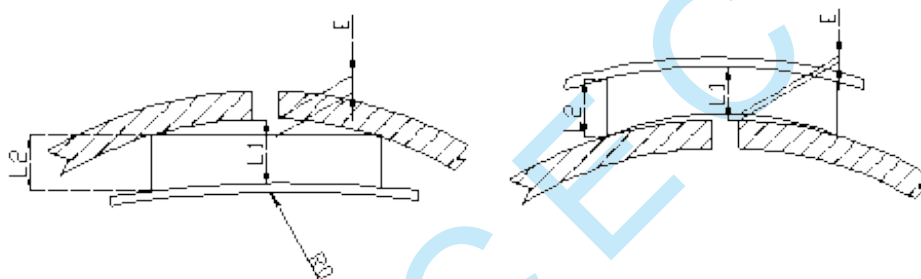
E ——对口棱角 mm

l_1 ——球壳与样板的最大距离 mm

l_2 ——球壳设计内径或外半径与样板曲率半径的距离 mm

R ——球壳的设计内半径或外半径 mm

R_0 ——样板的曲率半径 mm



图（10）样板检查棱角度

2.5.7.4 球罐赤道组装后，每块赤道板的赤道线水平偏差不宜大于 2mm ；相邻的两块球壳板的赤道线水平偏差不宜大于 3mm ；任意两块球壳板的赤道线水平偏差不宜大于 6mm 。

2.5.7.5 赤道带组装成环后，应当进行找正，使装配尺寸达到要求，赤道带组装检查要求见下表（27-7）所示。

表 27-7 赤道带组装检查要求

序号	检查项目		允许偏差
1	支柱垂直度	$H \leq 8000\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$
		$H > 8000\text{mm}$	$0.15\%H$ ，且不大于 15mm
2	赤道带水平度		$\pm 3\text{mm}$
3	赤道带椭圆度及内径		$\leq 0.3\%D_i$ ，且不大于 50mm
4	对口棱角度		$\leq 7\text{mm}$
5	对口错边量		$t/4$ ，且不大于 3mm

注：H 为支柱高度，t 为球壳板厚度

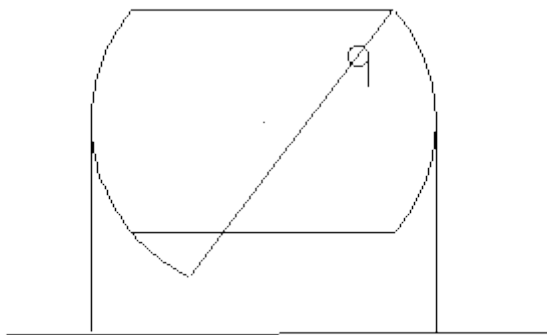
2.5.7.6 赤道带组装检查合格后，调整拉杆挠度，对于采用刚性拉杆的支柱，在支柱组装合格后，进行拉杆的预组装，使拉杆的对口间隙符合设计要求后，方可焊接，焊接采用对称焊接。

2.6 温带及极板的组装

目前中心柱组装法已逐步淘汰，在此只介绍无中心柱组装工艺。

2.6.1 下温带的吊装

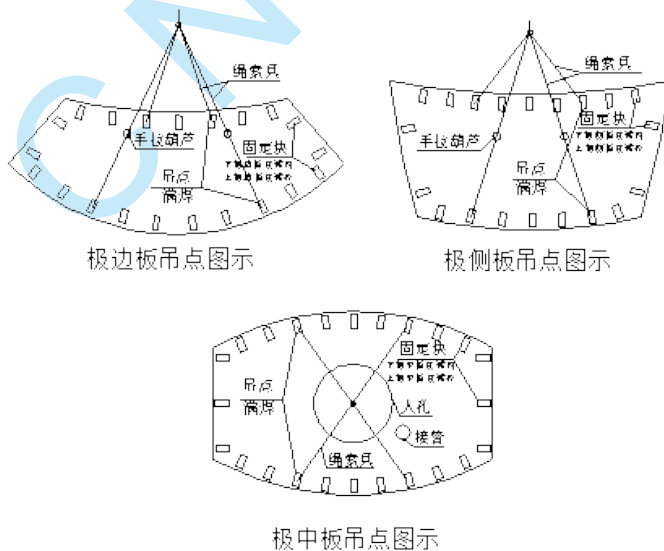
赤道带装完后，即开始下温带的吊装。吊装温带板用倒链斜拉至赤道带下口，打好工卡具，使用拖拉绳在赤道带上口外壁吊耳打上卡子固定。当温带板安装到一定的数量后，可逐步撤除前面的斜拉索，直至全部撤掉。吊装时要注意方位，打好龙门卡，经检查合格后，进行定位焊，定位焊的要求与赤道板的定位焊相同。见图（11）所示。

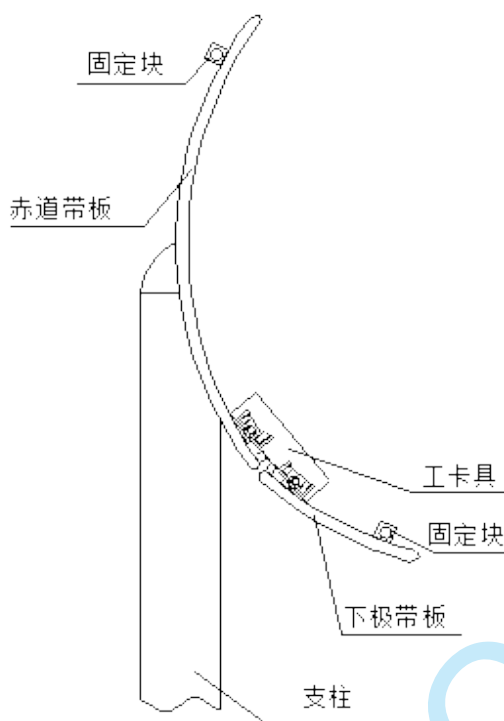


图（11）下温带的吊装

2.6.2 下极带板的吊装

吊装下极带板同样用倒链斜拉至赤道带上，同时要注意管口方位，上口同下温带下弦用龙门卡打好，下弦使用倒链、钢丝绳同赤道带外壁吊耳连接，经检查合格后，进行定位焊，定位焊的要求与下温带板的定位焊相同。下极中板留到球罐主体焊接量完成后再安装，以保证罐内的通风良好。另现在球罐设计中一般不设温带，而直接设置上下极板，上下极板分为极边板、极侧板、极中板。如下图（12）所示：

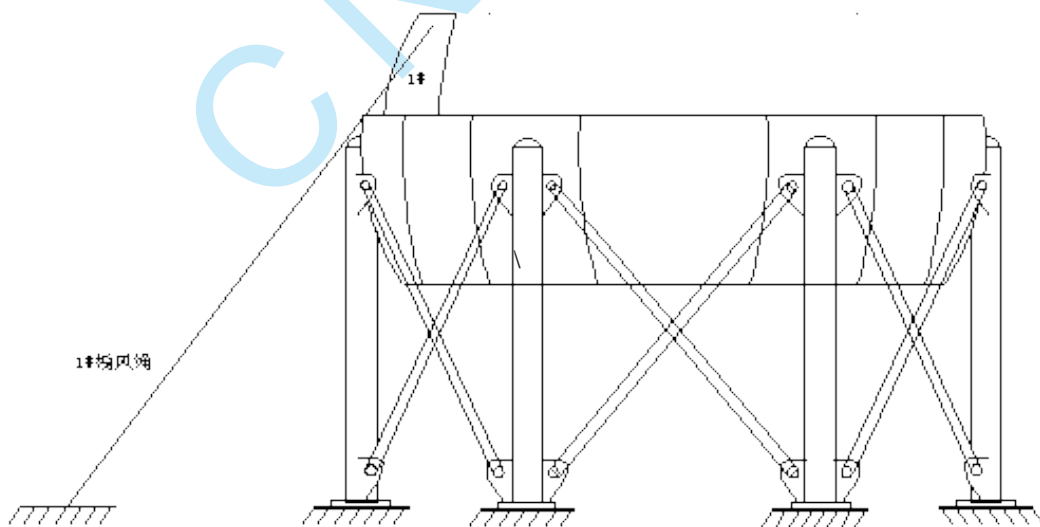




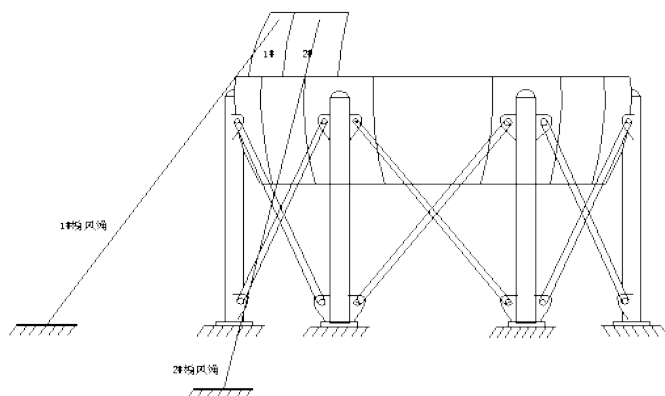
下极带边板连接组装(图示)

2.6.3 上温带的吊装

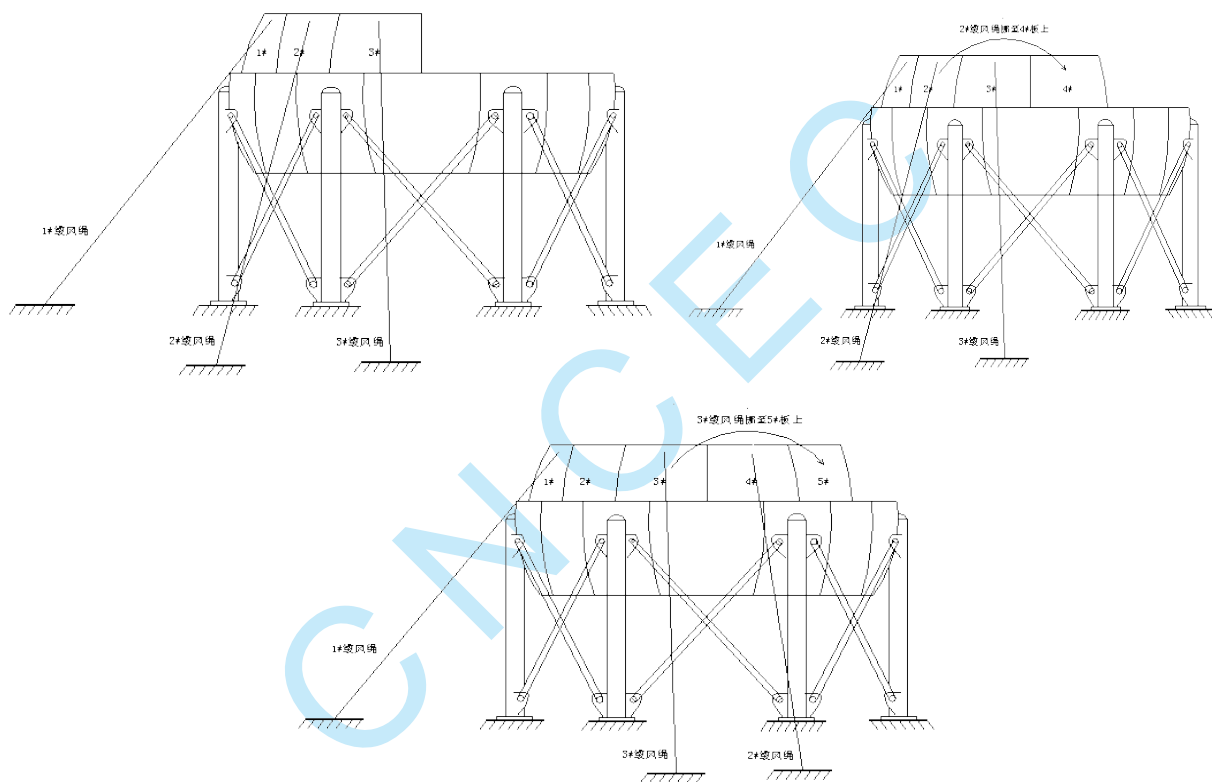
先吊装 1# 板, 就位后用卡具将上赤道带大边与赤道带上口连接固定, 小边利用拖拉绳调整角度, 并控制好上赤道带板与赤道带板的相对位置, 调整好上赤道带板与赤道带板的曲率, 用 1# 缆风绳固定, 不令其晃动, 如下图 (13)。



吊装 2# 板, 吊装前将缆风绳固定在球壳板上, 就位后用卡具将上赤道带大边与赤道带上口连接固定, 然后用工卡具和相邻的上赤道带板连接固定, 拉紧 2# 缆风绳。如下图 (14)。



2# 板固定好后，吊装 3# 板，3# 板的固定方式同 2# 板，3# 板固定好后，松掉 2# 缆风绳，将缆风绳挪到 4# 板上拉紧，4# 板固定好后将 3# 缆风绳挪到 5# 板上。如下图（15）



依次按照上述步骤组装剩余上赤道带板，上赤道带组装成型后才能松掉 1# 缆风绳，之后调整球壳板对口间隙、错口、棱角度。

2.6.4 上极带板的吊装

上极带的吊装与下极带吊装基本相同，吊装第一块上极边板时，将上极边板的下口与上温带板的上口对接，操作人员要迅速使用工卡具和大锤，将上极边板稳固在赤道带板的上口，并调整好上极边板与赤道带板的位置，为了防止上极边板平移，可以在极边板与赤道带板对接缝处选择合适的位置进行点固焊。为了防止因自重和震动上极边板向下滑动，可以在环缝的垂直方向选择合适的位置设置立筋板焊牢，其它上极带板也用相同的方法依次吊装。

上极带板吊装时，也要注意自重的下垂趋势，因此横向对接缝调整间隙收口宜偏大。上极边板吊装完后，要先调整小纵缝，在调整与赤道带对接的环缝，然后吊装上极侧板和中板。

三、焊接

3.1 球罐的焊接顺序及原则

先纵缝，后环缝，先大坡口一侧，后小坡口一侧；先赤道带，再下、上边板然后极板。球罐焊接应遵循“多焊工，均匀分布，同工艺，等速度”的原则。

3.2 定位焊（点焊）

3.2.1 定位焊在焊缝调整后进行，定位焊接前应当经过检查员检查确认，定位焊宜焊在正式焊道的第一层，其引弧和熄弧都应在坡口内。对于有预热要求的材料，应在焊缝两侧 150mm 范围内预热，预热温度应符合工艺评定要求。

3.2.2 壳体结构的点固长度一般为不小于 80mm，间距 300–500mm，焊肉厚度约 6mm。

3.2.3 定位焊工艺参数应按焊接工艺评定的参数值执行，焊接材料与球罐焊接材料同批号。

3.2.4 球壳板的点焊位置应当在打底焊道的背面，以方便在清根时清除点焊焊肉。防止点焊处的产生不合格缺陷。

3.2.5 对于临时与球壳板焊接的工装卡具的焊接，应当按照焊接工艺卡的规定进行，焊接材料与球罐焊接材料同批号。

3.3 球壳板的焊接

3.3.1 赤道带及纵缝等长焊缝可分为多段进行焊接。每道焊缝宜采用分段退焊法。

3.3.2 遵循“多焊工，均匀分布，同工艺，等速度”的原则，焊工的分布按照对称均布的原则，每次各焊工施焊长度必须相同，施焊速度应当相同。为了保证球壳主体焊缝在组焊过程中的可靠性，在改变焊接工位之前，该条焊缝最少焊两层以上且焊至末端。

3.3.3 引弧采用回焊法，在焊道前方引弧，然后拉回到焊接处焊接，严禁在坡口外引弧。

3.3.4 纵焊缝焊接

3.3.4.1 第一层（打底层），相对整条焊缝采用分段倒退向上焊接，其余各层填充与第一层运条方向一致。焊接时注意防止未焊透及咬肉等缺陷产生。每层焊接表面应填平或呈凹形，这样便于清渣，也避免熔合不良，有利于下一层的焊接，层次之间的接头应错开。

3.3.4.2 两侧盖面前凹槽以 1–2mm 为宜，电流可比填充时稍大一些，但要避免咬边和未熔合等缺陷的产生，焊缝余高为 0–3mm，焊缝宽度应保持一致。纵缝的首末端的焊肉应达到环缝的坡口中心，待环缝焊接时，再打磨至与坡口齐平。

3.3.5 环缝的焊接

第一层焊接时，相对每位焊工分段范围内采用分段退焊，摆动不宜过大。其余各层施焊时不作摆动，采用压道焊，注意层间清除要彻底。每层间的起焊位置应错开 80–100mm，且离开丁字缝 200mm 左右。两侧盖面前凹槽深 1–2mm，其他注意事项同纵焊缝。

3.4 打底焊缝的气刨清根



3.4.1 打底焊缝在完成一面的填充盖面后,对焊缝背部进行清根,清根后应当磁粉或渗透检验,清根后的坡口形状应一致。

3.4.2 气刨的刨槽要直、光滑、深浅和宽窄一致(有缺陷处可深刨,消除缺陷为止)并经砂轮打磨,露出金属光泽并检查无缺陷方可施焊。

3.4.3 气刨时使用的电流较大,应注意防止焊机过载,防止连续使用时间过长而造成损坏焊机。

3.5 接管、柱腿及人孔环缝焊接按 GB12337《钢制球形储罐》的要求,接管及柱腿与球罐之间的焊接接头应由球壳板制造厂完成。

如因特殊原因,须在现场焊接时,应采用分段焊。每层、道要焊成封闭的环形焊道后,方可进行下一层、道的焊接,当球壳板较厚或开孔较小时,宜适当增加预热温度或扩大预热范围。层道间的要求及运条要求同环焊缝焊接。焊脚高不低于图纸上的要求尺寸。

3.6 其它结构焊接

3.6.1 其它结构焊接是指直接与球壳相焊接的结构焊接。包括附件的焊接、球罐的定位焊点补焊等。

3.6.2 梯子平台及其它附件的焊接、球罐的定位焊点补焊应当执行相应的焊接工艺卡规定。对与罐体焊接的垫板、柱腿等焊接件应当按照球罐本体焊接程序进行预热、后热。

3.6.3 与球壳板相焊的垫板及支撑件材质应与母材相同,焊接工艺应与球罐本体焊缝焊接相同,垫板及支撑件与球壳板的角焊缝四周不应进行封闭焊,应在下部焊缝处预留 10mm~20mm 不焊接。

四、检验及修补

4.1 焊缝检查

4.1.1 球罐焊接完成后,应将熔渣皮、飞溅物等清理干净,进行焊缝外观检查,并符合下列规定:

4.1.1.1 焊缝及热影响区表面不得有裂纹、气孔、夹渣、凹陷、咬边、熔合性飞溅等缺陷。

4.1.1.2 角焊缝的焊脚尺寸设计文件无规定时,应取焊件中薄者的厚度,焊缝表面应向母材圆滑过渡。

4.1.1.3 对接焊缝的宽度宜比坡口每边宽 1mm ~ 2mm。

4.1.1.4 对接焊缝余高应符合表 27-8 的要求。

表 27-8 对接焊缝余高

焊缝深度 δ	焊缝余高	
	焊条电弧焊	气体保护焊
$\delta \leq 12$	0 ~ 1.5	0 ~ 3
$12 < \delta \leq 25$	0 ~ 2.5	0 ~ 3
$25 < \delta \leq 50$	0 ~ 3	0 ~ 3
$\delta > 50$	0 ~ 3	0 ~ 3

注:单面焊焊缝深度为母材厚度,双面焊焊缝深度为坡口钝边中点至母材表面的距离,两侧分别计算

4.1.2 球壳板对接焊缝和球壳板与支柱、接管及附属结构的垫板的角接焊缝表面,均应打磨去除焊波露出金属光泽,并与母材圆滑过渡。

4.1.3 工卡具去除后的表面,不得有裂纹、气孔、咬边、夹渣、凹坑等缺陷。

4.1.4 焊缝的射线检测应按 NB/T47013.2 进行,射线检测的技术等级不应低于 AB 级。焊缝的超声检测应按 NB/T47013.3 进行,超声检测的技术等级不应低于 B 级。

4.1.5 球罐的对接焊缝应按设计文件规定的无损检测方法进行 100% 检测。

4.1.6 标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 钢制造的球罐应在焊接结束 36h 后;其他钢材制造的球罐应在焊接结束 24h 后,方可进行焊缝的无损检测。

4.1.7 对接焊缝射线检测的合格标准应符合 NB/T47013.2II 级的规定;超声检测合格标准应符合 NB/T47013.3I 级的规定。

4.1.8 射线检测或超声检测合格的焊缝,当符合下列条件之一时,应对每条焊缝采用超声或射线进行复检:

4.1.8.1 名义厚度大于 20mm,且标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa。

4.1.8.2 名义厚度大于 38mm。

4.1.8.3 设计文件规定。

4.1.9 复检比例不应少于检测焊缝长度的 20%,并应包括每一相交焊缝的交叉部位,两种检测方法的结果均应符合各自的合格标准。

4.1.10 经射线或超声检测的焊缝有不合格缺陷时,应进行缺陷清除。在焊接修补后,对焊接修补部位按原检测方法重新检测,直至合格。

4.1.11 射线检测应在球罐焊缝排板图上绘制布片示意图,并标注射线底片编号,且符合下列要求:

4.1.11.1 射线底片号应与球罐位号、焊缝编号和焊工代号相对应。

4.1.11.2 射线底片有效长度的总和不得少于焊缝总长。

4.1.11.3 射线底片的有效评片区域之间应互相衔接,不得有漏检部位。

4.1.12 射线检测的底片应有清晰的识别标记和定位标记,底片的识别标记宜由球罐位号、焊缝编号、底片编号和焊工代号构成,底片编号应符合下列要求:

4.1.12.1 纵焊缝的底片编号宜从上至下按 1、2、3……编排。

4.1.12.2 环焊缝的底片编号宜从 0° 向 90° 至 270° 方向按 1、2、3……编排。

4.1.12.3 极带水平位置的焊接宜从方位度数小的一端开始按 1、2、3……编排。

4.1.13 球罐下列部位应在球罐耐压试验前或球罐焊后整体热处理前,进行 100% 表面无损检测:

4.1.13.1 球壳板对接焊缝内、外表面;

4.1.13.2 人孔及公称直径大于或等于 250mm 接管的对接焊缝的内、外表面。

4.1.13.3 接管与球壳板焊缝内、外表面。

4.1.13.4 垫板、支柱及其他角接焊缝的外表面。

4.1.13.5 工卡具焊迹打磨后及球壳体缺陷焊接修补和打磨后的部位。

4.1.14 球罐耐压试验后,应进行表面无损检测复查,且应覆盖每名焊工施焊焊缝。当设计文件无规定时,复查比例应不小于焊缝总长的 20%,复查部位包括:



4.1.14.1 对接焊缝的交叉部位。

4.1.14.2 接管与球壳板焊缝内、外表面。

4.1.14.3 垫板、支柱及其他角接焊缝的外表面。

4.1.14.4 工卡具焊迹打磨或壳体缺陷焊接修补和打磨后的部位。

4.1.15 焊缝的表面无损检测应在射线检测和超声检测合格后，按 NB/T47013.4、NB/T47013.5 规定进行，I 级合格。

4.1.16 表面无损检测发现的缺陷应进行修磨或焊接修补，并对该部位按原检测方法重新检测，直至合格。

4.2 修补

4.2.1 一般规定

4.2.1.1 球罐施工过程中所产生的各种不允许缺陷均应进行消除。

4.2.1.2 当表面缺陷修补深度超过 3mm(从球壳板表面算起)时，应进行超声检测或射线检测。

4.2.1.3 焊后整体热处理的球罐，球壳板表面缺陷焊接修补和焊缝内部缺陷返修应在热处理前进行。

4.2.2 球壳板表面缺陷修补

4.2.2.1 球壳板表面缺陷及工卡具焊迹应采用砂轮磨削清除，磨削深度不应大于球壳板名义厚度的 5%，且不应超过 2mm。

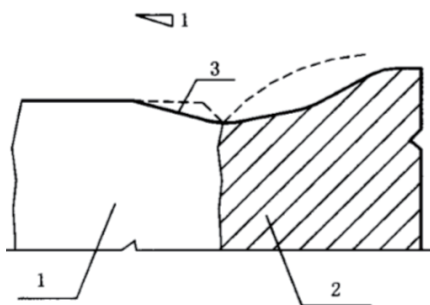
4.2.2.2 球壳板表面缺陷进行焊接修补时，每处修补面积不得超过 5000mm^2 ；当有两处或两处以上修补时，任何两处的边缘距离应大于 50mm，且每张球壳板表面修补面积总和不应大于该球壳板面积的 5%。

4.2.2.3 当划伤及加工过程产生的表面伤痕等缺陷的深度超过 2mm 且形状比较平缓时，可直接进行焊接修补；当缺陷形状不利于直接补焊时，应采用砂轮将缺陷清除后再进行焊接修补。

4.2.2.4 球壳板表面缺陷焊接修补后，焊缝表面应打磨平滑或加工成具有 1:3 及以下坡度的平滑凸面，且高度不小于 1.5mm。

4.2.3 焊缝表面缺陷修补

4.2.3.1 焊缝两侧的咬边和焊趾裂纹应用砂轮磨削清除，磨削清除的深度不得大于 0.5mm，并打磨光滑或加工成具有 1:3 及以下坡度的斜坡，如下图（16）。



图（16）焊缝咬边部分打磨成形示意

1—母材；2—焊缝金属；3—修整后的表面

4.2.3.2 咬边和焊趾裂纹等缺陷磨削清除的深度不符合(1)条的规定时,应进行焊接修补。

4.2.4 焊缝内部缺陷返修

4.2.4.1 焊缝内部缺陷返修应有经焊接责任工程师批准的返修工艺。返修工艺宜包括:

- (1) 分析缺陷产生的原因;
- (2) 确定焊接工艺及焊接工艺参数;
- (3) 选用焊材的牌号及规格;
- (4) 提出对焊工的要求;
- (5) 预防再次产生缺陷的技术措施。

4.2.4.2 焊缝返修前应用砂轮将缺陷磨削清除,并将返修处磨削成与焊缝平滑过渡的U形槽,其长度不得小于50mm。

4.2.4.3 返修处补焊时,应按返修工艺进行焊接,焊接线能量应在规定的范围内,且应取上限值。

4.2.4.4 焊接修补时,预热应以修补处为中心,并在半径为150mm的范围内预热,预热温度应取上限值。

4.2.4.5 球壳板标准抗拉强度下限值大于或等于540MPa时,在修补焊道上应加焊一道凸起的回火焊道,然后磨去回火焊道多余的熔敷金属,并使其与主体焊缝平滑过渡。

4.2.4.6 返修应有记录,其内容包括:

- (1) 返修部位和刨槽尺寸;
- (2) 焊接工艺参数(焊接电流、电弧电压、焊接速度、预热温度、层间温度、后热温度和时间);
- (3) 焊材牌号及规格;
- (4) 返修次数;
- (5) 施焊焊工。

4.2.4.7 同一部位的返修次数不宜超过2次。超次返修工艺应经施工单位技术负责人批准。

4.2.4.8 返修部位应按原无损检测方法进行无损检测,并按原合格等级评定合格。

4.2.4.9 焊后进行热处理的球罐,热处理后出现焊接返修时,返修部位应重新做热处理。

4.2.4.10 耐压试验后进行返修的部位,且其返修深度大于1/2壁厚时,应重新进行耐压试验。耐压试验过程焊接接头泄漏,应泄压后进行返修,返修部位经无损检测合格后重新进行耐压试验。

第四节 球罐热处理

一、工艺流程

(一) 内燃油法、内燃气法整体热处理工艺流程

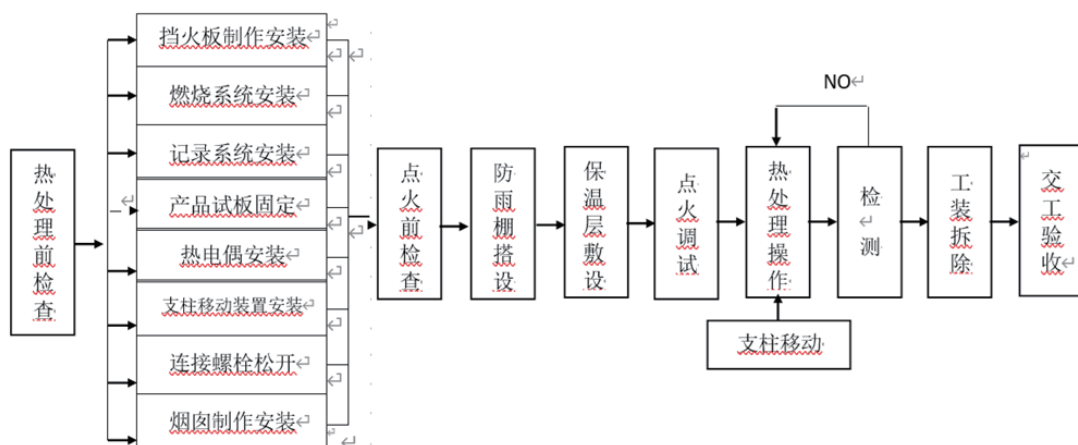


图1 内燃油法、内燃气法整体热处理工艺流程

(二) 内电热法整体热处理工艺流程

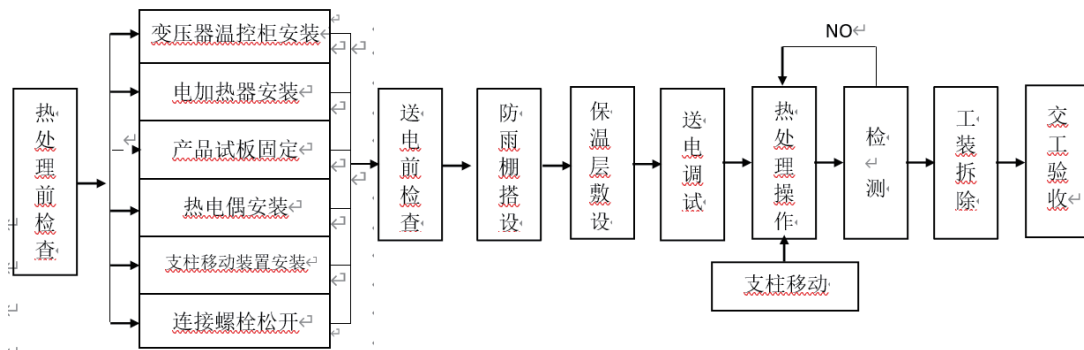


图2 内电热法整体热处理工艺流程图

(三) 球罐现场内燃油法整体热处理热工计算 (参照《石油化工球形储罐施工技术规程》SH/T3512-2011 附录D 热工计算, 供参考)

1. 加热球壳金属的有效热量

球罐壳体金属加热所需的有效热量 Q_1 , 按如下公式计算。

$$Q_1 = \frac{m(c_{sh}t_{sh} - c_i t_i)}{t}$$

式中: Q_1 ——球壳金属加热所需的有效热量, kJ/h;

m ——球壳质量, kg;

c_{sh} ——球壳在温度为 t_{sh} 时的平均比热容, kJ/kg · °C;

t_{sh} ——球壳在热处理温度区间的上限温度, °C;

c_i ——球壳在温度为 t_i 时的平均比热容, kJ/kg · °C;

t_i ——球壳在热处理温度区间的下限温度, °C;

τ ——球壳从热处理温度区间下限温度加热到上限所需的时间, h。

2. 隔热层的散热损失

隔热层的散热量 Q_2 , 按如下公式计算。

$$Q_2 = \frac{t_{sh} - t_a}{1/2\pi \sum_{i=1}^{\pi} 1/\lambda_i (1/D_i - 1/D_{i+1}) + 1/\pi D_{i+2}^2 \times a_a}$$

式中：Q₂——隔热层的散热量，kJ/h；

t_{sh}——球壳热处理温度区间上限温度，℃；

t_a——热处理现场环境温度，℃；

λ_i——球壳板及隔热材料的导热系数，Kj/m·h·℃；

D_i——球罐内径，m；

D_{i+1}——球罐外径，m；

D_{i+2}——隔热层外径，m；

a_a——隔热层对空气的总传热系数，W/m²·℃。

3. 隔热层蓄热损失

隔热层的蓄热损失量 Q₃，按如下公式计算。

$$Q_3 = \frac{m_2 c_2 (t_2 - t_1)}{\tau}$$

式中：Q₃——隔热层的蓄热损失热量，kJ/h；

m₂——隔热层的质量，kg；

c₂——隔热层的平均比热容，kJ/kg·℃；

t₁——隔热层在热处理区间初始平均温度，℃；

t₂——隔热层在热处理区间终了平均温度，℃；

τ——球壳从热处理温度区间下限温度加热到上限所需的时间，h。

4. 燃料油化学未完全燃烧的热损失

燃烧时，在空气既不过剩也不欠缺的情况下，不完全燃烧所造成的热损失为实验得出经验数据，约占燃料油高热值的 5.53%。

燃料油化学未完全燃烧的热损失 Q₄，按如下公式计算。

$$Q_4 = Q_h a \times 5.53\% B$$

式中：Q₄——燃料油化学未完全燃烧的热损失，kJ/h；

Q_h——燃料油高位热值，通常取 Q_h = 44480，kJ/kg；

α——过剩空气系数，取 α = 1.1；

B——每小时燃料油消耗量，kg/h。

5. 燃料油机械不完全燃烧热损失

燃料油由于机械不完全燃烧而损失的热量 Q₅，按如下公式计算。

$$Q_5 = K \times B \times QL$$

式中：Q₅——燃料油机械不完全燃烧损失的热量，kJ/kg；



K——机械不完全燃烧损失率，液体燃料 0.02 ~ 0.03，通常取 0.025；

B——每小时燃料油消耗量，kg/h；

QL——燃料油低位热值为 40980 ~ 42290kJ/kg，通常取 41860，kJ/kg。

6. 排出烟气所带走的热量

6.1 烟气的温度用测算法进行计算，且应满足下列条件：

$$Q_{sm} \geq Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{sm} = A_1 \alpha_{sm}(t_{sm} - t_{sh}) \times 3.6$$

式中：Q_{sm}——烟气产生的总热量，kJ/h；

A₁——球罐内表面积，m²；

α_{sm}——烟气综合传热系数，W/m²·℃；

t_{sm}——烟气温度，℃。

t_{sh}——球壳在热处理温度区间的上限温度，℃；

6.2 根据测算出的烟气温度，查表 27-9 得出烟气带走热量百分率 β 值。

计算排出烟气带走的热量 Q₆，按如下公式计算。

$$Q_6 = \beta \times Q_L \times B$$

式中：Q₆——烟气带走的热量，kJ/kg；

β——烟气带走热量的百分率，%；

B——每小时燃料油消耗量，kg/h。

表 27-9 烟气带走热量的百分率 β

加热升温速度 ℃/h	球壳板加热温度 (℃)							
	t _a ~100	100~200	200~300	300~400	400~500	500~600	600~650	625
	β %							
0	—	—	—	—	—	—	—	27
20	—	—	—	—	—	26.2	29.2	—
30	—	—	—	—	—	27.8	29.8	—
40	8	12	15	19	23	27.9	30	—
50	9	12.8	16	19.3	23.2	28	30.5	—
60	10	13	16.2	19.8	23.5	—	—	—
70	11	13.5	17	20	23.8	—	—	—
80	12	14	17.5	20.2	24	—	—	—

排出烟气带走的热量也可用下列公式进行计算。

$$Q_6 = (1 - K)BV_{aC_{sm}}(t_{sm} - t_a)$$

$$V_a = 0.27 \times 10^{-5} Q_L + (a - 1) L_0$$

式中：Q₆——烟气带走的热量，kJ/kg；

K——机械不完全燃烧损失率，液体燃料 0.02 ~ 0.03，通常取 0.025；

B——每小时燃料油消耗量，kg/h；

t_{sm}——烟气温度，℃；

t_a ——热处理现场环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

V_a ——单位燃料生成气量, Nm^3/kg ;

c_{sm} ——烟气平均比热容, $\text{kJ}/\text{Nm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

Q_L ——燃料油低位热值为 $40980 \sim 42290 \text{kJ}/\text{kg}$, 通常取 41860 , kJ/kg ;

α ——过剩空气系数, 取 $\alpha = 1.1$;

L_0 ——燃烧理论空气量, kg/kg 。

7. 热处理燃料油的需要量

7.1 热处理过程所需的总热量 ΣQ , 按如下公式计算。

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

式中: ΣQ ——热处理过程所需总热量, kJ/kg 。

7.2 热处理过程所需要燃料油量按如下公式计算。

$$\Sigma Q = 41860B$$

式中: B ——每小时燃料油消耗量, kg/h 。

(四) 球罐现场内电加热法整体热处理热工计算 (供参考)

1. 球罐内电加热支撑材料的吸热量 Q_7 按如下公式计算。

$$Q_7 = M_z \cdot C_z \cdot (t_{sh} - t_a)$$

式中: Q_7 ——支撑材料的吸热量, kJ/kg ;

M_z ——支撑材料质量, kg ;

C_z ——支撑材料的平均比热容, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

t_{sh} ——球壳在热处理温度区间的上限温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_a ——热处理现场环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

2. 升温阶段所需时间 T 按如下公式计算。

$$T = (t_{sh} - t_a)/V$$

式中: T ——升温阶段所需时间, h ;

t_{sh} ——球壳在热处理温度区间的上限温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_a ——热处理现场环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

V ——升温速率, $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

3. 升温阶段平均每小时所需热量 Q_j , 按如下公式计算。

$$Q_j = \Sigma Q/T$$

式中: Q_j ——升温阶段平均每小时所需热量, kJ ;

ΣQ ——热处理过程所需的总热量, kJ ;

T ——升温阶段所需时间, h 。

4. 每小时所需热量 (能) 转换成电功率 N_o , 按如下公式计算。

$$N_o = Q_j / (0.24 \times 3600)$$

式中：No——升温阶段每小时所需热量（能）转换成电功率，kw；

Qj——升温阶段平均每小时所需热量，kJ。

5. 实际操作所需电功率 N，按如下公式计算。

$$N = N_o \cdot \eta$$

式中：No——升温阶段每小时所需热量（能）转换成电功率，kw；

η ——调整系数，一般取 1.1 ~ 1.2。

由于热以各种方式传递，球罐并非是一个理想的空心球。以上热工计算公式仅供参考使用。

二、工艺操作过程

（一）工艺方法

1. 内燃油（气）法是以燃油或燃气为燃料，压缩空气为雾化剂、助燃剂，通过自动控制的燃烧器燃烧，同时自动调节燃油或燃气、空气，使其连续稳定燃烧，烟气由装在上极人孔带蝶阀的烟囱排出。燃烧所释放的热量对球罐进行加热。

2. 内加热法采用远红外电加热器加热，通过自动或手动控制对球罐进行加热。

（二）操作程序及技术要求

1. 挡火板制作安装（用于内燃油法、内燃气法整体热处理）

挡火板用钢板制作，挡火板悬吊高度应与球罐容量适应；挡火板悬吊参考高度 H：

$$H = \Phi / 6 + h$$

式中： Φ ——球罐内径，m。

h——高度修正系数，见下表 27-10 所示：

表 27-10 挡火板悬吊高度修正系数

球罐容积 (m^3)	120	200	400	650	1000	2000
h (m)	1.74	1.55	1.17	0.90	0.60	0.20

2. 加热系统安装调试

球罐现场整体热处理加热系统根据加热的方法来确定。内燃油法包括霍克喷嘴内燃烧器、高效燃烧器（DCS 自动控制）；内燃气法为自制液化石油气燃烧器；内电加热法为电加热器。

2.1 霍克喷嘴燃烧器内燃油法燃烧系统安装调试

2.1.1 霍克喷嘴燃烧系统由霍克喷嘴燃烧器、燃油泵（一用一备）、流量计、压力计、助燃压缩空气系统、储油箱（容积为计算总耗油量 1.5 倍以上）、燃油管道组成，见图 3 所示。

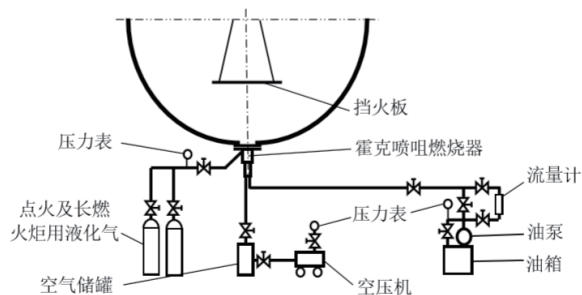


图 3 霍克喷嘴燃烧系统示意图

2.1.2 霍克喷嘴燃烧器由霍克喷嘴、内外风筒、点火既长燃火烛、联接和调节装置组成, 见图4所示。

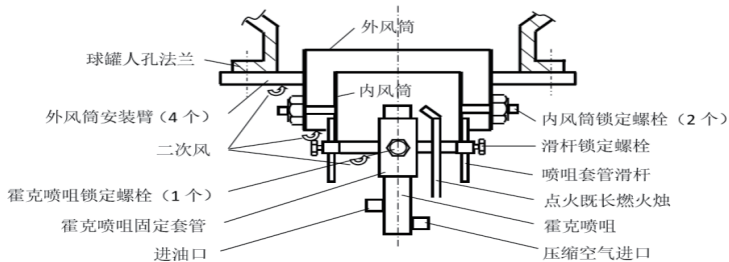


图4 霍克喷嘴燃烧器示意图

2.1.3 燃烧器应在球罐底部人孔中心位置垂直安装。

2.2 高效燃烧器内燃油法（DCS 自动控制）燃烧系统安装调试

2.2.1 高效燃烧器内燃油法燃烧系统由自动控制（DCS）系统、高效燃烧器、供油系统（油泵、容积为计算总耗油量 1.5 倍以上的燃油罐、管道）、数控风机、点火装置、数控电动蝶阀、导流装置（挡火板）、报警器等组成。见图5所示。

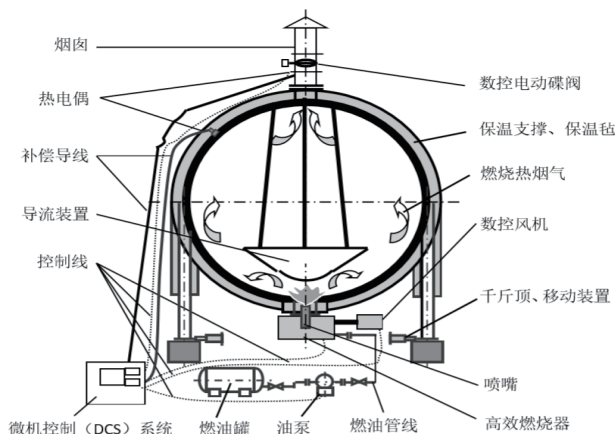


图5 高效燃烧器内燃油法（DCS 自动控制）燃烧系统示意图

2.2.2 高效燃烧器为工业高效燃烧器（喷嘴），采用 DCS 控制系统对热处理燃烧过程进行智能化控制。在燃烧过程中，可调节燃烧器的输出功率（OP 值），使燃烧器比例调节器动作，达到所需的燃烧值，以满足工艺要求。

2.2.3 高效燃烧器上配备比例调节器，由 1 个凸轮盘机构和 1 个球罐热处理二次进风的专用风门构成，在自动状态下，比例调节器通过仪表的电信号进行风油比例调节，在自动调整仪表损坏的情况下，也可手动调节。

2.2.4 点火装置由光敏电阻和点火电极构成，当燃烧器正常燃烧时，强光照射光敏电阻，使光敏电阻阻值趋向无穷大，整个点火装置没有电流通过，此时不进行点火操作。相反的时候，光敏电阻阻值趋向无穷小，使点火电极得电产生火花，点燃雾化燃油，保证燃烧器持续稳定燃烧。

2.2.5 燃烧器设置在球罐底部人孔法兰下。

2.3 内燃气法燃烧系统安装调试

2.3.1 内燃气法燃烧系统由燃烧器、电点火器、液化气槽罐、调节 / 控制阀组、减压 / 安全阀、

鼓风机（或空压机）、空气缓冲罐、流量计、燃气管道组成，见图 6 所示。

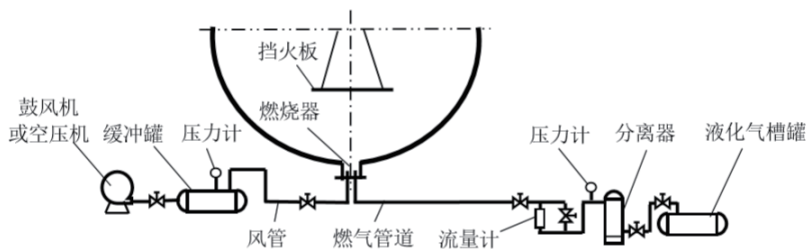


图 6 内燃气法燃烧系统示意图

2.3.2 液化气燃烧器为现场自制，在球罐外试烧后再安装，见图 7 所示。

2.3.3 燃烧器应在球罐底部人孔中心位置垂直安装。

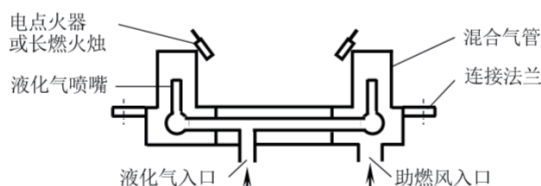


图 7 液化气燃烧器示意图

2.4. 内电加热法加热系统安装调试

2.4.1 燃烧（加热）系统由变压器、电控系统、电加热器、电加热器引线及电加热器支架组成，见下图 8 所示。

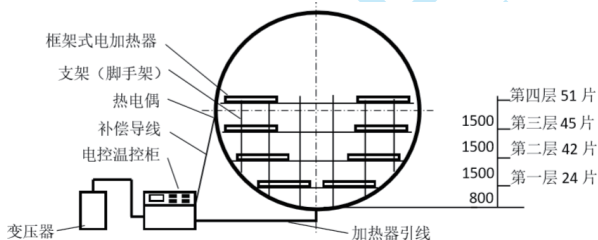


图 8 (1000m) 球罐内电热法加热系统示意图

2.4.2 电加热器的功率和数量应满足加热温度、加热速率的要求。

热处理过程所需的总功率：

$$N = K \cdot \Sigma Q / 861 \quad (\text{kW})$$

式中：K——调整系数，取 1.1 ~ 1.3；

ΣQ ——平均每小时所需总热量，kCal。

总热量包括：球罐本体热处理所需热量、保温层蓄热所需热量、保温层表面散热热量、加热器支架吸收所需热量。

电加热器数量（圆整数）：

$$n = N / N_0$$

式中：N——热处理过程所需的总功率，kW；

N_0 ——单片电加热器功率，10 ~ 12kW。

2.4.3 电加热器分三片一组，根据球罐各区域温度变化，由控制系统或手工调控各组电加热器。

2.4.4 安装电加热器的支架在高温状态下应有足够的强度，电加热器支架所有立杆下端与球罐内接触面上，应垫 $\Phi 300 \times 6\text{mm}$ 钢板，改善热处理高温阶段球罐的受力状况；对于薄壁球罐，应在球壳外对应支架立杆位置增加钢支撑，钢支撑底部垫 100 ~ 300mm 软木用于吸收球罐受热膨胀的变形量。

2.4.5 电加热器间联接选用铜裸线，电加热器层间和引线可用 $\Phi 8 \sim 10\text{mm}$ 钢筋或 $\Phi 12 \sim 14$ 钢管，所有联接线应外套耐高温绝缘瓷环，罐内、外联接线接头位置应错开并绝缘，球罐应可靠接地。

3. 温度记录系统安装调试

3.1 内燃气法、内燃油法整体热处理温度自动记录仪安放在室内，并与补偿导线可靠连接；记录纸长度应满足热处理全过程需要。

3.2 内电加热法温度自动记录仪与温控系统、电控系统属于组合控制系统，与补偿导线可靠连接，并安放在室内；记录纸长度应满足热处理全过程需要。

4. 产品试板固定

4.1 产品试板放在球罐热处理过程中高温区的外侧（上极人孔附近圆周均布），并紧贴球壳板，间隙处填塞铜丝，以确保传热良好，使其与球罐均匀同步升温。

4.2 高效燃烧器内燃油法，产品焊接试板放在球罐外，采用电辅助加热的方法与罐体实现同步热处理。用控制试板温度的回路调节器，采集球罐体上的 3 点温度分别作为 3 块试板的给定温度，通过控温点 PID 参数调节电加热器的输出功率，以保证试板与罐体同步热处理。

5. 热电偶和补偿导线安装

5.1 测温点应均匀布置在球壳表面，相邻测温点间距不宜大于 4500mm，距上、下人孔与球壳板环焊缝边缘 200mm 范围内应各设 1 个测温点；产品焊接试板应分别设测温点 1 个；测温点总数应符合表 27-11 的规定。

表 27-11 测温点数

球罐容积 (m^3)	50	120	200	400	650	1000	1500	2000	2500	3000	4000	≥ 5000
测温点数	8	10	10	14	22	25	30	32	35	40	45	50

注：表中测温点数不包括产品试件的测温点。

5.2 热电偶固定

先将开槽螺母点焊在测温点上，热电偶用开槽螺母上的螺栓固定于球罐壳板外表面上，如图 9 所示）。为提高热电偶的热传导性能，测温点的热电偶采取电容放电法直接与球壳外壁焊接，热电偶两条线端点应分开 10 ~ 20mm 距离，分别施焊，如图 10 所示。

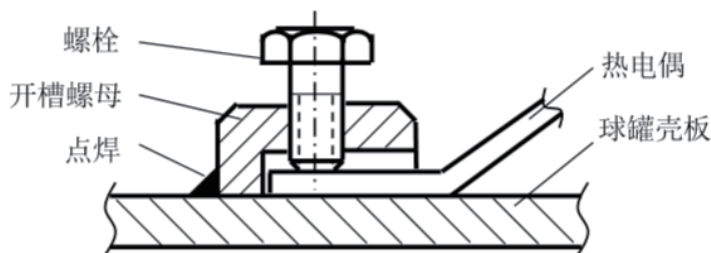


图 9 热电偶螺栓固定方法

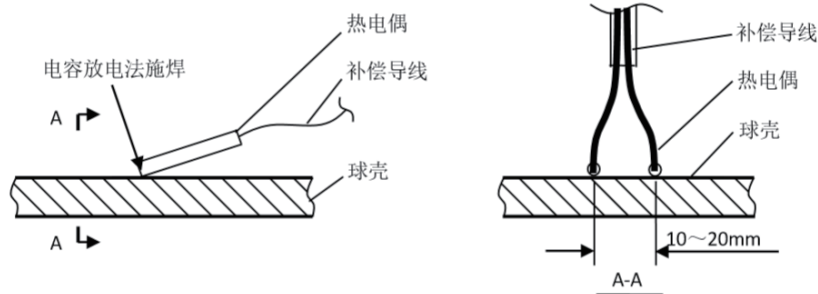


图 10 热电偶电容焊固定方法

5.3 补偿导线与热电偶应可靠连接。

6. 支柱移动装置安装

6.1 热处理前松开拉杆及地脚螺栓，并在支柱地脚板底部设置移动装置和位移测量装置。

6.2 移动装置采用滚柱结构时，滚柱直径相等，而且所有滚柱受力均匀。

6.3 移动装置采用滑动结构时，相对滑动表面平整，并且涂注润滑脂。

6.4 当球罐支柱底板以螺栓固定时，移动垫板可根据支柱基础大小制作，保证球罐支柱底板与螺栓之间有足够的位移空间。

6.5 顶升的千斤顶负荷应满足要求，支承应稳固，并同步均匀向外（内）顶。

6.6 位移测量指针焊在支柱底板上，并在基础上画出刻度线以测量位移量。

7. 热处理前，应松开支柱间拉杆。

8. 烟囱制作安装

8.1 烟囱按照球罐上人孔直径制作安装，烟囱中安装人工开闭、分度定位的碟阀板；烟囱顶部制作锥型防雨帽盖。

8.2 高效燃烧器内燃油法（DCS 自动控制）烟囱采用程控电动碟阀，电动旋转碟阀可根据 DCS 控制系统给出的开度信号，自动开闭阀板，从而控制罐内的压力和烟气带出的热量。

9. 点火前检查

9.1 内燃油、内燃气法

燃烧器安装正确、点火既长燃火炬（电点火器）可靠、燃油箱储备油量是计算耗油量 1.5 倍、燃油及液化石油气管道无泄漏、油泵（一用一备）压力计流量计调试合格、空气压缩系统调试合格、温度记录系统连接可靠调试合格、测温点（热电偶）位置图已绘、消防器材调试合格。

9.2 内电加热法

接线绝缘良好、电加热器布置图及接线图已绘、电控系统调试合格、温度记录系统连接可靠调试合格、测温点（热电偶）位置图已绘、消防器材调试合格。

10. 防雨棚搭设

采用简易、牢固、快装并便于拆除的防雨棚，应结合脚手架结构搭设。外围及顶部采用镀锌薄板或彩钢薄板围护。

11. 保温层敷设

11.1 紧贴球罐用纵向扁铁拉条和上、中、下多道横向圆钢环箍固定。

11.2 保温层应紧贴球壳表面，局部间隙不宜大于 20mm，保温层厚度 100mm，接缝应严密，可采用多层保温（无碱超细玻璃棉在内层）；多层保温时，各层接缝应错开，搭接长度 $\geq 100\text{mm}$ ；在热处理过程中各保温层不得松动、脱落。

11.3 球罐上的人孔、接管、连接板、支柱均应进行保温，从支柱与球壳连接焊缝的下端算起，向下不少于 1m 长度范围内应进行保温。

12. 点火（送电）调试

12.1 点火调试时，开点火既长燃火炬，燃烧器所有喷咀应在短时间（不超过 5 秒钟）一次点火成功，先供小流量燃料气，燃烧稳定后再供少量风，然后逐步加大燃料气和风量。分别检查燃烧系统、空气系统、油泵、燃油（气）压力表、流量计工作是否正常。

12.2 送电调试时，应将电压设定为加热器最高使用电压的 1/3，按照工艺要求逐步对电压进行调整。检查供电系统、电加热器、电加热器连接是否可靠。

13. 热处理操作

13.1 热处理工艺曲线（以 Q345R 钢球罐为例），如图 11 所示。

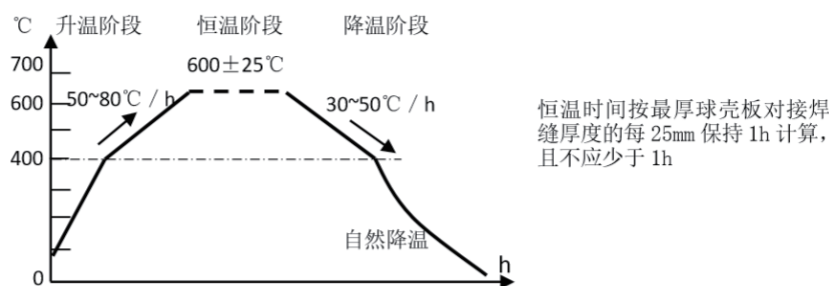


图 11 Q345R 钢球罐焊后热处理工艺曲线

13.2 热处理升温速度控制在 400℃及以下可不控制升温速度；在 400℃以上，升温速度宜控制在 50 ~ 80℃/h 的范围内。

13.3 热处理恒温温度、恒温时间控制

13.3.1 球罐现场整体热处理恒温温度应符合设计图纸要求，当设计图纸无要求时，热处理恒温温度可根据现行的国家或行业相关标准选用，但应经焊接工艺评定进行验证。

13.3.2 在恒温阶段，保温层外表面温度不宜大于 60℃。

13.3.3 恒温时间应按最厚球壳板对接焊缝厚度的每 25mm 保持 1h 计算，且不应少于 1h。

13.4 热处理降温速度控制从恒温温度到 400℃以上的降温速度宜控制在 30 ~ 50℃/h 的范围内，400℃以下可在保温状态下在空气中自然冷却。

13.5 温差控制，在 400℃以上、降温阶段，球壳表面上任意两测温点的温差不得大于 120℃。恒温阶段除设计要求外，不应超出相应标准规范的规定。

13.6 内燃油（气）法热处理过程中，保障热处理过程燃油（气）不间断供给。根据记录的设备温度变化情况分别控制燃烧器的火焰大小、烟囱阀板开启大小以实现均匀加热。



13.7 内电加热法热处理过程中，根据记录的设备温度变化情况，由自动控制系统或手工调控各组电加热器开、闭。

13.8 高效燃烧器内燃油法（DCS 自动控制）热处理操作

13.8.1 点火操作，接通用户配电盘侧电源开关，向控制系统供电后，打开温控柜控制电源开关，在上位机“系统工艺参数表”中设定喷嘴控温仪回路调节器为手动状态，调整其输出功率（OP 值）为最小，然后启动程控器进行点火。

13.8.2 升温操作，将系统控制柜控温热电偶开关置于“自动”位置，由上位机根据实时计算结果自动选择控温热电偶。球罐本体和试板温度全部由计算机通过控温仪回路调节器、温度巡检仪和比例控制器进行自动控制。根据工艺曲线要求，燃烧器自动调节火焰大小。

13.8.3 通过计算机中“系统工艺参数表”调整恒温温度和允许温差参数，同时调节燃烧器的输出功率（OP 值），以保证恒温时的工艺要求。

13.8.4 降温操作，降温阶段，燃烧器熄灭，可通过由上位机启动鼓风机来向罐内送风的方法，保证降温的工艺要求。

14. 球罐支柱移动

14.1 热处理升温和降温过程中，按计算位移量调整柱脚的向外、向内移动，温度每变化 100℃ 应调整一次。移动柱脚时应平稳缓慢，应监测记录实际位移值。位移量按下式计算：

$$L=DO \times \alpha \times t \times 1/2$$

式中：DO——罐体直径，mm；

α ——材料的线膨胀系数，1/℃；

t——罐体温度，℃。

14.2 热处理后，支柱应准确移动到初始安装位置；测量支柱垂直度、拉杆挠度和安装要求相同。

14.3 球罐需顶起时，千斤顶应均布同步顶升。球罐复位时应平稳回落，并测量调整支柱垂直度。

14.4 球罐支柱复位找正后，对称均匀拧紧支柱间拉杆。

15. 检测

15.1 从热处理自动记录曲线分析热处理的技术效果指标。也可以对照热处理前后硬度值，作为参考数据来判断热处理效果。从热处理后焊接产品试板的力学性能试验（抗拉强度、冲击功、冷弯试验）判断热处理效果。

15.2 当经检测和特种设备监检部门鉴定，热处理效果不符合标准规范、设计文件、焊接作业指导书规定时，应分析原因，制订对策，重新进行热处理。

16 工装拆除

16.1 工装拆除按顺序进行，并将各种设备、材料按要求存放。

16.2 工装拆除后，对测温点等焊接处进行打磨，并作相应检测。

第五节 球罐试压

一、水压试验

(一) 水压前具备条件

水压试验装水前, 热处理及产品试板力学性能试验的各项数据应合格。

(二) 参与人员

水压试验须有业主、监理、总包及质量监督部门人员参加。

(三) 水压试验压力

水压试验压力依据设计规定。

(四) 压力表

应在球形储罐顶部便于观察的位置安装 2 块量程相同并经校验合格的压力表。设计压力小于 1.6MPa 的球形储罐, 耐压试验用压力表的精确度不应低于 2.5 级; 设计压力大于或等于 1.6MPa 的球形储罐, 耐压试验用压力表的精确度不应低于 1.6 级。压力表盘刻度极限值应为试验压力的 1.5 倍 ~ 3 倍, 压力表的直径不宜小于 150mm。试验压力读数应以球形储罐顶部的压力表为准。

(五) 试验温度

碳素钢、16MnR、15MnVR、07MnCrMoVR 和低温钢制球罐试压水温不低于 5℃, 其他低合金钢球罐水温不低于 15℃。当因板厚等因素造成材料无延性转变温度升高时, 应相应提高试验水温, 如有设计要求执行设计规定。

(六) 水压试验过程

1. 将压力升至试验压力的 50%, 停 10 分钟, 检查确认无渗漏。
2. 将压力升至设计压力, 停 10 分钟, 检查确认无渗漏。
3. 将压力升至试验压力, 停 30 分钟, 检查合格。
4. 将泄压阀门打开, 将压力降至设计压力, 检查所有焊缝接头和连接部位。
5. 最后泄压放水, 降压应当缓慢, 待罐顶压力表指示为零, 打开放空阀及顶盖人孔, 将水排净, 注意水流不得冲刷基础, 试验用水应当排放到指定地方。

(七) 异常情况处理

试验压力不得超过规定试验压力的 0.05MPa, 不得用连续加压保持压力不变, 以无渗漏、无压降、无异常现象为合格。试验中如发现异常应当停止升压, 进行检查需要修补应当将水排出, 修复合格后重新试验。

(八) 水压试验后的检验

1. 磁探: 内外表面: 20%或设计要求。
2. 着色: 所有角焊缝 20%或设计要求。

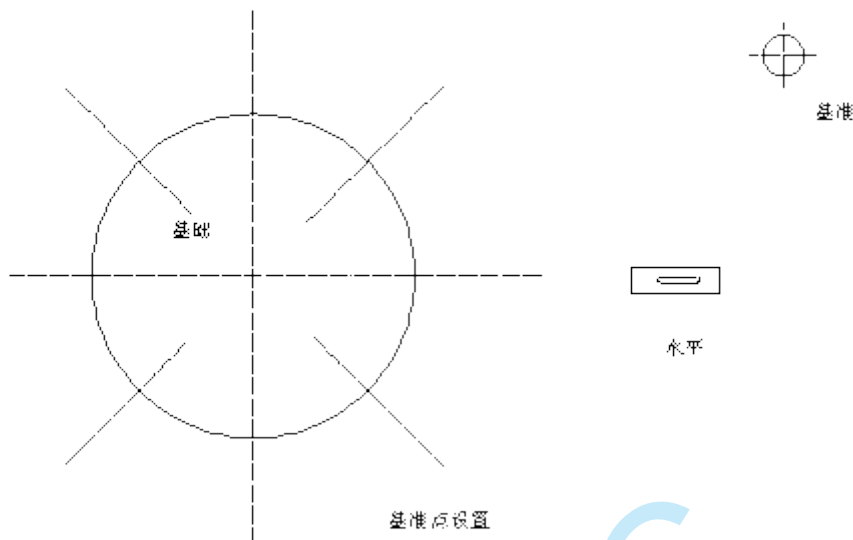
(九) 放水后

最终调整柱腿的垂直度, 把紧拉杆和地脚螺栓。



二、沉降试验

(一) 在球罐充水前设一基准点, 然后以此点测试各柱墩, 做好记录, 打上标记, 测量时水准仪与基准点、基础墩成三角形, 见下图所示:



- (二) 充水前检测;
- (三) 充水至 $1/3$ 球罐内直径停水观察, 无异常继续充水;
- (四) 充水至 $2/3$ 球罐内直径停水观察, 无异常继续充水;
- (五) 充满水时观察;
- (六) 充满水 24 小时后观测, 放水后观察回升;
- (七) 排水后观察;
- (八) 在基础上的测点不得任意移动, 以免误差;
- (九) 支柱基础应当沉降均匀, 放水后, 不均匀沉降量不应大于基础中心圆直径的 $1/1000$, 相邻支柱基础沉降量差值不应大于 2mm 。否则应当采取措施处理。

三、气压试验

- (一) 气压试验必须采取安全措施, 方案需经单位技术负责人批准, 并且符合下列要求:
1. 气压试验必须设置两个或两个以上安全阀和紧急放空阀。
 2. 试验所用气体必须为洁净的空气、氮气或其他惰性气体, 试验介质温度不低于 15°C 。
 3. 气体试验压力符合设计规定。
 4. 安全阀经过校验并具备出厂合格证, 使用多个安全阀, 其中一个安全阀的开启压力不应大于试验压力加 0.05MPa , 其余阀门开启压力可以适当提高, 但不应大于设计压力的 1.05 倍。
 5. 气压试验在所有焊接工作结束, 无损探伤检验合格, 所有安全装置、阀门、仪表安装完成后进行。
 6. 气压试验前应与设计单位、质量技术监督部门取得联系, 本单位安全管理部门应派人到场监督检查。

（二）气体试验的步骤

1. 试验时，压力应缓慢上升，升至试验压力的 10% 时，保持 5 ~ 10 分钟，然后对球罐的所有的焊接接头和连接部位进行泄漏检查，确认无泄漏后继续升压。

2. 继续升压至试验压力的 50%，保持 10 分钟，进行泄漏检查，确认无泄漏后，继续以 10% 的压差继续升压，直至试验压力，保持 10 分钟，如无异常现象则将压力降至设计压力，保压足够时间，所有焊缝及连接点如无泄漏，则气密试验合格。

3. 降压应当缓慢，降压速率不得大于 1.5MPa/h。

4. 气压试验时严禁敲击球罐，并注意环境温度的变化，监视压力表读数，防止发生超压现象。

5. 如焊缝发生泄漏，应卸压后再进行修理。返修后经无损探伤合格，重新按上述程序进行气压试验。

四、泄漏试验

（一）泄漏试验应在压力试验合格后进行。

（二）泄漏性试验包括气密性试验、氨检漏试验、卤素检漏试验和氦检漏试验，应按设计文件规定的方法和要求进行泄漏试验。

五、气密性试验

（一）气密试验应在压力试验合格后进行。

（二）气密性试验前，球罐上的安全装置、人孔、管口、阀门及罐内附件须安装完毕。

（三）罐顶和罐底各安装一块量程相同并经校验的压力表，压力表量程为试验压力的 1.5 ~ 2 倍。

（四）试验时，应缓慢升至试验压力的 50%，保持 10 分钟，对球罐所有焊缝和连接部位进行检查，确认无泄漏，继续升压。压力升至试验压力时，在焊缝部位用肥皂水检查，无泄漏，气密试验为合格，否则，修复后应重新进行气密性试验。

（五）气密性试验时，应监测环境温度的变化和监视压力表读数，不得发生超压现象。

六、其他

其他泄漏性试验方法和要求还应符合相关标准规定。

第六节 球罐质量检验

一、球罐组焊工序质量控制

（一）工序质量控制分为 A（或 AR）、B（或 BR）、C（或 CR）三个等级。当对 AR、BR 等控制等级进行联合检查时，施工单位应提供有关的施工记录或有关的检（试）验报告。

（二）各质量控制等级的检查应符合下列要求：

1.A（或 AR）级应由建设单位、监理单位、总承包单位和施工单位联合检查。

2.B（或 BR）级应由监理单位、总承包单位和施工单位联合检查。



3.C（或 CR）级应由施工单位检查。

4. 对各等级的联合检查，应在施工单位自检合格后进行。

5. 在各等级联合检查中，当某一工序施工质量符合要求后，检查各方应即时在签名栏中履行签证手续，施工单位方可进行下一工序的施工。

（三）球罐组焊工序质量控制表 27-12

序号	球罐：五带板 / 七带板	检查等级
1	设备材料交接检查	BR
2	焊接工艺焊工资格认定	BR
3	基础交接检查	BR
4	滑板安装检查	B
5	球罐柱腿安装检查	B
6	赤道带组装检查	B
7	上下温带组装检查	B
8	上下寒带组装检查	B
9	上下极板组装检查	B
10	外纵缝焊接外观检查	B
11	内纵缝焊接外观检查	B
12	内外环缝焊接外观检查	B
13	外形尺寸检查	BR
14	方位（管嘴、人孔等）	BR
15	X 光检验	CR
16	磁粉、着色、超声波检验	CR
17	热处理全过程检查	CR
18	水压及气密试验	AR
19	梯子平台附件安装检查	C
20	封闭前检查	AR

二、球罐基础质量验收

（一）球罐基础检查资料检查要点

1. 球形储罐基础允许偏差项目复测记录

（二）球罐半成品进场验收的现场质量检查要点

1. 基础方位偏差
2. 相邻支柱基础中心距
3. 支柱基础上的地脚螺栓中心、地脚螺栓预留孔中心与基础中心圆的间距
4. 基础标高尺寸偏差
5. 单个支柱基础上表面的水平度的偏差

（三）球罐半成品进场验收质量检查的内容和要求

1. 球形储罐安装前应对基础各部位尺寸（图 2.3.1）进行检查和验收，其允许偏差应符合下表 27-13 的规定。球形储罐的安装应在基础混凝土的强度不低于设计要求的 75% 后进行。

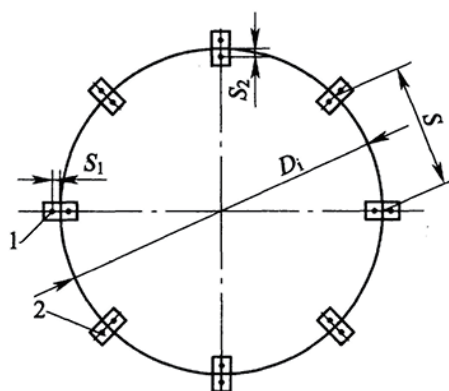


图 2.3.1 基础各部位尺寸示意图

1—地脚螺栓 2—地脚螺栓预留给孔

表 27-13 基础各部位尺寸允许偏差（单位为毫米）

项 目		允许偏差
球壳中心圆直径 D_i	球形储罐容积 $< 2000\text{m}^3$	± 5
	球形储罐容积 $\geq 2000\text{m}^3$	$\pm D_i/2000$
基础方位		1°
相邻支柱基础中心距 S		± 2
支柱基础上的地脚螺栓中心与基础中心圆的间距 S_1		± 2
支柱基础上的地脚螺栓预留给孔中心与基础中心圆的间距 S_2		± 8
基础标高	采用地脚螺栓固定的基础	各支柱基础上表面的标高
		$-D_i/1000$, 且不低于 -15
	采用预埋垫板固定的基础	相邻支柱的基础标高差
		4
单个支柱基础上表面的水平度	采用地脚螺栓固定的基础	各支柱基础垫板上表面标高
		-3
单个支柱基础上表面的水平度	采用预埋垫板固定的基础	相邻支柱基础垫板标高差
		3
单个支柱基础上表面的水平度	采用地脚螺栓固定的基础	5
		2

2. 对于有热处理要求的球形储罐，应设置预埋垫板；预埋垫板的厚度及形式应符合设计要求。

三、球罐半成品进场验收质量验收

（一）球罐半成品进场验收资料检查要点

1. 球壳板 / 支柱到货检验报告
2. 球形储罐预制件检查记录赤道带 / 温带
3. 球形储罐预制件检查记录极板 / 极中板
4. 球形储罐预制件检查记录支柱

（二）球罐半成品进场验收的现场质量检查要点

1. 球壳板厚度、曲率检查
2. 球壳板几何尺寸
3. 支柱及支柱组焊质量
4. 球壳板焊接坡口几何尺寸偏差
5. 人孔、接管位置及外伸长度的偏差

(三) 球罐半成品进场验收质量检查的内容和要求见表 27-14

球罐半成品进场验收检验		检查数量	检验方法
球罐的球壳板、人孔、接管、法兰、补强件、支柱及拉杆等零部件所用的材料及制造质量应符合设计文件和有关法规及标准的规定		全数检查	检查产品出厂合格证、质量证明书、产品标识及监检报告、监检标志
球壳的结构形式应符合设计文件要求；每块球壳板均不应拼接，且表面不应有裂纹、气泡、结疤、折叠、夹杂、分层等缺陷		全数检查	观察检查或检查检验报告
应对球壳板厚度进行抽查，实测厚度应符合设计文件的要求。抽查若有不合格，应加倍抽查；若仍有不合格，应对球壳板逐张检查		球壳板数量的 20%，且每带不少于 2 块，上、下极各不少于 1 块。所检每张球壳板的检测不应少于 5 点，5 个点的分布为每个角一个测点、板中部一个测点。	使用测厚仪进行测量
球壳板曲率检查（图 3.3-1）所用的样板及球壳与样板允许间隙，应符合表 27-15 的规定		全数检查	测量检查
球壳板几何尺寸（图 3.3-2）允许偏差应符合表 27-16 的规定		全数检查	测量。对刚性较差的球壳板，可检查球壳板的弧长
球壳板应超声检测抽查，检测方法应符合国家现行标准《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 的有关规定，合格等级应符合设计文件的要求。若有不允许的缺陷，应加倍抽查；若仍有不允许的缺陷，应全部检测		1. 球壳板周边 100mm 范围内的全面积超声检测抽查，数量不少于球壳板总数的 20%，且每带不少于两块，上、下极各不少于一块。 2. 对球壳板有超声检测要求的，抽检数量不少于球壳板总数的 20%，且每带不少于两块，上、下极各不少于一块。 3. 以上检查若有不允许的缺陷，应加倍抽查；若仍有不允许的缺陷，应全部检测。	超声检测、检查检测报告
对低温球罐，当板厚大于 20mm 时，应按上条的规定对球壳板进行超声检测抽查		不少于球壳板总数的 40%，抽查应包括全部上、下极板和与支柱连接的赤道板，且每带的抽查数量不应少于两块	超声检测、检查检测报告
支柱及支柱组焊质量应符合下列规定：1. 支柱全长长度允许偏差为 3mm。2. 支柱全长的直线度允许偏差不应大于全长的 1/1000，且不应大于 10mm。3. 支柱与底板的组焊应垂直，其垂直度允许偏差为 2mm（图 3.3-3）。4. 上段支柱轴线位置偏移不应大于 2mm。5. 现场组焊的上、下段支柱接口处最大与最小直径差，不应大于支柱内直径的 1%，且不应大于 4mm。		全数检查	钢板尺及线坠测量检查、检查施工记录
球壳板焊接坡口表面质量	平面度应小于或等于球壳名义厚度的 0.04 倍，且不应大于 1mm	球壳板数量的 20%，且每带不应少于 2 块，上、下极各不应少于 1 块	目视检查、暗粉或渗透检查、检查检验记录和报告
	表面应平滑，表面粗糙度（Ra）应小于或等于 25 μm		
	缺陷间的极限间距应大于或等于 500mm		
	熔渣与氧化皮应清除干净，坡口表面不应有裂纹和分层等缺陷		
	用标准抗拉强度下限值大于或等于 540N/mm ² 的钢材制造的球壳板，坡口表面应经磁粉或渗透检查，不应有裂纹、分层和夹渣等缺陷		
球壳板焊接坡口几何尺寸允许偏差	坡口角度的允许偏差为 ±2.5°	球壳板数量的 20%	焊缝检验尺测量检查、检查施工记录
	坡口钝边及坡口深度的允许偏差为 ±1.5mm		

球罐半成品进场验收检验	检查数量	检验方法
当相邻板的厚度差大于或等于其中的薄板厚度的1/4时，厚板边缘应削成斜边，削边后的端部厚度应等于薄板厚度（图 3.3-4）	全数检查	用钢板尺和焊缝检验尺测量检查、检查检验记录
人孔、接管位置及外伸长度的允许偏差不大于 5mm	全数检查	用钢板尺和钢直角尺测量检查、检查检验记录
球壳板及零部件的除锈、涂漆应符合设计文件的要求	球壳板及零部件数量的各 20%	目视检查

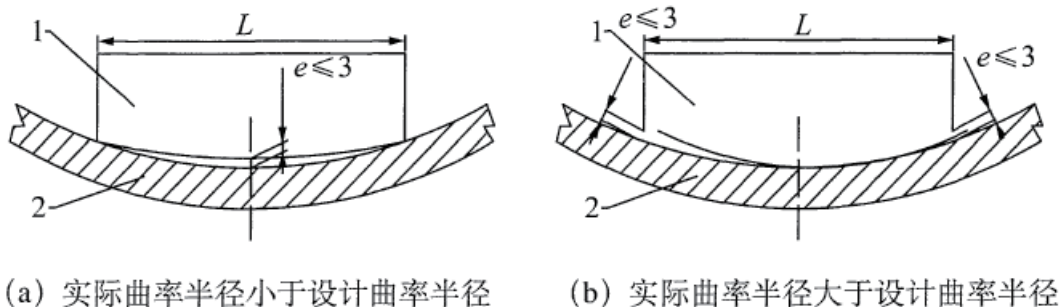


图 3.3-1 球壳板曲率检查示意图

1- 样板 2- 球壳板 L- 样板弦长

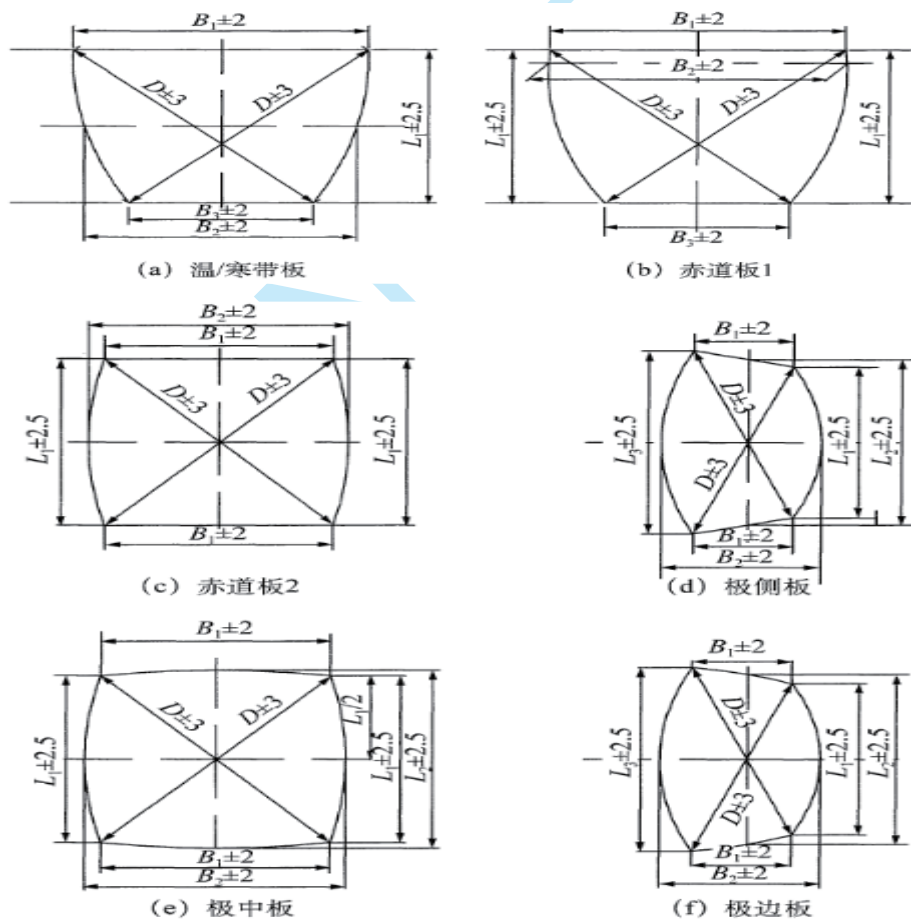


图 3.3-2 球壳板几何尺寸示意图

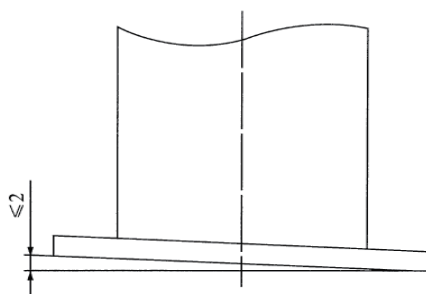


图 3.3-3 支柱与底板垂直度偏差

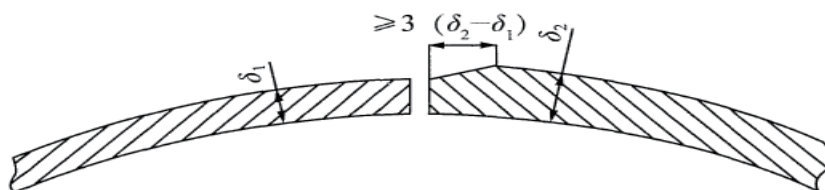


图 3.3-4 不同厚度球壳板焊接时对厚板削薄检查示意图

表 27-15 球壳板曲率检查样板弦长及球壳板与样板的允许间隙 (单位为毫米)

球壳板	项目		
	球壳板的弦长 (m)	样板弦长 (m)	允许间隙 e (mm)
不带支柱的球壳板	≥ 2	2	3^a
	< 2	与球壳板弦长相同	3^a
带支柱的赤道板	—	≥ 1	3^a
焊有人孔、接管的极带板以开孔中心为圆心, 开孔直径为半径的范围外	—	≥ 1	3^a

注: a 对于应力分析设计的球罐, 样板与球壳板的间隙 e 除球壳板周边 150mm 范围内不得大于 2.5mm 外, 其余部位不得大于 3mm

表 27-16 球壳板几何尺寸允许偏差 (单位为毫米)

项目	允许偏差 (mm)
长度方向弦长 L1、L2、L3	± 2.5
任意宽度方向弦长 B1、B2、B3	± 2
对角线弦长 D	± 3
两条对角线间的距离	5

四、球壳板组装质量验收

(一) 球壳板组装资料检查要点

1. 球形储罐组装尺寸检查记录
2. 球形储罐支柱检查记录 (焊前)
3. 球形储罐安装球壳板布置图

(二) 球壳板组装的现场质量检查要点

1. 球壳板组对错边量、棱角
2. 拉杆中部挠度
3. 组装时最大直径与最小直径之差

4. 赤道带组装后，赤道线水平误差
5. 支柱垂直度

(三) 球壳板组装质量检查的内容和要求见表 27-17

球壳板组装检验		检查数量	检验方法
球壳板组对错边量、棱角图 4.3-1	组对错边量不应大于球壳板名义厚度 1/4, 且不应大于 3mm, 当两板厚度不等时, 可不计入两板的差值	全数检查。检查时宜沿对接接头每 500mm 检查一点	用样板、钢板尺检查, 检查检验记录。检查棱角值时, 应用弦长不小于 1m 的样板进行检查
	棱角值不应大于 7mm		
相邻焊缝的边缘距离不应小于球壳板厚度的 3 倍, 且不应小于 100mm	相邻两带的纵焊缝	全数检查	用钢板尺和钢卷尺测量检查、检查检验记录
	支柱与球壳的角焊缝至球壳板的对接焊缝		
	人孔、接管、补强圈和连接板等与球壳的连接焊缝至球壳板的对接焊缝及其相互之间的焊缝		
拉杆安装时应对称均匀拧紧, 拉杆中部的挠度应符合下列公式的计算值, 拉杆中部挠度的测量应符合图 4.3-2。在整体热处理完成后应测量并调整支柱垂直度和拉杆挠度。拉杆中部挠度计算公式: $\Delta = 5.42 \times 10^{-4} (L^4 \cos \theta)^{1/3}$		全数检查	用线坠、钢板尺测量检查, 检查检验记录
支柱用垫铁找正时, 垫铁的规格应符合设计文件或工艺文件的要求, 每组垫铁的高度不应小于 25mm, 且不宜多于 3 块。斜垫铁应成对使用, 接触紧密。找正完毕后, 垫铁间应点焊牢固		全数检查	目视检查, 用钢板尺测量检查, 检查检验记录
球罐组装时应将球罐的最大直径与最小直径之差进行控制, 两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径之间相互之差, 均应小于设计内径的 3‰, 并应符合	5000m ² 以下的球罐不应大于 50mm	全数检查	用钢盘尺测量检查, 检查检验记录
	5000m ² 及以上的球罐不应大于 70mm		
赤道带组装后, 每块球壳板的赤道线水平误差不宜大于 2mm, 相邻两块球壳板的赤道线水平误差不宜大于 3mm, 任意两块球壳板的赤道线水平误差不宜大于 6mm		全数检查	用钢盘尺测量检查, 检查检验记录
球壳板组对间隙应符合焊接工艺规程或下列规定	采用焊条电弧焊时, 组对间隙宜为 $2\text{mm} \pm 2\text{mm}$	全数检查。检查时宜对接头每隔 500mm 检查一点	用焊缝检验尺测量检查, 检查检验记录
	采用熔化极气体保护焊时, 组对间隙宜为 $3\text{mm} \pm 1\text{mm}$		
	采用其他焊接方法时, 组对间隙由施工单位按焊接工艺规程确定		
支柱的垂直度	当支柱高度小于或等于 8m 时, 垂直度允许偏差不大于 12mm	全数检查	用线坠、经纬仪及钢板尺测量检查, 检查检验记录
	当支柱高度大于 8m 时, 垂直度允许偏差为支柱高度的 1.5‰, 且不大于 15mm		

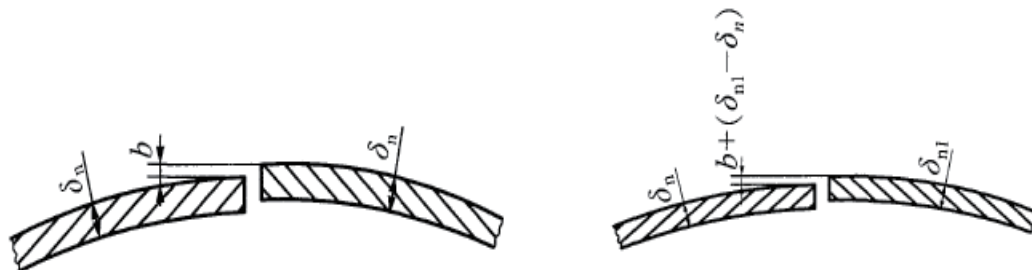


图 4.3-1 组对错边量检查示意图

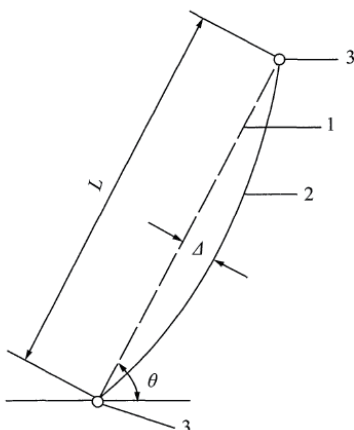


图 4.3-2 拉杆中部挠度测量示意图

五、球罐零部件安装质量验收

(一) 球罐零部件安装资料检查要点

1. 球形储罐支柱检查记录（焊后）
2. 零部件开孔检查记录

(二) 球罐零部件安装的现场质量检查要点

1. 开孔位置偏差
2. 球壳板上连接板的安装位置偏差
3. 接管外伸长度尺寸偏差

(三) 球罐零部件安装质量检查的内容和要求见表 27-18

球罐零部件安装检验	检查数量	检验方法
开孔位置的允许偏差不大于 5mm	全数检查	用钢盘尺测量检查，检查检验记录
开孔直径宜比安装的接管直径大 2mm ~ 5mm	全数检查	用钢卷尺测量检查，检查检验记录
接管外伸长度及位置允许偏差不大于 5mm	全数检查	用钢直角尺、钢板尺测量检查，检查检验记录
除设计规定外，接管法兰面应与接管中心轴线垂直，且应使法兰面水平或垂直，其偏差不应超过法兰外径的 1%，且不应大于 3mm，法兰外径小于 100mm 时，其偏差不应大于 1mm	全数检查	用钢直角尺、钢板尺测量检查，检查检验记录
球壳板上的连接板应与球壳紧密贴合。当连接板与球壳的角焊缝是连续焊缝时，应在不宜流进雨水的部位留出 10mm 的通气孔不焊	抽查 20%，且不少于 5 件	目视检测
球壳板上的连接板安装位置允许偏差不大于 10mm	抽查 20%，且不少于 5 件	钢盘尺测量

六、球罐焊接及热处理质量验收

(一) 球罐焊接及热处理资料检查要点

- 1 焊工分布图
2. 现场组焊设备焊接工作记录
3. 返修焊接记录
4. 设备热处理报告

5. 热处理曲线图

6. 热处理测温点布置图

7. 热处理柱脚移动记录

(二) 球罐焊接及热处理的现场质量检查要点

1. 焊接试件的尺寸

2. 返修焊缝长度及返修次数

3. 对接焊缝的焊缝质量

4. 热处理时测温点的数量及布置

(三) 球罐焊接及热处理质量检查的内容和要求见表 27-19

球罐焊接及热处理检验		检查数量	检验方法
焊接工艺评定应符合国家现行标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 的规定并经批准；焊接工艺规程应符合国家现行标准《压力容器焊接规程》NB/T 47015 的规定		全数检查	检查焊接工艺评定报告及焊接工艺规程
焊接材料应符合	应有质量证明书，并在使用前按相关标准规定及设计文件要求检验合格	按批抽查 20%	
	检查实物、质量证明书、试验报告		
	球壳的对接焊缝及直接与球壳焊接的焊缝采用焊条电弧焊时，应选用低氢型药皮焊条		
	焊条应按批号进行熔敷金属扩散氢含量复验。扩散氢含量试验应按现行国家标准《熔敷金属中扩散氢测定方法》GB/T 3965 的规定进行。烘干后的实际扩散氢含量应符合规范要或设计文件的要求		
	低温球罐用焊条应按批进行药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量的复验		
	烘干后的焊条表面应无脱落和明显裂纹		
焊缝内部缺陷的返修应符合	应根据产生缺陷的原因，选用适用的焊接方法，并应制定返修工艺	全数检查	检查检测报告及返修记录
	检查检测报告及返修记录		
	返修焊缝长度不应小于 50mm		
	同一部位返修不宜超过两次，对经过两次返修仍不合格的焊缝，应采取可靠的措施，并应在返修前经施工单位技术负责人批准后再返修		
	要求焊后消除应力热处理的球罐，应在热处理前完成焊接返修		
	焊接返修的部位、次数和检测结果应做记录		
产品焊接试件及试样的制备和试验应符合	试件应由施焊球罐的焊工在与球罐焊接相同的条件和采用相同的焊接工艺情况下焊接。试件应与球罐同时进行热处理。	全数检查	现场检查、跟踪检查，检查试验报告
	试样的尺寸、制备、试验方法、合格指标及复验应符合国家现行标准《承压设备产品焊接试件的力学性能检验》NB/T47016 的有关规定。若有冲击试验要求，应在试件上同时截取冲击试样，进行冲击试验。		
	每台球罐应按施焊位置做立焊、平焊加仰焊位置的产品焊接试件各一块，试件尺寸和试样的截取应符合国家现行标准《承压设备产品焊接试件的力学性能检验》NB/T 47016 的规定。		

球罐焊接及热处理检验		检查数量	检验方法
整体热处理恒温温度、恒温时间、400℃以上球壳表面任意两测温点的温差及升/降温速度应符合设计文件或现行国家标准《球形储罐施工规范》GB 50094 的有关规定		全数检查	用点温计测量，检查热处理记录、热处理报告
焊接材料的使用应符合	烘干后的焊条应随用随取。焊条表面药皮应无脱落和存在明显裂纹。	抽查 20%	观察检查，检查焊条烘干、发放、回收记录
	焊条电弧焊时，在现场应备有保温桶，焊条在保温桶内的存放时间不应超过 4h。当超过时，应按原烘干温度重新烘干。焊条重复烘干的次数不应超过两次。		
	焊丝在使用前应清除铁锈和油污等		
整体热处理时，测温设施性能、测温点的数量和布置、保温材料质量及保温层敷设质量、柱脚移动、保温层表面温差应符合现行国家标准《球形储罐施工规范》GB 50094 的有关规定		全数检查	观察、测试或检查热处理记录、热处理报告

七、球罐组焊检验及试验质量验收

（一）球罐组焊检验及试验资料检查要点

1. 焊接接头表面质量检查记录
2. 球形储罐焊后几何尺寸检查记录
3. 设备耐压试验记录
4. 基础沉降观测记录
5. 设备严密性试验记录

（二）球罐组焊检验及试验的现场质量检查要点

1. 焊缝外观质量检查
2. 球壳两极间及赤道截面的内直径
3. 支柱垂直度尺寸偏差
4. 沉降进行观测

（三）球罐组焊检验及试验质量检查的内容和要求见表 27-20

球罐组焊检验及试验检验		检查数量	检验方法
焊缝和热影响区及工卡具去除后的表面不应有裂纹、气孔		全数检查	观察检查或磁粉检测、渗透检测，检查施工记录
焊接后，应检查球壳两极间及赤道截面的内直径，并应符合	两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径之间相互之差，均应小于设计内径的 7‰，并应符合以下规定： 1.5000m ³ 以下的球罐不应大于 80mm； 2.5000m ³ 及以上的球罐不应大于 100mm	全数检查	用钢直角尺、钢盘尺测量检查，检查检验记录
	两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径与设计内径之差，均应小于设计内径的 7‰，并应符合以下规定： 1.5000m ³ 以下的球罐不应大于 80mm； 2.5000m ³ 及以上的球罐不应大于 100mm		
球罐支柱垂直度的检查及偏差应符合球壳板组装检验一般项目第 3 条的规定		全数检查	用经纬仪、线坠、钢板尺测量检查，检查检验报告

球罐组焊检验及试验检验		检查数量	检验方法
无损检测方法、无损检测比例及扩探、无损检测结果合格判定应符合设计文件或现行国家标准《球形储罐施工规范》GB 50094 的有关规定		抽查 20%	抽检无损检测底片，检查检测报告
压力试验、气密性试验所用介质、介质温度、升压降压程序步骤、试验压力及试验结果应符合现行国家标准《球形储罐施工规范》GB 50094 和设计文件的规定		全数检查	观察检查，检查试验报告
球罐在充水、放水过程中，应按规定对基础的沉降进行观测和记录。观测阶段及观测结果应符合	沉降观测应在下列阶段进行：(1) 充水前；(2) 充水到球壳内直径的 1/3 时；(3) 充水到球壳内直径的 2/3 时；(4) 充满水时；(5) 充满水 24h 后；(6) 放水后	全数检查	用水准仪检查，检查观测报告
	每个支柱基础均应测定沉降量。各支柱上应按规定焊接永久性的水平测定板		
	支柱基础沉降应均匀。放水后，不均匀沉降量不应大于基础中心圆直径的 1/1000，相邻支柱基础沉降差不应大于 2mm		
	当不均匀沉降大于上述要求或设计文件要求时，应采取处理措施		
焊缝及其两侧表面不应有咬边、夹渣、凹坑、未焊满、熔渣和飞溅物等缺陷		抽查 20%	观察检查
角焊缝焊脚尺寸、对接焊缝余高应符合	角焊缝的焊脚尺寸应符合设计文件要求	抽查焊缝的 20%，检查时宜对抽查部分接头每 500mm 检查一点	用焊缝检验尺检查，检查施工记录
	非低温球罐对接焊缝的余高应符合表 27-21 规定		
	低温球罐对接焊缝的余高，不应大于母材厚度的 10%，且不应大于 3mm，超高部分应打磨掉		
检查球壳焊缝棱角，棱角值不大于 10mm		抽查焊缝的 20%，检查时宜对抽查部分接头每 500mm 检查一点	用样板、钢板尺测量，检查施工记录

表 27-21 对接焊缝余高（单位为毫米）

坡口深度 (δ)	焊缝余高	
	焊条电弧焊	药芯焊丝气体保护焊
≤ 12	0 ~ 1.5	0 ~ 3
$12 < \delta \leq 25$	0 ~ 2.5	0 ~ 3
$25 < \delta \leq 50$	0 ~ 3	0 ~ 3
> 50	0 ~ 4	0 ~ 3

第七节 球罐组装质量通病

一、球壳板错边量超标

(一) 现象：组对成型的球壳板纵缝，环缝局部错边量超差，温带（极板）环口直径与赤道带（温带）环口直径不匹配，使整圈错边量超标。

(二) 原因：

1. 对每片球壳板实际弧度及几何尺寸没有认真测量其实际偏差，组成带时相邻球壳板未找正，使该处纵缝错边量超标，也使相邻带上下口的圆整度（直径）不吻合，造成环缝错边量超标。
2. 球壳板组对成球时，环口水平度局部超差，修口不当，造成环缝错边量超标。



3. 工卡具位置与排版图标位不符,影响组对时的找正,使椭圆度超标,尤其厚壁球罐更易形成错边量超标。

4. 极板环缝坡口若在现场割制。下料前对温带接口尺寸测量不准确或组装后在极板重力和焊接应力综合作用下,因措施不当,定位焊缝开裂,极板移位或下沉,使错边量超标。

(三) 防治措施:

1. 组装前认真测量每块球片的弧度及弦长,应对误差相近的球片进行选配,以减少由于球片压制偏差而造成错边量超标。

2. 控制好各条纵缝的对口间隙,各带的直径差及环口的水平度。赤道带是球罐组装的基准,在测量立柱垂直度的同时,必须严加控制。组装前根据各带球片,上下口的实际弧长准确地计算出组合后的环口直径,如相差较大必须对超差壳板作相应地整修和找正,以控制直径差,消除错边量的形成。

3. 工卡具数量及位置应在排版图上注明,施工时认真实施,组装时在罐内直径方向采用可调支撑杆(索)等措施,以有效调整球体椭圆度,防止错边量超标。

二、球壳板组对角变形

(一) 现象:

角变形又称校角度,是球罐焊缝近区的径向缩变,通常在接头对口处极易出现。焊后若角变形超标即构成无法修复的缺陷,故是球罐质量控制的重要参数。

(二) 原因:

1. 球壳板片制造弧度超差或运输保管不善,造成两端曲率不一,使组对后角变形超差。

2. 焊接工艺不当造成角变形超标。

(三) 防治措施:

1. 组装前应对球壳板的板材曲率、几何尺寸及坡口加工质量进行全面检查。

2. 球壳板组装中可用工卡具调整其间隙、错边量及角变形。组装后球壳板的角变形(包括错边量)应 $< 7\text{mm}$;筒节的纵、环焊缝对口错边量,单层钢板小于 $0.1s$ (s 为壁厚),且不大于 3mm ,复合钢板 $0.1s$ (s 为壁厚),且不大于 2mm ;球壳板组装后的纵、环焊缝棱角小于 5mm 。严禁采用强力组装,以免造成对焊接接头的强制应力。工卡具数量及位置应在排版图上注明,施工时认真实施,组装时在罐内直径方向采用可调支撑杆(索)等措施,以有效调整球体椭圆度,防止错边量超标。

三、球罐支柱质量问题

(一) 现象:

1. 支柱直线度、垂直度、长度超差。

2. 支柱受力不均。

3. 支柱柱体及焊缝存在较大的应力。

4. 支柱根部焊缝裂纹。

(二) 原因:

1. 作业人员未按照规范要求及工艺指导书、焊接工艺卡施工。
2. 组装工艺不合理、不细致, 没有完整的控制措施。球罐支柱安装质量的控制应贯穿组装至球罐的水压试验全过程。

3. 支柱几种常见的质量问题也是密切相关, 互为因果的: 支柱的直线度、垂直度、长度超差, 会影响支柱的均受力; 受力不均衡也影响到热处理过程中的支柱移动, 不能灵活移动支柱可能会因受力造成根部焊缝裂纹, 或不能释放应力; 任何原因造成的应力集中在支柱上, 会影响支柱承受静载荷的能力, 造成结构脆性断裂或应力腐蚀开裂等。

(三) 防治措施:

球罐支柱安装的质量形成涉及几乎整个球罐安装过程, 因此应从整个施工过程进行有效的防止控制。

1. 编制合理、细致的组装工艺书、焊接工艺卡。
2. 对施工人员进行详细充分的技术交底; 加大施工人员的培训考核力度; 制定奖罚制度, 提高施工人员的质量意识及责任心。

3. 按照工艺流程进行质量控制:

A. 基础验收阶段: 加强基础的质量验收及处理工作, 周密测量基础标高及地脚螺栓位置, 做好记录并载明偏差的位置及方向。

B. 支柱组焊:

- a) 支柱入场后的应对其尺寸进行复验, 不合格不得使用;
- b) 准确放出赤道板上的中轴线及赤道线;
- c) 保证支柱与赤道板的角度和直线度的准确性;
- d) 控制好赤道线到支柱底板下表面距离, 确保支柱长度, 使得支柱均能与基础板面良好的接触;
- e) 支柱径向方位的调整, 保证支柱底板的 U 型地脚螺栓孔能够与赤道板中线垂直;
- f) 支柱焊接应严格执行焊接工艺, 确保优良的焊接质量。

C. 赤道带组装:

a) 赤道带组装前, 应在基础埋板的表面上的支柱就位接触面上, 预涂不易挥发的润滑油脂, 这样在组装调整时、热处理移动支柱时减小摩擦力, 使支柱能够便于移动;

b) 赤道板组装时相邻壳板的赤道线水平误差不大于 3mm, 任意赤道板赤道线水平误差不大于 6mm;

- c) 支柱的垂直度应从球罐的径向和周向两个方向上进行检查和复验;
- d) 拉杆应对称均匀拧紧, 挠度值不大于规范要求。

D. 球罐焊接后应对球罐支柱进行复测, 使偏差仍能维持在组装所要求的公差。

E. 加强球罐热处理过程中的支柱处理:

支柱在热处理中会随着温度的变化而移动, 这个阶段须采取有效的工艺控制, 才能保证支柱的最终安装质量。热处理前, 应松开拉杆及地脚螺栓, 保持支柱自由状态; 设置好支柱移动装置,



标记好支柱初始位置，通过监控支柱垂直度来确定支柱位移量。移动支柱应平稳缓慢，支柱较多的球罐宜分2组同时对称进行。热处理后，应测量并调整支柱垂直度和拉杆挠度，偏差值不大于规范要求，重新紧固地脚螺栓。

F. 热处理和水压试验后，应按设计要求对支柱焊缝进行复检。

四、焊缝表面缺陷

（一）现象：

焊缝外表波形粗劣，焊缝宽度尺寸不一致，焊缝余高过高或过低，超出规范要求，焊缝与母材过渡不平滑。

（二）原因：

1. 焊缝坡口角度、宽度及组装间隙不一。
2. 焊条直径选择不当，造成填充层过高，失去坡口轮廓线，使盖面宽窄不一，焊缝过高，波纹粗劣。
3. 球壳板焊缝背面清根刨缝质量差，焊道宽度不一。
4. 焊接电流过大或过小。运条手法和角度不当，以及焊速不均匀。

（三）防治措施：

1. 采用自动和半自动切割机或刨边机加工坡口。
2. 焊缝组装间隙应控制规范范围内，背面用碳弧气刨清根后，采用砂轮修整刨槽及碳化层，使刨槽宽窄一致。
3. 选择适当的焊接电流和焊条直径，遵守焊接工艺，熟练掌握操作技术，保持焊速均匀。
4. 对于焊缝加强过高，应用砂轮修整，宽窄不一或加强过低处，应重新补焊，补焊长度应在50mm以上。

五、壳体焊接面缺陷处理不合格

（一）现象：

球罐表面存在弧坑、咬边、焊趾裂纹、划痕、焊痕，以及机械损伤等有害缺陷；或缺陷虽经磨除但磨除处不平滑或磨除坡度超标。

（二）原因：

1. 修磨工作面大、量多、劳动强度较大，虽然采用了各种型式相适应的砂轮，但仍由人工打磨，且打磨的位置平、立、横、仰都有，加上脚手架等障碍，使打磨时受空间的限制，影响修磨质量，甚至漏磨。

2. 修磨方法不正确或因焊缝边缘缺陷较深，磨成沟槽，致使深度超标。

（三）防治措施：

1. 施工中应尽量减少有害缺陷的产生，以减少打磨工作量。
2. 推行先进工艺，尽量减少工卡具与本体的焊接并取消球壳板吊装吊耳；卡具焊接处的拆除宜采用碳弧气刨，避免用锤击或氧—乙炔焰切割以减少对焊痕的磨除量。

3. 加强检查，凡须打磨处不得漏磨，影响打磨的障碍物必须清除，打磨后的质量应符合规范要求，磨削最大深度不得大于 2mm。

4. 处理方法：

A. 经检查对缺陷未清除或磨除不符合规范要求的地方均应磨修合格。焊缝的打磨应从焊缝中心开始，先进行粗磨，再对焊缝边缘修磨，最后对交界处实施精磨，确认缺陷已除净。目测平滑或测量具有 1: 3 以下坡度，斜坡高度在 15mm 以下方认为合格。

B. 磨除坡度超标，应进行焊补。焊补前应检验确认缺陷已清除，修补面积符合规范要求，修补后再磨平处理合格。

CNCEC



第二十八章 储罐制作安装

第一节 储罐制作工程概述

一、储罐工程基本介绍

储罐是指用于贮存各种液体原料、半成品或成品的设备。储罐与贮罐的含义基本一致，贮罐一般是对在工厂制作现场整体安装存储设备的称呼。常规意义上储罐工程主要是指设计压力小于 0.1MPa(G) 且公称容积大于或等于 1000m³、建造在地面上、储存毒性程度为非极度或非高度危害的石油、石油产品或化工液体介质、现场组焊的立式圆筒形钢制焊接储罐，也包括公称容积小于 1000m³、储存其他类似液体介质的储罐，其他对于埋地的、储存极度和高度危害介质、人工制冷液体的储罐工程执行设计图纸规定的相应规范。

国内对于储罐工程指最高设计温度不应高于 90℃，当符合设计标准要求情况下最高设计温度不应高于 250℃，最低设计温度在无保温、加热情况下，取建罐地区日平均温度加 13℃。设计压力浮顶油罐取常压或接近常压（负压不应大于 0.25kPa，正压产生的举升力不应超过罐顶板及其所支撑附件的总重）符合设计标准要求规定最大设计压力可提高到 18kPa，最大设计负压力在符合设计标准要求情况下可提高到 6.9kPa。国内储罐工程相关施工标准规范较多，国内储罐设计规范中 GB50341《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》、HG21502《钢制立式圆筒形固定顶储罐系列》、NB/T47003《钢制焊接常压容器》、SY/T0604《工厂焊接液体储罐规范》、SY/T0606《现场焊接液体储罐规范》、SY/T0608《大型焊接低压储罐的设计与建造》、SH3046《石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范》等对各类型储罐进行定义，施工质量验收依据设计图纸及国标规定验收规范执行。国内储罐施工质量管理主要以 GB 系列标准为基础，按照施工图纸中规定标准执行。国内大型储罐工程中亦参考 API 系列标准，施工质量验收选取要求严格的规定为准。

国内储罐标准均在参考 API 标准基础上进行完善发展的，随着“一带一路”国外工程的拓展，API、ASME、EN、BS、DIN 等等系列英美德标准在国外项目中被引用。

本章节主要对圆筒形现场制作、焊接储罐进行描述。

二、储罐工程依据标准

国内立式圆筒形储罐规范：

GB50341	立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范
GB50128	立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范
GB/T50393	钢质石油储罐防腐蚀工程技术标准
AQ3053	立式圆筒形钢制焊接储罐安全技术规范
NB/T47003.1	钢制焊接常压容器

HG/T20277	化工储罐施工及验收规范
SH/T3194	石油化工储罐用装配式内浮顶工程技术规范
SH/T3528	石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范
SH/T3530	石油化工立式圆筒形钢制储罐施工技术规程
SHS01012	常压立式圆筒形钢制焊接储罐维护检修规程
SH/T3167	钢制焊接低压储罐
SY/T0604	工厂焊接液体储罐规范
SY/T0606	现场焊接液体储罐规范
SY/T0608	大型焊接低压储罐的设计与建造
SY/T307	滩海石油工程立式圆筒形钢制焊接固定顶储罐技术规范
SY/T4202	石油天然气建设工程施工质量验收规范储罐工程
SY/T0088	钢质储罐罐底外壁阴极保护技术标准
SY/T0319	钢质储罐液体涂料内防腐层技术标准
SY/T0320	钢制储罐外防腐层技术标准
SY/T0326	钢质储罐内衬环氧玻璃钢技术标准
SY/T6078	金属立式储罐制作安装工程劳动定额
SY/T6979	立式圆筒形钢制焊接储罐自动焊技术规范

2.2 国外储罐标准

API650	《焊接石油储罐》
API620	《大型焊接低压储罐设计与建造》
BS2654:1973	石油工业立式钢制焊接油罐(对接焊壳体)
JISB8501	鋼製石油貯槽の構造(全溶接製)
DIN4119	地上圆柱形金属材料制平底油罐

三、储罐分类

(一) 按压力分类

常压储罐：依据 GB50341 标准固定顶常压油罐的设计负压不应大于 0.25kPa，正压产生的举升力不应超过罐顶板及其所支撑附件的总重量；当符合该规范附录 A 的规定时，最大设计压力可提高到 18kPa；当符合该规范附录 B 的规定时，最大设计负压可提高到 6.9kPa。浮顶油罐的设计压力应取常压。

低压储罐：依据 API620 储罐金属温度不超过 250° F(12.1℃) 和罐内气体或蒸汽空间不超过 15lbf/in² (0.1MPa) 表压的储罐设计，低压储罐的工作压力大于常压储罐，但是其压力小于 0.1MPa。

(二) 按所处环境分类

地上储罐、半地下储罐、地下储罐。

地上储罐：指储罐的罐底位于设计标高 ±0.00 及其以上；罐底在设计标高 ±0.00 以下但不超

过油罐高度的 $1/2$ ，也称为地上油罐。

半地下储罐：指储罐埋入地下深于其高度的 $1/2$ ，而且油罐的液位的最大高度不超过设计标高 ± 0.00 以上 0.2m 。

地下储罐：指罐内液位处于设计标高 ± 0.00 以下 0.2m 的油罐。

（三）按几何形状分类

立式圆柱形储罐：按其罐顶结构又可分为固定顶储罐（锥顶储罐、拱顶储罐、伞形顶储罐、网壳顶储罐（球面网壳）、滴形储罐）、活动顶储罐（外浮顶罐、内浮顶罐无力矩储罐）。

卧式圆柱形储罐：适用于储存容量较小且需压力较高的液体。

球形储罐：适用于储存容量较大有一定压力的液体，如液氨、液化石油气、乙烯等。

（四）按工况分类

按照储罐工况：常温储罐、低温储罐

四、储罐主要结构

（一）储罐本体

1. 储罐本体包括：

1.1 与外部管道焊接连接的第一道环向接头的坡口端面。

1.2 螺纹连接的第一个螺纹接头端面。

1.3 法兰连接的第一个法兰密封面。

1.4 专用连接件或者管件连接的第一个密封面。

1.5 非承压元件与储罐的连接焊缝。

储罐本体中的主要承压元件包括罐顶、罐壁、罐底、公称直径大于或等于 250mm 的接管和管法兰。

（二）安全附件

储罐的安全附件包括直接设置在储罐上的安全阀 / 呼吸阀、紧急切断装置、安全联锁装置、压力表、液位计、温度计、阻火器等。

（三）储罐本体主要结构

1. 罐底：由罐底边缘板、罐底中幅板组成。立式圆柱形油罐底部不受力，储罐本身的重量均经底板直接作用在基础。

2. 罐壁：储罐的主要受力构件，它是由若干层的圈板组装而成，每层圈板上的竖直焊缝均采用对接，圈板与圈板之间的环向焊缝则可根据使用要求采用对接或搭接方式。

3. 固定顶：罐顶周边与罐壁顶端固定连接的罐顶。主要包括以下形式：

3.1 自支撑式锥顶：罐顶形状为正圆锥形，荷载仅靠罐壁周边支撑。

3.2 柱支撑式锥顶：罐顶形状为正圆锥形，荷载靠罐壁，梁、柱或其他结构支撑。

3.3 自支撑式拱顶：罐顶形状为球面形，荷载仅靠罐壁周边支撑。

3.4 浮顶：随液面变化而上下升降的罐顶，包括外浮顶和内浮顶。在敞口油罐内的浮顶称外浮顶；

在固定顶油罐内的浮顶称内浮顶。不特别指出时，浮顶油罐指外浮顶油罐。浮顶主要有以下形式：

3.4.1 单盘式浮顶：浮顶周圈设环形密封舱，中间为单层盘板。

3.4.2 双盘式浮顶：整个浮顶均由隔舱构成。

3.4.3 敞口隔舱式浮顶：浮顶周圈设环形敞口隔舱，中间仅为单层盘板，此形式仅适用于内浮顶。

3.4.4 浮筒式浮顶：盘板与液面不接触，由浮筒提供浮力，此形式仅适用于内浮顶。

五、储罐施工考虑因素

（一）建罐地区的温度

建罐地区施工期间温度高低对储罐组装、焊接，特别是底板组焊会直接影响。建罐地区的昼夜温差造成各时段储罐焊接要求的不同。早晨，由于湿度大，露点低钢材表面水分造成焊接易产生气孔，因此必须进行焊前预热。罐底组装焊接由于每日气温变化，不同时间组焊板材热膨胀不同，容易产生罐底变形。外浮顶储罐罐顶未安装前，中幅板与边缘板焊接尤为明显。

（二）风载荷

建罐地区的风荷载，对储罐的组装安全有较大影响。在风荷载较大地区，在储罐部件吊装，特别是正装法组装罐壁板时，需要在风力达到5级时进行吊装作业，吊装时设置溜绳防止旋转。

（三）地基的地耐力

建罐地区的地耐力对储罐沉降有较大的影响，储罐基础结构设置桩基础情况好一些，对于未设置桩基础储罐基础，需要在储罐施工前设置可靠的基础沉降观测点，记录数据，储罐充水试验前、中、后进行观测比照，对偏差较大需要及时向建设方反馈，另外由于罐内介质比重与试验用水的比重差异，需要在充水试验前与设计及监理沟通确认。

（四）外部环境腐蚀（包括大气和土坡腐蚀）

建罐地区环境腐蚀在储罐防腐前影响较大，特别是沿海地区，空气湿度大，空气水分中氯离子含量高，对储罐外表面的腐蚀较为严重。在一些化工区大气中经常有酸雾、碱或盐尘，这些杂质与露水或蒸汽和大气中的氧形成一个活泼的腐蚀介质。几乎每一种腐蚀（一般腐蚀、点腐蚀、局部漫出腐蚀、电化学腐蚀、缝隙晶间腐蚀和应力腐蚀），都可能在储罐中发生。

第二节 储罐的安装技术措施

一、储罐安装主要方法

（一）正装法

指先将罐底铺设焊接完毕并通过检验合格后，将壁板的第一圈板分别与底板垂直对接并施焊。第一圈壁板组焊完毕后再组对第二圈壁板并与第一圈壁板组焊。直至最后一圈壁板组焊完毕后再安装罐顶，包括水浮法、外搭脚手架正装法、内挂脚手架正装法、水浮正装法等。

（二）倒装法

指先将罐底铺设焊接完毕并通过检验合格后，先进行最上一圈壁板的安装，组焊成环后以此

圈壁板为胎具安装上数第二圈壁板，组对纵缝后将最上圈壁板提起，组对两带板之间的环缝（安装罐顶）。依次完成，最后焊接底角环缝。提升方法包括：边柱葫芦提升倒装法、边柱液压提升倒装法及气吹等方法。

二、施工准备

（一）技术准备

1. 储罐施工应具备下列技术文件

1.1 设计文件

1.2 产品质量证明书

1.3 施工技术文件

1.4 质量计划（大型储罐）

1.5 与储罐组装、焊接工艺匹配的焊接工艺评定

1.6 相关标准规范

2. 施工前应进行图纸核查，核查应包括以下内容：

2.1 标准规范的适用性。

2.2 是否采用国外材料、新型材料。

2.3 总装图纸与零部件图间的衔接及标高、方位和主要尺寸等。

2.4 设备结构组装过程的可行性和稳定性。

2.5 设备图与土建、工艺等专业图纸间的衔接。

2.6 检验、试验要求。

3. 设计交底的组织与参与

4. 进行技术交底，包括工程特点、进度安排、施工工艺、质量标准及安全技术、劳动保护措施等。

5. 储罐组装工艺的确定，主要工艺方法可以选择正装、倒装或其衍生的水浮法、气吹法等。

重点是选择的工艺方法可行性、安全性、质量保证有效性、工程所在地气象条件。

（二）现场准备

1. 按照施工技术文件的规定布置施工现场。水、电、道路通畅，并符合下列要求：

1.1 施工场地平整，罐基础周围回填并经夯实，便于材料运输、吊装机械运行。

1.2 预制场地，现场临时道路、排水保证通畅。

1.3 现场消防设施，按照相关规定及现场实际布置情况设置。

1.4 钢材堆放场地、加工场地应当平整，保证排水通畅。不锈钢材料堆放、加工区域铺设碎石垫层做好防渗碳措施。

2. 配备满足现场组装要求的施工机具、工装设施、计量样板、样板等，计量器具应在检定有效期内。

3. 材料、配件的储存设施及堆放应满足施工技术文件要求。

4. 施工人员应经过安全教育和入场教育。

5. 按施工技术文件要求配置安全防护设施、消防设施。

三、储罐材料管理

(一) 钢材

1. 罐罐体用的钢板、型材和附件应符合设计要求, 并应有质量证明书, 质量证明书中应标明钢号、规格、化学成份、力学性能、供货状态及材料的标准。其机械性能参数符合现行的国家或行业标准, 并满足设计图纸要求, 低温钢材和低温焊接材料质量合格证明文件还应有低温冲击韧性值、扩散氢含量等内容。

2. 当对质量证明文件的特性数据有疑问时, 应对材料进行复验; 其技术指标应符合产品标准 and 设计文件的规定。

3. 钢材表面的出厂标志应清晰, 且应与质量证明文件相符合。

4. 罐体用的钢板应逐张进行外观检查, 钢板表面不得有可见裂纹、折叠、夹杂、结疤和压入的氧化皮等缺陷。当设计文件有要求时, 按设计文件要求执行; 无要求时应当符合国家现行标准《冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T708、《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T709、《低温压力容器用镍合金钢板》GB/T24510、《压力容器用复合板》NB/T47002 的有关规定。

5. 钢板表面锈蚀减薄量、损伤深度与钢板实际厚度负偏差值之和应符合设计要求, 且不大于相应钢板标准厚度允许负偏差值。低温钢板表面不得有目视可见的裂纹、结疤、折叠、夹杂和机械损伤。

6. 验收合格的钢材应做标识, 并按材质、规格、厚度等分类存放。存放过程中防止钢板产生变形, 严禁用带棱角的物体垫底, 应防止永久性变形。不锈钢的储存不易与石油、油脂等含有氧化物的材料接触; 低温合金钢应采取防磁化措施; 室外存储时, 应采取防护措施; 施工过程中做好材料标志移植。

7. 进口钢材及焊接材料应符合国外相应的钢制焊接储罐规范的规定和设计的要求。

8. 对材料的质量有疑义时, 应由材料采购方进行复验。

9. 型材应按规格存放, 存放过程中应防止型材产生变形, 并应做标记。

10. API650 中规定除非该标准或钢板规范里有更薄的钢板, 否则, 罐壁钢板最大厚度为 45mm (1.75in.)。而用作插入板或法兰的钢板厚度可大于 45mm (1.75in.)。所有底板的腐蚀厚度 (公称厚度减去腐蚀裕量) 应不少于 6mm (0.236in.) [49.8kg/m² (9.6lb/ft²)], 不包括买方规定的罐底板腐蚀裕量。除非经买方同意, 否则所有矩形和异形钢板 (放置罐壁的罐底板具有一个矩形末端) 的最小公称宽度应为 1800mm (72in.)。订购的罐底钢板应有足够大的尺寸, 以便在修整时, 向罐壁外伸出至少 50mm (2in.) 宽度。

(二) 焊接材料

1. 焊接材料 (焊条、焊丝及焊剂) 应符合产品标准和设计文件的规定, 应有出厂证明书。焊材质量证明书应包括熔敷金属的化学成份和机械性能, 当对质量证明文件的特性数据有疑问时,



应对焊接材料进行复验，复验合格后方准使用。焊条、焊丝、焊剂及保护气体等焊接材料应具有质量合格证明书，除应符合现行行业标准《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T47018的规定外，还应符合下列规定：

1.1 焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T5117、《热强钢焊条》GB/T5118、《不锈钢焊条》GB/T983、《镍及镍合金焊条》GB/T13814、《铝及铝合金焊条》GB/T3669的有关规定；

1.2 药芯焊丝应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T10045、《热强钢药芯焊丝》GB/T17493 和《不锈钢药芯焊丝》GB/T17853 的有关规定；

1.3 气体保护焊焊丝应符合现行国家标准《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T8110、《不锈钢焊丝和焊带》GB/T29713、《镍及镍合金焊丝》GB/T15620、《铝和铝合金焊丝》GB/T10858 的有关规定。

1.4 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝－焊剂组合分类要求》GB/T5293、《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝－焊剂组合分类要求》GB/T12470 和《埋弧焊用不锈钢焊丝－焊剂组合分类要求》GB/T17854 的有关规定；保护气体应符合国家现行标准《焊接用混合气体二氧化碳－氧/氩、氮/氩和氧/氩》HG/T4984 ~ 4986 的有关规定。

1.5 保护气体应符合国家现行标准《焊接用二氧化碳》HG/T2537 和《氩》GB/T4842 的有关规定 CO₂ 气体的纯度不得低于 99.5%，水分含量低于 0.005%；氩气纯度不低于 99.96%。

2. 焊材入库应严格验收，并做好标记，现场设置一级库、二级库，二级库入库、领用、回收需建立收发台账及领用制度。埋弧焊焊药存放需保持干燥。

3. 焊材的存放、保管，应符合下列规定：

3.1 焊材库必须干燥通风，库房内不得放置有害气体和腐蚀性介质。

3.2 焊材库房内温度不得低于 5℃，空气相对湿度不得高于 60%，配备除湿机、干湿温度计，并做好记录。

3.3 焊材存放，应离开地面和墙壁，其距离均不得少于 300 mm，并严防焊材受潮。

3.4 焊材应按种类、牌号、批号、规格和入库时间分类存放。

（三）储罐附件

1. 附件应有产品质量证明文件，特性数据应符合产品标准或设计文件的规定。

2. 通气阀、呼吸阀、紧急压力泄放阀的阀板活动灵活。

3. 密封装置胶皮外观无划伤、无老化现象。

4. 刮蜡机构尺寸一致，刮蜡板无变形。

5. 浮顶排水管的活节转动灵活，且密封完好。

6. 清扫孔与补强板弧度吻合，且法兰密封面完好

四、基础复查

(一) 基础交付安装时, 基础施工单位应提交与安装有关的技术资料; 基础上有明显的中心位置、方位、标高等标识, 并设置有可靠的沉降观测点。

(二) 基础应经中间交接后进行储罐安装, 中间交接时按下列规定进行复查:

1. 基础中心标高允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$;
2. 环梁结构的基础, 其环梁表面每 10m 弧长内任意两点的高差不得大于 6mm , 且整个圆周长度内任意两点的高差不得大于 12mm ;
3. 无环梁基础的边缘板下方表面每 3m 弧长内任意两点的高差不得大于 6mm , 且整个圆周长度内任意两点的高差不得大于 20mm ;
4. 沥青砂层表面应平整密实, 无明显的隆起、凹陷及贯穿裂纹, 沥青砂层表面平面度应按下列方法检查:

4.1 储罐直径等于或大于 25000mm 时, 按表 28-1 规定的圈数划出同心圆和各圈测量点数, 同一圆周测点的标高与计算标高之差不得大于 12mm ;

表 28-1 同心圆直径及测量点数

储罐直径 Dmm	同心圆直径 m					各圆周上最少测量点数个				
	I 圈	II 圈	III 圈	IV 圈	V 圈	I 圈	II 圈	III 圈	IV 圈	V 圈
$D \geq 7600$	D/6	D/3	D/2	2D/3	5D/6	8	6	4	32	40
$45000 \leq D < 76000$	D/5	2D/5	3D/5	4D/5	—	8	16	24	32	—
$25000 \leq D < 45000$	D/4	D/2	3D/4	—	—	8	16	24	—	—

4.2 储罐直径小于 25000mm 时, 可从基础中心向基础周边拉线测量, 基础表面每 100m^2 范围内测点不得少于 10 点, 沥青砂层平面度不得大于 25mm ; 小于 100m^2 的基础按 100m^2 计算。

(三) 单面倾斜式储罐基础, 按下列规定进行复查:

1. 基础中心标高允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$ 。
2. 基础表面倾斜度不得大于 15mm 。
3. 支撑罐壁的基础表面高差, 整个圆周长度内任意两点的测量标高与设计标高之差的差应不大于 12mm , 且每 10m 弧长范围内任意两点的测量标高与设计标高之差的差应不大于 6mm 。
4. 基础表面凹凸度可用拉线或水准仪测量, 每 100m^2 范围内测点不得少于 20 点, 表面凹凸度应不大于 20mm ; 小于 100m^2 的基础按 100m^2 计算。

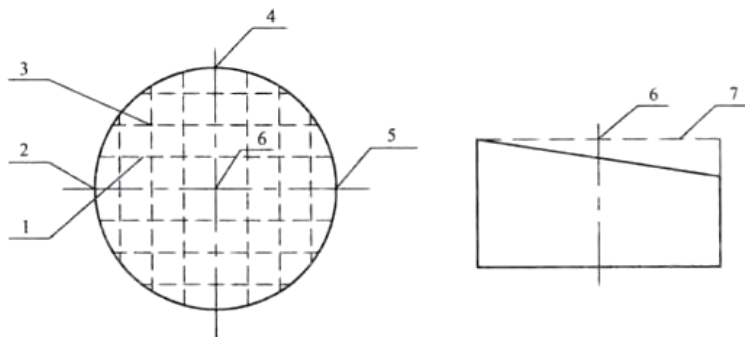


图 4.3 单面倾斜式基础表面尺寸测量示意图

1—测量平行线; 2—最高点; 3—测量点; 4—中心线; 5—最低点; 6—基础中心; 7—测量水平面



(四) 锚固件应符合下列规定:

1. 锚固件圆周半径允许偏差为 $\pm 6\text{mm}$ 。
2. 锚固件的埋入件部分垂直度不超过 3mm 。
3. 锚固件外露高度应为设计标高 $\pm 6\text{mm}$ 。
4. 相邻锚固件的弦长应为理论长度 $\pm 6\text{mm}$ 。
5. 锚固件不得与基础钢筋进行焊接。

(五) 对储罐基础进行复验时, 应填写储罐基础复测记录, 沉降观测点参考点位置需提前确定, 并记录初始数据。

五、预制加工

(一) 一般规定

1. 样板制作后应进行校验, 并符合下列规定:

1.1 样板宜采用 $0.5\text{mm}\sim 0.7\text{mm}$ 的镀锌铁皮制作。

1.2 当构件的曲率半径小于或等于 12500mm 时, 弧形样板的弦长不得小于 1500mm ; 曲率半径大于 12500mm 时, 弧形样板的弦长不得小于 2000mm 。

1.3 直线样板的长度不得小于 1000mm 。

1.4 测量焊接接头角变形的样板, 弦长不得小于 1000mm 。

1.5 样板周边应光滑整齐, 弧形样板予以加固。

1.6 在样板上标出正、反面及所代表构件的名称、部位、规格, 并妥善保管。

2. 号料前应核对钢板的规格和材质标识, 号料应符合下列规定:

2.1 钢板水平放置, 定出基准线, 划出长度、宽度的切割线, 并在切割线内侧 100mm 处划出检查线, 用记号笔做出标记, 复查后在切割线上打上样冲眼。

2.2 按排版图上的标识标明储罐代号、排版编号与板的规格。

2.3 标识加工符号。

3. 钢板切割及坡口加工, 应符合下列规定:

3.1 碳素钢、低合金钢采用机械加工或自动、半自动火焰切割加工, 不锈钢采用机械加工或等离子切割加工。火焰切割时导轨应不移位、不变形。

3.2 坡口应平整, 不得有夹渣、分层、裂纹等缺陷; 火焰及等离子切割坡口产生的氧化层和表面硬化层应去除。

3.3 碳素钢在操作环境温度低于 -16°C 、低合金钢在操作环境温度低于 -12°C , 不得进行冷矫正、冷弯曲和剪切加工。

4. 除设计文件另有规定外, 坡口型式和尺寸宜按 GB/T985.1、B/T985.2 的规定选用。壁板纵向焊接接头气电立焊、环向焊接接头埋弧焊的焊接接头型式宜符合下列要求:

4.1 气电立焊的纵向焊接接头, 厚度小于或等于 24mm 的壁板采用单面坡口; 厚度大于 24mm 的壁板采用双面坡口 (见图 4.1), 其间隙 e 为 $4\text{mm}\sim 6\text{mm}$, 钝边 F 不大于 2mm , 坡口宽度 W 为

16mm~18mm；双面坡口可采用不对称坡口，两侧坡口深度差宜为 0 ~ 4mm。

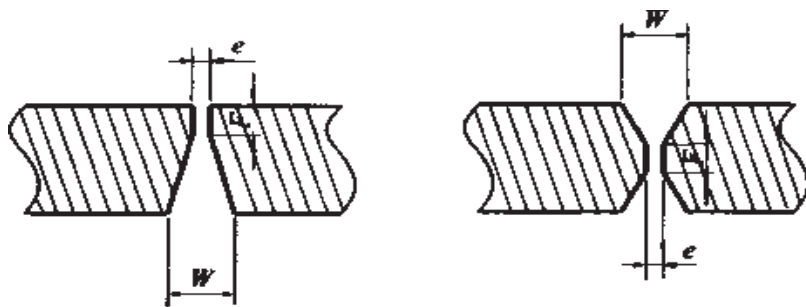


图 4.1 纵向焊接接头气电立焊接头型式

5. 埋弧焊的环向焊接接头，厚度小于或等于 12mm 的采用单面坡口；厚度大于 12mm 的易采用双面坡口（见图 5），坡口角度 α 为 $45 \pm 2.5^\circ$ ，钝边 F 为 1mm~3mm，间隙 e 不大于 3mm；双面坡口可采用不对称坡口，两侧坡口深度差宜为 0 ~ 4mm。

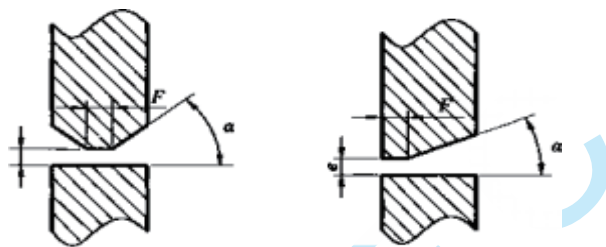


图 5 环向焊接接头埋弧焊的接头型式

6. 不等厚壁板的预制应符合设计要求。设计无要求时，当薄板厚度 δ_1 小于或等于 10mm 且两板厚度差超过 3mm，或当薄板厚度大于 10mm 且两板厚度差大于薄板厚度 30% 或超过 5mm 时，应对厚板边缘进行削边处理（见图 6），削边后的端部厚度不应小于薄板厚度，削边坡比不宜大于 1:4。

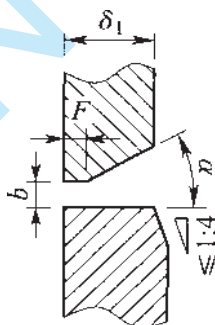


图 6 不等壁厚削边示意

7. 储罐的所有预制构件完成时应有编号，并应用油漆或其他方法作出清晰的标识。储罐的构件在保管、运输及现场堆放时，应防止变形、损伤和锈蚀。

8. 不锈钢储罐的预制，还应符合下列规定：

- 8.1 不锈钢材料不应与碳素钢及存放过氯化物的材料接触；
- 8.2 不锈钢板不应作硬印标记或刻画标识，宜采用易擦洗的颜料作标记；
- 8.3 不锈钢板及构件的吊装宜采用吊装带，运输胎具上应采取防护措施；



8.4 不锈钢板及构件不得采用铁锤直接敲击，其表面不应有划痕、撞伤、电弧擦伤、腐蚀，并保持其光滑；

8.5 不锈钢的构件不应采用热煨成型；

8.6 不锈钢打磨时应采用不锈钢专用砂轮片或磨带。

(二) 底板预制

1. 储罐底板预制前应绘制排版图，并应符合下列规定：

1.1 底板的排版直径宜按设计直径放大 0.1%~0.15%。

1.2 罐底环形边缘板沿罐底半径方向的最小尺寸不应小于 700mm [图 1.2(a)]；边缘板最小直角边尺寸不应小于 700mm[图 1.2(b)]。

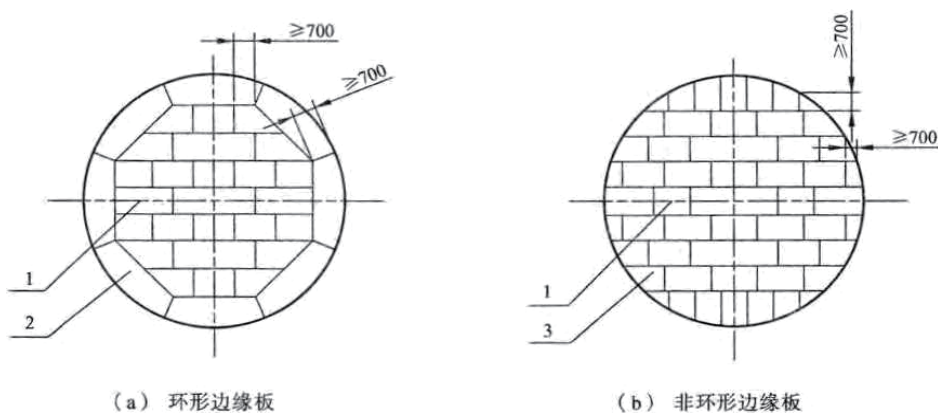


图 1.2 罐底边缘板最小尺寸

1—中板幅板；2—环形边缘板；3—边缘

2. 罐底环形边缘板的对接接头宜采用不等间隙，当采用焊条电弧焊时，外侧间隙宜为 6mm ~ 7mm，内侧间隙宜为 8mm~12mm；当采用气体保护焊时，外侧间隙宜为 3mm~5mm，内侧间隙宜为 6mm~8mm(图 2)。

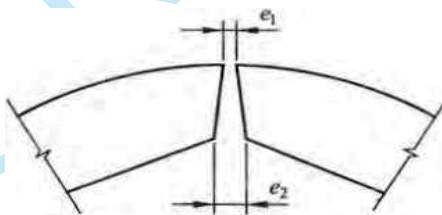


图 2 罐底环形边缘板对接接头

e1—外侧间隙；e2—内侧间隙

3. 罐底中幅板的宽度不应小于 1000mm，长度不应小于 2000mm；与罐底环形边缘板连接的不规则中幅板最小直边尺寸不应小于 700mm。

4. 底板任意相邻焊缝之间的距离不应小于 300mm。

5. 储罐底板的尺寸允许偏差应符合下列规定：

5.1 当罐底中幅板采用对接接头时，中幅板的尺寸允许偏差应符合标准规定。

5.2 罐底环形边缘板的尺寸(图 5.2)允许偏差应符合表 28-2 的规定。

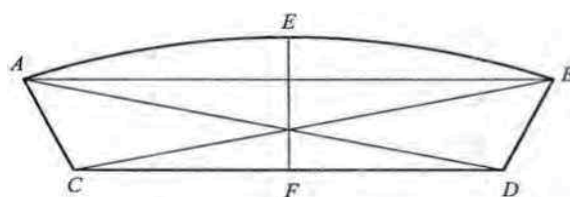


图 5.2 罐底环形边缘板尺寸测量部位

表 28-2 罐底环形边缘板尺寸允许偏差 (mm)

测量部位	允许偏差
长度 AB、CD	+2
宽度 AC、BD、EF	± 2
对角线之差 $ AD-BC $	≤ 3

6. 厚度大于或等于 12mm 的罐底环形边缘板，应在坡口两侧（图 5.2 中 AC、BD、CD）100mm 范围内按现行行业标准《承压设备无损检测》NB/T47013 的规定进行超声检查，低温材料达到 I 级标准为合格，其他材料达到 II 级标准为合格；当采用火焰切割坡口时，应去除氧化层后，再对坡口表面进行磁粉或渗透检测，且表面不得有任何裂纹和夹层等缺陷。

（三）壁板预制

1. 储罐壁板预制前应绘制排版图，并应符合下列规定：

1.1 各圈壁板的纵焊缝宜向同一方向逐圈错开，相邻圈板纵缝间距宜为板长的 1/3，且不应小于 300mm。

1.2 底圈壁板的纵焊缝与罐底边缘板的对接焊缝之间的距离不应小于 300mm。

1.3 开孔与罐壁纵、环焊缝中心和罐壁最下端角焊缝边缘的距离应符合下列规定：

1.3.1 当罐壁厚度大于 12mm，且接管与罐壁板焊接后不进行消除应力热处理时，开孔接管或补强板外缘与罐壁纵、环焊缝之间的距离应大于较大焊脚尺寸的 8 倍，且不应小于 250mm。

1.3.2 当任意厚度罐壁与接管进行焊后热处理或厚度不大于 12mm 的罐壁与接管焊后不进行热处理时，开孔接管或补强板外缘与罐壁纵焊缝之间的距离不应小于 150mm；与罐壁环焊缝之间的距离不应小于壁板厚度的 2.5 倍，且不应小于 75mm。

1.3.3 当罐壁钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa 时，开孔角焊缝外缘或补强板角焊缝外缘到罐壁最下端角焊缝边缘的距离不得小于壁板厚度的 2.5 倍，且不得小于 75mm；罐壁钢板的最低标准屈服强度小于或等于 390MPa 时，开孔应符合设计文件的要求。

1.4 罐壁上连接件的垫板周边焊缝与罐壁纵焊缝或接管、补强板的边缘角焊缝之间的距离不应小于 150mm；与罐壁环焊缝之间的距离不应小于 75mm；当不可避免与罐壁焊缝交叉时，被覆盖的焊缝应磨平并经射线或超声检测合格，垫板角焊缝在罐壁对接焊缝两侧边缘应至少留出 20mm 不焊接。

1.5 两开孔之间的距离应符合下列规定：

1.5.1 当两开孔至少有一个补强板时，其最近角焊缝边缘之间的距离不应小于较大焊脚尺寸的 8 倍，且不应小于 150mm。



- 1.5.2 当两开孔均无补强板时，角焊缝边缘之间的距离不得小于 75mm。
- 1.6 抗风圈、加强圈与罐壁环焊缝之间的距离不应小于 150mm。
- 1.6 包边角钢对接接头与壁板纵向焊缝之间的距离不应小于 300mm。
- 1.8 当设计文件无要求时，直径小于 25m 的储罐的壁板宽度不宜小于 500mm，长度不宜小于 1000mm；直径大于或等于 25m 的储罐的壁板宽度不宜小于 1000mm，长度不宜小于 2000mm。
2. 储罐壁板的加工尺寸（图 2）允许偏差应符合表 28-3 的规定。

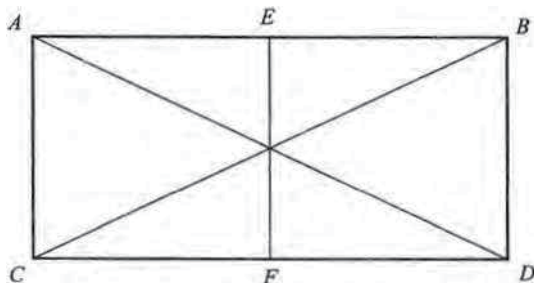


图 2 壁板尺寸测量部位

表 28-3 壁板尺寸允许偏差 mm

板长 AB(CD) ≥ 10000	板长 (CD) < 10000
± 1.5	± 1
± 2	± 1.5
≤ 3	≤ 2
≤ 1	≤ 1
≤ 2	≤ 2

3. 壁板滚制后应采用样板检查。垂直方向采用直线样板检查，其间隙不应大于 2mm；水平方向采用弧形样板检查，其间隙不应大于 4mm。

4. 当有下列情况时，开孔接管与罐壁板、补强板焊接完并经检验合格后，均应进行整体消除应力热处理：

4.1 罐壁钢板的最低标准屈服强度小于或等于 390MPa、板厚大于 32mm 且接管公称直径大于 300mm。

4.2 罐壁钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa、板厚大于 12mm 且接管公称直径大于 50mm。

4.3 齐平型清扫孔。

（四）顶板预制

1. 浮顶预制应符合下列规定：

1.1 浮顶预制前应绘制排版图，并应符合标准有关规定。

1.2 浮舱外边缘环板、环板、顶板、底板、隔舱板的预制，拼接时应采用全焊透对接焊缝，其尺寸允许偏差应符合罐底板、罐壁板预制要求的有关规定。浮舱底板及顶板预制后，其平面度应采用直线样板检查，间隙不应大于 4mm。

1.3 单盘式浮顶的浮舱进行分段预制时，应符合下列规定：

1.3.1 浮舱底板、顶板的平面度采用直线样板检查，且间隙不应大于 5mm。

1.3.2 浮舱内、外边缘板边缘弧度采用弧形样板检查，且弧度间隙不应大于 10mm。

1.3.3 分段预制浮舱的几何尺寸（图 1.3.3）允许偏差应符合表 28-4 的规定。

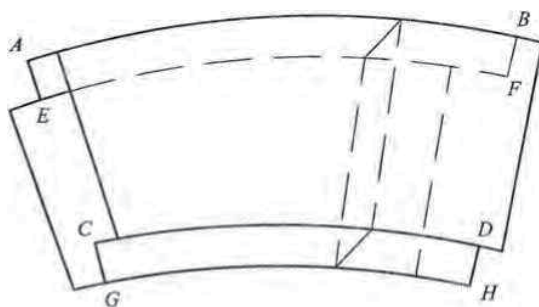


图 1.3.3 分段预制浮舱尺寸测量部位

表 28-4 分段预制浮舱几何尺寸的允许偏差 mm

测量部位	允许偏差
高度 AE、BF、CG、DH	± 1
弦长 AB、EF、CD、GH	± 4
对角线之差 $ AD-BC $ 、 $ CH-DG $ 和 $ EH-FG $	≤ 6

1.3.4 双盘式浮顶的桁架、椽子等构件的预制应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB50755 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

2. 固定顶顶板预制应符合下列规定：

2.1 固定顶顶板预制前应绘制排版图，并应符合下列规定：

2.1.1 顶板任意相邻焊缝的间距不应小于 200mm。

2.1.2 单块顶板本身的拼接宜采用对接。

2.2 固定顶顶板的预制应符合下列规定：

2.2.1 加强筋加工成型后、应采用弧形样板检查，其弧度间隙不应大于 2mm。

2.2.2 每块顶板应在胎具上与加强筋拼装成型，焊接时应采取防变形措施。

2.2.3 顶板拼装成型脱胎后，应采用弧形样板检查，其弧度间隙不应大于 10mm。

3. 网壳结构预制应符合下列规定：

3.1 网壳结构所有部件应为预制件。预制件应符合设计文件的要求。

3.2 网壳结构构件当设计文件无要求时，弧形构件加工成型后，应采用弧形样板检查弧度，其间隙不应大于 2mm；翘曲变形量不应超过构件长度的 0.1%，且不应大于 6mm。热煨成型的构件不应有过烧现象，其他构件几何尺寸允许偏差应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB50755 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

3.3 蒙皮材料应与网壳结构构件所用的材质一致，所用板材应平整。

（五）构件、附件预制

1. 抗风圈、加强圈、包边角钢、抗拉环、抗压环等弧形构件加工成型后，几何尺寸允许偏差应符合第 3.2 条规定。

2. 罐体开孔的补强板预制应符合下列规定：



2.1 补强板的材质应与开孔处罐体板的材质相同，一般采用等厚原则。

2.2 补强板的切割表面应光滑、平整，并将棱角倒圆；曲率应与该处罐体的曲率一致，垂直方向采用直线样板检查，其间隙不应大于 2mm；水平方向采用弧形样板检查，其间隙不应大于 4mm。

2.3 拼接补强板的对接焊缝应采用全焊透型式缝。

2.4 整块钢板制造的补强板应有 1 个信号孔；拼接的补强板，每一拼接段上应有 1 个信号孔。信号孔应位于距开孔补强板下边缘 15mm 处，螺纹尺寸宜为 M6 ~ M10。

3. 罐体接管的预制应符合下列规定：

3.1 切口表面应平整，并应无裂纹、重皮、毛刺、熔渣、氧化物等缺陷。

3.2 切口端面倾斜偏差不应大于管子外径的 1%，且不应大于 3mm。

3.3 法兰密封面与接管垂直度不应大于 0.5mm，密封面应完好无损伤。

4. 浮顶支柱、导向管和量油管的预制应符合下列规定：

4.1 浮顶支柱套管长度允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。支柱销轴处至支柱盖板距离的允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ ；预制浮顶支柱时，宜预留 100mm ~ 200mm 的调整量。

4.2 导向管、量油管的长度允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ ；直线度不应大于长度的 1/1000，且全长不应大于 10mm，管口平面度不应大于 2mm。

4.3 管子接口应采用全焊透型式。

5. 盘梯、旋转扶梯的预制应符合下列规定：

5.1 构件长度方向拼接接头应为全焊透型式。

5.2 盘梯各踏步轴应向心；旋转扶梯各踏步应平行，各踏步轴与长轴应垂直。

5.3 各级踏步应保持水平或前端稍高。

5.4 旋转扶梯各部旋转机构转动应灵活。

6. 出厂的预制件应符合下列规定：

6.1 预制件应按储罐位号、排版图进行编号，并有明显的标识。

6.2 预制件在包装、运输和存放过程中，应采取防止构件变形、损伤的措施。

6.3 预制件出厂应提供下列资料：

6.3.1 排版图

6.3.2 预制件清单

6.3.3 材料、构件及附件质量证明文件

6.3.4 质量记录

6.3.5 设计变更文件

六、组装

（一）一般规定

1. 储罐组装前，应将构件的坡口两侧 20mm 范围内和搭接部位的铁锈、水分、污物等清理干净。

2. 吊装和组装预制成型的构件时应采取防变形措施。
3. 当采用锤击法进行矫形或拆除组装工卡具时,不得损伤母材,当母材有损伤时,应按标准要求修补。

4. 组装过程中,应采取措施防止大风等恶劣条件对储罐造成破坏。
5. 不锈钢储罐组装工卡具材质宜与母材相同,碳素钢工卡具不应与不锈钢储罐接触和焊接。
6. 储罐在组装过程中,应采取措施防止划痕、撞伤、电弧擦伤、腐蚀等损伤母材。

(二) 罐底组装

1. 罐底组装应符合下列规定:

1.1 安装过程中不得损坏基础,如有损坏应及时修复。
1.2 按平面图的方位,在储罐基础上划出两条互相垂直的中心线,并作出明显标记。按排版图铺设底板,排版图所示方位应与基础方位重合。

1.3 底板铺设前,其下表面应按设计文件要求刷防腐涂料;底板焊接位置 50mm 范围内不得涂刷防腐涂料。

1.4 在罐底中心定位板上按排版图画出十字线,打上样冲眼,铺设中心定位板,中心定位板上的十字线应与基础方位线重合。

1.5 安装过程中应保持基础及沥青砂层完好,如有损坏应及时修复。

2. 以边缘板铺设外半径为半径,画出边缘板铺设外圆周,按排版图方位铺设边缘板。

3. 采用吊车在基础上进行吊装作业时,应对基础采取保护措施。

4. 垫板拼接接头应采用对接熔透焊,焊后表面磨平。

5. 工卡具拆除时,不得损伤母材,钢板表面的焊疤应打磨平滑。。

6. 当底板采用搭接接头时,应符合下列规定:

6.1 按排版图铺设中心带板,再按顺序由中心带板向两侧铺设中幅板,边铺设边进行定位焊。
底板搭接宽度允许偏差为 -5mm 。

6.2 中幅板之间搭接宽度不应小于 25mm,搭接接头间隙不应大于 1mm。

6.3 中幅板与环形边缘板搭接时,中幅板搭接在环形边缘板的上面,搭接宽度不应小于 60mm。

6.4 应将搭接接头的三层钢板重叠部分的上层底板切角,切角长度应为搭接宽度的 2 倍,切角宽度应为搭接宽度的 2/3(图 6)。

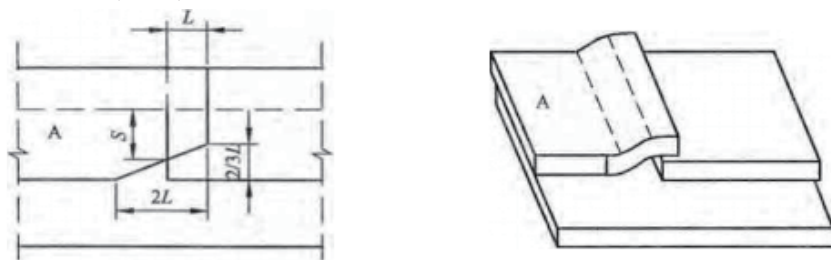


图 6 搭接接头三层钢板重叠部分的切角尺寸

A 一上层底板; S 一搭接宽度; S-A 板覆盖的焊缝长度



6.5 弓形边缘板铺设时,先铺设清扫孔处的边缘板,再以该板为起点,向两个方向进行铺设。也可以清扫孔及清扫孔对面一点为起点分别向两个方向铺设。垫板可预先点焊在边缘板的一侧。

7.边缘板为非弓形边缘板时,在与壁板相焊接的部位,应有不小于300mm采用对接接头型式(见图7)弓形边缘板先焊外侧300mm,其余部分在壁板与弓形边缘板焊接后再焊;组对边缘板与中幅板的工卡具在弓形边缘板300mm以外的焊接接头焊完后拆除。

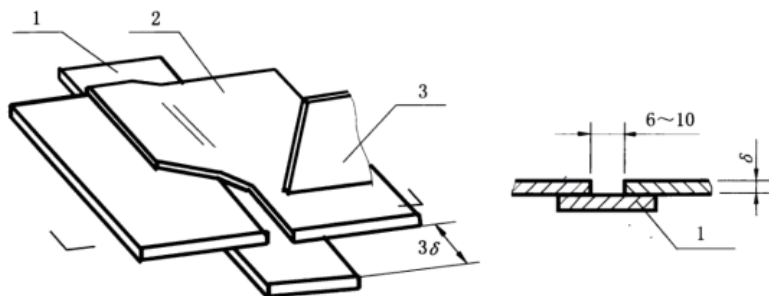


图7 搭接接头的罐底非弓形边缘板的对接结构示意图

1—垫板; 2—边缘板; 3—壁板

8. 弓形边缘板与中幅板搭接处的中幅板预留量切割前,应将弓形边缘板焊缝、中幅板焊缝、以及大角缝焊完。

9. 边缘板和对接接头下面的垫板应紧贴,对接接头焊后应磨平。

10. 中幅板与弓形边缘板间收缩缝组对时,中幅板切割后应及时进行定位焊和搭接焊。

11. 底板采用带垫板的对接接头时应符合下列规定:

11.1 垫板拼接接头应采用对接熔透焊,下方应按设计要求加设垫板。

11.2 垫板与对接的两块底板点焊固定前应将污物清理干净,将垫板与对接的两块底板贴紧,点焊固定后的间隙不应大于1mm。

11.3 当设计文件对底板对接接头间隙无要求时,应符合表28-5的规定。

表 28-5 罐底板对接接头间隙 mm

焊接方法		钢板厚度 δ	对接接头间隙
焊条电弧焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	5 ± 1
	开坡口	$\delta > 6$	7 ± 1
埋弧自动焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	3 ± 1
		$6 < \delta \leq 10$	4 ± 1
	开坡口	$10 < \delta \leq 16$	2 ± 1
		$\delta > 16$	3 ± 1
焊条电弧焊打底,埋弧自动焊填充	开坡口	$\delta > 10$	8 ± 2
气体保护焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	3 ± 1
		$6 < \delta \leq 10$	4 ± 1
气体保护焊打底,埋弧焊填充	开坡口	$\delta > 10$	4 ± 1

(三) 壁板组装

1. 壁板运至现场应按编号分别摆放,并采取防变形措施。

2. 组装前应将坡口部位的铁锈及油污等清理干净,并逐张检查预制质量。壁板组装前,应对

预制成型的壁板的几何尺寸进行复查，合格后方可组装。

3. 相邻两壁板上口水平的允许偏差不应大于 2mm，在整个圆周上任意两点水平的允许偏差不应大于 6mm。

4. 首圈安装的壁板垂直度不应大于 3mm，其他各圈壁板垂直度不应大于该圈壁板高度的 0.3%。

5. 每圈壁板焊接后，壁板内表面任意点半径允许偏差应符合表 28-6 的规定。

表 28-6 壁板内表面任意点半径的允许偏差 mm

储罐直径 D	半径允许偏差
< 12500	± 13
$12500 < D \leq 45000$	± 19
$45000 < D \leq 76000$	± 25
> 76000	± 32

6. 壁板对接接头的组装间隙，当图样无要求时，可按表 28-7、表 28-8 的规定执行，所选择坡口形式需要有相应合格焊接工艺评定支持。

表 28-7 罐壁环向对接接头的组装间隙单位：mm

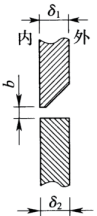
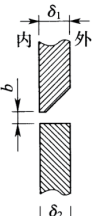
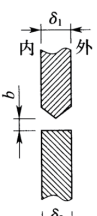
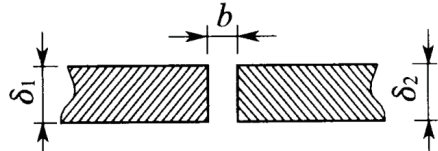
坡口型式	焊条电弧焊		埋弧焊	
	板厚 δ_1	间隙 b	板厚 δ_1	间隙 b
	$\delta_1 \leq 6$	2 ~ 3	—	—
	$6 < \delta_1 \leq 15$	2 ~ 3	$\delta_1 \leq 12$	0 ~ 1
	$15 < \delta_1 \leq 20$	2 ~ 4		
	$12 \leq \delta_1 \leq 45$	2 ~ 3	$12 < \delta_1 \leq 45$	0 ~ 1

表 28-8 罐壁纵向对接接头的组装间隙 mm

坡口型式	焊条电弧焊		埋弧焊	
	板厚 δ_1	间隙 b	板厚 δ_1	间隙 b
	$\delta_1 < 6$	1 ~ 2	—	—



坡口型式	焊条电弧焊		埋弧焊	
	板厚 δ_1	间隙 b	板厚 δ_1	间隙 b
	$6 \leq \delta_1 \leq 9$	$1 \sim 3$	$\delta_1 \leq 24$	5 ± 1
	$9 < \delta_1 \leq 15$	$2 \sim 3$		
	$12 < \delta_1 \leq 45$	$2 \sim 3$	$\delta_1 > 24$	

7. 壁板组装错边量应符合下列规定：

7.1 纵向焊缝采用焊条电弧焊，当壁板厚度小于或等于 10mm 时，错边量不应大于 1mm；当壁板厚度大于 10mm 时，错边量不应大于板厚的 1/10，且不应大于 1.5mm；采用自动焊时，错边量均不应大于 1mm。

7.2 环向焊缝采用焊条电弧焊时，当上圈壁板厚度小于或大于 8mm 时，错边量均不应大于 1.5mm；当上圈壁板厚度大于 8mm 时，错边量均不应大于板厚的 1/5，且不应大于 2mm；采用自动焊时，错边量均不应大于 1.5mm。

8. 焊接后采用 1m 长的弧形样板检查纵焊缝，采用 1m 长的直线样板检查环焊缝，焊接接头棱角角度应符合表 28-9 的规定。

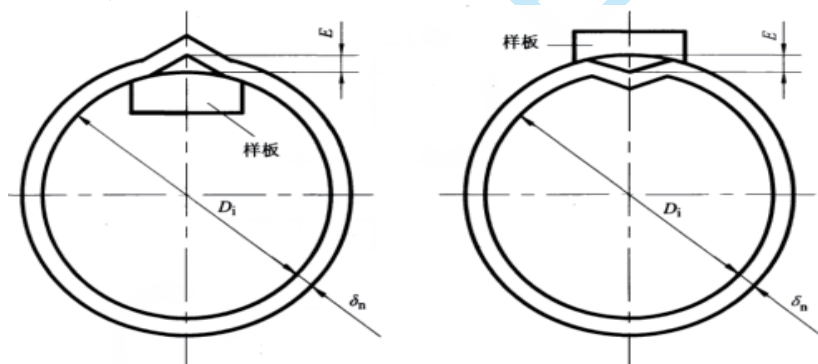


图 8 棱角度检查示意图

表 28-9 焊接接头棱角度 (mm)

板厚 δ /mm	棱角度 / (°)
≤ 12	≤ 12
$12 < \delta \leq 25$	≤ 10
> 25	≤ 8

9. 焊接后，罐壁的局部凹凸变形应平缓，罐壁局部凹凸变形应符合表 28-10 的规定。

表 28-10 罐壁局部凹凸变形 mm

板厚 δ /mm	罐壁局部凹凸变形
≤ 12	≤ 15
$12 < \delta \leq 25$	≤ 13
> 25	≤ 10

10. 底圈壁板外表面沿径向至边缘板外缘的距离不应小于 50mm, 且不宜大于 100mm。

11. 对储罐壁板进行组装时, 应填写储罐壁板组装检查记录。

(四) 壁板组装方法介绍

1. 壁板组装可采用外搭脚手架正装法、内挂脚手架正装法、水浮正装法、边柱葫芦提升倒装法、边柱液压提升倒装法。

2. 外搭脚手架正装法施工, 按下列要求进行:

2.1 脚手架随壁板升高而逐层搭设, 当纵向焊接接头采用气电立焊、环向焊接接头采用自动焊时, 脚手架不得影响焊接操作。

2.2 采用在壁板内侧挂设移动小车进行内侧施工。

2.3 采用吊车吊装壁板。

3. 内挂脚手架正装法施工, 按下列要求进行:

3.1 预制带钩板的三角架和八字板, 三角架水平边长应能并排摆放 5 块跳板。

3.2 在已安装的最上一层壁板内侧, 沿圆周按规定间距在同一水平标高处均布八字板, 安置三角架, 铺满跳板, 将搭头处用铁线捆绑牢固, 并安装护栏。

3.3 搭设楼梯间或斜梯连接各圈脚手架, 形成上、下通道。

3.4 一台储罐施工宜用 2 层 ~3 层脚手架, 1 个 ~2 个楼梯间, 脚手架从下至上交替使用。

3.5 在罐壁外侧挂设移动小车进行外侧施工。

3.6 用吊车吊装壁板。

4. 水浮正装法施工, 按下列要求进行:

4.1 底板、底圈壁板、第二圈壁板、底圈壁板与底板的角接接头组焊完并检验合格; 浮顶组焊完并检验合格。

4.2 设置罐壁移动小车或弧形吊栏进行罐壁外侧作业。

4.3 采用吊车吊装或在浮舱上设置吊杆吊装壁板。

4.4 设置浮盘导向装置。

4.5 充水浮升浮顶、逐圈组装第三圈及以上各圈壁板 (见图 4)。

4.6 壁板组装前、组装过程中、组装后应按设计文件规定进行沉降观测。

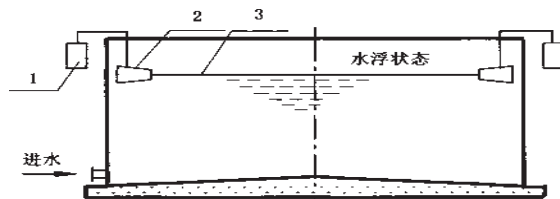


图 4 水浮法正装壁板示意

1—环形吊篮; 2—浮舱; 3—单盘或双盘

5. 边柱葫芦提升倒装法施工, 可采用手拉葫芦或电动葫芦作为提升动力按下列要求进行:

5.1 设置作业人员进、出罐内的通道。

5.2 在壁板内侧沿周向均匀设置提升柱（见图 5-1、图 5-2）。

5.3 提升柱的数量、结构、规格应依据需提升的最大重量计算确定，其背向壁板一侧应设置有防倾覆斜拉撑。

5.4 在提升柱顶部设置手拉葫芦或电动葫芦。

5.5 在壁板下部安装胀圈，加设传力龙门板，用千斤顶或加减丝将其与罐壁胀紧。

5.6 将胀圈与手拉葫芦或电动葫芦联接。

5.7 起吊已组成部分的罐顶与罐壁，起吊过程应平稳，各起吊点应同步上升。

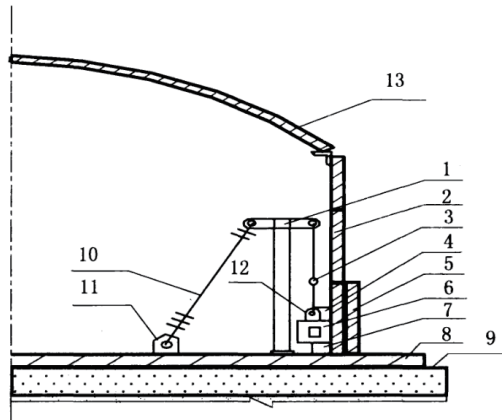


图 5-1 手拉葫芦提升法示意

1—提升支柱；2—已装壁板；3—手拉葫芦；4—传力龙门；5—待装壁板；6—胀圈；7—限位挡板；8—底板；9—基础；

10—斜拉撑；11—锚固耳；12—吊耳；13—罐顶

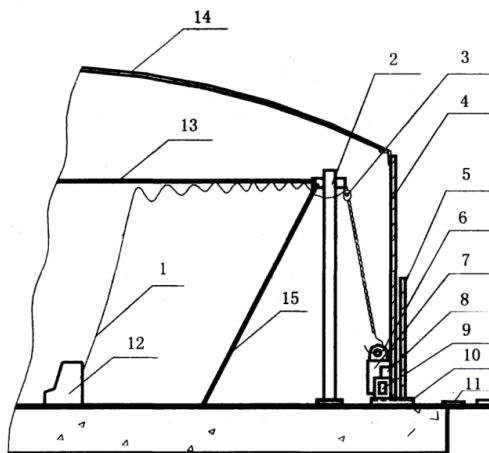


图 5-2 电动葫芦提升装置示意

1—电缆；2—提升柱；3—电动葫芦；4—已装壁板；5—待装壁板；6—吊耳；7—刀型限位板；8—传力龙门板；9—胀圈；

10—槽钢垫块；11—罐外操作平台；12—控制台；13—水平拉筋；14—罐顶；15—斜拉撑

5.8 起吊到规定高度后与下圈壁板组焊接。

6. 边柱液压提升倒装法施工，按下列要求进行：

6.1 设置作业人员进出罐内的通道。

6.2 在壁板内侧沿周向均匀设置提升架，在提升架上安置千斤顶（见图 6-1、图 6-2）。

6.2.1 提升架高度比最大提升高度高 1000mm 左右。

6.2.2 提升架的间距为 5000mm~8000mm，其背向壁板一侧应设置有防倾覆斜拉撑。

6.2.3 胀圈用千斤顶或加紧丝与罐壁胀紧。

6.2.4 起吊过程应平稳，各起吊点应同步上升，起吊到规定高度后与下圈壁板组对。

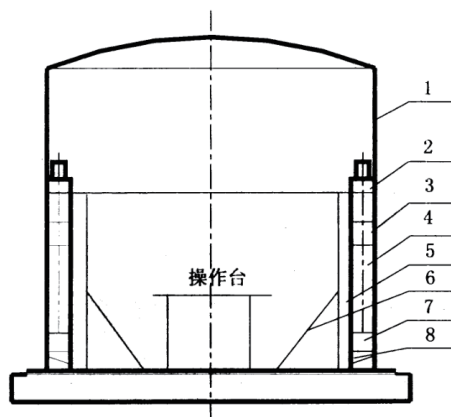


图 6-1 提升架安装示意

1—罐壁；2—上卡头；3—下卡头；4—提升杆；5—提升架；6—斜撑；7—胀圈；8—托板

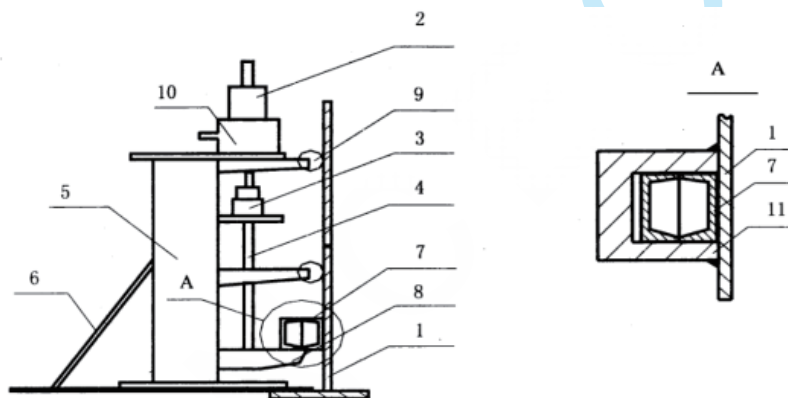


图 6-2 提升架结构示意图

1—罐壁；2—上卡头；3—下卡头；4—提升杆；5—提升架；6—斜撑；7—胀圈；8—托板；9—调整滚轮；10—千斤顶；
11—传力龙门板

7. 罐底单面倾斜式储罐壁板宜采用正装法安装，其组装程序和要求除符合本节（三）条要求外还应符合下列要求：

7.1 底圈壁板的内组装圆为一椭圆形，长、短轴按规范要求公式计算长度。计算短半轴时取 $\theta = 0^\circ$ ，计算长半轴时 θ 取基础坡度角的数值。

7.2 组装底圈壁板时保证上口水平度。

（五）罐顶组装

1. 浮顶组装应符合下列规定：

1.1 隔板、桁架组装应符合下列规定：

1.1.1 浮顶的组装宜在临时组装支架上进行，宜将其顶标高比浮顶底板标高抬高 50mm~80mm，



浮顶组装过程应设置临时排水措施。

1.1.2 隔板与底板间隙不应大于 1mm，桁架与底板间隙不应大于 2mm，垂直度不应大于 3mm。

1.1.3 隔板、桁架组装后宜先焊周向隔板，再焊径向隔板，最后焊接桁架。

1.1.4 底板与周向隔板、径向隔板焊接后，应进行煤油渗漏试验。

1.2 浮顶顶板、底板搭接宽度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，浮顶外边缘环板与底圈壁板间隙允许偏差为 $\pm 15\text{mm}$ 。

1.3 浮顶环板、外边缘环板的组装应符合下列规定：

1.3.1 浮顶环板、外边缘环板对接接头的错边量不应大于板厚的 0.15 倍，且不应大于 1.5mm。

1.3.2 浮顶外边缘环板垂直度不应大于 3mm。

1.3.3 当采用弧形样板检查浮顶环板、外边缘环板的凹凸变形时，弧形样板与浮顶环板、外边缘环板的局部间隙不应大于 10mm。

1.3.4 单盘式浮顶浮舱和单盘应分别进行组装，浮舱和单盘的连接应在浮舱焊接结束后进行。

1.3.5 双盘式浮顶组装时被环板、隔板、桁架及补强板遮盖的焊缝应先进行焊接，并应采用真空箱法检查合格后，方可进行环板、隔板、桁架及补强板的组装。

1.3.6 装配式内浮顶组装应符合设计文件的要求。

2. 双盘式浮顶组装

2.1 双盘式浮顶的组装应在罐底中幅板焊接、并检验合格后进行，边缘浮舱安装应在底圈壁板和上一圈壁板组焊、检测合格后进行。

2.2 双盘式浮顶应在组装台架上组装。组装台架由三角单元的横梁和可调支柱组成，横梁宜由型钢制作，可调支柱宜由钢管制作。

2.3 在罐底板上划出台架组装线，组装台架并调整支柱顶标高，安装横梁并将组装台架四周与罐壁固定。支柱顶标高应在同一水平面上。

2.4 用吊车将浮盘板分若干堆平稳均匀摆放在台架上，再用卷扬机和滑轮配合将浮盘板运送到位。摆放时每堆质量应不超过 2000kg。

2.5 在中心板上划出十字中心线，按排板图铺设并调整好中心板，再按排板图从中心顺次向四周铺设浮盘底板。

2.6 浮顶底板焊接前应确定焊接程序，焊后应进行真空试漏。

2.7 隔板、桁架组装，按下列程序和要求进行：

2.7.1 在浮顶底板上划出边缘环板、隔板、桁架、浮顶支柱及各附件的位置线，并用记号笔做出标记，外边缘环板组装半径应放大浮船外径的 0.5/1000。

2.7.2 从中间圈舱开始，分别向中心筒和外侧圈舱方向逐圈组焊隔板、桁架。

2.7.3 各圈组装顺序为先组装周向隔板，再组装径向隔板，最后组装桁架。

2.7.4 隔板与底板间隙应不大于 1mm，桁架与底板间隙应不大于 2mm，垂直度应不大于 0.3%。

2.7.5 隔板、桁架组装后宜先焊周向隔板，再焊径向隔板，最后焊接桁架。

2.7.6 底板与周向隔板、径向隔板焊接后，应进行煤油试漏。

2.7.8 顶板铺设应按排板图从中心开始。隔板及桁架与顶板的内部角接头焊完后，再焊接顶板上面的搭接接头。

2.7.9 浮顶底板、顶板的直径放大值，可按罐底计算方法执行。

2.7.10 浮顶组装过程应有临时排水措施。

2.7.11 浮顶顶板、底板搭接宽度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，浮顶外边缘板与底圈壁板距离允许偏差为 $\pm 15\text{mm}$ 。

2.7.12 浮舱内、外边缘板的组装应符合下列规定：

2.7.12.1 内、外边缘板对接接头的错边量不大于板厚的 15%，且不大于 1.5mm。

2.7.12.2 外边缘板垂直度不大于 3mm。

2.7.12.3 内、外边缘板用弧形样板检查，局部间隙不大于 10mm。

3. 单盘式浮顶组装

3.1 单盘式浮顶可全部在组装台架上组装，单盘板也可在罐底上组装后水浮提升与浮舱组装，水浮法浮盘安装结构需储罐设计结构提供条件（见图 3.1-1、图 3.1-2）。

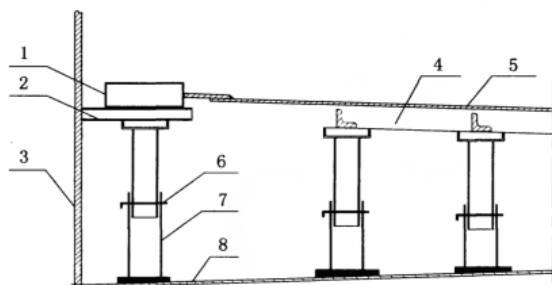


图 3.1-1 浮顶台架法施工示意

1—浮舱；2—横梁；3—罐壁；4—横梁；5—单盘；6—定位销；7—可调支柱；8—罐底

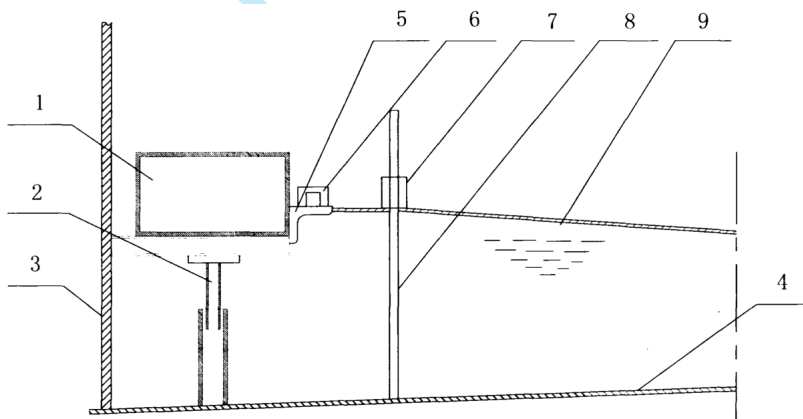


图 3.1-2 单盘水浮提升法施工示意

1—浮舱；2—支座；3—罐壁；4—罐底；5—连接角钢；6—楔形销；7—临时支柱套管；8—临时支柱；9—单盘

3.2 单盘式浮顶的组装应在罐底中幅板焊接并检验合格后进行，浮舱安装应在底圈壁板与上一圈壁板组焊并检测合格后进行。



3.3 散装浮舱的现场组焊，宜按下列程序进行：

3.3.1 铺设环形底板，并留出对称 4 条焊接接头待环形底板焊接后再施焊，焊后进行真空试漏。

3.3.2 在环形底板上划出内、外边缘板和隔板、肋板、桁架组装位置线，并修整圆弧。

3.3.3 组装焊接隔板、肋板和桁架。

3.3.4 组装内、外边缘板，并进行焊接。

3.3.5 对浮舱隔板和内、外边缘板的角接接头进行煤油试漏。

3.3.6 组焊浮舱顶板，并组装浮舱人孔。

3.3.7 组焊浮舱与单盘板的连接角钢。

3.4 预制浮舱的现场组焊，宜按下列程序进行。

3.4.1 浮舱分段依次组焊。

3.4.2 最后两个舱位按实际尺寸组装、焊接。

3.4.3 组焊浮舱与单盘板的连接角钢。

3.5 单盘水浮提升法组装，宜按下列程序进行。

3.5.1 设置支座组装浮舱。

3.5.2 按排板图在罐底上铺设单盘板并焊接。

3.5.3 单盘板焊接后进行真空试漏。

3.5.4 按连接角钢的实际尺寸在单盘上划线，切割修整圆弧。

3.5.5 充水浮升。

3.5.6 单盘板浮起后，用夹具固定在连接角钢上，检查各部尺寸，符合要求后进行定位焊并焊接。

3.6 单盘板的直径放大值可按设计要求或标准规范要求执行。

3.7 浮顶组装过程的临时排水需在组焊完成前完成。

4. 拱顶组装

4.1 固定顶组装应符合下列规定：

4.1.1 固定顶组装前，检查包边角钢或抗拉压环的上口水平度偏差。

4.1.2 固定顶组装前，检查包边角钢或抗拉压环的半径偏差。

4.1.3 罐顶支撑柱的垂直度不应大于柱高的 0.1%，且不应大于 10mm。

4.1.4 顶板安装临时中心支架宜比设计标高高出 50mm~100mm。

4.1.5 顶板应按画好的等分线对称安装。顶板搭接宽度允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$ ，搭接接头间隙不应大于 1mm。

4.2 网壳结构的安装应符合下列规定：

4.2.1 网壳结构的安装应符合设计文件和产品技术文件的要求，安装人员应按制造商的指导及提供的图纸进行安装。

4.2.2 边环梁组装应符合下列规定：

4.2.2.1 边环梁组装前，检查罐壁的上口水平度偏差。

4.2.2.2 边环梁组装前，检查罐壁的半径偏差。

4.2.2.3 边环梁对接接头与顶圈壁板纵向焊缝之间的距离不应小于 200mm。

4.2.2.4 边环梁对接焊缝应采用全焊透型式。

4.2.3 网壳结构构件的组装必须精确配合和对准，不应在现场进行切割、修整、对孔重新定位，不得强力组装。

4.2.4 蒙皮的安装应符合下列规定：

4.2.4.1 蒙皮的铺设应符合设计文件的规定；

4.2.4.2 蒙皮周边与边环梁的搭接接头采用弱连接，只需焊接外侧连续角焊缝，内侧不予焊接；

4.2.4.3 蒙皮与网壳结构构件之间不允许焊接。

4.3 在最上圈壁板及包边角钢组装后在罐内设置拱顶组装支架（见图 4.3）。支架高度宜比支撑位置的计算高度值高出 50mm~80mm。

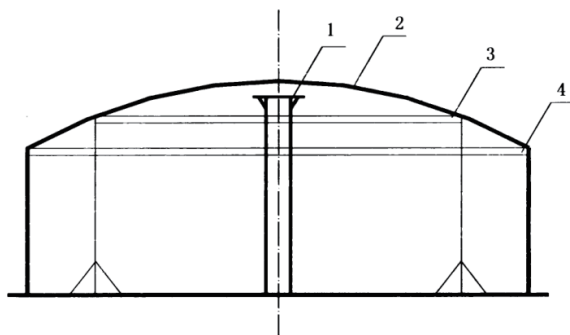


图 4.3 拱顶组装示意

1—中心伞架；2—罐顶；3—临时支架；4—包边角钢

4.4 在包边角钢和临时支架上划出每块拱顶板的位置线，并焊上限位挡板。

4.5 拱顶板组装宜先在对称位置上组装两块或四块拱顶板，定位焊后对称组装其余拱顶板，并调整搭接宽度，搭接宽度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

4.6 径向焊接接头和环向焊接接头焊后拆除组装支架。

4.7 安装拱顶中心顶板。

4.8 顶板组焊后用弧形样板检查，间隙应不大于 15mm。

5. 内浮顶组装

5.1 内浮顶安装前，罐体质量应检查合格。铝合金制内浮顶安装前，还应将罐顶、罐壁上所有附件安装完毕。

5.2 罐壁上的尖刺、棱角、焊瘤等应磨平。

5.3 内浮顶的组装，应按下列程序进行：

5.3.1 确定安装方位

5.3.2 框架安装

5.3.3 铺板安装



5.3.4 密封胶带安装

5.3.5 附件安装

5.3.6 检查及充水试验

5.4 内浮顶安装方位确定应使内浮顶上与罐顶开孔有关的附件，包括雷达液位计导波管、钢带液位计、量油孔及防旋转装置等座落在框架的空格内，且不得与梁、浮管相碰。

5.5 内浮顶框架安装，应符合下列规定：

5.5.1 半径允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

5.5.2 框架边缘板对接整齐，不得有缝隙，上表面平齐。

5.5.3 框架边缘板平直度不大于 3mm ，水平度不大于 5mm 。

5.5.4 框架边缘板与罐壁间距允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

5.6 内浮顶铺板安装，应符合下列规定：

5.6.1 盖板应平整，盖板间搭接宽度允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

5.6.2 盖板搭接焊接接头、盖板与周边框架搭接处用密封材料封好，并用强光 100% 照射检查，不透光为合格。

5.7 内浮顶密封胶带与罐壁应密封良好，胶带接头宽度宜为 300mm ，且接头牢固。内浮顶的安装，还应符合下列规定：

5.7.1 支腿垂直度不大于支腿高度的 $3/1000$ ；

5.7.2 支腿与罐底上其他附件距离不小于 300mm ，与罐底上管线的距离不小于 250mm 。

5.7.3 边缘构件、浮筒及其他附件下端与罐底附件上表面间距离不小于 200mm 。

5.7.4 浮筒纵向焊接接头放置在上方。

5.7.5 量油管在内浮顶上的开孔中心与其在固定顶上的开孔中心偏差不大于 50mm 。

5.7.6 连接接头的锚固件和紧固件不得有松动。

5.7.7 防旋转钢丝绳的垂直度不大于钢丝绳长度的 $5/1000$ 。

5.7.8 通气阀的开度符合设计文件规定，开启、关闭灵活。

（六）附件安装

1. 罐体的开孔接管应符合下列规定：

1.1 开孔接管的中心位置偏差不应大于 10mm ；接管外伸长度的允许偏差应为 ± 5 。

1.2 开孔补强板的曲率应与罐体曲率一致。

1.3 开孔接管法兰的密封面不应有焊瘤和划痕。当设计文件无要求时，法兰的密封面应与接管的轴线垂直，倾斜度不应大于法兰外径的 1% ，且不应大于 3mm ，法兰的螺栓孔应跨中安装。

2. 抗风圈、加强圈的安装应符合下列规定：

2.1 抗风圈、加强圈安装前，应按设计文件画出组装位置线和支撑位置线，抗风圈或加强圈与环向焊接接头的距离不应小于 150mm 。

2.2 抗风圈或加强圈的对接接头应采用全焊透型式，先焊对接接头，再焊其与壁板连接的下侧

角接接头和上侧角接接头。

3. 盘梯、平台栏杆的焊接接头应采用全熔透焊型式，立柱固定端应采用等强焊。栏杆高度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，立柱间距允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ ，踏步应水平，间距允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

4. 转动浮梯中心线的水平投影，应与轨道中心线重合，其偏差不应大于 10mm ，踏步的水平允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

5. 浮顶人孔和集水坑安装应符合下列规定：

5.1 浮顶人孔和集水坑开孔补强圈外缘与浮顶板其他焊接接头的距离不应小于 50mm 。

5.2 浮顶人孔和集水坑与浮顶间的角接接头应进行煤油渗漏试验，无渗漏为合格。

6. 量油管和导向管的垂直度和直线度不得大于管高的 0.1% ，且不应大于 10mm 。

7. 浮顶支柱和通气阀安装应符合下列规定：

7.1 浮顶支柱和通气阀的安装位置应避开浮顶焊接接头。

7.2 套管的垂直度不应大于 1mm 。

7.3 浮顶落地后通气阀应能顺利开启。

7.4 浮顶下降接近支撑高度 $100\text{mm}\sim 200\text{mm}$ 时，应根据实际测量尺寸调整浮顶支柱的高度。

8. 密封装置的安装应符合下列规定：

8.1 密封装置应在壁板内侧焊接接头余高和焊疤打磨合格，并清除壁板内表面和浮顶外边缘板表面毛刺和焊瘤后，罐体充水试验并内部防腐蚀完成后安装。

8.2 密封装置的安装质量应符合设计文件及产品技术文件的要求。

8.3 密封装置在运输和安装过程中不得损伤橡胶制品。

9. 刮蜡板应紧贴罐壁，局部的最大间隙不应大于 5mm 。

10. 加热器的安装应符合下列规定：

10.1 加热器底（垫）板应在罐底板焊接检查合格后进行安装，充水试验后再安装加热器。

10.2 加热器组焊成整体后，应按设计文件的要求进行无损检测。

10.3 加热器安装就位后应固定，并按设计文件的要求进行压力试验。

七、焊接

（一）一般规定

1. 焊接前，施工单位应有合格的焊接工艺评定报告，焊接工艺评定应符合下列规定：

1.1 焊接工艺评定应符合现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T47014 的有关规定。

1.2 当壁板厚度大于 38mm 时，应采用多道焊，且当单道厚度大于 19mm 时，应对每种厚度的对接接头进行评定。

2. 焊接前，技术人员应根据合格的焊接工艺评定报告编制焊接工艺规程，并应经现场焊接技术负责人批准。

3. 设计文件对异种钢的焊接材料和焊接工艺无要求时，应符合下列规定：

3.1 不同强度等级钢号的碳素钢、低合金钢钢材之间的焊接，选用的焊接材料应保证焊缝金属



的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材下限值且不超过强度较高一侧母材标准规定的上限值；焊接工艺应与强度较高侧钢材的焊接工艺相同。

3.2 高合金钢与低合金钢、奥氏体高合金钢之间的焊接，应选用保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材规定限值的焊接材料。

3.3 奥氏体高合金钢与碳素钢、低合金钢之间的焊接，选用的焊接材料中铬、镍含量应保证焊缝金属为奥氏体不锈钢。

3.4 复合钢板的焊接应符合现行行业标准《压力容器焊接规程》NB/T47015 的有关规定。

4. 当焊接环境出现下列情况之一时，应采取防护措施后再进行焊接作业。

4.1 雨天、雪天或雾天。

4.2 采用气体保护焊时风速超过 2m/s；采用焊条电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊时，其焊接作业区最大风速超过 8m/s。

4.3 焊接环境温度：碳素钢焊接时低于 -20°C ，低合金钢焊接时低于 -10°C ，不锈钢焊接时低于 -5°C ，钢材为最低标准屈服强度大于 390MPa 的低合金钢焊接时低于 0°C 。

4.4 环境相对湿度在 90% 及以上，环境相对湿度的测量位置应在焊接位置的 0.5m~1m 处。

5. 定位焊及工卡具的焊接应符合下列规定：

5.1 焊接应由具有相应合格项目的焊工担任，其焊接工艺和焊接质量要求应与正式焊接相同。

5.2 需要预热时，应以焊缝为中心，在焊缝两侧各不小于焊件厚度 3 倍且不小于 100mm 范围内预热。

5.3 定位焊宜在初焊层的背面，当出现裂纹时应清除。

5.4 普通碳素钢和低合金钢的定位焊缝长度不宜小于 25mm；不锈钢的定位焊缝长度不宜小于 30mm。钢材的最低标准屈服强度大于 390MPa 时，定位焊缝长度不宜小于 50mm；定位焊缝的间距不宜大于 800mm。

5.5 施工工卡具等临时焊缝焊接时，不应在非焊接位置引弧和熄弧。

（二）焊接材料

1. 储罐用焊接材料的选用应符合设计文件和焊接工艺规程的要求。

2. 焊接材料的保管、发放应符合下列规定：

2.1 焊接材料应有专人负责保管、烘干和发放，焊材管理应符合现行行业标准《焊接材料质量管理规程》JB/T3223 的有关规定。

2.2 使用焊条电弧焊时，焊条应存放于合格的保温桶内，每次领用不宜超过 4h 的使用量。

3. 焊条、焊剂和药芯焊丝的烘干和使用要求应符合下列规定：

3.1 焊条、焊剂和药芯焊丝应按产品说明书的要求烘干；当无要求时，宜按表 28-11 的规定进行烘干和使用。

3.2 烘干后的焊条应保存在 100°C ~ 150°C 的恒温箱中随用随取，焊条表面药皮应无脱落和明显裂纹，退库焊条应重新烘干，允许使用时间和重复烘干次数宜符合表 28-11 的规定。

表 28-11 焊条、焊剂和药芯焊丝的烘干和使用要求

种类	烘干温度 /℃	恒温时间 /h	允许使用时间 /h	重复烘干次数
非低氢型药皮焊条（纤维素型除外）	100~150	0.5~1	8	≤ 3
低氢型药皮焊条	350~400	1~2	4	≤ 2
焊剂	熔炼型	150~300	4	—
	烧结型	200~400		—

4. 焊丝使用前应清除表面铁锈和油污等。

（三）焊接施工

1. 焊接前应检查组装质量，并应清除坡口表面及两侧 20mm 范围内的铁锈、水分和污物。焊接完成后应填写储罐焊接记录。

2. 板厚大于或等于 6mm 的角接接头和与介质接触的角接接头，应至少施焊 2 遍。

3. 焊接时，始端应采用后退起弧法，终端应将弧坑填满。罐壁对接立缝采用气电立焊时，宜设置引弧板和熄弧板。多层焊和多道焊的接头应错开至少 50mm。不锈钢材料焊接时层间温度不宜超过 150℃。

4. 当采用碳弧气刨清根时应符合下列规定：

4.1 清根后的刨槽应磨除渗碳层，并修整成 U 型刨槽。

4.2 钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa 且板厚大于 25mm 时，采用碳弧气刨清根前应进行预热。

4.3 当钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa 时，清根后应做渗透检测。

5. 焊接线能量的确定和控制应符合下列规定：

5.1 焊接线能量应根据钢板的材质、厚度、焊接位置和预热温度，由焊接工艺规程规定。

5.2.5.2 焊接线能量可按下式计算：

$$Q = \frac{60IU}{V} \quad (7.3.5)$$

式中：Q——焊接线能量，J/cm；

I——焊接电流，A；

U——电弧电压，V；

V——焊接速度，cm/min

5.3 采用手工焊时，可通过测量单位时间内的焊接长度来确定焊接速度。

（四）焊接顺序

1. 罐底的焊接应采用变形最小的焊接工艺及焊接顺序，且焊接顺序应符合下列规定：

1.1 中幅板焊接宜符合下列规定：

1.1.1 先焊短焊缝，后焊长焊缝。

1.1.2 初层焊道宜采用分段退焊或跳焊法。

1.1.3 从中心定位板及中心带板向两侧焊接。

1.1.4 长边并列排列的带板，长边宜采用间隔焊。

1.1.5 在焊接搭接接头的短缝前，长缝的定位不宜采用点固焊。



1.1.6 焊接时焊工宜均匀分布。

1.1.7 距收缩缝 300mm 范围内的中幅板间的焊接接头，宜在中幅板与环形边缘板组对后再焊接。

1.2 罐底环形边缘板的焊接应符合下列规定：

1.2.1 环形边缘板宜采用隔缝对称施焊法；最外边缘 300mm 长的对接焊接接头应从里往外边缘施焊，端宜加收弧板。

1.2.2 罐底与罐壁连接的角接头焊完后，应先完成剩余边缘板的对接焊缝、中幅板的焊接，再焊接边缘板与中幅板间的收缩缝。

1.2.3 边缘板与中幅板之间的收缩缝的初层焊道宜采用分段退焊或跳焊法进行。

1.3 非环形边缘板的焊接顺序宜按中幅板焊接顺序进行，且边缘板的焊接宜先焊接最外边缘 300mm 长的对接接头。

1.4 罐底与罐壁连接的角焊缝宜在罐体整体焊接完成后进行，大型储罐宜在第二层环缝完成后进行。焊接时由数对焊工均匀分布，分别从罐内、外沿同一方向分段焊接，先焊罐内侧角焊缝，再焊罐外侧角焊缝。初层焊道宜采用分段退焊或跳焊法。

2. 罐壁的焊接顺序应符合下列规定：

2.1 宜先焊接纵向焊缝，再焊接环向焊缝。当焊接完相邻两圈纵向焊缝后，再焊接其间的环向焊缝；采用不对称坡口时，宜先焊接大坡口侧，再焊接小坡口侧。

2.2 纵向焊缝焊接时，宜自下向上焊接。环形焊缝焊接时，焊工宜均匀分布，并沿同一方向焊接。

3. 罐顶焊接顺序应符合下列规定：

3.1 固定顶板的焊接顺序应符合下列规定：

3.1.1 宜先焊内侧焊缝，后焊外侧焊缝。径向的长焊缝宜采用隔缝对称施焊方法，并由中心向外分段退焊。

3.1.2 顶板与包边角钢或抗拉环、抗压环焊接时，焊工宜对称均匀分布，并沿同一方向分段退焊。

3.1.3 环向肋板的角接头应为双面满焊，肋板不应与包边角钢和壁板焊接。

3.2 单浮盘式浮顶的焊接顺序应符合下列规定：

3.2.1 浮舱内、外边缘环板，宜先焊立缝，后焊角焊缝。

3.2.2 单盘板的焊接，宜先焊底部的间断焊缝或定位焊缝，后焊接单盘上表面的焊缝。在支架上组装时，应先焊接底部支撑角钢与单盘的焊缝，再焊接单盘上表面焊缝，并采用收缩变形最小的焊接工艺和焊接顺序。

3.2.3 浮舱与单盘连接的焊缝，应在浮舱、单盘板焊接完成后施焊，焊工宜均匀对称分布，并沿同一方向分段退焊。

3.3 双浮盘式浮顶的焊接顺序应符合下列规定：

3.3.1 浮舱环板、外边缘环板，宜先焊立缝后焊角焊缝。

3.3.2 浮舱底板的焊接，宜先焊接底板下表面的间断焊缝或定位焊缝，再焊接底板上表面焊缝。当浮顶底板焊缝设计为双面连续焊缝，宜先完成上表面焊缝焊接并检查合格后，再进行底板下表

面的连续焊接,并采用收缩变形最小的焊接工艺和焊接顺序。

3.3.3 浮舱顶板的焊接,宜先焊底部的间断焊,后焊上面的焊缝,并采用收缩变形最小的焊接工艺和焊接顺序。

3.3.4 底板上被构件遮蔽的焊缝应先焊接,且长度不小于 500mm,检查合格后方可组对构件。

3.4 浮顶支柱及其他刚性较大的构件周围 300mm 范围内,搭接焊缝内外侧均应采用连续满角焊。

(五) 预热、后热及焊后热处理

1. 焊前预热、后热及焊后热处理要求应在焊接工艺规程中规定,并应经焊接工艺评定验证。

2. 焊前预热和后热应符合下列规定:

2.1 焊前预热应符合设计文件要求。当焊件温度低于 0℃ 时,所有钢材的焊缝应在始焊处 100mm 范围内预热至 15℃ 以上。

2.2 碳素钢及低合金钢材料,当设计无要求且钢板厚度大于 38mm 时,始焊处最低预热温度不应低于 100℃。

2.3 预热应均匀,预热范围不应小于焊缝中心线两侧各 3 倍板厚,且不应小于 100mm;预热温度应采用测温仪在距焊缝中心线 50mm 处对称测量。焊前预热的焊缝,其焊接层间温度不应低于预热温度。

2.4 钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa 且板厚大于 25mm 时,采用碳弧气刨清根前的预热温度宜为 100℃ ~150℃。

2.5 后热处理应在焊接完毕后立即进行,后热温度宜为 200℃ ~350℃,保温时间不宜小于 0.5h。

3. 焊后热处理应符合下列规定:

3.1 焊后热处理应符合设计文件要求和现行国家标准《承压设备焊后热处理规程》GB/T30583 的有关规定,在热处理前应编制热处理工艺文件。

3.2 对有再热裂纹倾向的钢材,在焊后热处理时应采取防止产生再热裂纹的措施。

3.3 焊后热处理温度控制应符合下列规定:

3.3.1 焊件升温至 400℃ 后,加热范围内升温速度不应大于 $(5500/\delta)$ ℃/h,且不应超过 220℃/h。

3.3.2 焊件升温期间,加热范围内任意长度为 4600mm 范围内的温差不应大于 140℃。

3.3.3 焊件保温期间,加热范围内最高与最低温度之差不应大于 80℃。

3.3.4 焊件温度高于 400℃ 时,加热范围内降温速度不应大于 $(7000/\delta)$ ℃/h,且不应超过 280℃/h;400℃ 以下可自然冷却。

3.4 焊后热处理完成后应填写焊后热处理报告和焊后热处理记录,并附热处理曲线图。

3.5 热处理后应对焊件进行硬度检测并填写硬度报告,硬度检测应符合下列规定:

3.5.1 每个焊件硬度检测不少于 1 处,每处分别在母材、热影响区、焊缝各检测 1 点。

3.5.2 检测的硬度最低值应不低于母材原始值的 0.9 倍;硬度最高值碳素钢不超过母材原始值的 1.20 倍,合金钢不超过母材原始值的 1.25 倍。

(六) 修补及返修



1. 在施工过程中产生的母材表面缺陷和焊缝表面缺陷的修补，应符合下列规定：

1.1 母材表面深度超过 0.5mm 的划伤、电弧擦伤、焊疤和焊缝表面的咬边、凹陷等缺陷，应打磨平滑。打磨后的母材厚度不应小于母材名义厚度扣除负偏差值。

1.2 缺陷深度或打磨深度超过 1mm 时，应进行补焊，并应打磨平滑。

1.3 焊缝表面缺陷应采用角向磨光机磨除，当打磨后的焊缝表面低于母材时，则应进行焊接修补。

1.4 焊缝两侧的咬边和焊趾裂纹的磨除深度不宜大于 0.5mm；磨除深度超过 0.5mm 时，应进行补焊，并打磨平滑。

1.5 罐壁钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa 或厚度大于 25mm 的低合金钢的底圈壁板纵缝的咬边，应修补打磨至与母材圆滑过渡。

2. 焊缝内部缺陷的返修应符合下列规定：

2.1 根据产生缺陷的原因，选用适合的焊接方法，并应制定返修工艺。

2.2 焊缝内部的超标缺陷在焊接修补前，应根据缺陷的埋置深度，确认缺陷的清除面，清除长度不应小于 50mm，清除的深度不宜大于板厚的 2/3；当采用碳弧气刨时，缺陷清除后应修磨刨槽。

2.3 返修后的焊缝，应按原规定的方法进行无损检测，并应达到合格标准。

2.4 焊接返修的部位、次数和检测结果应填写焊缝返修记录。

3. 罐壁钢板的最低标准屈服强度大于 390MPa 的焊缝返修，除应符合本节第一条的规定外，尚应符合下列规定：

3.1 缺陷清除后，应进行渗透检测，确认无缺陷后方可进行补焊。补焊后应打磨平滑，并应做渗透或磁粉检测。

3.2 焊接修补时应在修补焊道上增加一道凸起的回火焊道，焊后应再修整与原焊道圆滑过渡。

3.3 罐壁焊接修补深度超过 3mm 时，修补部位应按标准进行射线检测。

4. 同一部位的返修次数不宜超过 2 次；当超过 2 次时，应查明原因并重新制定返修工艺，且应经施工单位技术负责人批准后实施。

5. 不锈钢储罐焊缝的返修应符合下列规定：

5.1 缺陷宜采用机械方式清除。

5.2 返修焊接时，层间温度不宜超过 150℃。

6. 罐体充水试验中发现的罐壁焊缝缺陷，应放水使水面低于该缺陷部位 300mm，并应将待修补处清理干净，充分干燥后再进行修补。

七、检验与试验

（一）焊接接头外观检查

1. 焊接接头应在熔渣、飞溅物清理干净后进行外观检查。

2. 焊接接头表面不得有裂纹、气孔、夹渣、弧坑和未焊焊等缺陷，其外观质量应符合表 28-12 的规定。

表 28-12 焊接接头外观质量允许值 mm

检查项目			允许值
咬边	深度		≤ 0.5
	连续长度		≤ 100
	焊缝两侧总长度		≤ 10%L
凹陷	环向对接接头	深度	≤ 0.5
		连续长度	≤ 100
		总长度	≤ 10%L
余高	罐壁纵向焊接接头	板厚 $\delta \leq 12$	≤ 1.5
		板厚 $12 < \delta \leq 25$	≤ 2.5
		板厚 $\delta > 25$	≤ 3.0
	罐壁环向焊接接头	板厚 $\delta \leq 12$	≤ 2.0
		板厚 $12 < \delta \leq 25$	≤ 3.0
		板厚 $\delta > 25$	≤ 3.5
	罐底焊接接头	板厚 $\delta \leq 12$	≤ 2.0
		板厚 $12 < \delta \leq 25$	≤ 3.0
	浮顶及内浮顶储罐罐壁内侧焊接接头		≤ 1.0
罐内接管		1+0.1T 且 ≤ 3.0	

注：L 为焊接接头长度；T 为管道公称厚度； δ 为钢板公称厚度。

3. 低温钢焊接接头不得有咬边缺陷。

4. 标准屈服强度下限值大于 390MPa 的壁板或公称厚度大于 25mm 的低合金钢底圈壁板，其纵向焊接接头不得有咬边缺陷，且应打磨圆滑。

5. 罐底边缘板的厚度大于或等于 10mm 时，底圈壁板和边缘板的 T 型焊接接头罐内靠近底板的一侧边缘应平缓过渡，且不得有咬边缺陷。T 型焊接接头焊脚尺寸应符合设计文件的规定。

6. 低温钢焊接接头、非低温钢罐壁纵向对接接头不得有低于母材表面的凹陷。

7. 标准屈服强度下限值大于 390MPa 的钢板，其工卡具拆除处的焊迹表面应磨平，补焊打磨处应进行磁粉或渗透检测，并不得有裂纹、夹渣和气孔等缺陷。

8. 储罐对接接头的错边量应符合标准第 6.3.7 条的规定。

9. 对储罐焊缝外观进行检查时，应填写储罐焊缝外观检查记录。

(二) 焊接接头无损检测及严密性试验

1. 焊接接头应在外观检查合格后方可进行无损检测。

2. 标准屈服强度下限值大于 390MPa 的钢板，至少应在焊接完成 24h 后进行无损检测。

3. 罐底焊接接头应进行下列检测和试验：

3.1 罐底焊接接头应采用真空箱法进行严密性试验，试验负压值不得低于 53kPa，无渗漏为合格。

3.2 标准屈服强度下限值大于 390MPa 的罐底边缘板的对接焊接接头，在根部焊道和填充焊道焊完后均应进行渗透检测或磁粉检测。

3.3 公称厚度大于或等于 10mm 的罐底边缘板，每条对接焊接接头外端 300mm 范围内进行射线检测；公称厚度小于 10mm 的罐底边缘板，每个焊工施焊的焊接接头应按上述方法至少抽查 1 条。



3.4 底板三层钢板重叠部分的搭接焊接接头和对接罐底板的 T 字焊缝沿三个方向各 200mm 范围内, 在根部焊道和填充焊道焊完后均应进行渗透检测或磁粉检测。

3.5 低温储罐罐底焊接接头除应满足上述要求外, 尚应符合下列规定:

3.5.1 单层低温储罐罐底焊接接头和双层低温储罐内罐底焊接接头, 应在充水试验前、充水试验后各进行一次真空箱法严密性试验;

3.5.2 双层低温储罐的外罐底焊接接头, 应在罐底保冷层施工前进行一次真空箱法严密性试验。

3.5.3 边缘板对接焊接接头外端 300mm 范围内应进行 100% 射线检测。

3.5.4 对低温钢罐底上拆除临时工卡具和电弧擦伤修补处打磨后, 应进行 100% 渗透检测。

4. 罐壁焊接接头的无损检测应符合设计文件要求; 当设计文件无要求时, 应符合下列规定:

4.1 纵向焊接接头应按下列方法进行检测:

4.1.1 底圈壁板公称厚度小于或等于 10mm 时, 应从每条纵向焊接接头中任取 300mm 进行射线检测。

板厚大于 10mm 且小于 25mm 时, 应从每条纵向焊接接头中任取 2 个 300mm 进行射线检测, 其中一个位置应靠近底板; 板厚大于或等于 25mm 时, 每条纵向焊接接头应进行 100% 射线检测。

4.1.2 其他各圈壁板, 当壁板公称厚度小于 25mm 时, 厚度差不大于 1mm 视为同等板厚, 每一种板厚的每种板厚, 在最初焊接的 3m 焊接接头的任意部位取 300mm 进行射线检测; 以后对每种板厚在每 30m 焊缝及其尾数内的任意部位取 300mm 进行射线检测; 当板厚大于或等于 25mm 时, 每条纵向焊接接头应进行 100% 射线检测。

4.1.3 低温储罐壁板纵向焊接接头应进行 10% 射线检测。

4.2 环向焊接接头应按下列方法进行检测:

4.2.1 以较薄的板厚为准的每种公称厚度的壁板应在最初焊接的 3m 焊接接头的任意部位取 300mm 进行射线检测; 以后对于每种公称厚度的壁板, 应在每 60m 焊接接头及其尾数内的任意部位取 300mm 进行射线检测;

4.2.2 低温储罐壁板环向焊接接头应进行不低于 20% 的射线检测。

4.3 罐壁 T 字焊缝应按下列方法进行检测:

4.3.1 底圈壁板公称厚度小于或等于 10mm, 按本条第 1 款第 1 项进行射线检测时, 应包含 25% 的 T 字焊缝; 其他各圈壁板, 按本条第 1 款第 2 项中射线检测部位的 25% 应在 T 字焊缝位置选取; 各圈壁板公称厚度大于 10mm 时, T 字焊缝部位应进行 100% 射线检测。

4.3.2 罐壁 T 字焊缝检测部位应包括环向和纵向焊缝各 300mm 的区域。

4.3.3 低温储罐壁板 T 字焊缝应进行 100% 射线检测。

4.4 罐壁开孔、接管焊接接头应按下列方法进行检测:

4.4.1 齐平型清扫孔组合件所在壁板与相邻壁板的对接焊接接头应进行 100% 射线检测。

4.4.2 标准屈服强度下限值大于 390MPa 或公称厚度大于 25mm 的碳素钢及低合金钢壁板上的接管、补强板角接焊接接头, 应在焊接完成或消除应力热处理, 以及充水试验后进行渗透检测或

磁粉检测。

4.4.3 开孔的补强板焊接完成后,应由信号孔通入 100kPa~200kPa 的压缩空气,检查焊接接头的严密性,无泄漏为合格。

4.4.4 双层低温储罐的外罐壁板和罐顶接管、补强板角接焊接接头应进行 100% 渗透检测或磁粉检测;

4.4.5 低温储罐壁板所有角接焊接接头、临时工卡具打磨处、电弧擦伤修补处打磨后,应进行 100% 渗透检测或磁粉检测。

5. 底圈壁板与罐底板的 T 型焊接接头应进行下列检测和试验:

5.1 罐底边缘板的公称厚度大于或等于 8mm,且底圈壁板的公称厚度大于或等于 16mm,或标准屈服强度下限值大于 390MPa 的任意厚度的壁板和底板,底圈壁板与罐底板的 T 型焊接接头焊接完成后,应对罐内侧角焊缝进行渗透检测或磁粉检测。在储罐充水试验后,应采用同样检测方法进行复验。

5.2 底圈壁板和底板采用标准屈服强度下限值大于 390MPa 的钢板时,罐内侧角焊缝初层焊道焊完后,应进行渗透检测。

5.3 低温储罐底圈壁板与罐底板的 T 型焊接接头除满足上述要求外,尚应符合下列规定:

5.3.1 单层低温储罐和双层低温储罐内罐的底圈壁板与罐底板的 T 型焊接接头,应在充水实验前、充水试验后各进行一次真空箱法严密性试验;

5.3.2 双层低温储罐的外罐、内罐底圈壁板与罐底板的 T 型焊接接头内侧角焊缝应在罐底保冷层施工前进行一次真空箱法严密性试验。

6. 浮顶焊接接头应进行下列检测和试验:

6.1 采用单面连续焊的浮顶底板、单盘板焊接接头,应采用真空箱法进行密封性试验,试验负压值不得低于 53kPa,保持时间不应少于 5s,无泄漏为合格。

6.2 采用双面连续焊的浮顶底板、单盘板焊接接头,应在上部焊缝焊接完成后按本条第 1 款的要求检查合格后再焊接下部的连续焊缝;全部焊完后应采用煤油渗漏试验进行检测,无泄漏为合格。

6.3 隔舱的环板及隔板的焊接接头,应采用煤油渗漏试验进行严密性试验,无泄漏为合格:隔舱顶板的焊接接头应采用真空箱法进行密封性试验,或逐舱充入压力为 785Pa 的压缩空气进行严密性试验,稳压时间不得小于 5min,无泄漏为合格。

6.4 单盘式浮顶的所有隔舱和双盘式浮顶具有密封结构的隔舱,应逐舱充入压力为 785Pa 的压缩空气进行严密性试验,稳压时间不得小于 5min,无泄漏为合格。

6.5 当受结构限制不能采用真空箱法进行密封性试验时,可采用煤油渗漏试验检测。

7. 公称厚度大于或等于 12mm 的全焊透结构形式的对接接头,可采用衍射时差法超声检测,检测部位和比例应符合相关标准的规定。

8. 焊接接头无损检测的方法和合格标准应符合下列规定:

8.1 射线检测应按现行行业标准《承压设备无损检测第 2 部分:射线检测》NB/T47013.2-2015



的规定执行，检测技术等级不低于 AB 级；对标准屈服强度下限值大于 390MPa 的钢、公称厚度大于或等于 25mm 的成素钢、公称厚度大于或等于 16mm 的低合金钢、低温储罐焊接接头的合格级别不低于标准规定的 II 级；其他材质及公称厚度的焊接接头的合格级别不低于标准规定的 III 级。

8.2 超声检测应按现行行业标准《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》NB/T47013.3—2015 的规定执行，检测技术等级不低于 B 级；低温储罐焊接接头的合格级别不低于标准规定的 I 级；其他焊接接头的合格级别不低于标准规定的 II 级。

8.3 衍射时差法超声检测应按现行行业标准《承压设备无损检测第 10 部分：衍射时差法超声检测》NB/T47013.10 的规定执行，检测技术等级不低于 B 级，焊接接头的合格级别不低于标准规定的 II 级。

8.4 磁粉检测应按现行行业标准《承压设备无损检测第 4 部分：磁粉检测》NB/T47013.4—2015 的规定执行，焊接接头的合格级别不低于标准规定的 I 级。

8.5 渗透检测应按现行行业标准《承压设备无损检测第 5 部分：渗透检测》NB/T47013.5—2015 的规定执行，灵敏度等级不低于 B 级，焊接接头的合格级别不低于标准规定的 I 级。

8.6 进行局部检测的焊接接头，射线检测或超声检测不合格时，当缺陷的位置距离射线底片端部或超声检测端部不足 75mm 时，应在该端延伸 300mm 进行补充检测，延伸部位的检测结果仍不合格时，则应继续延伸作补充检测，直至不合格缺陷的范围可以确定。

8.7 当经射线或超声检测的焊接接头有不允许缺陷时，应按返修与修补的有关规定将缺陷清除干净并进行补焊后，再对该部位采用原检测方法重新检测，直至合格。

8.8 当经磁粉或渗透检测的焊接接头有不允许缺陷时，应按返修与修补的有关规定进行修磨或补焊后，再对该部位采用原检测方法重新检测，直至合格。

（三）罐体几何形状及尺寸检查

1. 罐体组装焊接后的几何尺寸和形状应符合下列规定：

1.1 罐体高度的允许偏差不应大于设计高度的 0.5%，且不应大于 50mm。

1.2 罐壁垂直度不应大于罐壁高度的 0.4%，且不应大于 50mm。

1.3 罐壁焊缝棱角度应符合表 28-9 要求。

1.4 罐壁的局部凹凸变形应符合表 28-10 要求。

1.5 底圈壁板内表面半径的允许偏差应在底圈壁板 1m 高处测量，并应符合标准的要求。

1.6 底圈壁板外表面沿径向至边缘板外缘的距离不应小于 50mm，且不宜大于 100mm。

2. 固定顶焊接后的几何尺寸应符合下列规定：

2.1 固定顶成型应美观，其局部凹凸变形应采用样板检查，间隙不应大于 15mm。

2.2 支撑柱的垂直度不应大于 1‰，且不应大于 10mm。

3. 外浮顶的外边缘环板与底圈壁板之间间隙的允许偏差应为 $\pm 15\text{mm}$ ；在充水试验过程中，浮顶在任何其他高度的允许偏差应为 $\pm 50\text{mm}$ 。

4. 内浮顶组装、焊接后的几何尺寸应符合下列规定：

4.1 内浮顶外边缘环板的半径允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ 。

4.2 内浮顶外边缘环板焊接完毕后，其垂直度偏差应为 $\pm 3\text{mm}$ ；采用弧形样板测量其内弧，间隙不应大于 8mm 。

4.3 内浮顶外边缘环板与底圈壁板之间间隙的允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$ 。

5. 浮顶的局部凹凸变形应符合下列规定：

5.1 浮舱顶板的局部凹凸变形应采用直线样板测量，不应大于 15mm 。

5.2 单盘板的局部凹凸变形，不宜影响外观及浮顶排水。

5.3 浮顶内外边缘环板应符合标准要求。

6. 罐底焊接后，其局部凹凸变形的深度不应大于变形长度的 2% ，且不应大于 50mm ，单面倾斜式罐底不应大于 40mm 。

7. 单层球面网壳罐顶组焊后的几何尺寸应符合设计文件的要求。

8. 对储罐进行几何尺寸检查时，应填写储罐几何尺寸检查记录。

（四）充水试验

1. 储罐充水试验除应符合设计文件要求外，尚应符合下列规定：

1.1 充水试验前，储罐本体组装、焊接工作结束，检查合格；所有附件及其他与罐体焊接的构件全部完工，并检验合格。

1.2 充水试验前，罐内、外工装及工卡具应全部拆除。

1.3 充水试验前，彻底清除储罐内部和罐顶（浮顶）的所有垃圾、废弃物、油脂、油料、药皮、焊接飞溅物和其他任何杂物。

1.4 充水试验前，所有与试验有关的焊缝均不得涂刷涂料，

1.5 沉降观测点的初始数据已测定。

1.6 充水试验宜采用洁净水，试验水温不应低于 5°C ；当采用其他液体为充水试验介质时，应经设计部门批准。不锈钢储罐试验用水的氯离子含量不得超过 25mg/L 。

1.7 铝制、不锈钢制内浮顶应根据设计文件的要求在水上或储液上进行浮力测试；当采用水进行测试时，试验用水应符合不锈钢储罐试验用水的要求。

1.8 在充水试验中，当基础沉降观测值在圆周 10m 范围内不均匀沉降超过 13mm 或整体均匀沉降超过 50mm 时，应立即停止试验，并进行评估，在采取有效处理措施后方可继续进行试验，

1.9 固定顶储罐在充水和放水过程中，应打开透光孔，且不得使基础被水浸泡。

1.10 固定顶强度试验、严密性试验及稳定性试验合格后，应立即打开透光孔，保持罐内与大气相通。

1.11 固定顶强度试验、严密性试验及稳定性试验应避开阳光强烈照射的时段。

1.12 非密闭储罐的固定顶，当设计文件无要求时，可不做强度和严密性试验。

2. 储罐充水试验应检查下列内容：

2.1 罐底严密性。



2.2 罐壁强度和严密性。

2.3 固定顶的强度、稳定性和严密性。

2.4 浮顶及内浮顶的升降试验和严密性。

2.5 浮顶排水管的严密性。

2.6 基础的沉降观测。

3. 罐底的严密性试验应以罐底无渗漏为合格。当发现罐底有渗漏时，应将水放净，找出渗漏部位后，应按标准进行补焊。

4. 罐壁的强度和严密性试验，应充水到设计最高液位并保持至少 48h，以罐壁无渗漏、无异常变形为合格。如果发现渗漏，应放水至液面比渗漏处低 300mm 左右后再按规定进行焊接修补。

5. 固定顶的强度及严密性试验，应在罐内水位低于设计最高液位下 1m 时进行缓慢充水升压；当升至试验压力时，应以罐顶无异常变形、焊缝无渗漏为合格。

6. 固定顶的稳定性试验，应充水到设计最高液位用放水方法进行。试验时应缓慢降压，达到试验负压时，以罐顶无异常变形为合格。

7. 浮顶和内浮顶在升降试验中应升降平稳，导向机构、密封装置和自动通气阀支柱应无卡涩现象。扶梯转动应灵活，浮顶及其附件与罐体上的其他附件应无干扰，浮顶与液面接触部分应无渗漏。

8. 浮顶排水管的严密性试验应符合设计文件的要求，当设计无要求时，应符合下列规定：

8.1 储罐充水前，以 390kPa 压力进行水压试验，保压 30min 应无渗漏。

8.2 在浮顶的升降过程中，浮顶排水管的出口应保持开启状态，以无泄漏为合格。采用旋转接头的浮顶排水管在储罐充水试验后，应重新按本条第 1 款的要求进行水压试验。

9. 充水试验时，应按设计文件的要求对基础进行沉降观测，并应填写基础沉降观测记录。

10. 充水试验后的放水速度应符合设计文件的要求。试验用水应排放到指定位置，不得就地排放；放水后应将罐内清扫干净。

11. 不锈钢储罐充水试验完成后，应将水排放干净，并将其进行干燥处理。且不得采用热空气进行干燥。

12. 双层储罐罐体试验应符合下列规定：

12.1 双层储罐的内罐按设计标准要求进行充水试验。

12.2 双层储罐的外罐应按设计文件的要求进行气密性试验。

13. 进行储罐强度及严密性试验时，应填写储罐强度及严密性试验报告。

九、防腐蚀和绝热

（一）防腐蚀

1. 防腐蚀工程的施工环境应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定，罐内防腐蚀施工应采取强制通风措施。

2. 储罐钢材基体表面处理应符合下列规定：

2.1 储罐钢材基体的表面处理应符合设计文件的要求。

2.2 当保管不当或在运输过程中导致表面质量不符合要求时，应重新进行处理直至合格。

2.3 表面处理合格后应及时底涂，间隔时间不宜超过 4h，含盐雾的环境下，间隔时间不宜超过 2h。

3. 防腐蚀涂料的施工，除应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

3.1 应按涂料生产厂家提供的使用说明书或在厂家现场技术人员指导下进行配料、试涂，试涂合格后方可大面积涂装；不同厂家、不同品种的涂料，不宜混合使用；当需要混合使用时，应经试验确定。

3.2 辗涂或刷涂时，层间应纵横交错，每层宜往复进行。涂层厚度应均匀，不得漏涂或误涂；基层表面当有凹凸不平、焊缝波纹或非圆弧拐角时，宜进行预涂装，适当增加涂层厚度。

3.3 底涂层、中间层和面层涂料的涂装间隔时间应符合涂料使用说明书的要求。

3.4 储罐内焊接附件的涂装宜与储罐内壁防腐蚀同步进行，不能同步的附件应在罐外完成防腐蚀后，再进入罐内组焊；确需在罐内组焊的，焊缝两侧应预留 100mm 范围，待组焊、试压等工序完成后再补涂。

4. 防腐蚀衬里层的施工，除应符合设计文件要求和国家现行标准的规定外，尚应符合下列规定：

4.1 储罐的焊接、安装和试压工作全部完成，经检验合格并办理工序交接手续后，方可进行衬里施工。

4.2 当施工环境温度低于衬里要求的温度时，应采取加热保温措施，但不得采用明火直接加热。

4.3 衬里施工前应经试衬合格后，方可进行衬里。衬里施工完毕，严禁在罐体上焊接或切割。

5. 防腐蚀层的金属热喷涂施工，应符合设计文件的要求和国家现行有关标准的规定。施工前，应进行试喷涂。

6. 当设计文件有罐内、罐外牺牲阳极和强制电流阴极保护要求时，应按设计要求进行。

7. 化工储罐内防腐蚀工程在养护期满后宜立即投入使用，闲置期间不得充水。当闲置时间超过 2 周时，宜采取充氮气，且压力为正压的保护措施。

8. 防腐蚀工程施工完成后应填写质量检查记录。

（二）绝热

1. 绝热层施工前应按设计文件的要求进行工序检查，并应具备下列条件：

1.1 支承件和固定件等附件已安装完毕。在有防腐蚀衬里的化工储罐上焊接绝热层的支承件和固定件等附件时，焊接及焊后热处理等工序必须在防腐蚀衬里和试压之前完成。

1.2 储罐本体的支吊架和结构附件、仪表接管部件等均已安装完毕。

1.3 电伴热或热介质伴热管均已安装就绪，并经通电或试压合格。

1.4 储罐强度或严密性试验已合格。

1.5 绝热表面的油污、铁锈等已清除干净。



1.6 奥氏体不锈钢化工储罐绝热施工前宜根据设计文件要求进行隔离。直接焊于不锈钢储罐上的固定件，必须采用不锈钢制作。当固定件采用碳素钢制作时，应加焊不锈钢垫板。

1.7 绝热表面的防腐蚀工序已完成并验收合格。

2. 绝热层施工应符合下列规定：

2.1 施工时的环境应符合设计文件和产品说明书的规定。

2.2 绝热结构的施工除应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

2.2.1 与储罐本体相连的设备、管道及附件等的绝热应便于拆卸；

2.2.2 施工后的绝热层不得覆盖设备铭牌。保温系统绝热层厚度高于设备铭牌时，可将铭牌周围的绝热层切割成喇叭形开口，开口处应规整，并应设置密封的防雨水盖。保冷系统绝热层厚度高于设备铭牌时，设备铭牌应粘贴在外表面，粘贴铭牌时不得刺穿防潮层。

3. 防潮层的施工应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定。防潮层的表面不得有损伤。

4. 保护层的施工除应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

4.1 储罐绝热采用金属压型板保护层时，应符合下列规定：

4.1.1 储罐顶部金属保护层的斜度，应符合设计文件的要求。

4.1.2 露天、潮湿环境中的保温储罐和室内外的保冷储罐与其附件的金属保护层，必须按规定嵌填密封剂或在接缝处包缠密封带。

4.2 采用非金属保护层时，应先进行施工工艺试验。

4.3 保护层的外观质量应符合下列规定：

4.3.1 金属保护层的平整度不应大于 3mm，金属保护层的环向与纵向接缝应互相垂直，且纵缝应错列布置在一条直线上。

4.3.2 箔、毡、布类非金属保护层采用铺贴法施工时，保护层的搭接尺寸不应小于 30mm。起点、终点和连接接头应留在设备的侧面，且缝口朝下，平整度不应大于 5mm，不得有松脱、翻边、割口、翘缝和凹坑等缺陷。

4.3.2.1 抹面保护层的平整度不应大于 5mm，表面应平整光洁、轮廓整齐，不得露出铁丝头，不得有疏松和干缩裂缝。

4.3.2.2 保护层不得有凹坑，搭接口和局部补充的保护层面层应利于水流方向。

5. 低温罐绝热层的施工除应符合设计文件、国家现行有关标准和产品说明书的要求外，尚应符合下列规定：

5.1 施工前应符合下列要求：

5.1.1 保冷材料在运输和存放过程中，应采取防水、防碰撞等措施；

5.1.2 安装罐底绝热层前，应检查外罐底板的水平面，且平整度应符合设计文件的要求。绝热层上表面不得出现机械损伤。罐底绝热层上的储罐锚固件开孔应进行封闭处理。

5.2 施工时应符合下列要求：

5.2.1 绝热材料应保持清洁和干燥，并应铺设在清洁和干燥的表面上；

5.2.2 绝热施工及修补不得损害防腐蚀层；

5.2.3 罐底绝热层采用块状材料时应符合设计文件的规定，绝热块之间的垂直接缝应交错布置；填充绝热材料的，应充填密实；

5.2.4 安装罐壁和罐顶的绝热层前，内罐和外罐应试验合格，绝热层表面应清洁和干燥；当采用粉末状绝热材料时，应装填至规定高度；环形空间上部应设置填充点，当储罐发生沉降后应再次填充绝热材料。

5.3 绝热施工完成后，应按设计文件的要求或国家现行有关标准的规定进行检验和验收。

6. 绝热工程施工完成后应填写质量检查记录。

十、工程验收

（一）化工储罐工程施工完毕后，应及时与建设单位办理工程交接验收手续。

（二）工程交接验收时，施工单位应提交下列资料：

1. 储罐交工验收证明书
2. 竣工图及排版图
3. 设计修改文件
4. 工程变更文件
5. 钢材、附件、焊材、防腐、绝热材料质量证明文件或检验报告
6. 储罐基础复测记录
7. 隐蔽工程记录
8. 防腐蚀工程施工质量检查记录
9. 绝热工程施工质量检查记录
10. 焊后热处理报告
11. 射线检测报告
12. 超声检测报告
13. 衍射时差法超声检测报告
14. 磁粉检测报告
15. 渗透检测报告
16. 基础沉降观测记录
17. 储罐几何尺寸检查记录
18. 储罐壁板组装检查记录
19. 焊缝返修记录
20. 焊缝布置及焊工分布图
21. 储罐强度及严密性试验报告

第三节 质量检验

一、储罐组装修序质量控制

(一) 工序质量控制分为 A (或 AR)、B (或 BR)、C (或 CR) 三个等级。当对 AR、BR 等控制等级进行联合检查时, 施工单位应提供有关的施工记录或有关的检 (试) 验报告。

(二) 各质量控制等级的检查应符合下列要求:

1. A (或 AR) 级应由建设单位、监理单位、总承包单位和施工单位联合检查。
2. B (或 BR) 级应由监理单位、总承包单位和施工单位联合检查。
3. C (或 CR) 级应由施工单位检查。
4. 对各等级的联合检查, 应在施工单位自检合格后进行。
5. 在各等级联合检查中, 当某一工序施工质量符合要求后, 检查各方应即时在签名栏中履行签证手续, 施工单位方可进行下一工序的施工。

(三) 储罐组装修序质量控制表 28-13

序号	储罐组装修序质量控制表	检查等级
1	材料及配件验收	AR
2	焊接工艺及焊工资格认定	BR
3	基础复验	BR
4	储罐组装	CR
5	内件安装	B
6	罐底真空试漏	AR
7	整体几何尺寸检查	BR
8	开孔方位检查	B
9	焊缝无损检测	BR
10	梯子、平台、栏杆制作安装	C
11	安全附件安装检查	B
12	封闭前检查	AR
13	补强板严密性检查	BR
14	充水试验	AR
15	防腐	BR
16	保温	BR
17	基础沉降观测	BR

二、储罐沥青砂垫层质量验收

(一) 基础资料检查要点

1. 储罐基础允许偏差项目复测记录
2. 基础检查验收记录

(二) 基础的现场质量检查要点

1. 沥青砂垫层半径允许偏差
2. 沥青砂垫层中心标高

3. 沥青砂垫层表面凸凹度
4. 沥青砂垫层表面坡度

(三) 储罐基础质量检查的内容和要求表 28-14

储罐基础沥青砂垫层工程检验					检查数量	检验方法
主控项目	1	沥青砂垫层所用材料的质量和沥青砂配合比, 应符合设计要求或国家现行标准《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528 的有关规定			全数检查	检查材料的合格证、质量证明书和试验报告
	2	沥青砂垫层压实质量应符合设计要求或国家现行标准《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528 的有关规定			每层抽查 3 ~ 15 处	检查试验报告
	3	沥青砂垫层不应有贯穿裂纹			全数检查	尺量、观察检查
一般项目	1	沥青砂垫层的表面应密实平整, 黏接牢固, 色泽一致, 无明显辊印			全数检查	观察检查
	2	沥青砂垫层允许偏差	半径尺寸允许偏差± 30mm		全数检查	用盘尺测量检查
			基础中心标高允许偏差 ± 20mm		罐中心点	用水准仪检查
			表面凸凹度	罐直径小于 25m, 允许偏差 ± 25mm	每 100 m² 范围内测点不少于 10 点 (SH3530 规定 20 点 /100 m²)	尺量检查
				罐直径大于或等于 25m, 允许偏差 ± 12mm	符合规范要求	尺量检查
	3	沥青砂垫层表面坡度应符合设计要求			全数检查	用水平仪(水平尺)、拉线和尺量检查

三、储罐底板预制质量验收

(一) 储罐底板预制资料检查要点

1. 中幅板加工检查记录
2. 边缘板加工检查记录
3. 立式储罐底板预制检验批质量验收记录

(二) 储罐底板预制的现场质量检查要点

1. 底板排板及直径
2. 边缘板宽度
3. 中幅板的宽度
4. 中幅板的长度
5. 中幅板尺寸偏差
6. 边缘板尺寸偏差

(三) 储罐底板预制质量检查的内容和要求表 28-15

储罐底板预制检验					检查数量	检验方法
主控项目	1	用于储罐底板的材料和附件, 应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定, 并具有质量证明文件			全数检查	检查材料和附件的质量证明文件或合格证及验收记录
	2	厚度大于或等于 12mm 的环形边缘板, 应在其两短边各 100mm 范围内按国家现行标准《承压设备无损检测 第三部分: 超声检测》NB/T47013.3 的有关规定进行超声检查, III 级合格。如采用火焰切割坡口, 应按规定对坡口表面进行检测			全数检查	检查检测报告



储罐底板预制检验						检查数量	检验方法
一般项目	1	罐底排板	罐底的排板直径宜按设计直径放大 0.1% ~ 0.15%			抽查 20%	核查排版图、用钢盘尺、钢卷尺、钢板尺对实物实测检查
			环形边缘板沿罐底半径方向的最小尺寸, 不应小于 700mm, 边缘板最小直边尺寸不应小于 700mm (图 3.3-1)				
			环形边缘板的对接接头宜采用不等间隙。外侧间隙 e1 宜为 6mm ~ 7mm; 内侧间隙 e2 宜为 8mm ~ 12mm; 当采用气体保护焊时, 外侧间隙 e1 宜为 3mm ~ 5mm; 内侧间隙 e2 宜为 6mm ~ 8mm (图 3.3-2)				
			中幅板的宽度不应小于 1000mm, 长度不应小于 2000mm, 与环形边缘板连接的不规则中幅板最小直边尺寸, 不应小于 700mm				
			底板任意相邻焊缝之间的距离, 不应小于 300mm				
	2	中幅板加工的尺寸允许偏差 (图 3.3-3)	测量部位	板长 AB (CD) ≥ 10m	板长 AB (CD) < 10m	抽查 20%, 且不应少于 5 块	用钢盘尺、钢卷尺、钢板尺实测
			宽度 AC, BD, EF	± 1.5mm	± 1mm		
			长度 AB, CD	± 2mm	± 1.5mm		
			对角线之差 AD- BC	≤ 3mm	≤ 2mm		
			直线度	AC, BD	≤ 1mm		
AB, CD				≤ 2mm	≤ 2mm		
3	环形边缘板的尺寸允许偏差 (图 3.3-4)	长度 AB, CD 允许偏差为 ± 2mm			抽查 20%, 且不应少于 5 块	用钢盘尺、钢卷尺、钢板尺检查	
		宽度 AC, BD, EF 允许偏差为 ± 2mm					
		对角线之差 AD- BC 允许偏差为 ≤ 3mm					
4	中幅板采用搭接接头时, 符合设计文件要求, 设计无规定时, 搭接宽度不得小于 5 倍底板厚度, 且不小于 30mm。中幅板与边缘板的搭接宽度, 不应小于 60mm				抽查 20%, 且不应少于 5 块	用钢盘尺、钢卷尺、钢板尺实测	

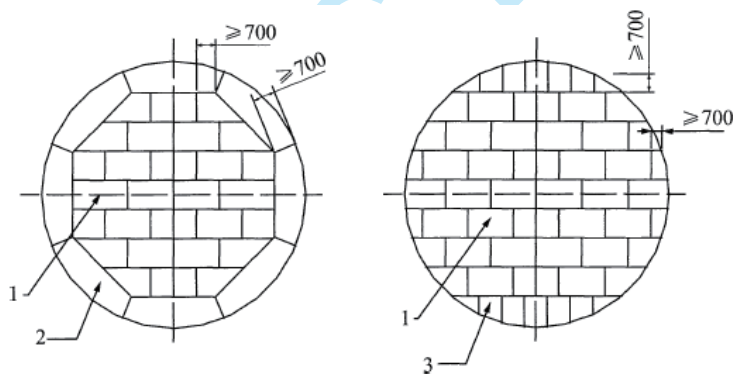


图 3.3-1 边缘板最小尺寸示意图

1- 中幅板 2- 环形边缘板 3- 边缘板

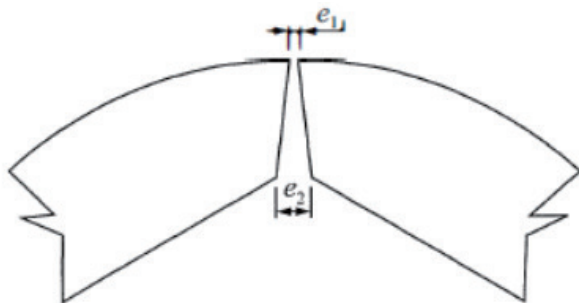


图 3.3-2 环形边缘板对接接头间隙示意图

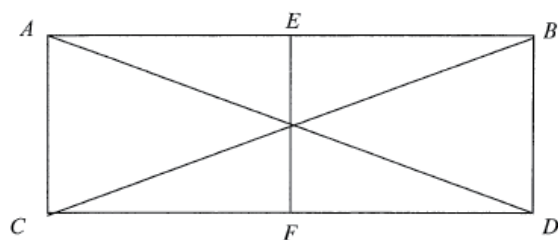


图 3.3-3 中幅板尺寸测量示意图

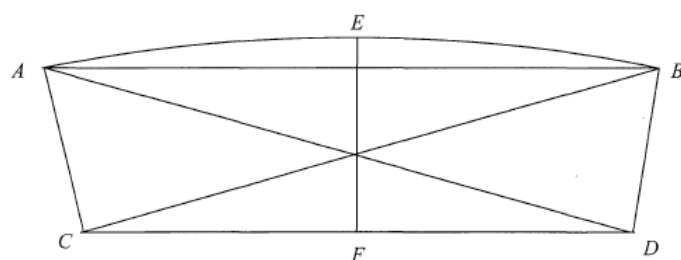


图 3.3-4 环形边缘板对接接头间隙示意图

四、储罐壁板预制质量验收

（一）储罐壁板预制资料检查要点

1. 壁板加工检查记录
2. 坡口检查记录
3. 立式储罐壁板预制检验批质量验收记录

（二）储罐壁板预制的现场质量检查要点

1. 立式储罐壁板预制前应绘制排板图
2. 壁板滚制
3. 壁板加工尺寸偏差

（三）储罐壁板预制质量检查的内容和要求见表 28-16

立式储罐壁板预制检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	用于立式储罐壁板的材料和附件，应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定，并具有质量证明文件	全数检查	检查材料和附件的质量证明文件或合格证及验收记录
	2	罐壁钢板的标准屈服强度下限值小于等于 390MPa、板厚大于 32mm 且接管公称直径大于 300mm	全数检查	检查热处理报告
		罐壁钢板的标准屈服强度下限值大于 390MPa、板厚大于 12mm 且接管公称直径大于 50mm		
一般项目	1	立式储罐壁板预制前应绘制排板图，其排板应符合现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的规定	全数检查	对照设计文件和施工规范核对排版图



立式储罐壁板预制检验							检查数量	检验方法
2	壁板的切割加工（本节图 3.3-3）	测量部位		板长 AB (CD) $\geq 10m$	板长 AB (CD) $< 10m$	抽查 20%，且不应少于 3 圈	用钢盘尺、钢卷尺和钢板尺检查	
		宽度 AC、BD、EF		$\pm 1.5mm$	$\pm 1mm$			
		长度 AB、CD		$\pm 2mm$	$\pm 1.5mm$			
		对角线之差 AD-BC		$\leq 3mm$	$\leq 2mm$			
		直线度	AC、BD	$\leq 1mm$	$\leq 1mm$			
			AB、CD	$\leq 2mm$	$\leq 2mm$			
3	壁板卷制后，垂直方向上用直线样板检查，其间隙不应大于 2mm（SH3530 规定不应大于 4mm）；水平方向上用弧形样板检查，其间隙不应大于 4mm					抽查 20%，且不应少于 3 圈	将壁板立置在平台上，用样板和钢板尺或焊接检验尺检查	

五、储罐浮顶预制质量验收

（一）储罐浮顶预制资料检查要点

1. 壁板加工检查记录
2. 坡口检查记录
3. 立式储罐壁板预制检验批质量验收记录

（二）储罐浮顶预制的现场质量检查要点

1. 立式储罐壁板预制前应绘制排板图
2. 壁板滚制
3. 壁板加工尺寸偏差

（三）储罐浮顶预制质量检查的内容和要求见表 28-17

立式储罐浮顶预制检验					检查数量	检验方法
主控项目	用于立式储罐浮顶的材料和附件，应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定，并具有质量证明文件				全数检查	检查材料和附件的质量证明文件或合格证及验收记录
一般项目	1	浮顶预制前应绘制排板图，其排板应符合底板预制检验一般项目第 1 条规定			抽查 20%	核查排版图、用钢盘尺、钢卷尺钢板尺对实物实测检查
	2	船舱边缘板的预制应符合底板预制检验一般项目第 2 条规定和壁板预制检验一般项目第 2 条的规定。船舱底板及顶板预制后，其平面度不应大于 4mm			抽查 20%，且不应少于 5 块	用样板、钢卷尺和钢板尺检查
	3	单盘式浮顶进行分段预制时允许偏差值	船舱底板、顶板平面度间隙不应大于 5mm		抽查 20%，且不应少于 5 个	用样板、钢盘尺、钢卷尺和钢板尺检查
			船舱内外边缘板用弧形样板检查，间隙不应大于 10mm			
			测量部位	允许偏差		
			高度 AE、BF、CG、DH	± 1mm		
弦长 AB、EF、CD、GH		± 4mm				
对角线之差 AD-BC 、 EH-FG 、 AF-BE 和 CH-DG		≤ 6mm				

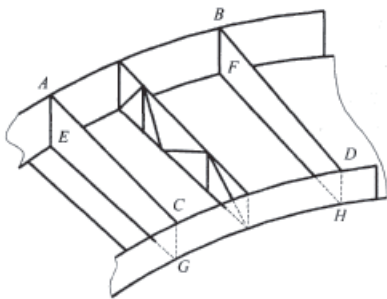


图 5.3 分段预制船舱几何尺寸测量示意图

六、储罐固定顶预制质量验收

（一）储罐固定顶预制资料检查要点

- 1. 固定顶预制检查记录
- 2. 立式储罐固定顶预制检验批质量验收记录

（二）储罐固定顶预制的现场质量检查要点

- 1. 顶板任意相邻焊缝的间距
- 2. 加强肋加工成型后间隙

（三）储罐固定顶预制质量检查的内容和要求见表 28-18

立式储罐固定顶预制检验				检查数量	检验方法
主控项目	用于立式储罐固定顶的材料和附件，应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定，并具有质量证明文件			全数检查	检查材料和附件的质量证明文件或合格证及验收记录
一般项目	1	固定顶顶板预制排版图检查	顶板任意相邻焊缝的间距不应小于 200mm 单块顶板本身的拼接宜采用对接	全数检查	检查排版图及用钢卷尺检查
	2	加强肋加工成型后，用样板检查，其间隙不应大于 2mm		抽查 20%，且不应少于 5 个	用弧形样板和钢板尺检查
	3	固定顶的顶板成型后，用样板检查，其间隙不应大于 10mm		抽查 20%，且不应少于 5 个	用弧形样板和钢板尺检查

七、储罐构件预制质量验收

（一）储罐构件预制资料检查要点

- 1. 抗风圈加工检查记录
- 2. 包边角钢检查记录
- 3. 立式储罐构件预制检验批质量验收记录

（二）储罐构件预制的现场质量检查要点

- 1. 构件预制的现场质量检查要点用弧形样板检查其间隙
- 2. 罐壁开孔补强板材质
- 3. 拼接补强板对接焊缝的焊缝质量



(三) 储罐构件预制质量检查的内容和要求见表 28-19

立式储罐构件预制检验			检查数量	检验方法
主控项目	预制构件所选用的材料和附件,应符合设计文件要求和国家现行有关标准的规定,并具有质量证明文件		全数检查	检查材料和附件的质量证明文件或合格证及验收记录
一般项目	1	抗风圈、加强圈、包边角钢、抗压环、抗拉环等弧形构件加工成型后,用样板检查,其间隙不应大于 2mm。其翘曲变形不应超过构件长度的 0.1%,且不应大于 6mm (SH3530 规定且不大于 4mm)	抽查 20%,且不应少于 5 个	放在平台上,用弧形样板和钢板尺检查
	2	罐壁开孔的补强板预制	抽查 20%	用弧形样板和钢板尺检查
		补强板的材质应与开孔处罐壁板的材质相同		
		补强板的切割表面应光滑平整并将棱角倒圆;曲率应与该处壁板的曲率一致,允许偏差应符合壁板预制检验一般项目第 3 条的规定		
		拼接补强板的对接焊缝应采用全熔透焊缝		
		补强板应有信号孔。整块钢板制造的补强板应有一个信号孔;拼接的补强板,每一拼接段上应有 1 个信号孔。信号孔宜为 M6 ~ M10、位于开孔水平中心线上的螺孔		

八、储罐罐底组装质量验收

(一) 储罐罐底组装资料检查要点

1. 底板、边缘板半径方位检查记录
2. 椭圆度检查记录
3. 罐底板组装记录
4. 坡口检查记录
5. 立式储罐底板组装检验批质量验收记录

(二) 储罐罐底组装的现场质量检查要点

1. 罐底组装排板图
2. 储罐底板与垫板间隙
3. 储罐底板对接接头间隙
4. 储罐边缘板与中幅板搭接间隙
5. 对接接头的错边量

(三) 储罐罐底组装质量检查的内容和要求见表 28-20

立式储罐罐底组装检验			检查数量	检验方法
主控项目	搭接接头三层钢板重叠部分,应将上层底板切角,切角长度应为搭接宽度的 2 倍,其宽度应为搭接宽度的 2/3 (图 8.3)		抽查 20%	用钢板尺测量检查
一般项目	1	罐底组装应符合排板图的规定	抽查 20%	用钢盘尺、钢卷尺和钢板尺及焊接检验尺检查或塞尺检查
	2	罐底采用带垫板的对接接头时,垫板应与对接的两块底板贴紧,并点焊固定,其缝隙不应大于 1mm。罐底板对接接头间隙,应符合焊接作业指导书要求或符合表 28-21 的规定	抽查 10%	用钢卷尺、钢板尺和焊接检验尺检查
	3	中幅板采用搭接接头时,其搭接宽度符合设计要求,搭接宽度不应小于 25mm,允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$,搭接间隙不应大于 1mm	抽查 10%	用钢板尺和焊接检验尺检查
	4	中幅板与环形边缘板之间采用搭接接头时,中幅板应搭在环形边缘板的上面,搭接宽度不应小于 60mm	抽查 10%	目视检查或用尺检查

立式储罐罐底组装检验			检查数量	检验方法
5	对接接头的错边量均不应大于板厚的 0.2 倍，且不大于 2mm。 自动焊时，均不应大于 1.5mm		同类对接接头抽查 10%，且不应少于 3 条，每条检查 3 处。	用焊缝检验尺、钢板尺检查

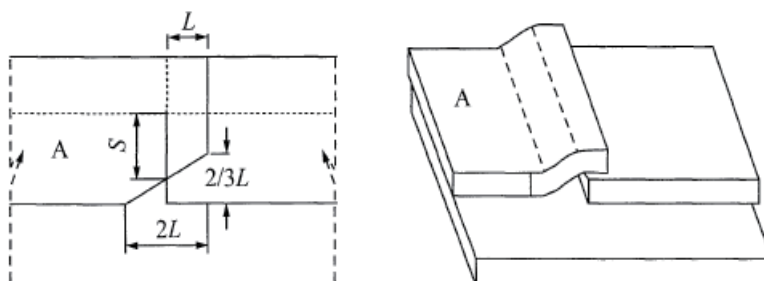


图 8.3 搭接接头三层钢板重叠部分的切角尺寸

A—上层底板 S—A 板覆盖的焊缝长度 L—搭接宽度

表 28-21 罐底对接接头间隙（单位为毫米）

焊接方法		钢板厚度	对接接头间隙
焊条电弧焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	5 ± 1
	开坡口	$\delta > 6$	7 ± 1
埋弧自动焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	3 ± 1
		$6 < \delta \leq 10$	4 ± 1
	开坡口	$10 < \delta \leq 16$	2 ± 1
		$\delta > 16$	3 ± 1
焊条电弧焊打底，埋弧自动焊填充		开坡口	$\delta > 10$
气体保护焊	不开坡口	$\delta \leq 6$	3 ± 1
		$6 < \delta \leq 10$	4 ± 1
气体保护焊打底、埋弧焊 填充		开坡口	$\delta > 10$

九、储罐罐底焊接及检测质量验收

（一）储罐罐底焊接及检测资料检查要点

1. 焊条的烘焙、保管、发放记录
2. 焊接外观检查记录
3. 焊接返修记录
4. 底板真空检查记录
5. 立式储罐底板焊接检验批质量验收记录

（二）储罐罐底焊接及检测的现场质量检查要点

1. 焊缝外观成形
2. 真空箱法进行严密性试验
3. 射线检查、磁粉检查、渗透检查
4. 焊缝咬边、凹陷
5. 焊缝余高



(三) 储罐罐底焊接及检测质量检查的内容和要求见表 28-22

立式储罐罐底焊接及检测检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	焊接工艺评定应符合设计文件和国家现行标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 的有关规定	全数检查	根据设计文件核对焊接工艺评定报告
	2	焊条、焊剂、药芯焊丝等在使用前, 应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行烘干和存放	全数检查	检查质量证明书和烘干记录
	3	焊缝表面及热影响区不应有裂纹、气孔	全数检查	观察检查或使用放大镜, 当存在疑义时, 采用渗透或磁粉探伤检查
	4	罐底所有焊缝应采用真空箱法进行严密性试验, 试验负压值不应低于 53kPa, 无渗漏为合格	全数检查	检查试验报告
	5	罐底焊后无损检测 标准屈服强度下限值大于 390MPa 的边缘板对接焊缝, 在根部焊道焊接完毕后, 应进行渗透检测, 在最后一层焊接完毕后, 应再次进行渗透或磁粉检测 厚度大于或等于 10mm 的罐底边缘板, 每条对接焊缝外端 300mm 应进行射线检测, 厚度小于 10mm 的罐底边缘板, 每个焊工施焊的焊缝, 应按上述方法至少抽查一条 底板三层钢板重叠部分的搭接接头焊缝和对接罐底板的 T 字焊缝的根部焊道焊完后, 在沿三个方向各 200mm 范围内进行渗透检测或磁粉检测	全数检查	现场检查, 检查无损检测报告
一般项目	1	焊缝外观 对接焊缝的咬边深度, 不应大于 0.5mm, 咬边的连续长度, 不应大于 100mm; 焊缝两侧咬边的总长度, 不应超过该焊缝长度的 10%; 罐壁钢板的标准屈服强度下限值大于 390MPa 或厚度大于 25mm 的低合金钢的底圈壁板纵缝不应存在咬边 罐底对接焊缝低于母材表面的凹陷深度, 不应大于 0.5mm, 凹陷的连续长度, 不应大于 100mm。凹陷的总长度, 不应大于该焊缝长度的 10% 对接焊缝的余高, 当板厚 $\delta \leq 12\text{mm}$ 时, 其焊缝余高应不大于 2.0mm; 当板厚 $12\text{mm} < \delta \leq 25\text{mm}$ 时, 其焊缝余高应不大于 3.0mm	同类焊缝每批抽查 10%, 且不应少于 3 条, 每条检查 3 处	用焊缝检验尺、样板尺和钢板尺检查
	2	焊缝应外形均匀、成型良好, 焊道与母材过渡应平滑, 焊渣和飞溅物清除干净, 不应有夹渣、弧坑、电弧擦伤、焊瘤和未焊满等缺陷	同类焊缝每批抽查 10%, 且不应少于 3 条, 每条检查 3 处	用焊缝检验尺、样板尺和钢板尺检查

十、储罐罐壁组装质量验收

(一) 储罐罐壁组装资料检查要点

1. 壁板水平度检查记录 (每节壁板)
2. 壁板垂直度检查记录 (每节壁板)
3. 壁板椭圆度检查记录 (每节壁板)
4. 壁板组装检查记录
5. 立式储罐壁板组装检验批质量验收记录

(二) 储罐罐壁组装的现场质量检查要点

1. 壁板内表面任意点半径允许偏差
2. 垂直度
3. 罐壁板对接接头的组装间隙

4. 纵焊缝的角变形和环焊缝角变形

5. 罐壁的局部凹凸变形

(三) 储罐罐壁组装质量检查的内容和要求见表 28-23

立式储罐罐壁组装检验				检查数量	检验方法
主控项目	壁板组装时, 安装的每圈板应符合排版图的要求			全数检查	观察检查, 按排版图逐圈对照检查
一般项目	1	底圈壁板或倒装法施工的顶圈壁板	相邻两壁板上口水平的允许偏差不应大于 2mm; 在整个圆周上任意两点水平的允许偏差不应大于 6mm 壁板的垂直度不应大于 3mm 组装焊接后, 壁板的内表面任意点半径的允许偏差, 应符合表 28-24 的规定	抽查 20%, 且不少于 5 件	用水平仪或水平连通管、钢盘尺、钢板尺、样板尺和线坠进行检查; 在底圈壁板距罐底板 1m 处测量罐壁内表面任一点半径
	2	其他各圈壁板	垂直度允许偏差不应大于该圈壁板高度的 0.3%	抽查 20%, 且不少于 5 件	用钢板尺和线坠进行检查
	3	壁板对接接头组装间隙	当设计文件无要求时, 按 GB50128 和 SY/T4202 的现行规定检查	抽查 20%, 且不少于 5 件	用焊接检验尺进行检查
	4	罐壁板组对错边量	纵向焊缝: 采用焊条电弧焊, 当壁板厚度小于或等于 10mm 时, 错边量不应大于 1mm, 当壁板厚度大于 10mm 时, 错边量不应大于板厚的 0.1 倍, 且不应大于 1.5mm; 采用自动焊时, 错边量均不应大于 1mm 环向焊缝: 采用焊条电弧焊时, 当上圈壁板厚度小于或等于 8mm 时, 任何一点的错边量均不应大于 1.5mm, 当上圈壁板厚度大于 8mm 时, 任何一点的错边量均不应大于板厚的 0.2 倍, 且不应大于 2mm, 采用自动焊时, 错边量不应大于 1.5mm	同类对接接头抽查 20% (环向焊缝按板长计), 且不应少于 5 条, 每条检查 3 处	用焊接检验尺进行检查
	5	棱角度	组装焊接后, 纵焊缝和环焊缝的棱角度应符合表 28-25 的规定	抽查 20%, 且不少于 5 条	用 1m 长的样板尺、焊接检验尺或塞尺进行检查
	6	凹凸变形	组装焊接后, 罐壁的局部凹凸变形应平缓, 不应有突然起伏, 且应符合表 28-26 的规定	抽查 20%, 且不少于 5 条焊缝	用钢盘尺、钢板尺和样板尺进行检查
	7	底圈壁板外表面沿径向至边缘板外缘的距离不应小于 50mm, 且不宜大于 100mm		抽查 20%	用钢盘尺、钢板尺进行检查

表 28-24 罐壁内表面任意点半径的允许偏差 (单位为毫米)

储罐直径 D (m)	半径允许偏差 (mm)
$D \leq 12.5$	± 13
$12.5 < D \leq 45$	± 19
$45 < D \leq 76$	± 25
$D > 76$	± 32

表 28-25 罐壁焊缝棱角度允许值 (单位为毫米)

板厚 δ	角变形
$\delta \leq 12$	≤ 12
$12 < \delta \leq 25$	≤ 10
$\delta > 25$	≤ 8

表 28-26 罐壁的局部凹凸变形允许值 (单位为毫米)

板厚 δ	罐壁局部凹凸变形
$\delta \leq 12$	≤ 15
$12 < \delta \leq 25$	≤ 13

板厚 δ	罐壁局部凹凸变形
$\delta > 25$	≤ 10

十一、储罐罐壁焊接及检测质量验收

(一) 储罐罐壁焊接及检测资料检查要点

1. 焊条的烘焙、保管、发放记录
2. 焊接外观检查记录
3. 焊接返修记录
4. 立式储罐壁板焊接检验批质量验收记录

(二) 储罐罐壁焊接及检测的现场质量检查要点

1. 焊缝外观成形
2. 罐底 T 字焊缝焊接后进行磁粉或渗透检查
3. 射线检查
4. 焊缝咬边、凹陷
5. 焊缝余高

(三) 储罐罐壁焊接及检测质量检查的内容和要求见表 28-27

立式储罐罐壁焊接及检测检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	焊接工艺评定的要求符合现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定。	100% 检查	核对焊接工艺评定报告
	2	焊条、焊剂、药芯焊丝等在使用前，应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行烘干和存放	全数检查	检查质量证明书和烘干记录
	3	焊缝表面及热影响区，不应有裂纹、气孔；罐壁纵向对接焊缝不应有低于母材表面的凹陷；标准屈服强度下限值大于 390MPa 或厚度大于 25mm 的低合金钢的底圈壁板纵缝如有咬边，应打磨圆滑	全数检查	观察检查或使用放大镜，当存在疑义时，采用渗透或磁粉探伤检查
	4	标准屈服强度下限值大于 390MPa 的钢板，其表面焊疤的处理及检验要求应符合设计文件的规定，无要求时，符合 NB/T47013 的规定	全数检查	检查无损检测报告
	5	罐壁焊缝无损检测应符合设计文件和现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定	全数检查	检查无损检测报告
	6	T 形接头焊脚尺寸应符合设计文件规定；当边缘板的厚度大于或等于 10mm 时，底圈壁板与边缘板的 T 形接头罐内角焊缝靠罐底一侧的边缘，应平缓过渡，且不应有咬边；其无损检测应按（1）当罐底边缘板的厚度大于或等于 8mm，且底圈壁板的厚度大于或等于 16mm，或标准规定的标准屈服强度下限值大于 390MPa 的任意厚度的壁板和底板，在罐内及罐外角焊缝焊完后，应对罐内角焊缝进行磁粉检测或渗透检测，在储罐充水试验后，应用同样方法进行复验。（2）底圈罐壁和罐底采用标准屈服强度下限值大于 390MPa 的钢板时，罐内角焊缝的初层焊道焊完后，还应进行渗透检测。合格标准应符合设计要求或 SY/T4202-2019 第 7.1.7 条的规定	全数检查	现场检查，检查无损检测报告
一般项目	1	根据设计和焊接工艺，需后热消氢处理的焊缝，应在焊接完毕后立即进行消氢处理。消氢处理的加热温度宜为 200℃~350℃，保温的时间不宜小于 0.5h	全数检查	用点温计测量，检查施工记录
	2	焊缝表面 罐壁对接焊缝的咬边深度和长度要求符合罐底焊接及检测一般项目第 1 条的规定	同类焊缝焊接接头抽查 10%，且不应少于 3 条，每条检查 3 处	用焊接检验尺、样板尺和钢板尺检查

立式储罐罐壁焊接及检测检验				检查数量	检验方法
			罐壁环向对接焊缝低于母材表面的凹陷深度不应大于 0.5mm, 凹陷的连续长度不应大于 100mm, 凹陷的总长度, 不应大于该焊缝长度的 10%		
			浮顶及内浮顶罐壁内侧焊缝的余高不应大于 1mm。其他储罐对接焊缝的余高应符合表 28-28 的规定		
	3	预热	预热时应均匀加热, 预热范围不小于焊缝两侧各三倍的板厚且不小于 100mm。焊前预热的焊缝, 焊接层间温度不应低于预热温度。	全数检查	现场实测, 检查预热施工记录
			预热温度: 按焊接工艺评定规定值或设计要求		
			层间温度: 按焊接工艺评定规定值或设计要求		
	4	罐壁焊缝表面质量的要求及检查数量和方法应符合罐壁焊接及检验主控项目第 3 条规定		全数检查	观察检查或使用放大镜, 当存在疑义时, 采用渗透或磁粉探伤检查

表 28-28 对接焊缝的余高 (单位为毫米)

板厚 δ	罐壁焊缝的余高	
	纵向	环向
$\delta \leq 12$	≤ 1.5	≤ 2
$12 < \delta \leq 25$	≤ 2.5	≤ 3
$\delta > 25$	≤ 3	≤ 3.5

十二、储罐固定顶组装质量验收

(一) 储罐固定顶组装资料检查要点

1. 固定顶排版图
2. 固定顶组装检查记录
3. 立式储罐固定顶组装检验批质量验收记录

(二) 储罐固定顶组装的现场质量检查要点

1. 钢网架 (网壳) 结构固定顶、铝顶结构等固定顶组装质量
2. 顶板应按画好的等分线对称组装, 顶板搭接宽度
3. 对接接头错边量

(三) 储罐固定顶组装检查的内容和要求见表 28-29

立式储罐固定顶组装检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	对采购的固定顶半成品按设计文件和技术协议进行验收, 合格后方可使用	全数检查	检查质量证明文件, 并用样板、钢盘尺和钢板尺检查及观察检查
	2	钢网架结构固定顶和铝顶结构固定顶组装质量应符合设计文件规定	抽查 20%	用样板、钢盘尺和钢板尺检查
一般项目	1	固定顶安装前, 应按罐壁组装一般项目第 1 条的规定检查包边角钢的半径偏差	不少于 8 点	用全站仪、钢盘尺、钢板尺和检验样板进行检查
	2	罐顶支撑柱的垂直度允许偏差, 不应大于柱高的 0.1%, 且不应大于 10mm	全数检查	用线坠和钢板尺进行检查
	3	顶板应按画好的等分线对称组装, 顶板搭接宽度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$	抽查 20%, 且每条搭接缝不少于 5 处	用钢板尺进行检查



立式储罐固定顶组装检验			检查数量	检验方法
	4	对接接头的错边量要求及检查数量、检验方法应符合罐壁组装一般项目第4条的规定	同类对接接头抽查 20%（环向焊缝按板长计），且不应少于 5 条，每条检查 3 处	用焊接检验尺进行检查

十三、储罐固定顶焊接及检测质量验收

（一）储罐固定顶焊接及检测资料检查要点

1. 焊条的烘焙、保管、发放记录
2. 焊接外观检查记录
3. 焊接返修记录
4. 立式储罐固定顶焊接检验批质量验收记录

（二）储罐固定顶焊接及检测的现场质量检查要点

1. 焊缝外观成形、咬边、凹陷、焊缝余高

（三）储罐固定顶焊接及检测检查的内容和要求见表 28-30

立式储罐固定顶焊接及检测检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	焊接工艺评定应符合设计文件和国家现行标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 的有关规定	全数检查	根据设计文件核对焊接工艺评定报告
	2	焊条、焊剂、药芯焊丝等在使用前，应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行烘干和存放	全数检查	检查质量证明书和烘干记录
	3	焊缝表面及热影响区，不应有裂纹、气孔；罐壁纵向对接焊缝不应有低于母材表面的凹陷；标准屈服强度下限值大于 390MPa 或厚度大于 25mm 的低合金钢的底圈壁板纵缝如有咬边，应打磨圆滑	全数检查	观察检查或使用放大镜，当存在疑义时，采用渗透或磁粉探伤检查
一般项目	焊缝咬边、凹陷及焊缝的余高要求及检查数量、检验方法应符合罐壁焊接及检验一般项目第2条的规定		同类焊缝焊接接头抽查 10%，且不应少于 3 条，每条检查 3 处	用焊接检验尺、样板尺和钢板尺检查

十四、储罐浮顶及内浮顶组装质量验收

（一）储罐浮顶及内浮顶组装资料检查要点

1. 浮顶排板图
2. 浮顶组装检查记录
3. 内浮顶相应资质、资料及排版分布图
4. 立式储罐浮顶及内浮顶组装检验批质量验收记录

（二）储罐浮顶及内浮顶组装的现场质量检查要点

1. 浮顶板搭接宽度、浮顶与底圈壁板的同心度
2. 浮顶对接接头错边量、外边缘板垂直度、内外边缘板凹凸变形
3. 内浮顶连接点紧固、支撑点垂直度

（三）储罐浮顶及内浮顶组装检查的内容和要求见表 28-31

立式储罐浮顶及内浮顶组装检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	对采购的浮顶、内浮顶半成品按设计文件或技术协议进行验收，合格后方可使用	抽查 20%	检查质量证明文件，并用样板、钢盘尺和钢板尺检查，观察检查实物质量
	2	铝合金内浮顶、玻璃钢内浮顶的组装质量应符合设计文件要求和技术协议	抽查 20%，且不少于 5 件	用钢盘尺、直尺和检验样板进行检查

立式储罐浮顶及内浮顶组装检验			检查数量	检验方法
一般项目	1	浮顶板的搭接宽度允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$	抽查 20%, 且不少于 5 件	用钢盘尺、直尺和检验样板进行检查
	2	浮顶应与底圈壁板同心, 浮顶外边缘板与底圈罐壁间隙允许偏差为 $\pm 15\text{mm}$	抽查 20%, 且不少于 5 件	用钢盘尺、直尺和检验样板进行检查
	3	内、外边缘板对接接头的错边量不应大于板厚的 0.15 倍, 且不应大于 1.5mm	抽查 20%, 且不少于 5 件	用钢盘尺、钢板尺和样板尺进行检查
		外边缘板垂直度的允许偏差, 不应大于 3mm		
		内、外边缘板的凹凸变形, 局部间隙不应大于 10mm		
	4	浮顶其他对接接头的错边量要求及检查数量、检验方法应符合罐壁组装一般项目第 4 条的规定	同类对接接头抽查 20% (环向焊缝按板长计), 且不应少于 5 条, 每条检查 3 处	用焊接检验尺进行检查

十五、储罐浮顶焊接及检测质量验收

(一) 储罐浮顶焊接及检测资料检查要点

1. 焊条的烘焙、保管、发放记录
2. 焊接外观检查记录
3. 焊接返修记录
4. 立式储罐浮顶焊接检验批质量验收记录

(二) 储罐浮顶焊接及检测的现场质量检查要点

1. 焊缝外观成形、咬边、凹陷、焊缝余高

(三) 储罐浮顶焊接及检测检查的内容和要求见表 28-32

立式储罐浮顶焊接及检测检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	焊接工艺评定应符合设计文件和国家现行标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 的有关规定	全数检查	根据设计文件核对焊接工艺评定报告
	2	焊条、焊剂、药芯焊丝等在使用前, 应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行烘干和存放	全数检查	检查质量证明书和烘干记录
	3	焊缝表面及热影响区, 不应有裂纹、气孔; 罐壁纵向对接焊缝不应有低于母材表面的凹陷; 标准屈服强度下限值大于 390MPa 或厚度大于 25mm 的低合金钢的底圈壁板纵缝如有咬边, 应打磨圆滑	全数检查	观察检查或使用放大镜, 当存在疑义时, 采用渗透或磁粉探伤检查
	4	当浮顶底板、单盘板采用单面连续焊缝时, 应采用真空箱法进行密封性试验, 试验负压值不得低于 53kPa , 保持时间不应低于 5s , 以无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	5	当浮顶底板采用双面连续焊缝时, 应在上部焊缝焊完按浮顶焊接及检验主控项目第 4 条的要求检查合格后再焊接下部的连续焊缝; 全部焊完后可采用煤油试漏法进行检测, 以无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	6	浮舱的环板及隔舱板的焊缝, 应用煤油试漏法进行严密性试验。浮舱顶板的焊缝, 应采用真空箱法进行密封性试验或逐舱鼓入压力为 785Pa (80mm 水柱) 的压缩空气进行严密性试验, 稳压时间不应小于 5min , 均以无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	7	单盘式浮顶的所有浮舱和双盘式浮顶具有密封结构的浮舱, 应逐舱鼓入压力为 785Pa (80mm 水柱) 的压缩空气进行严密性试验, 稳压时间不应小于 5min , 均以无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告



立式储罐浮顶焊接及检测检验			检查数量	检验方法
一般项目	1	浮顶焊缝咬边、凹陷及焊缝的余高要求及检查数量、检验方法应符合罐壁焊接及检验一般项目第2条的规定	同类焊缝焊接接头抽查10%,且不应少于3条,每条检查3处	用焊接检验尺、样板尺和钢板尺检查
	2	焊缝表面及热影响区,不应有裂纹、气孔;罐壁纵向对接焊缝不应有低于母材表面的凹陷;标准屈服强度下限值大于390MPa或厚度大于25mm的低合金钢的底圈壁板纵缝如有咬边,应打磨圆滑	全数检查	观察检查或使用放大镜,当存在疑义时,采用渗透或磁粉探伤检查
	3	浮顶支柱和其他刚性较大的构件周围300mm范围内,搭接焊缝内、外侧均应采用连续满角焊	抽检20%	目视检查

十六、储罐附件安装质量验收

(一) 储罐附件安装资料检查要点

1. 坡口检查记录、焊接记录
2. 抗风圈安装位置检查记录、排水孔地方焊接及检查记录
3. 附件外观检查记录
4. 立式储罐附件安装检验批质量验收记录

(二) 储罐附件安装的现场质量检查要点

1. 密封装置
2. 罐体开孔接管偏差与曲率
3. 量油管和导向管的垂直度允许偏差

(三) 储罐附件安装检查的内容和要求见表28-33

立式储罐附件安装检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	附件应按设计文件进行验收合格后方可组装;需重新校正时,应防止损伤。安装质量应符合设计文件的规定	抽查20%	用样板尺、钢盘尺和钢板尺检查
	2	罐壁钢板的标准屈服强度下限值大于390MPa,或厚度大于25mm的碳素钢及低合金钢罐壁上的接管角焊缝和补强板角焊缝,应在焊完后或消除应力热处理后及充水试验后进行渗透检测或磁粉检测	全数检查	现场检查或检查无损检测报告
	3	开孔的补强板焊完后,由信号孔通入100kPa~200kPa压缩空气,检查焊缝严密性,无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
一般项目	1	密封装置在运输和安装过程中应注意保护,不应损伤橡胶制品,安装时应注意防火	全数检查	观察检查
	2	罐体的开孔接管	抽查20%	观察检查,用水平尺、样板、钢盘尺和钢板尺检查
		开孔接管的中心位置偏差,不应大于10mm,接管外伸长度的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$		
		开孔补强板的曲率,应与罐体外径曲率一致		
	3	开孔接管法兰的密封面不应有焊瘤和划痕,法兰的密封面应与接管的轴线垂直,且应保证法兰面垂直或水平,倾斜不应大于法兰外径的1%,且不应大于3mm,法兰的螺栓孔应跨中安装	全数检查	用线坠和钢板尺检查
		量油管和导向管的垂直度允许偏差,不应大于管高的0.1%,且不应大于10mm		
		浮顶排水管制作完毕后,应进行严密性试验,设计无要求时在立式储罐充水前进行390kPa的水压试验,保压30min,以无渗漏为合格		
		刮蜡板应紧贴罐壁,局部的最大间隙不应超过5mm		
	6	转动浮梯中心线的水平投影,应与轨道中心线重合,允许偏差不应大于10mm	全数检查	观察检查和用钢板尺检查

十七、储罐总体检验质量验收

（一）储罐总体检验资料检查要点

1. 充水记录
2. 充水检查记录
3. 沉降观测记录
4. 接地电阻检查记录
5. 开孔补强气密检查记录
6. 边板外伸尺寸测定记录
7. 主要尺寸测定记录（焊接完之后）
8. 立式储罐总体检验批质量验收记录

（二）储罐总体检验的现场质量检查要点

1. 罐底充水时的严密性试验
2. 罐壁的强度和严密性试验
3. 固定顶的稳定性试验（正负压试验）
4. 内浮顶、浮动吸油装置充水升降试验（如果已做升降试验）
5. 罐壁高度
6. 罐壁垂直度
7. 底圈壁板内表面半径

（三）储罐总体检验检查的内容和要求见表 28-34

立式储罐总体检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	罐底充水时的严密性试验，应以罐底无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	2	罐壁的强度和严密性试验，应在充水到设计最高液位并保持 48h 后以罐壁无渗漏、无异常变形为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	3	固定顶的强度及严密性试验，以罐顶无异常变形、焊缝无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	4	固定顶的稳定性试验，以罐顶无异常变形为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	5	浮顶及内浮顶充水升降试验，应以浮顶及内浮顶升降平稳，导向机构、密封装置、刮蜡机构及自动通气阀、支柱无卡涩现象，扶梯转动灵活，浮顶及其附件与罐体上的其他附件无干扰，浮顶与液面接触部分无渗漏为合格	全数检查	现场检查和检查试验报告
	6	在浮顶的升降过程中，浮顶排水管出口应保持开启状态。储罐充水试验后，应重新按附件安装检验一般项目第 4 条的要求进行严密性试验	全数检查	现场检查和检查试验报告
	7	基础沉降观测试验	储罐基础直径方向上的沉降差，不应超过表 28-35 的许可值 支撑罐壁的基础部分不应发生沉降突变 沿罐壁圆周方向任意 10m 弧长内的沉降差不应大于 25mm	在罐壁下部圆周每隔 10m 左右，设一个观测点，点数宜为 4 的整倍数，且不应少于 4 点。 现场检查和检查试验报告



立式储罐总体检验				检查数量	检验方法
一般项目	1	罐壁组装焊接后, 几何形状和尺寸	罐壁高度允许偏差不应大于设计高度的 0.5%	全数检查	观察检查和用经纬仪、钢盘尺、钢卷尺、样板、线坠检查
			罐壁垂直度的允许偏差不应大于罐壁高度的 0.4%, 且不应大于 50mm		
			罐壁焊缝角变形和罐壁的局部凹凸变形, 应分别符合罐壁组装一般项目第 5 条和第 6 条的规定		
			底圈壁板内表面半径的允许偏差, 应在底圈壁板 1m 高处测量, 符合罐壁组装一般项目第 1 条的规定		
			罐壁上的工卡具焊迹应清除干净, 焊疤应打磨平滑		
一般项目	2	罐底焊接后, 其局部凹凸变形的深度, 不应大于变形长度的 2%, 且不大于 50mm, 单面倾斜式罐底不大于 40mm		全数检查	用样板尺、钢板尺检查
	3	单盘、双盘浮顶及内浮顶局部凹凸变形	船舱顶板的局部凹凸变形, 不应大于 15mm	全数检查	观察检查或用直线样板、钢板尺测量检查
			浮盘的局部凹凸变形, 不应明显影响外观及浮顶排水		
一般项目	4	固定顶的局部凹凸变形, 用样板检查其间隙不应大于 15mm		全数检查	用样板尺、钢板尺检查

表 28-35 储罐基础径向沉降差许可值 (单位为毫米)

外浮顶罐与内浮顶罐		固定顶罐	
罐内径 D (m)	任意直径方向最终沉降差允许值 (m)	罐内径 D (m)	任意直径方向最终沉降差允许值 (m)
$D \leq 22$	0.007D	$D \leq 22$	0.015D
$22 < D \leq 30$	0.006D	$22 < D \leq 30$	0.010D
$30 < D \leq 40$	0.005D	$30 < D \leq 40$	0.009D
$40 < D \leq 60$	0.004D	$40 < D \leq 60$	0.008D
$60 < D \leq 80$	0.003D	$60 < D \leq 80$	0.007D
$D > 80$	$< 0.0025D$	—	—

十八、储罐外防腐涂料涂装工程质量验收

(一) 储罐外防腐涂料涂装工程资料检查要点

1. 罐体除锈检查记录
2. 防腐施工记录
3. 防腐层厚度抽检记录
4. 储罐外防腐涂料涂装工程检验批质量验收记录

(二) 储罐外防腐涂料涂装工程的现场质量检查要点

1. 涂装前钢材表面除锈
2. 涂料质量检查
3. 涂层厚度
4. 现场温湿度检查
5. 涂料配制工序检查

(三) 储罐外防腐涂料涂装工程检查的内容和要求见表 28-36

外防腐涂料涂装工程检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	涂料的品种、颜色、质量应符合设计文件的要求和国家现行相关标准的规定, 并应有质量证明文件	全数检查	检查合格证、质量证明书

外防腐涂料涂装工程检验			检查数量	检验方法
	2	涂装前钢材表面除锈应符合设计要求和现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T8923.1及相关油漆产品的规定。处理后的钢材表面不应有焊渣、焊疤、灰尘、油污、水和毛刺等	2000m ² 及以下每台抽查5处，2000m ² 以上每台抽查10处	使用铲刀并对照图片观察检查
	3	涂层的厚度应均匀一致，涂装遍数、涂层厚度均应符合设计要求。涂层厚度小于设计规定厚度的测点数，不应大于10%，且测点处的实测厚度不应小于设计规定厚度的90%	按不同涂层结构、部位，均布抽查10处，每处3点，每处的数值为3个相距50mm	用涂层测厚仪检查，检查施工记录
一般项目	1	表面不应误涂、漏涂，涂层不应脱皮和返锈等。涂层应均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等	全数检查	观察检查
	2	在设计有要求时，应进行涂层附着力测试，涂层附着力应符合设计要求	按不同涂层结构、部位，均布抽查3点	按照现行国家标准《漆膜附着力测定法》GB 1720或《色漆和清漆漆膜的划格试验》GB/T9286的有关规定执行

十九、储罐储罐内防腐工程质量验收

（一）储罐外防腐涂料涂装工程资料检查要点

1. 罐体除锈检查记录
2. 防腐施工记录
3. 防腐层厚度抽检记录
4. 储罐外防腐涂料涂装工程检验批质量验收记录

（二）储罐外防腐涂料涂装工程的现场质量检查要点

1. 涂装前钢材表面除锈
2. 涂料质量检查
3. 涂层厚度
4. 现场温湿度检查
5. 涂料配制工序检查

（三）储罐外防腐涂料涂装工程检查的内容和要求见表28-37

储罐内防腐工程检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	涂料的品种、颜色、质量应符合设计文件的要求和国家现行相关标准的规定，并应有质量证明文件	全数检查	检查合格证、质量证明书
	2	涂装前钢材表面除锈应符合设计要求和现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1的规定	2000m ² 及以下每台抽查5处，2000m ² 以上每台抽查10处	使用铲刀并对照图片观察检查

储罐内防腐工程检验			检查数量	检验方法
一般项目	3	涂层黏结力检验以涂层呈脆性点状断裂、不出现成片挑起或剥离现象为合格	把储罐内壁划分成三个防腐面积相近的部分（立式储罐内壁可分为罐顶、罐壁、罐底三部分），每部分至少测一点	用锋利刀刃垂直划透涂层，形成边长约40mm、夹角45°的V形切口。用刀尖从切割线交点挑拨切口内的防腐层进行观察。若合格，则该部分黏结力合格；若有测点不合格，对不合格部分应加倍检查。若加倍检查仍有一处不合格，则该部分涂层黏结力为不合格
	4	非防静电涂料漏点检查，以不打火花为合格。内防腐层检漏电压应符合国家现行标准《钢制储罐液体涂料内防腐层技术标准》SY/T 0319的有关规定	按面积均布抽检10%，且每一检测区域面积不应小于10m ² ；当抽检出现漏点时，应加倍抽查；加倍抽查出现漏点时，应全数检查	用电火花检漏仪检查，检查施工记录
	5	防静电涂料应按现行国家标准《石油罐导静电涂料电阻率测定法》GB/T 16906的定进行涂层电性能检查，涂层电性能测试结果均应小于10 ⁹ Ω，且每一测试结果均应在同一数量级之内	按面积均布抽检10%，每一检测区域取3个测点的平均值	用涂料电阻率测定仪按现行国家标准《石油罐导静电涂料电阻率测定法》GB/T16906规定的方法检验
	1	涂层表面应平整、光滑，无漏涂、发黏、脱皮、气泡和斑痕等现象	全数检查	观察检查
	2	涂层厚度应符合设计要求，且最小厚度应符合国家现行标准《钢制储罐液体涂料内防腐层技术标准》SY/T 0319的有关规定	把储罐内壁划分面积大致相等的三部分，储罐容积小于10000m ³ ，检验面积的百分率20%；储罐容积10000m ³ ~50000m ³ ，检验面积的百分率10%；储罐容积大于50000m ³ ，检验面积的百分率5%。以1m ² 为一个检测区域，每个检测区域至少抽测2个点，布点应均匀，每个罐不应少于40个点。焊缝处的抽测点数不应少于总检测点数的30%。每个检测区域有1个以上测点不合格，则该区域为不合格。若不合格区域不超过5%，则应对防腐层厚度低于规定厚度90%的区域进行复涂；若不合格区域超过5%，则相应部位应加倍检查。若加倍检查的不合格区域仍超过5%，则该部分防腐层厚度为不合格，应进行复涂直至合格；若加倍检查的不合格区域不超过5%，则应对防腐层厚度低于规定厚度90%的区域进行复涂。内部附件的防腐层厚度也应按适当比例进行抽查。	用涂层测厚仪测量，检查施工记录

二十、储罐防火涂料涂装工程质量验收

（一）储罐防火涂料涂装工程资料检查要点

1. 罐体除锈检查记录
2. 防火涂料施工记录
3. 防火涂料涂层厚度抽检记录
4. 储罐防火涂料涂装工程检验批质量验收记录

（二）储罐防火涂料涂装工程的现场质量检查要点

1. 涂装前钢材表面除锈

2. 防火涂料质量检查
3. 涂层厚度
4. 防火涂料图层表面裂纹宽度

(三) 储罐防火涂料涂装工程检查的内容和要求见表 28-38

防火涂料涂装工程检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	涂料的品种、颜色、质量应符合设计文件的要求和国家现行相关标准的规定，并应有质量证明文件	全数检查	检查合格证或质量证明书
	2	防火涂料涂装前，钢材表面除锈应符合设计要求和国家现行有关标准的规定	2000m 及以下每台抽查 5 处，2000m 以上每台抽查 10 处	使用铲刀并对照图片观察检查
	3	防火涂料涂装前，防锈底漆涂装应符合设计要求和国家现行有关标准的规定	2000m 及以下每台抽查 5 处，2000m 以上每台抽查 10 处	底漆涂装用干漆膜测厚仪检查。每处检测 3 点，每处的数值为 3 个相距 50mm 测点涂层干漆膜度的平均值
	4	防火涂料的黏结强度、抗压强度应符合设计文件或产品说明书的规定	全数检查	检查试验报告
	5	薄涂型防火涂料的涂层厚度应符合有关耐火极限的设计要求。厚涂型防火涂料涂层的厚度，80% 及以上面积应符合有关耐火极限的设计要求，且最薄处厚度不应低于设计要求的 85%	按同类构件数抽查 10%，且均不应少于 3 件。	用涂层厚度测昼仪、测针和钢尺检查。
	6	薄涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 0.5mm；厚涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 1mm	按同类构件数抽查 10%，且均不应少于 3 件	观察和用钢板尺检查
一般项目	1	防火涂料涂装基层不应有油污、灰尘和泥砂等污垢	全数检查	观察检查
	2	防火涂料不应有误涂、漏涂，涂层应闭合无脱层、空鼓、明显凹陷、粉化松散和浮浆等外观缺陷，乳突已剔除	全数检查	观察检查

二十一、储罐绝热工程质量验收

(一) 储罐绝热工程资料检查要点

1. 保温材料的入场复试报告
2. 绝热工程施工记录
3. 立式储罐保温工程检验批质量验收记录

(二) 储罐绝热工程的现场质量检查要点

1. 保温层厚度
2. 保温层的搭接尺寸
3. 绝热工程外观质量

(三) 储罐绝热工程检查的内容和要求见表 28-39

绝热工程检验			检查数量	检验方法
主控项目	1	绝热材料及其制品的性能和尺寸符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工规范》GB 50126 的有关规定	每批次抽测 3 件几 何尺寸	检查全部质量证明书、合格证或复验报告；观察检查，实测尺寸
	2	防潮层和保护层材料及其制品的质量符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工规范》GB 50126 的有关规定	全数检查	检查全部质量证明书、合格证或复验报告；观察检查



绝热工程检验			检查数量	检验方法
	3	绝热层伸缩缝的留设及伸缩缝的填充应符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50185的有关规定	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查和检查施工记录
	4	防潮层厚度应符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50185 的有关规定	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查；用尺测量
	5	绝热层的容重和厚度应符合表 28-40 的规定	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	用钢针刺入绝热层并用尺检查；切取试样进行容重检查
	6	保护层的搭接尺寸应符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50185 的有关规定	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查和用样板尺、钢板尺、塞尺测量检查
一般项目	1	固定件、支撑件制作及安装质量	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查和用小锤轻击检查
		钩钉、销钉、螺栓、支撑件的材质、规格应符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50126 的规定		
		支撑件、钩钉、销钉和螺栓的连接应牢固，其间距、高度应符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50185 的规定		
		支撑件的连接应牢固，其规格、尺寸、安装方法及间距应符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50185 的有关规定		
		自锁紧板，不产生向外滑动		
		保冷结构的支、吊、托架等用的木垫块，应浸渍沥青防腐		
	2	防潮层施工质量	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查和用小锤轻击检查。对有金属保护层的防潮层，用 1m 长样板或钢板尺检查表面平整度
		所有接头及层次应密实、连续，无漏设和机械损伤		
	3	绝热层施工质量	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查和检查施工记录
		绝热层各层间贴合紧密、填充饱满、表面平整、圆弧均匀		
		绝热层无断裂和松弛		
	4	保护层的施工质量	每 50 而抽查 3 处。当其面积不足 50 而应按 50m ² 计算	观察检查和用样板尺、钢板尺、塞尺测量检查。平整度用 1m 长样板或钢板尺检查
		抹面层无酥松、干裂，表面轮廓整齐无铁丝露头，断缝符合设计要求或现行国家标准《工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范》GB 50185 的有关规定		
		表面平整光洁，金属层平整度 ≤ 4mm，抹面层及包缠层平整度 ≤ 5mm		
		包缠层和金属保护层无松脱、翻边、豁口、翘缝和明显的凹坑		

表 28-40 绝热层的容量、厚度和砌缝宽度允许偏差及规定值（单位为毫米）

项目			允许偏差	规定值
厚度 (S)	硬质制品		+10/-5	—
	软质及半硬质制品		+10%S/-5%S 且在 ±10 内	—
	充填、浇注及喷涂	绝热层厚度 > 50	+10%S	—
		绝热层厚度 ≤ 50	+5	—
容重 (U)	硬质、半硬质制品		+5%U	—
	软质、喷涂、浇注		+10%U	—

项目		允许偏差	规定值
砌缝宽度	保温层	≤ 5	—
	保冷层	≤ 2	—

二十二、储罐梯子、平台、栏杆制作安装质量验收

(一) 储罐梯子、平台、栏杆制作安装资料检查要点

1. 梯子、栏杆、平台加工检查记录及组装检查记录
2. 立式储罐梯子、栏杆、平台制作安装检验批质量验收记录

(二) 储罐梯子、平台、栏杆制作安装的现场质量检查要点

1. 焊缝长度及间距
2. 角焊缝焊脚尺寸
3. 构件安装质量
4. 螺栓、外露螺纹扣数

(三) 储罐梯子、平台、栏杆制作安装检查的内容和要求见表 28-41

梯子、平台、栏杆制作安装工程检验				检查数量	检验方法
主控项目	1	所用材料的规格、型号应符合设计要求，质量应符合相关标准的规定		全数检查	检查质量证明书、合格证或复验报告；观察检查
	2	缝质量	焊接牢固，焊缝及热影响区表面不应有裂纹、夹渣、气孔等缺陷	构件的 10%，且不少于 3 件	测量和观察检查
			焊缝长度及间距符合设计要求		
			焊波均匀，焊肉饱满		
一般项目	1	件及其安装质量	角焊缝焊脚尺寸符合设计文件规定，且应与母材平滑过渡	构件的 20 且不少于 5 件	观察检查
			构件应平直，弧形构件应圆滑、无锐角		
			构件表面无毛刺、焊瘤、焊疤和焊接飞溅		
			构件安装位置正确		
	2	接质量	平台板平整、不积水	抽查 5%，且不少于 5 件	扳手试拧检查和观察检查
			螺栓拧紧后，外露螺纹应为 2~5 扣		
			安装孔不应使用气割扩孔		
			垫片的使用应符合规定		

第四节 储罐制作安装质量通病及防治措施

一、储罐排版图不符合规定或未排版

(一) 现象：排版图设计不合理，下料拼装后发现与规范标准和设计要求尺寸不符。如接头之间的尺寸过小；版面出现十字接缝。

(二) 原因分析：

1. 未按规范规定设计排版图，随意拼装。
2. 焊缝之间的接头及位置分布不合理，焊后产生变形和存在残余应力。
3. 未考虑零件冷、热、焊接后的变化量和实际尺寸有出入。



（三）防治措施：

1. 首先按储罐的几何尺寸、管口零部件的位置和实际供货的钢板规格，合理划分钢板尺寸，排布钢板位置。既保证零件组焊安装后符合规范标准和设计的要求，又可充分利用板料，不浪费材料。

2. 当材料的规格可满足尺寸要求，尽量减少焊缝。容器的底板、壁板、盖顶纵向焊缝之间，不能小于规定的距离。组对焊缝的分布通过排版只能采取 T 形焊缝，严禁采用十字焊缝，以避免焊缝热量集中，产生变形。

3. 控制冷、热加工和焊接的变形量，对批量生产可通过试件来确定。不同的加工方法，其加工应留的余量是不一样的，如气割、机械切割和刨边等。

4. 按焊接环境的温度、拼装方法、焊接方法和矫正方法来计算焊接收缩量补偿余量时，一般正常情况纵向焊缝收缩量为焊缝长度的 0.03%~0.2%；横向焊缝的收缩量为焊缝宽度的 0.03%~0.75%；应根据排版图的纵、横缝种类数量预放直径尺寸、高度尺寸的焊后收缩量，否则会出现组焊后储罐直径变小和高度降低或长度不够。

5. 在画排版图时，应考虑不同型材和不同弯曲零件的特性，在计算长度时，可分重心基准位置 and 中心（中性层）基准位置。对重心距可查材料规格表和做近似计算。对受力和结构轴心对称一类的型钢，如扁、圆、工字钢和方钢等则按中心基准位置计算。

二、坡口的尺寸不符合要求

（一）现象：刨边斜角、坡口角度、钝边、组对间隙和 U 形坡口等过大或过小。

（二）原因：未按设计要求或规范标准加工坡口和制作者的技术素质较差，因随意而超差。

（三）防治措施：

1. 按采用自动焊还是手工焊的方法以及钢材钢种和厚度进行坡口各项几何尺寸的加工。

2. 坡口尺寸必须能适应所选择的焊接方法和工艺条件，保证焊接接头质量符合力学性能和无损检测的标准；还要达到焊缝填充金属的标准以及减少焊接造成的残余变形和残余应力，以有利于焊接操作和避免质量缺陷。

3. 加强操作人员的质量培训、考核，提高质量意识，加强检查力度，以及其它的管理措施，充分调动操作者的积极性。

三、容器筒体局部凹凸

（一）现象：在圆形容器的外表或矩形容器的壁板上，局部位置有明显的凹凸现象。

（二）原因分析：

1. 材料保管不当，由于自重和外力的作用而产生永久变形。

2. 运输吊装方法不当，或因外力碰撞使局部产生永久变形，出现凹凸不平的现象。

3. 材料本身有凹凸变形，在使用时属于检查，未经矫平工序，就号料卷圆，

（三）防治措施：

1. 号料前，要对使用的材料进行外观检查，如发现有局部凹凸变形、必须进行矫平工序后，

再进行号料等工序。

2. 板材变形的矫平,一般多在多轴辊平板机上进行矫平,矫平时可在变形处垫上等强或软质的厚度为 1-2mm 的金属板条,以增加轴辊对被矫部位的压力,起到较好矫平的作用。

3. 遇有局部凹凸变形较大的部位,用平板机矫平效果不好时,可用火焰加热凸起部位,用平锤垫衬,再用大锤敲打,可予矫平。

4. 对大面积的凹凸变形矫平,可用火焰加热钢板凸面,靠其自身冷却达到矫平的目的。如果是塑性较好的普通碳素钢板材时,还可采用加热后用泼冷水的办法加速冷却而达到矫正,但加热矫正温度不能大于 900℃,普通碳素钢以外脆性敏感性较强的钢材加热矫正,就不能用浇冷却水来冷却,以防淬硬,增加脆性产生裂纹。

四、容器直径偏差

(一) 现象:筒体成形后,筒壁的直径比设计的尺寸过大或过小。

(二) 原因:

1. 号料划线时,所使用的量具未经检定,量具本身有误差,或实际测量时产生误差。
2. 号料划线时,未考虑筒体在冷、热卷圆时材料的尺寸变化。
3. 卷板机成形曲率不匀,造成尺寸误差。
4. 对接时间隙大小不匀,引起尺寸误差。

(三) 防治措施:

1. 使用经过检定的量具,且在检定周期以内,使量具误差统一在允差范围内。
2. 检查和计算直径尺寸时,要认真仔细。对直径较大的筒体,为防钢尺产生挠度不一引起的误差,应用弹簧秤测量并保持统一的拉力。
3. 筒体的对接间隙值,因不同板厚和不同的焊接方法而不一致,应按焊接规范中的规定留出间隙值。不但可以保证焊接质量,也可避免筒体直径偏差。

五、单节筒体存在椭圆

(一) 现象:虽为圆筒体,但在周长范围内不同点处的直径尺寸不相等,且超出标准。

(二) 原因:

1. 筒体直径大,钢板厚度较薄,因本身的刚度较小,受自身重力等外作用力而变形。
2. 卷圆过程中未有吊车配合,因筒体自身而产生变形,成为椭圆。
3. 卷圆后没有立放,而是水平放置,由于自重,也会产生变形而成为椭圆。

(三) 防治措施:

1. 对直径较大或板厚较薄的筒体,在卷圆时采用吊具作为辅助外力,防止卷圆过程因自重而产生变形但在卷好后组对时,不能一小节放在转胎上,另一节用吊车与之组对,否则易产生异方向椭圆。应同时放在转胎上组对,虽为同向椭圆但易于调整。
2. 单节筒体卷圆后,应垂直存放,防止因自重而产生变形。
3. 筒体纵缝组对前,用内径一致的内卡样板,经校圆达到要求后再组焊,内、外圆以及支撑胎



具加固,增加刚性,防止椭圆变形。

4. 椭圆直径大处应对应拉,对筒体椭圆短径处则采用对应顶的方法。

六、筒体组对错口、错边量大

(一)现象:筒体组对时,因卷圆造成的环向边不齐不平产生错口,纵向边未对平而产生的错位,而且都超出规范的允差。成形后的接口呈突变不连续,甚至焊缝产生较大的应力。

(二)原因:钢板在卷圆时位置未放正,板长方向与卷板机轴辊不垂直,卷圆未达到要求即组对筒体。

(三)防治措施:

1. 对环向已产生的错口应先检查两筒体端口尺寸,计算出端口的错边量以便调整。利用杠杆原理,矫正错口以达到规范、设计要求后,方可点焊固定筒体。但从根本上消除,还是在卷圆时控制好钢板的曲率半径。

2. 对错边的矫正,错边有内错、外错之分,但不论采用哪种方法均是利用杠杆和牛顿第三定律的原理将其进行矫正。

3. 错边和微带错口的处理方法是借用吊车和卷板机再配以各种工卡具。

七、棱角过大

(一)现象:对接的钢板虽已对齐,但带板板边曲率半径与筒节半径有偏差,在外形上产生内棱或外棱,这种棱角使筒体的曲率在该处突变,引起很大的附加弯曲应力,严重时会产生裂纹或造成脆性断裂,对受力频繁变化的压力容器会降低其疲劳强度或缩短疲劳寿命。

(二)原因:

1. 预弯胎具不合格,卷圆时对预弯位置定位不当而产生板端头有直段。

2. 卷圆封闭时,整圆超差。

(三)防治措施:

1. 在压力机上预压钢板端头时,要根据卷板机上、下辊的中心距确定压弯的长度;或使用符合要求曲率半径的带头板对钢板进行引导压制。

2. 在胎具上压制时应二次成形,第一次先将板端头放在下胎具中部压一下,二次再按线压制,这样可防止钢板端头在卷圆后出现直段也就消除产生棱角过大的可能。

3. 选定胎具时应严格用卡样板检查,胎具的曲率过大会形成内校角度过大,曲率过小会形成外棱角过大。所以在制造胎具时,曲率稍偏小为好。

八、不直度超差

(一)现象:筒体不直,出现倾斜。

(二)原因:

1. 划线下料时长度对角线超差,未检查即加工。

2. 组对时环向间隙不均匀。

3. 筒体上接管后受热收缩。

4. 筒体组对时, 未做直线检验, 调整位置进行组对。
5. 焊接顺序不当, 造成收缩不匀。

(三) 防治措施:

1. 划线下料时严格控制下料允差, 长度为 0-1mm, 对角线为 0-1.5mm, 最大不超过 3mm。钢板下料划线应同时划出检查线并标记; 组对时以检查线做为定位线找正测量的基准线。

2. 组对时, 也可在环缝之间用焊条插入, 或垫入垫片测量, 以使组对时的环缝均匀。

3. 筒体一侧开孔较多时, 焊后收缩与弯曲变形, 应采取反变形措施。

4. 使用转胎组对筒体的, 要找平、找直转胎。使用平台组对应调平平台。组对罐体时应多做直线度检查, 可用直尺和拉线相结合的方法达到这一要求。

多名焊工在对称部位同时焊接时, 对细长筒体应注意增加焊工在对称部位同时焊接。

九、弧度超差

(一) 现象: 筒体壁板圆弧过大或过小。

(二) 原因: 卷圆过程未及时检查或检查不细。

(三) 防治措施:

1. 在筒体制、安过程中, 用圆弧样板对筒体每片壁板上、中、下部都要卡试检查, 不能只卡试某一部位。

2. 在上、中、下部检在时要沿着筒体壁板弧长移动几个测点, 以扩大检查部位, 不能局限于一点。

十、罐底焊接变形

(一) 现象: 罐底焊接完后在中间部位多发生不同程度的凸起, 有的超过允许偏差。一般向下凹的较少。

(二) 原因: 焊接工艺不当, 主要是焊接过程焊缝周边因受热而引起金相组织转变, 这部分组织的断面收缩率大, 冷却后引起周边收缩, 产生焊接应力, 通过焊缝处底板变形来释放焊接应力。如不合理调整底板焊接工艺程序, 各个焊缝应力集中收缩, 从而引起底板板面变形。

(三) 防治措施:

1. 焊接工艺程序上要先短缝后长缝, 并采取分段退焊或分段跳焊法对称施焊, 由内向外, 由中心向四周方向进行。焊接层数、焊接电流、焊接速度一致, 多名焊工同时进行。

2. 用锤击法使受热的周边伸长, 以与其他部位平衡, 可消除中凸变形。一般由外向里的锤击效果较好, 如先从中部锤击因中部是封闭端, 反而越锤中部变形越严重。

3. 焊接之前要选择合适的防变形卡具, 焊接变形是不可能避免的, 采取有效合理的卡具使其发生有序、较小变形, 避免出现应力集中。

4. 在实践中, 罐底常常发生多处不规则凸起变形, 但超差不大, 也有在凸起部位打洞向内充砂以使罐底与基础达到贴实的做法; 然后在将此孔补焊, 但这种方法还是少用为好。

十一、壁板焊接变形



(一) 现象: 壁板纵缝、环缝焊接时引起罐体超规范凹凸变形。

(二) 原因: 焊接工艺及防变形措施不当。

(三) 防治措施:

1. 纵缝组对完之后焊接之前要点焊的纵缝防变形板, 每道纵缝使用 3 块, 纵缝在里外全部焊接完毕后再拆除防变形板。

2. 壁板先焊接立缝, 后焊接环缝, 筒体圆周范围内立缝焊接要求: 电焊均布对称, 焊完一条缝, 电焊按同一方向旋转, 焊接电流一致, 焊接速度一致, 焊接层数一致, 每条立缝从下向上焊接。

3. 壁板环缝焊接要求: 电焊均布对称, 划分出每个电焊焊接的范围, 电焊按同一方向旋转焊接, 焊接电流一致, 焊接速度一致, 焊接层数一致。

十二、壁板与边缘板大角焊缝焊接变形

(一) 现象: 大角焊缝是储罐受力最不利的地方, 是储罐最薄弱的环节, 焊接变形量大, 引起底板边缘板翘起。

(二) 原因: 焊缝截面尺寸大, 焊接收缩变形量大。焊接工艺及防变形措施不当。

(三) 防治措施:

1. 大角缝按圆周均分 N 区, 每区均分 M 段, 由 N 名焊工同时同向对称施焊, 各区域内的焊缝采用分段退焊法或分段跳焊法施焊。

2. 先焊内侧环形角焊道, 再焊完外侧环形角焊缝, 以防止边缘板外侧翘起。

3. 在罐体内部, 沿圆周 N 等分, 等分间距 1~2m, 在等分点上用一型钢 (以与底板成对 45° 夹角) 焊在壁板与边缘板上, 使壁板与边缘板成垂直刚性固定, 限定底板翘起变形, 从而减少大角焊缝的角变形。

4. 反变形用的型钢待大角焊缝冷却后再拆除, 且在拆除前用大锤敲打一圈大角焊缝, 以释放收缩应力、消除变形。

十三、其它防止焊接变形的措施

(一) 用 CO₂ 气体保护焊来代替手工电弧焊, 坡口角度小, 焊缝截面尺寸小, 焊速快, 焊缝线能量小, 焊接受热面小, 变形和应力也相应减小, 同时提高工效, 缩短工期。

(二) 在保证焊接质量的前提下, 尽量采用较低的焊接电流, 较小的坡口间隙和角度, 较快的焊接速度。减少焊接截面积, 降低焊接线能量, 从而减少变形和应力。

(三) 焊接后采用缓慢的冷却速度, 使组织较均匀且细化, 焊缝及热影响区产生较多塑性和韧性较好的组织, 而减少淬硬组织, 降低脆性, 提高焊缝的机械性能, 同时减少焊接应力和变形。

(四) 施工环境温度要高, 不宜在低温下操作, 这样组对和焊接时构件温差小, 冷却速度慢, 变形和应力也小。

(五) 所有的焊工都要持证上岗。在同一种焊接工艺和施工条件下, 其焊接速度要差不多, 以便同速焊。

第二十九章 工业金属管道安装工程

第一节 基本规定

本章石油化工管道安装是集团公司主业的行业特点编制。

石油化工管道安装是一项比较复杂的专业、属于高危行业，其特点是安装工程量较大，质量要求高，施工周期长。随着近年来的技术进步和发展，新的施工方法不断采用，同时，国家颁布了新的验收规范，工艺管道的施工工序内容，加工方法，工艺质量验收标准等都有所变化。

一、术语及基本规定

（一）工厂化预制

在具有一定的加工能力和生产工艺相对固定的场所加工制作的过程。

（二）石油化工管道

石油化工生产装置及辅助设施中用于输送毒性、可燃与无毒、非可燃性气体/液体介质的管道系统。

（三）管件

管道组成件的一部分。是管道系统中用于连接、分支、改变方向与直径、端部封闭等直接与管子相连的零部件，包括弯头、弯管、三通、四通、异径管、管箍、螺纹接头和短节、活接头、软管接头、翻边短节、支管座（台）、堵头、管帽等。

（四）管道组成件

用于连接或装配成压力密封、内含流体的管道系统中的管道元件。包括管子、管件、法兰、垫片、紧固件、阀门以及膨胀接头、挠性接头、耐压软管、疏水器、过滤器和分离器等。

（五）预制口

可以转动工件进行焊接作业的焊口。

（六）固定口

无法转动工件进行焊接作业的焊口。

注：固定口是指《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》焊工考试试件形式 2G 或 5G 的位置。

（七）基本规定

1. 承担石油化工金属管道工程的施工、检测单位应取得相应的资质，并在资质许可范围内从事相应工作。

2. 从事石油化工金属管道施工的焊工应取得相应的合格证书，并在合格证书认可的合格项目范围内作业。无损检测人员应取得相应的资格证书。



3. 石油化工金属管道施工应按设计文件规定进行, 修改设计或材料代用, 应经原设计单位批准。
4. 金属管道的涂料防腐蚀施工质量应符合现行行业标准《石油化工设备和管道隔热技术规范》SH3010 的规定。

(八) 石油化工管道分级 (这个表对设计和施工在贯彻执行《建设工程质量管理条例》、《特种设备安全监察条例》对压力管道的施工质量和安全监察的要求; 有利于工程建设的质量控制和生产运行管理。是保证工程质量和安全生产的管理措施见表 29-1。

序号	管道级别	输送介质	设计条件		TSG D0001 条款
			设计压力 (MPa)	设计温度 (°C)	
1	SHA1	1) 极度危害介质 (苯除外)、高度危害丙烯腈、光气介质	—	—	GC1
		(2) 苯介质、高度危害介质 (丙烯腈、光气除外)、中度危害介质、轻度危害介质	$P \geq 10$	—	GC1
			$4 \leq P < 10$	$t \geq 400$	
			—	$t < -29$	
2	SHA2	(3) 苯介质、高度危害介质 (丙烯腈、光气除外)	$4 \leq P < 10$	$-29 \leq t < 400$	GC1
3	SHA3	(4) 中度危害、轻度危害介质	$4 \leq P < 10$	$-29 \leq t < 400$	GC2
		(5) 中度危害介质	$P < 4$	$t \geq -29$	
		(6) 轻度危害介质	$P < 4$	$t \geq 400$	
4	SHA4	(7) 轻度危害介质	$P < 4$	$-29 \leq t < 400$	GC2
5	SHB1	(8) 甲类、乙类可燃气体介质和甲类、乙类、丙类可燃液体介质	$P \geq 10$	—	GC1
6	SHB2	9) 甲类、乙类可燃气体介质和甲 A、甲 B 类可燃液体介质	$4 \leq P < 10$	$-29 \leq t < 400$	GC1
		(10) 甲 A 类可燃液体介质	$P < 4$	$t \geq -29$	GC2
7	SHB3	(11) 甲类、乙类可燃气体介质, 甲 B 类、乙类可燃液体介质	$P < 4$	$t \geq -29$	GC2
		(12) 乙类、丙类可燃液体介质	$4 \leq P < 10$	$-29 \leq t < 400$	GC2
		(13) 丙类可燃液体介质	$P < 4$	$t \geq 400$	GC2
8	SHB4	(14) 丙类可燃液体介质	$P < 4$	$-29 \leq t < 400$	GC2
9	SHC1	(15) 无毒、非可燃介质	$P \geq 10$	—	GC1
			—	$t \geq -29$	GC1
10	SHC2	(16) 无毒、非可燃介质	$4 \leq P < 10$	$-29 \leq t < 400$	GC1
11	SHC3	(17) 无毒、非可燃介质	$4 \leq P < 10$	$-29 \leq t < 400$	GC2
			$1 < P < 4$	$t \geq 400$	
12	SHC4	(18) 无毒、非可燃介质	$1 < P < 4$	$-29 \leq t < 400$	GC2
			$P \leq 1$	$t \geq 185$	
			$P \leq 1$	$-29 \leq t < -20$	
13	SHC5	(19) 无毒、非可燃介质	$P \leq 1$	$-20 \leq t < 185$	GC3

二、编制参考标准

1. 《石油化工金属管道工程施工质量验收规范》GB50517
2. 《石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范》SH 3501
3. 《石油化工低温钢焊接规范》SHT 3525
4. 《石油化工铬钼钢焊接规范》SH/T3520

- 5.《石油化工铬镍不锈钢、铁镍合金和镍合金焊接规范》SH/T3523
- 6.《石油化工钢制通用阀门选用、检验及验收》SH3064
- 7.《工业设备及管道绝热工程施工规范》GB50126
- 8.《工业设备及管道绝热工程质量验收规范》GB50185
- 9.《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB50236
- 10.《工业金属管道工程施工规范》GB50235
- 11.《工业金属管道工程施工质量验收规范》GB50184
- 12.《石油化工建设工程项目交工技术文件规定》SH/T3503 及 SH/T3543
- 13.《石油化工钢制管道焊接热处理规范》SHT3554
- 14.《工业安装工程施工质量验收统一标准》GB50252
- 15.《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508
- 16.《铝及铝合金焊接技术规程》HG/T 20222
- 17.《铜及铜合金焊接及钎焊技术规程》HG/T 20223
- 18.《工业有色金属管道工程施工及质量验收规范》GB/T 51132

第二节 工艺管道材料控制

工程材料的质量直接决定着建筑物的质量、造型、结构、使用功能、使用期限等，它是保障人们生命财产安全的基础条件。无论是建筑行业、安装行业还是其他行业，在管理过程中必须对工程的质量进行严格的控制和分析，这是保障工程质量的一个重要手段。

一、基本原则

工艺管道材料验收入库时必须向供应商索要国家规定的有关质量合格及生产许可证明。项目采用的设备、材料应经检验合格，并符合设计及相应现行标准要求。材料检验单位必须具备相应的检测条件和能力，经省级以上质量技术监督部门（市场监督管理局）或者其授权的部门考核合格后，方可承担检验工作。

采购产品在检验、运输、移交和保管等过程中，应按照职业健康安全和环境管理要求，避免对职业健康安全、环境造成影响。

二、设备材料构配件的质量控制

（一）对用于工程的主要材料，进场时必须具备正式的出厂合格证或质量证明文件。如不具备或对检验证明有影响时，应补做检验。

（二）工程中所有各种构件，必须具有厂家批号和出厂合格证。管道、阀门、管件、法兰、特殊材料等，均应按规定的方法进行抽样检验。由于运输、安装等原因出现的构件质量问题，应分析研究，经处理鉴定后方能使用。

（三）凡标志不清或认为质量有问题的材料，对质量保证资料有怀疑或与合同规定不符的一



般材料；由工程重要程度决定的应进行一定比例试验的材料；需要进行追踪检验，以控制和保证其质量的材料等，均应进行抽检。对于进口的材料设备和重要工程或关键施工部位所用的材料，则应进行全部检验。

1. 对材料性能、质量标准、适用范围和对施工要求必须充分了解，以便慎重选择和使用。
2. 凡是用于重要结构、部位的材料，使用前必须仔细地核对，其材料的品种、规格、型号性能有无错误，是否适合工程特点和满足设计要求。
3. 新材料应用，必须通过试验和鉴定；代用材料必须通过计算和充分的论证，并要符合结构构造的要求。
4. 材料认证不合格时，不许用于工程中，有些不合格的材料，如过期，受潮的水泥是否降级全用，也需结合工程的特点予以论证，但决不允许用于重要的工程或部位。

（四）管子的验收

1. 全部管子应进行外观检查，其表面应无裂纹、麻点、夹渣、折皱、重皮、划痕、严重锈蚀等缺陷。公称直径大于 400mm 的管子应检查其直线度，公称直径大于等于 50mm 厚壁钢管应抽查其同轴度，均应符合材料标准规定。

2. 对于铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢管道组成件各种材质与规格的管子主要合金元素含量验证性检验，每批（同炉批号、同材质、同规格）应抽查 10%，且不少于 1 根。

3. SHA1（1）级及设计压力等于或大于 10MPa 的管道用的管子质量证明书应有超声波检测结果，否则按现行 GB/T5777 的规定，逐根进行补项试验。

4. 设计压力等于或大于 10MPa 的输送的管子和管件，外表面应逐件进行表面无损检测，且不得有线性缺陷。

5. SHA1 级设计压力小于 10MPa 的输送极度危害介质（苯除外）和高度危害的光气、丙烯腈介质的管子和管件，每批质量检验应抽查 5% 根数，但不得少于 1 根，进行表面无损检测，且不得有线性缺陷。

6. 管子及管件经磁粉检测或渗透检测发现的表面超标缺陷允许修磨，修磨后的实际壁厚不得小于管子公称壁厚的 90%，且不应小于产品标准规定的最小壁厚。

7. 高压管件及焊接管件必须核对制造厂的质量证明书，其化学成分，热处理后的力学性能、合金钢管件的金相分析结果以及高压管件的无损探伤结果应符合标准规定。

（五）阀门检验

1. 供货的阀门型号、规格、铭牌、编号、材质、压力等级等应符合图纸设计要求。
2. 外部和可见的内部表面、螺纹、密封面应无损伤、锈蚀现象，安全阀的铅封应良好。
3. 铸造阀体应无砂眼、缩孔、气孔、裂纹等危害性缺陷。合金钢阀门的内件材质应规范主要求和规范进行抽查。
4. 阀门进入现场前，应由业主要求厂家试验合格（合同约定），验收时查验试压报告应有建立人员确认合格。

5. 安全阀在安装前应由质检局鉴检, 按设计要求调试合格后, 方可进行安装。

6. 铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢管道阀门, 应对阀体、阀盖及其连接螺栓的主要合金元素含量进行验证性检验。每批(同炉批号、同材质、同规格)应抽查 10%, 且不少于 1 件。若不符合要求, 该批阀门不得使用。

7. 设计文件要求做低温密封试验的阀门, 应有制造单位的低温密封性试验的合格证明。

8. 低温阀门、用于季度危害介质(苯除外)和光气、丙稀腈介质的阀门以及设计压力等于大于 10MPa 的阀门, 其焊缝或阀体、阀盖等承压部件, 应有相应标准规定的无损检测合格证明。

(六) 紧固件检验

1. 对所有到货的螺栓紧固件应仔细进行检查, 螺栓与螺母的螺纹应完整、无伤痕、毛刺等缺陷, 其配合应良好, 无松动、卡涩现象。

2. 检查紧固件的规格、材料的标记、印记应齐全、正确和公称长度, 应符合设计及产品质量证明书文件的规定。

3. 列管道用的铬钼合金钢螺柱和螺母应采用光谱分析对其主要合金元素含量进行验证性检验, 每批抽检 5% 且不少于 10 件。

3.1 设计压力等于或大于 10MPa;

3.2 设计温度低于 -29°C ;

3.3 设计温度等于或大于 400°C 。

3.4 设计压力等于或大于 10MPa 管道用的铬钼合金钢螺栓、螺母应从每批中各取 2 件进行硬度检验, 当有不合格时, 该批螺栓、螺母将不能使用。

3.5 低温管道用的铬钼合金钢螺柱应进行低温冲击性能检验, 每批抽查不少于 2 根。当有不合格时, 该批螺栓、螺母将不能使用。

(七) 焊接材料的检验

1. 检查焊接材料的标准、牌号和规格等是否符合设计文件的要求。

2. 对于封闭包装的焊条, 应按同牌号、同规格盒数的 2% 进行检查, 而简易包装的焊条应逐盒检查, 应无受潮、锈蚀药皮剥落等缺陷。

(八) 材料的保管

1. 经检验合格的管材、阀门、管件、紧固件应按现场平面布置进行摆放、碳钢、低合金钢、不锈钢要分开摆放, 不同型号的不锈钢也要分开摆放, 不锈钢下面应垫置道木。

2. 安装之前不得将管材、管件与阀门开口端的盖帽拆除, 以免进入杂物, 阀门试压合格后, 应排尽积水, 并及时盖上盖帽。

3. 现场焊条库内要保持干燥, 不同的焊接材料要分开摆放。

(九) 材料的发放

1. 现场材料的发放运用计算机管理, 由施工技术员填写限额领料单, 交保管员发放, 做到用多少, 领多少, 如用不完的要及时退库, 并运用微机作到每日一统计。



2. 焊条使用前应按要求进行烘烤，焊工领取后要放在保温筒内，每名焊工应根据焊条发放通知单领取焊条，对于退库的焊条，应做出标记，等下次发放时应首先发出，以免焊条重复烘烤。

3. 材料管理人员要认真做好材料的入库、发放、退库等各项台帐，经常进行已完工程量，未完工程的库存量盘点，以保证施工的需要。

三、材料质量检验 见表 29-2

序号	检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
1	设备材料采购（建设单位）	1. 采购和采购管理活动是否符合法规要求（查相关合同及采购活动的有关记录资料）	①按照合同约定，建筑材料、建筑构配件和设备由工程承包单位采购的，发包单位不得指定承包单位购入用于工程的建筑材料、建筑构配件和设备或者指定生产厂、供应商。	《建筑法》第二十五条	抽查
			②保证建筑材料、构配件和设备符合设计文件和合同要求。不得明示或暗示施工单位使用不合格的建筑材料、构配件和设备。	《质量管理条例》第十四条	抽查
		2. 新技术、新设备、新工艺、新材料是否符合现行强制性标准规定（查鉴定证明、合格证、进场验收记录等相关文件资料）	建设工程勘察、设计文件中规定采用的新技术、新材料，可能影响建设工程质量和安全，又没有国家技术标准的，应当由国家认可的检测机构进行试验、论证，出具检测报告，并经国务院有关主管部门或者省、自治区、直辖市人民政府有关主管部门组织的建设工程技术专家委员会审定后，方可使用。	《实施工程建设强制性标准监督规定》第五条	抽查
2	原材料、构配件及设备检验（施工单位）	核查原材料、仪器设备报验原始记录、原材料见证取样及委托检验报告、检测单位资质证明是否真实、完整、有效；核查“紧急放行”记录、不合格品处置记录是否合规	①施工单位必须按照工程设计要求、施工技术标准 and 合同约定，对建筑材料、建筑构配件、设备和商品混凝土进行检验，检验应当有书面记录和专人签字；未经检验或者检验不合格的，不得使用。	《建筑法》第五十九条、《质量管理条例》第二十九条	重点检查
			②施工人员对涉及结构安全的试块、试件以及有关材料，应当在建设单位或者工程监理单位监督下现场取样，并送具有相应资质等级的质量检测单位进行检测。	《质量管理条例》第三十一条	重点检查
3	仓库管理（施工单位）	仓库管理活动是否符合法规要求（查相关合同及有关记录资料）	①设备材料正式入库前，应根据采购合同要求组织专门的开箱检验组进行开箱检验。开箱检验应有规定的有关责任方代表在场，填写检验记录，并经有关参检人员签字。进口设备材料的开箱检验必须严格执行国家有关法律、法规及其采购合同规定进行。	GB/T50358-2005 第 7.8.2 条（规范更新后按新版本执行）	重点检查
			②经开箱检验合格的设备材料，在资料、证明文件、检验记录齐全，具备规定的入库条件时，应提出入库申请。经仓库管理人员验收后，填写《入库单》并办理入库手续。	GB/T50358-2005 第 7.8.2 条（规范更新后按新版本执行）	重点检查
			③仓库管理工作应包括物资保管，技术档案、单据、帐目管理和仓库安全管理等。仓库管理应建立“物资动态明细台账”，所有物资应注明货位、档案编号、标识码以便查找。仓库管理员要及时登帐，经常核对，保证账物相符。	GB/T50358-2005 第 7.8.5 条（规范更新后按新版本执行）	重点检查
4	材料与管道组成件	1. 所用材料与管道组成件是否按规定进行了检查检验	①管道元件和材料应有产品质量证明文件，规定复查或试验检	GB 50235-2010, 4.1.1 ~ 4.1.8	重点检查
			②设计文件有低温冲击试验要求的材料，产品质量证明书应有低温冲击试验结果，否则应按现行国家标准 GB/T 229 的规定进行补项试验。	SH 3501-2011, 5.1.7	重点检查

序号	检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
5			③阀门必须具有质量证明文件。阀体上应有制造厂铭牌，铭牌和阀体上的标识应符合《通用阀门标识》GB/T12220 的规定。	SH/T 3518-2013, 4.1.2; 4.1.4	重点检查
			④管道组成件、弹簧支吊架、低摩擦管架、阻尼装置及减振装置等产品应有质量证明书。质量证明书上应有产品标准、设计文件和订货合同中规定的各项内容和检验、试验结果。验收时应 对质量证明书进行审查，并与实物标志核对。无质量证明书或标识不符的产品不得验收。	SH 3501-2011, 5.1.3	重点检查
			⑤若对产品质量证明书中的特性数据有异议，或产品不具备可追溯性，供货方应按相应标准作补充检查试验或追溯到产品制造单位。问题未解决前，该批产品不得验收。	SH 3501-2011, 5.1.4	重点检查
6	材料与管道组成件	1. 所用材料与管道组成件是否按规定进行了检查检验	⑥管道组成件和支承件在使用前应逐件进行外观检查，其表面质量除应符合产品标准规定外，尚应符合下列要求：a) 无裂纹、缩孔、夹渣、重皮等缺陷；b) 锈蚀、凹陷及其他机械损伤的深度，不应超过产品标准允许的壁厚负偏差；c) 螺纹、密封面、坡口的加工精度及粗糙度应达到设计文件或产品标准要求；d) 焊缝应成形良好，且与母材圆滑过渡，不得有裂纹、未熔合未焊透等缺陷；e) 金属波纹管膨胀节、弹簧支吊架等装运件或定位销块应齐全完整，并无松动现象。	SH 3501-2011, 5.1.5	抽查(实测)
			⑦铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢管道组成件应按本规范规定采用光谱分析或其他方法对主要合金元素含量进行验证性检验，并作好记录和标志。	SH 3501-2011, 5.1.6	抽查(实测)
7	材料与管道组成件	2. 材料的存放保管是否符合规定的要求	①管道元件和材料在施工过程中应妥善保管，不得混淆或损坏，其标记应明显清晰。材质为不锈钢、有色金属的管道元件和材料，在运输和储存期间不得与碳素钢、低合金钢接触。	GB50235-2010, 4.1.9	重点检查
			②管道组成件应分区分类存放。不锈钢与碳钢、铬钼合金钢管 道组成件不得接触。	SH3501-2011, 5.1.11	重点检查
			③凡按规定作抽样检查、检验的样品中，若有一件不合格，应按 原规定数的两倍抽检，若仍有不合格，则对该批管道组成件和支承件不得验收，或对该批产品进行逐件验收检查。但规定作合金元素验证性检验的管道组成件如第一次抽检不合格，则该批 管道组成件不得验收。验收合格的管道组成件应作好标识。	SH3501-2011, 5.1.9	重点检查
8	2 交工技术文件与施工记录	1. 交工技术文件或施工记录是否按规定提交	工程交工前应按照《石油化工建设工程项目交工技术文件规定》SH/T 3503-2017 和《石油化工建设工程项目施工过程技术文件规定》SH/T 3543-2017 的规定提交相关的技术文件。	SH/T3503-2007、SH/T 3543-2007	抽查
9	3. 管子检验与修磨	1. 管道组成件表面质量	管道组成件和支承件在使用前应逐件进行外观检查，其表面质量除应符合产品标准规定外，尚应符合下列要求：a) 无裂纹、缩孔、夹渣、重皮等缺陷；b) 锈蚀、凹陷及其他机械损伤的深度，不应超过产品标准允许的壁厚负偏差；c) 螺纹、密封面、坡口的加工精度及粗糙度应达到设计文件 或产品标准要求；d) 焊缝应成形良好，且与母材圆滑过渡，不得有裂纹、未熔合、未焊透等缺陷；e) 金属波纹管膨胀节、弹簧支吊架等装运件或定位销块应齐全完整，并无松动现象。	SH/T3501-2011, 5.1.5	抽查(实测)

序号	检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
10		2. 管子磁粉检测或渗透检测	①设计压力等于或大于 10MPa 的管子和管件，外表面应逐件进行表面无损检测。检测方法和缺陷评定应符合 JB4730 的规定，检验结果以 I 级为合格：a. 外径大于 12mm 的导磁性钢管，应采用磁粉检测；b. 非导磁性钢管，应采用渗透检测。② SHA 级管道中，设计压力小于 10MPa 的输送极度危害介质（苯除外）的管子，每批（指同批号、同炉罐号、同材质、同规格）应抽 5% 且不少于 1 根，按①条规定的方法和评定标准进行外表面磁粉检测或渗透检测，检验结果以 II 级为合格。抽样检验若有一件不合格，必须按原规定数加倍抽检，若仍有不合格则该批管子不能使用，并应做好标识和隔离。	SH 3501-2011，5.2.7	抽查（实测）
		3. 管子表面缺陷修磨	管子和管件的外表面无损检测结果不得有线性缺陷。发现的线性缺陷应进行修磨，修磨后的实际壁厚不应小于相应产品标准规定的最小壁厚度。	SH 3501-2011，5.2.9	抽查（实测）
11	4. 其他管道组成件（不包括管子、阀门）	1. 管件外表面	管道组成件、弹簧支吊架、低摩擦管架、阻尼装置及减振装置等产品应有质量证明书。质量证明书上应有产品标准、设计文件和订货合同中规定的各项内容和检验、试验结果。验收时应 对质量证明书进行审查，并与实物标志核对。无质量证明书或 标识不符的产品不得验收。	SH 3501-2011，5.1.3	抽查（实测）
		2. 快速光谱分析	①下列管道用的铬钼合金钢螺柱和螺母应采用光谱分析对其主要合金元素含量进行验证性检验，每批抽检 5% 且不少于 10 件。 a) 设计压力等于或大于 10MPa； b) 设计温度低于－ 29℃； c) 设计温度等于或大于 400℃。	SH 3501-2011，5.5.4	抽查（实测）
			②设计压力等于或大于 10MPa 管道用的铬钼合金钢螺柱和螺 母应进行硬度检验，每批抽检不少于 10 件，硬度值应在设计 文件或产品标准规定的范围内。若有不合格，按本规范第 5.1.9 条的规定处理。	SH 3501-2011，5.5.5	抽查（实测）
			③低温管道用的铬钼合金钢螺柱应进行低温冲击性能检验，每批抽检不少于 2 根。试验结果应符合设计文件 或产品标准的要求。若有不合格，应按本规范第 5.1.9 条的规定处理。	SH 3501-2011，5.5.6	抽查（实测）
			④铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢管道组成件应 按本规范规定采用光谱分析或其他方法对主要合金元素含量进行验证性检验，并作好记录和标志。	SH 3501-2011，5.1.6	
			⑤管道系统安装完毕后应检查材质标志。铬钼合金钢、含镍低 温钢、含钼奥氏体不锈钢发现无标志时应采用光谱分析核查。	SH3501-2011，6.2.33	抽查（实测）
		3. 法兰密封面	密封面应平整，不得有锈蚀和径向划痕；	SH3501-2011，5.4.2	抽查
12	5. 阀门	1. 钢制通用阀门检验	①设计文件要求做低温密封试验的阀门，应有制造单位的低温密封性试验的合格证明。	SH3501-2011，5.3.2	重点检查
			②低温阀门、用于极度危害介质（苯除外）和光气、丙烯腈介质的阀门以及设计压力等于或大于 10MPa 的阀门，其焊缝或阀 体、阀盖等承压部件，应有相应标准规定的无损检测合格证明	SH3501-2011，5.3.3	重点检查
			③阀门应有制造厂名称、阀门型号、公称压力、公称通径、许可标志和产品生产编号等标志。	SH 3501-2011，5.3.4	抽查
			④阀门应按设计文件中的“阀门规格书”，对阀门产品质量证明书中标明的阀体材料、特殊要求的填料及垫片进行核对。若不符合要求，该批阀门不得使用。	SH 3501-2011，5.3.5	抽查

序号	检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
13			⑤管道组成件中的阀门，应对其阀体、阀盖及其连接螺栓的主要合金元素含量进行验证性检验，每批（同批号、同材质、同规格）抽检 10%，且不少于 1 件。	SH 3501-2011， 5.3.6	抽查
			⑥阀门应按国家现行规范 SH 3518 的规定对阀体（含阀门夹套）和密封面逐个进行压力试验。到制造厂逐件见证压力试验并有见证试验记录的阀门，可以免除压力试验。	SH 3501-2011， 5.3.7	抽查
			⑦安全阀应按设计文件和 TSG ZF001-2006 的规定进行调试。调压时压力应平稳，启闭试验不得少于 3 次。调试合格后，应及时进行铅封。	SH 3501-2011， 5.3.8	抽查
			⑧试验合格的阀门应作出标识，并填写阀门试验记录。	SH 3501-2011， 5.3.9	抽查

第三节 工艺管道安装

一、施工前准备

（一）工艺管道施工准备一般包括技术准备、物资准备和施工队伍准备。具体工作如下：

1. 熟悉、审查图纸及设计文件，并适时参加设计交底；
2. 摸清工程内容、工程量和工作量；
3. 编制管道工程施工技术方案，并组织技术交底；
4. 组织焊接工艺试验与评定；
5. 准备施工机具及工装设施；
6. 组织施工队伍，对于新材料施工，做好施工人员的培训工作，使其掌握技术操作要领，保证工程质量。

7. 水、电、气（汽）、铺设道路应满足施工需要。

（二）通过以上具体工作，保证管道工程达到下列条件：

1. 管道工程设计资料及文件齐全，施工图纸经会审；
2. 施工方案或技术措施已经批准。
3. 现场预制厂已具备预制条件，临时设施满足施工需要。
4. 管材、管件、阀门等的储备量已达 60% 以上，其它材料也有适当储备，并能陆续进入现场，保证连续施工。

5. 施工机具可按计划进点，并能保证正常运转。

6. 施工人员已经过培训或技术交底，并可随时按计划调集。

7. 土建工程及设备安装进度已能满足管道施工要求。

二、工艺管道施工工序和方法

各类专业的管道，由于各地区、部门施工单位的机械装备和管道水平不同，具体施工方法也不完全相同，下面简要介绍工艺管道一般的施工工序和方法。我们通常把施工中不可缺少，而且



独立存在的操作过程，理解为施工工序。

（一）管道安装工序的组合

管材、管件、法兰安装组合了管材、管件的清理检查、管材调直、管材切割、坡口加工、焊接等工序。

1 管材、管件的清理检查

管材在安装前应进行清理和检查，清除污垢和杂质，并按国家现行规范规定进行外观检验，不合格者不得使用，管材的检验主要有以下几点：

1.1 按设计要求核对管子的规格、数量和标记。

1.2 管子的质量证明书，对质量证明书有异议的，在异议未解决前，该批管子不得使用。

1.3 管子是否有裂纹、缩孔、夹渣、折叠、重皮等缺陷。

1.4 螺纹、密封面、坡口的加工精度及粗糙度应达到设计要求或制造标准。

1.5 SHA 级管道中，设计压力等于或大于 10MPa 的管子外表面应按规定逐根进行无损探伤，不得有线性缺陷。

2. 管材调直

管子出厂后，一般都要经过多次的长途和短途运输，最后达到使用地点。在运输装卸过程中，对管材的碰撞和摔压是很难避免的，因此造成管材变形。为了使管道施工达到验收标准，基本上做到横平竖直，就必须对管材进行调直。常用的调直方法有人工调直：直径大于 50mm 的管材，采用丝杠调制器冷调，特殊情况有时需要加热后调直；当管径直径大于 200mm 时，一般不易弯曲变形，因此很少需要调直。

3. 管材切割

管材切割，也称为切管或切口，管材切管的目的，是在较长的管材上，切取一段有尺寸要求的管段。根据规范的要求，不同材质的管道，应采用不同的切割方法。

碳钢、合金钢管宜采用机械方法切割。当采用氧乙炔火焰切割时，必须保证尺寸正确和表面平整。

不锈钢、有色金属管应采用机械方法或等离子方法切割。不锈钢管及钛管用砂轮机切割或修磨时，应使用专用砂轮片。

镀锌钢管宜用钢锯或机械方法切割。

管材的切割是比较重要的一道工序，管材切口的质量，对下一道工序坡口加工和管口组对都有直接影响。

4. 坡口加工

4.1 坡口加工，是为了保证管口焊接质量而采用的有效措施。坡口的型式有多种，选择哪种坡口型式，要考虑以下几个方面：

V 型坡口，适用于中低压钢管焊接，坡口的角度为 60° ~ 70° 、坡口根部有钝边，其高度为 1~2mm。

U 型坡口，适用于高压钢管焊接，管壁厚度在 20~60mm 之间。坡口根部有钝边，其厚度为

2mm 左右。

管子的坡口加工形式和尺寸应符合设计文件规定。管道坡口加工宜采用等离子弧、氧乙炔焰等热加工方法。采用热加工方法加工坡口后，应除去坡口表面的氧化皮、熔渣及影响接头质量的表面层，并应将凹凸不平处打磨平整。

4.2 SHA、SHB、SHC 级管道的管子，应采用机械方法加工；当采用氧乙炔焰或等离子切割时，切割后必须除去影响质量的表面层。

4.3 非机械方法加工的管道焊接接头坡口应按下列规定进行渗透检测，合格标准应符合《承压设备无损检测 第五部分 渗透检测》JB/T4730.5 的 I 级。

4.3.1 铬钼合金钢管道 100% 检测；

4.3.2 标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 管道 100% 检测；

4.3.3 设计温度低于 -29°C 的非奥氏体不锈钢管道抽检数量应为 5% 且不得少于 1 个；

5. 焊接

焊接式管道连接的主要形式，焊接方法有很多种，常用的有气焊、电弧焊、氩弧焊和氩电联焊和二氧化碳气体保护焊。

管道在焊接以前，要检查管材切口和坡口是否符合质量要求，然后进行管口组对，组对时应做到内壁齐平，内壁错边量应符合规定。规定要求，一般管道不宜超过壁厚的 10%，且不大于 2mm；SHA 级管道不宜超过壁厚的 10%，且不大于 0.5mm；SHB 级管道不宜超过壁厚的 10%，且不大于 1mm。组对好的管口，先进行点焊，根据管直径大小，点焊 3 至 4 处，点固后的管口再进行焊接。

6. 焊缝的检验

管道每个焊口焊完以后，都应打掉焊缝上的渣皮和两边的飞溅物，并将焊缝表面清理干净，进行外观检验，查看焊缝是否有裂纹、气孔、夹渣等缺陷，管道焊缝的外观检验质量应符合现行国家标准《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB50236 的有关规定。

6.1 输送设计压力大于等于 10MPa 且设计温度大于等于 400°C 的非可燃流体、无毒流体的管道。

6.2 设计温度小于 -29°C 的低温管道；

6.3 设计文件要求进行 100% 射线照相检验的其他管道。

在每条管道上，抽查探伤的焊接接头，不能少于一个焊口。如发现某焊工所焊的焊口不合格时，应对其所焊的焊缝按规定比例加倍抽查探伤，如果仍不合格时，对其在该管线所焊的焊缝全部进行无损探伤。所有经过无损探伤检测不合格的焊缝，必须进行返修，返修后的焊缝仍按原规定方法进行检验。

管道各级焊缝接头射线检测百分比，当设计未规定时，可按下表的规定执行。

表 12 管道焊接接头无损检验数量及验收标准

检查等级	管道级别	对接接头		角焊接头		支管连接接头	
		比例	验收标准	比例	验收标准	比例	验收标准
1	SHA1SHB1	100%	IRTH 级或 UTI 级、MTI 级或 PT 级 ^c	100%	1MT I 级或二 PTI 级	100%	RTII 级或 UTI 级 ^b MTI 级或 PTI 级

检查等级	管道级别	对焊接若一		角焊接头		支管连接接头	
		比例	验收标准	比例	验收标准	比例	验收标准
2	SHA2SHB2	20%		20%	MTJ 级或 PT I 级	20%	RTII 级或 UTI 级 ^b 、MTI 级或 PTI 级
3	SHA3SHB3	10%	RT III 级或 UT II 级	—		10%	MTI 级或 PTI 级
4	SHA4SHB4	5%		—		—	

A 确定管道检查等级时尚应符合本规范第 4.7 条规定。

B 适用于等于或大于 DN100 的支管连接的受压焊缝。

C 对碳钢和不锈钢不进行 MT 或 PT 的检测。

说明：无毒无害的检测比例执行 GB50517 表 9.3.1

三、安装质量检验 见表 29-3

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
2.1 管子检验与修磨	2.1.1 管道组成件表面质量	管道组成件和支承件在使用前应逐件进行外观检查，其表面质量除应符合产品标准规定外，尚应符合下列要求：a) 无裂纹、缩孔、夹渣、重皮等缺陷；b) 锈蚀、凹陷及其他机械损伤的深度，不应超过产品标准允许的壁厚负偏差；c) 螺纹、密封面、坡口的加工精度及粗糙度应达到设计文件或产品标准要求；d) 焊缝应成形良好，且与母材圆滑过渡，不得有裂纹、未熔合、未焊透等缺陷；e) 金属波纹管膨胀节、弹簧支吊架等装运件或定位销块应齐全完整，并无松动现象。	SH3501-2011, 5.1.5	抽查 (实测)
	2.1.2 管子磁粉检测或渗透检测	①设计压力等于或大于 10MPa 的管和管件，外表面应逐件进行表面无损检测。检测方法和缺陷评定应符合 JB4730 的规定，检验结果以 I 级为合格；a. 外径大于 12mm 的导磁性钢管，应采用磁粉检测；b. 非导磁性钢管，应采用渗透检测。② SHA 级管道中，设计压力小于 10MPa 的输送极度危害介质 (苯除外) 的管子，每批 (指同批号、同炉罐号、同材质、同规格) 应抽 5% 且不少于一根，按①条规定的方法和评定标准进行外表面磁粉检测或渗透检测，检验结果以 II 级为合格。抽样检验若有一件不合格，必须按原规定数加倍抽检，若仍有不合格则该批管子不能使用，并应做好标识和隔离。	SH3501-2011, 5.2.7	抽查 (实测)
	2.1.3 管子表面缺陷修磨	管子和管件的外表面无损检测结果不得有线性缺陷。发现的线性缺陷应进行修磨，修磨后的实际壁厚不应小于相应产品标准规定的最小壁厚度。	SH3501-2011, 5.2.9	抽查
2.2 支、吊架	支吊架安装	①支吊架位置及形式符合设计文件的规定。管道安装时，应及时进行支、吊架的固定和调整工作。支吊架安装应牢固，管子和支承面应接触良好。固定支架的安装位置应作好记录。 ②不锈钢管道与支吊架上碳钢材料之间应垫入不锈钢薄板或氯离子含量不超过 50mg/kg 的非金属材料隔离垫。 ③吊杆应垂直安装。当设计文件要求支吊架偏置安装时，偏置量和偏置方向应符合设计文件的规定。 ④导向支架或滑动支架的滑动面应洁净平整，不得有歪斜和卡涩现象。管道隔热层不得妨碍其位移。 ⑤弹簧支吊架应按设计文件和产品技术文件的规定进行安装调试。定位销或块应在试车前拆除。 ⑥支架与管道焊接时，管子表面不得有咬边现象。 ⑦管道安装完毕后，支吊架的形式和位置应按设计文件逐个核对。	SH3501-2011, 6.2.26~32	抽查

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
2.3 其他管道组成件 (不包括管子、阀门)	2.3.1 管件外表面	管道组成件、弹簧支吊架、低摩擦管架、阻尼装置及减振装置等产品应有质量证明书。质量证明书上应有产品标准、设计文件和订货合同中规定的各项内容和检验、试验结果。验收时应应对质量证明书进行审查,并与实物标志核对。无质量证明书或标识不符的产品不得验收。		抽查
	2.3.2 快速光谱分析	①下列管道用的铬钼合金钢螺柱和螺母应采用光谱分析对其主要合金元素含量进行验证性检验,每批抽检5%。且不少于10件。 a) 设计压力等于或大于10MPa; b) 设计温度低于-29℃ c) 设计温度等于或大于400℃。	SH3501-2011, 5.5.4	抽查
		②设计压力等于或大于10MPa管道用的铬钼合金钢螺柱和螺母应进行硬度检验,每批抽检不少于10件,硬度值应在设计文件或产品标准规定的范围内。若有不合格,按本规范第5.1.9条的规定处理。	SH3501-2011, 5.5.5	抽查(实测)
		③低温管道用的铬钼合金钢螺柱应进行低温冲击性能检验,每批抽检不少于2根。试验结果应符合设计文件或产品标准的要求。若有不合格,应按本规范第5.1.9条的规定处理。	SH3501-2011, 5.5.6	抽查(实测)
		④铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢管道组成件应按本规范规定采用光谱分析或其他方法对主要合金元素含量进行验证性检验,并作好记录和标志。	SH3501-2011, 5.1.6	抽查(实测)
		⑤管道系统安装完毕后应检查材质标志。铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢发现无标志时应采用光谱分析核查。	SH3501-2011, 6.2.33	抽查(实测)
	2.3.3 法兰密封面	密封面应平整,不得有锈蚀和径向划痕;	SH3501-2011, 5.4.2	抽查
2.4 阀门	2.4.1 钢制通用阀门检验	①设计文件要求做低温密封试验的阀门,应有制造单位的低温密封性试验的合格证明。	SH3501-2011, 5.3.2	重点检查
		②低温阀门、用于极度危害介质(苯除外)和光气、丙烯腈介质的阀门以及设计压力等于或大于10MPa的阀门,其焊缝或阀体、阀盖等承压部件,应有相应标准规定的无损检测合格证明	SH3501-2011, 5.3.3	抽查
		③阀门应有制造厂名称、阀门型号、公称压力、公称通径、许可标志和产品生产编号等标志。	SH3501-2011, 5.3.4	抽查
		④阀门应按设计文件中的“阀门规格书”,对阀门产品质量证明书中标明的阀体材料、特殊要求的填料及垫片进行核对。若不符合要求,该批阀门不得使用。	SH3501-2011, 5.3.5	抽查
		⑤管道组成件中的阀门,应对其阀体、阀盖及其连接螺栓的主要合金元素含量进行验证性检验,每批(同批号、同材质、同规格)抽检10%,且不少于1件。	SH3501-2011, 5.3.6	抽查(实测)
		⑥阀门应按国家现行规范SH3518的规定对阀体(含阀门夹套)和密封面逐个进行压力试验。到制造厂逐件见证压力试验并有见证试验记录的阀门,可以免除压力试验。	SH3501-2011, 5.3.7	抽查
		⑦安全阀应按设计文件和TSGZF001-2006的规定进行调试。调压时压力应平稳,启闭试验不得少于3次。调试合格后,应及时进行铅封。	SH3501-2011, 5.3.8	抽查
		⑧试验合格的阀门应作出标识,并填写阀门试验记录。	SH3501-2011, 5.3.9	抽查
	2.4.2 安全阀和爆破片	①《安全阀规格书》中安全阀类型、设计压力、整定压力,应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》要求。	TSGR0004-2009 8.3.2	抽查
		②新安全阀应当校验合格后才能安装使用。	TSGR0004-2009 8.3.5	重点检查
		③安全阀应铅直安装在压力容器液面以上的气相空间部分,或者装设在与压力容器气相空间相连的管道上。	《TSGR0004-2009》8.3.5	重点检查



检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
2.4.2 安全阀和爆破片		④安全阀应按设计文件和 TSGZF001-2006 的规定进行调试。调压时压力应平稳, 启闭试验不得少于 3 次。调试合格后, 应及时进行铅封。试验合格的阀门应做出标识, 并填写阀门试验记录。	SH3501-2011, 5.3.8、5.3.9	重点检查
		⑤对于易燃、毒性程度为极度、高度或中度危害介质的压力容器, 应在安全阀或爆破片的排出口装设导管, 将排放介质引至安全地点, 并进行妥善处理, 不得直接排入大气。	TSGR0004-2009》8.2	重点检查
		⑥安全阀的整定压力一般不大于该压力容器的设计压力。设计图样或者铭牌上标注有最高允许工作压力的, 也可以采用最高允许工作压力确定安全阀的整定压力。	《TSGR0004-2009》8.3.2	重点检查
		⑦杠杆式安全阀应有防止重锤自由移动的装置和限制杠杆越出的导架; 弹簧式安全阀应有防止随便拧动调整螺丝的铅封装置; 静重式安全阀应有防止重片飞脱的装置。	《TSGR0004-2009》8.3.4	重点检查
		⑧对于盛装毒性程度为极度、高度、中度、危害介质, 易燃介质, 腐蚀、粘性介质或者贵重介质的压力容器, 为便于安全阀的清洗与更换, 经过使用单位主管压力容器安全技术负责人批与压力容器之间装设截止阀门, 压力容器正常运行期间截止阀门必须保证全开 (加铅封或者锁定), 截止阀门的结构和通径不得妨碍安全阀的安全泄放。	《TSGR0004-2009》8.3.5	重点检查
2.5 静电接地	2.5.1 导线跨接要求	①设计文件有静电接地要求的管道, 各段间应导电良好, 对地电阻值及接地位置应符合设计文件要求, 并进行电阻值测定当每对法兰或螺纹接头间电阻值大于 0.03Ω 时, 应有导线接, 并应符合国家现行标准 SH3097 和设计文件的有关规定。	SH3501-2011, 6.2.13	抽查 (实测)
	2.5.2 管道系统静电接地	①不锈钢管道静电接地专用接地板应采用不锈钢板制作, 接地引线不得与不锈钢管直接连接。	SH3501-2011, 6.2.14	抽查
	2.5.3 静电接地的材料或零件	②管道系统的接地电阻值、接地位置及连接方式应符合设计文件的规定。静电接地引线宜采用焊接形式。	GB50235-2010, 7.13.2	抽查 (实测)
	2.5.4 不锈钢、有色金属管道静电接地型式	有静电接地要求的不锈钢和有色金属管道, 导线跨接或接地引线不得与管道直接连接, 应采用同材质连接板过渡。	GB50235-2010, 7.13.3	抽查
	2.5.5 管道静电接地测试记录	管道的静电接地安装完毕测试合格后, 应及时填写管道静电接地测试记录。	SH3501-2011, 6.2.15	抽查
2.6 管道预制	2.6.1 管道预制	①管道预制加工应按现场审查确认的单线图 (轴侧图) 进行预制加工单线图 (轴侧图) 上应标注管道编号、现场组焊位置和调节裕量。 ②管道预制过程中应核对并保留管道组成件的标志, 并做好标志的移植。低温钢管道和不锈钢管道组成件进行标志移植时, 不得使用钢印作标志。	SH3501-2011, 6.1.2	抽查
	2.6.2 预制标识	检查合格后的管道预制组件应有管道编号、管段号、焊缝号焊工号、无损检测标识和材料标识等标志, 且与单线图 (轴侧图) 一致。其内部不得有砂土、铁屑、熔渣及其他杂物, 并封闭。存放时应防止损伤和污染。	SH3501-2011, 6.1.13	抽查
2.7 管道焊接	2.7.1 一般规定	①管道施焊前, 应根据评定合格的焊接工艺指导书编制焊接工艺卡。焊工应按焊接工艺卡施焊。	SH3501-2011, 7.1.1	抽查
		②焊工应持有有效的资格证书, 并在合格项目内从事管道的焊接。	SH3501-2011, 7.1.2	抽查
		③焊材应具有产品质量证明书。焊条的药皮不得有脱落或明显裂纹。焊丝在使用前应清除其表面的油污、锈蚀等。除焊条说明书对库存期另有规定外, 库存期不宜超过一年, 超过一年的焊条应检查外观并进行工艺性能试验, 符合要求后方可使用。	SH3501-2011, 7.1.3	抽查

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
		④焊条应按说明书的要求进行烘烤，并在使用过程中保持干燥。	SH3501-2011, 7.1.4	抽查
		⑤对于无预热要求的钢种，当焊接环境温度低于 0℃或焊件温度低于 -18℃时，应对焊件进行预热，预热范围为坡口中心两侧各不小于壁厚的 5 倍，且不少于 100mm，预热的温度不低于 15℃。	SH3501-2011, 7.1.5	抽查
		⑥管道的施焊环境若出现下列情况之一时，应采取防护措施。否则，应停止焊接工作。a) 焊条电弧焊焊接时，风速等于或大于 8m/s；b) 气体保护焊焊接时，风速等于或大于 2m/s；c) 相对湿度大于 90%；d) 下雨或下雪时露天作业。	SH3501-2011, 7.1.6	抽查
		⑦钨极氩弧焊宜用铈钨棒。使用氩气的纯度应在 99.99% 以上	SH3501-2011, 7.1.7	抽查
		⑧管道不得使用氧乙炔焰焊接。	SH3501-2011, 7.1.8	抽查
		⑨管道上的开孔应在管段安装前完成。当在已安装的管道上开孔时，管内因切割而产生的异物应清除干净。	SH3501-2011, 6.2.2	抽查
	2.7.2 焊接接头	①管子坡口应宜用机械方法加工。当采用火焰或等离子方法加工时，加工后应除去影响焊接质量的表面层。	SH3501-2011, 7.2.3	抽查
		②下列管子坡口采用热加工方法时，坡口表面应进行无损检测，检测结果不得有线性缺陷：a) 铬钼合金钢、材料标准抗拉强度下限值等于或大于 540MPa 钢材的管子坡口 100% 检测；b) 设计温度低于 -29℃的非奥氏体不锈钢管子的坡口应抽检 5%，如有抽查不合格，应按本规范 5.1.9 条规定加倍检测。	SH3501-2011, 7.2.4	抽查
		③焊接接头组对前，应确认坡口的加工形式和尺寸，且不得有裂纹、夹层等缺陷。	SH3501-2011, 7.2.9	抽查
	2.7.3 工艺要求	①施焊时不得在焊件表面引弧或试验电流。含镍低温钢、不锈钢、铬钼合金钢以及材料标准抗拉强度下限值等于或大于 540MPa 钢材管道，焊件表面不得有电弧擦伤等缺陷。	SH3501-2011, 7.3.4	抽查
		②公称直径等于或大于 500mm 管道的对接焊缝，宜采用单面焊接双面成形的焊接工艺或在焊缝内侧根部进行封底焊；公称直径小于 500mm 的管道对接焊缝的根部焊道应采用氩弧焊。	SH3501-2011, 7.3.5	抽查
		③在焊接中应确保起弧与收弧的质量。收弧时应将弧坑填满，多层焊的层间接头应相互错开。	SH3501-2011, 7.3.6	抽查
		④除焊接工艺或检验要求需分次焊接外，每条焊缝应一次连续焊完。如因故被迫中断，应采取防裂措施。再焊时应进行检查确认无裂纹后方可按原工艺继续施焊。	SH3501-2011, 7.3.7	抽查
		⑤焊接工艺卡中规定焊接线能量的焊缝，焊接线能量应符合焊接工艺卡的规定。焊接工艺卡中规定层间温度的焊缝，应测量层间温度，并应符合焊接工艺卡的规定。	SH3501-2011, 7.3.8、7.3.9	抽查
		⑥对焊接连接的阀门施焊时，应将阀门适度开启。焊缝根部焊道应采用氩弧焊。所采用的焊接顺序、焊接工艺及热处理应防止阀体过热变形，保证阀座的密封性能不受影响。	SH3501-2011, 7.3.10	抽查
		⑦焊接完毕后，应及时将焊缝表面的熔渣及附近的飞溅物清理干净。奥氏体不锈钢焊接接头焊后应按设计文件规定进行酸洗与钝化处理。	SH3501-2011, 7.3.11	抽查
		⑧不锈钢复合钢管坡口形式及尺寸宜按设计规定或《石油化工不锈钢复合钢焊接规程》4.1.1 选用，其原则为保证焊接质量填充金属量少，融合比小，便于操作等。	SH/T3527-2009, 4.1.1	抽查
2.8 管道焊接接头质量检验	2.8.1 焊缝外观	焊缝外观应成型良好，对接环焊缝的宽度以每边盖过坡口边缘 2mm 为宜。焊接接头表面的质量应逐件进行外观检查，并符合下列要求	SH3501-2011, 7.5.2	抽查（实测）

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
	2.8.2 表面的质量	a) 不允许有裂纹、未熔合、气孔、夹渣、飞溅存在；		抽查 (实测)
		b) 设计温度低于 -29°C 的管道、不锈钢和抗拉强度下限值等于或大于 540MPa 的合金钢管道焊缝表面，不得有咬边现象。其他管道焊缝咬边深度不应大于 0.5mm ，连续咬边长度不应大于 100mm ，且焊缝两侧咬边总长不大于该焊缝全长的 10% ；		抽查 (实测)
		焊缝表面不得有低于母材的局部凹陷。焊缝余高 Δh 应符合下述规定：1) 质量检查等级为 1 级管道的对接接头，焊缝余高应小于或等于 0.1 倍的坡口最大宽度和 1 的和，且不应大于 2mm ；		抽查 (实测)
		2) 其余焊接接头，焊缝余高应小于或等于 0.2 倍的坡口最大宽度和 1 的和，且不应大于 3mm 。		抽查 (实测)
	2.8.3 焊缝接头无损检测	焊接接头无损检测的比例和验收标准应按检查等级确定，并不应低于表 12 的规定。	SH3501-2011, 7.5.7	抽查 (实测)
		管道焊接接头按比例抽样检查时，检验批应按下列规定执行：a) 每批执行周期宜控制在 2 周内；b) 应以同一检测比例完成的焊接接头为计算基数确定该批的检测数量；c) 焊接接头固定口检测不应少于检测数量的 40% ；d) 焊接接头抽样检查应符合下列要求：1) 应覆盖施焊的每名焊工；2) 按比例均衡各管道编号分配检测数量；3) 交叉焊缝部位应包括检查长度不小于 38mm 的相邻焊缝。	SH3501-2011, 7.5.10	抽查
	2.8.4 承插和焊接支管的焊接接头及其他角焊缝	焊接接头表面的质量应逐件进行外观检查，并符合下列要求：a) 不允许有裂纹、未熔合、气孔、夹渣、飞溅存在；b) 设计温度低于 -29°C 的管道、不锈钢和抗拉强度下限值等于或大于 540MPa 的合金钢管道焊缝表面，不得有咬边现象。其他管道焊缝咬边深度不应大于 0.5mm ，连续咬边长度不应大于 100mm ，且焊缝两侧咬边总长不大于该焊缝全长的 10% ；c) 焊缝表面不得有低于母材的局部凹陷。焊缝余高 Δh 应符合下述规定：1) 质量检查等级为 1 级管道的对接接头，焊缝余高应小于或等于 0.1 倍的坡口最大宽度和 1 的和，且不应大于 2mm ；2) 其余焊接接头，焊缝余高应小于或等于 0.2 倍的坡口最大宽度和 1 的和，且不应大于 3mm 。		抽查 (实测)
	2.8.5 超声波检测	管道的名义厚度小于或等于 30mm 的对接环焊缝，应采用射线检测，当由于条件限制需改用超声检测时，应征得设计和建设 / 监理单位的同意；名义厚度大于 30mm 的对接环焊缝可采用超声检测。	SH3501-2011, 7.5.13	抽查 (实测)
	2.8.6 焊缝返修次数	不合格焊缝应进行返修，并按原规定的检测方法检查合格焊缝同一部位的返修次数，碳钢管道不得超过 3 次，其余钢种管道不得超过 2 次。	SH3501-2011, 7.5.14	抽查
	2.8.7 焊缝扩探检验	抽样或局部检测发现不合格焊接接头时，应符合下列要求进行累进检查：a) 在一个检验批中检测出不合格焊接接头，应在该批中对该焊工焊接的不合格接头数加倍进行检测，加倍检测接头及返修接头评定合格，则应对该批焊接接头予以验收；b) 若加倍检测的焊接接头中又检测出不合格焊接接头，应对该焊工焊接的该批焊接接头全部检测，并对不合格的焊接接头返修，评定合格后应对该批焊接接头予以验收。	SH3501-2011, 7.5.11	抽查
2.9 高温管道	2.8.8 测定硬度值	①焊接接头热处理后，首先应确认热处理自动记录曲线。热处理自动记录曲线异常，应查明原因；被查部件的焊接接头硬度值超过规定范围时，应重新进行热处理。	SH3501-2011, 7.4.13	抽查 (实测)
		②经焊后热处理的焊接接头，应对焊缝和热影响区进行 100% 硬度值测定，且其硬度值均不得超过表 10 的规定。热影响区的测定区域应紧邻熔合线。	SH3501-2011, 7.4.11	抽查
	2.8.9 焊缝编号	③焊接工作完成后，应在单线图 (轴侧图) 上标明焊缝编号焊工代号、固定焊焊接位置 (2G 或 5G)、无损检测方法、返修焊缝位置等可追溯性标识。	SH3501-2011, 7.5.15	抽查
2.9 高温管道	2.9.1 高温管道膨胀指示器	管道膨胀指示器的安装应符合设计文件的规定，并应指示正确。	GB50184-2011, 7.3.3	抽查

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
	2.9.2 高温管道监察段、蠕胀测点	蠕胀测点和监察管段的安装应符合国家现行有关标准和设计文件的规定。	GB50184-2011, 7.3.4	抽查
2.9 与转动设备连接的管道	2.9.1 一般要求	与转动机器连接的管道安装应符合下列要求：a) 管道的重量和其他外力不得作用在机器上；b) 管道的水平度或垂直度小于1mm/m。气体压缩机入口管道因水平偏差造成的坡度，应坡向分液罐一侧；	SH3501-2011, 6.2.8	抽查（实测）
	2.9.2 法兰密封面间的平行偏差、径向偏差及间距	与机器连接的管道及其支、吊架安装完毕后，应卸下接管上的法兰螺柱，在自由状态下所有螺柱应能在螺栓孔中顺利通过法兰密封面间的平行度及同心度，当设计文件或制造厂文件未规定时，应符合表6的规定。	SH3501-2011, 6.2.8	重点检查（实测）
	2.9.3 转动设备位移值检查	机器试车前，应对管道与机器的连接法兰进行最终连接检查检查时，在联轴器上架设百分表监视其位移，然后松开和拧紧法兰连接螺柱进行观测。当转速大于6000r/min时，其位移值应小于0.02mm；当转速为3000r/min至6000r/min时，其位移值应小于0.05mm。		重点检查（实测）
2.10 补偿器	2.10.1 “Π”形补偿器安装	“Π”形补偿器安装，应按设计文件规定进行预拉伸或预压缩，允许偏差为预伸缩量的10%，且不大于10mm。“Π”形补偿器水平安装时，平行臂和垂直臂的坡度应符合设计文件的规定。	SH3501-2011, 6.2.16	抽查
	2.10.2 管道补偿器安装调试	管道补偿装置安装调试合格后，应做好安装记录。	SH3501-2011, 6.2.20	抽查

第四节 管道热处理、硬度检测

一、施工准备

1. 人员准备

电焊工、电工、热处理人员具备热处理的资格，施工前需进行有针对性的培训，并进行安全技术交底后才允许进行现场施工。

2. 技术准备

2.1 热处理焊接工艺评定准备。

2.2 施工图纸、规范标准等资料齐全，热处理方案已经批准。

2.3 作业前由技术人员对施工班组进行现场施工技术交底交清工程内容、工程量、施工方案、关键技术、特殊工艺要求、安全措施、质量标准、工序交接要求及其它注意事项。

2.4 参与热处理工作的操作工应熟悉热处理设备的性能，热处理各项技术参数。

3. 机具设备准备

3.1 履带式电加热板，热处理温控设备、仪表准备。控温仪的打点记录仪、钳型电流/电压表、热电偶以及硬度测试仪应经过校准并在有效周期内，准确度应达到的要求，其测量范围应满足工艺要求；补偿导线型号应与热电偶相匹配。并报验监理公司审查。

3.2 热处理要单独使用配电箱，防止中途跳闸，影响热处理工艺。

3.3 现场电源、环境条件等均符合要求，并已采取防风、防雨、防火、防停电等措施。室外管



道焊缝热处理应做好防雨的应急措施，准备可靠的固定式或移动式防雨棚。

3.4 现场应准备充足的保温棉、保温绳、细铁丝及自制的保温被。

3.5 热处理施工尽可能安排在晴天进行，如果在雨天实施热处理施工，必须采取有效的措施（预备遮雨伞或挡雨棚），保证热处理对象不被淋湿。

二、施工方法及技术措施

（一）焊前预热

1. 预热方式：

预热方式分为局部预热和整体预热。电加热适用于整体预热和局部预热。火焰加热适用于现场局部预热（支管或管台角焊缝）。

电加热又分为电加热片或加热带加热和电感应加热。目前现场常用做法为电加热片或加热带加热，对于管径较大的管道需要加热时，通常需要定制加热带，现场接长，效率较低，可考虑电感应加热。优势 1. 高效节能、快速加热采用内热加热方式，即通过电磁感应使内部金属管自身发热，平均预热时间比电阻圈加热方式缩短 2/3，同时热效率高达 95% 以上，节电效果可达 30%~70%。

2. 预热要求

管道组成件焊前预热按下表的规定进行。中断焊接后需要继续焊接时，应重新预热。

表 29-4 管道组成件焊前预热要求

母材类别	名义壁厚 (mm)	规定的母材最小抗拉强度 (MPa)	预热温度 (°C)
碳钢 (C) 碳锰钢 (C-Mn)	< 25	≤ 490	10
	≥ 25	全部	80
	全部	> 490	80
合金钢 (Cr-Mo) 0.5% < Cr ≤ 2%	全部	全部	150
合金钢 (Cr-Mo) 2.25% ≤ Cr ≤ 10%	全部	全部	175
马氏体不锈钢	全部	全部	150
铁素体不锈钢	全部	全部	10
奥氏体不锈钢	全部	全部	10
低温镍钢 Ni ≤ 4%	全部	全部	95
8Ni、9Ni 钢	全部	全部	10
5Ni 钢	全部	全部	10
铝、铜、镍、钛及其合金	全部	全部	10

3. 预热温度

3.1 确定焊件的预热温度时，应综合考虑以下几个因素：

3.1.1 钢材的焊接性。

3.1.2 焊件的厚度、接头型式，环境温度。

3.1.3 焊接材料的潜在含氢量和结构拘束度。

3.1.4 异种钢焊接时，预热温度的选择应根据合金成分高的一侧或焊接性差的一侧进行选择。

3.1.5 当焊件温度低于 0℃ 时，所有钢材的焊缝应始焊处 100mm 范围内预热至 15℃ 以上。

3.1.6 焊前预热的加热范围应以焊缝中心为基准，每侧不应小于焊件厚度的 3 倍，且不应小于 100mm。

3.1.7 要求焊前预热的焊件，其层间温度应在规定的预热温度范围内。碳钢和低合金钢的最高预热温度和层间温度不宜大于 250℃，奥氏体不锈钢的层间温度不宜大于 150℃。

（二）焊后热处理

1. 焊后热处理的接头

1.1 设计要求焊后需进行热处理的焊接接头；根据设计要求进行焊后热处理。

2. 热处理加热方法

热处理加热采用电阻加热，即将电阻加热片缠绕在焊接接头上（两侧均不低于 3 倍焊缝宽度且不应小于 100mm），将热电偶插入其中（热电偶端部与焊缝表面紧密接触），外层用石棉包裹（石棉层厚度不低于 50mm，宽度两侧均不低于 5 倍焊缝宽度）。电源引入热处理控制箱，再用耐火电缆与加热片联结，用耐火电缆将热电偶与热处理记录仪相联，热处理记录仪与热处理控制箱用电缆联接。在热处理控制箱上设定好热处理工艺，由热处理控制箱控制热处理工艺，热处理记录仪记录热处理曲线图。

（三）热处理工艺参数

1. 工业金属管道及管道组成件焊接完毕，经无损检测合格后，应根据管材、管件的母材和厚度，确定是否需要进行焊后热处理，以及热处理的温度，具体按下表执行，焊后热处理温度的确定：

表 29-5 常用材料焊接接头热处理

母材类别	名义厚度 t(mm)	母材最小规定抗 拉强度 (MPa)	热处理温度 (℃)	恒温时间 (min/mm)	最短恒温时间 (h)	硬度合格指标 (布氏硬度)
碳钢 (C)、碳锰钢 (C-Mn)	≤ 19	全部	不要求	/	/	/
	> 19	全部	600~650	2.4	1	≤ 200
合金钢 (C-Mo、Mn-Mo、Cr-Mo) Cr ≤ 0.5%	≤ 19	≤ 490	不要求	/	/	/
	> 19	全部	600~720	2.4	1	≤ 225
	全部	> 490	600~720	2.4	1	≤ 225
合金钢 (Cr-Mo) 0.5% < Cr ≤ 2%	≤ 13	≤ 490	不要求	/	/	/
	> 13	全部	700~750	2.4	2	≤ 225
	全部	> 490	700~750	2.4	2	≤ 225
合金钢 (Cr-Mo) 2.25% ≤ Cr ≤ 3% 和 C ≤ 0.15%	≤ 13	全部	不要求	/	/	/
	> 13	全部	700~760	2.4	2	≤ 241
合金钢 (Cr-Mo) 3% < Cr ≤ 10% 或 C > 0.15%	全部	全部	700~760	2.4	2	≤ 241
马氏体不锈钢	全部	全部	730~790	2.4	2	≤ 241
铁素体不锈钢	全部	全部	不要求	/	/	/
奥氏体不锈钢	全部	全部	不要求	/	/	≤ 187
低温镍钢 (Ni ≤ 4%)	≤ 19	全部	不要求	/	/	/
	> 19	全部	600~640	1.2	1	/
双相不锈钢	全部	全部	/	1.5	0.5	/

本表数据根据是 GB50517 表 7.4.4 及 SH/T3501 表 10 内容整合而成的。

注：a、奥氏体不锈钢钢管稳定化处理、固溶处理应按设计文件要求。

b、多于双相不锈钢钢管，是否应进行焊后热处理不作具体规定，但热处理应符合材料标准要求。



2. 支管连接时, 热处理的厚度应为主管或支管的厚度, 不计入支管连接件 (包括整体补强或非整体补强) 的厚度。当任一截面上支管连接的焊缝厚度大于上表所列厚度的 2 倍时或焊接接头各处组成件的厚度小于上表的最小厚度时, 应进行热处理。

3. 对于平焊法兰、承插焊法兰、公称直径小于或等于 50mm 的管子的连接角焊缝、螺纹接头的密封焊和管道支吊架与管道的连接焊缝, 当任一截面的焊缝厚度大于上表所列厚度的 2 倍时, 焊接接头处各组成件的厚度小于上表规定的最小厚度时, 应进行热处理。

但下列情况可不进行热处理:

3.1 对于碳钢材料, 当角焊缝厚度不大于 16mm 时。

3.2 对于铬钼合金钢材料, 当角焊缝厚度不大于 13mm, 并采用了不低于推荐的最低预热温度, 且母材规定的最小抗拉强度小于 490MPa 时。

3.3 对于铁素体材料, 当其焊缝采用奥氏体或镍基填充金属时。

4. 热处理的加热速度和冷却速度应符合下列规定:

4.1 当加热温度升至 300℃ 时, 加热速率应按 $5125/\delta$ °C 计算, 且不得大于 225°C/h。

4.2 恒温时间可按碳钢 2.5min/mm、合金钢 3min/mm 计算, 最短恒温时间应符合本规范 16.3.1 规定; 在恒温期间, 各测点的温度应在热处理温度规定的范围内, 其差值不得大于 50°C。

4.3 恒温后的冷却速率应按 $6500/\delta$ °C 计算, 且不得大于 260°C/h, 冷却至 300°C 后可自然冷却。

4.4 检查方法: 检查热处理工艺文件、热处理曲线图。

(四) 焊后热处理方法

1. 热处理前检查

1.1 管道焊缝已经责任师、质检员检查核实、确认, 作业条件已具备。

1.2 管道端口封闭, 焊缝附近孔板、温度计、压力表等仪表已拆除, 拆除口已保护。

1.3 在进行包扎加热板前, 确认工件清洁无油脂, 表面无缺陷。

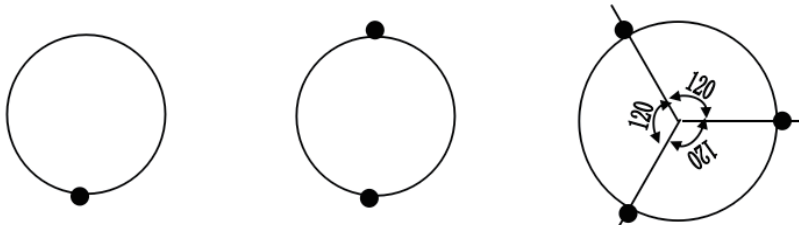
1.4 确保热处理设备、仪表性能良好, 热电偶、补偿导线与记录仪相配, 现场接电、接线安全可靠。

2. 热电偶的安装

2.1 测温点布置

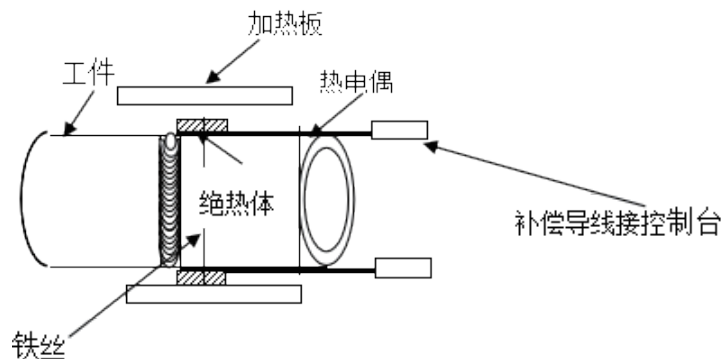
2.1.1 测温点布置在焊缝上, 测温点的位置和数量就满足相关标准和规范要求。

2.1.2 无特殊要求时可参考下图要求布置。DN<300mm 布置 1 个测温点, 如图 a 所示; $300 \leq \text{DN} < 500\text{mm}$ 布置 2 个测温点, 如图 b 所示; $500 \leq \text{DN} < 7500\text{mm}$ 布置 3 个测温点, 相互之间 120° 如图 c 所示。测温点应布置在管道下部, 当有多个测温点时至少有一个测温点位于管道下部。



2.2 固定热电偶

热电偶用铁丝固定于管子焊缝与加热板之间，必须确保热电偶与焊缝接触良好，且热电偶热端与加热板之间不得直接接触，可用绝热类材料隔开。将补偿导线与热电偶、温度记录仪可靠连接。热电偶、补偿导线、温度记录仪表必须匹配，并标明序号，避免混淆。具体操作如下图所示（注：热电偶置于焊缝边缘）。



热电偶安装示意图

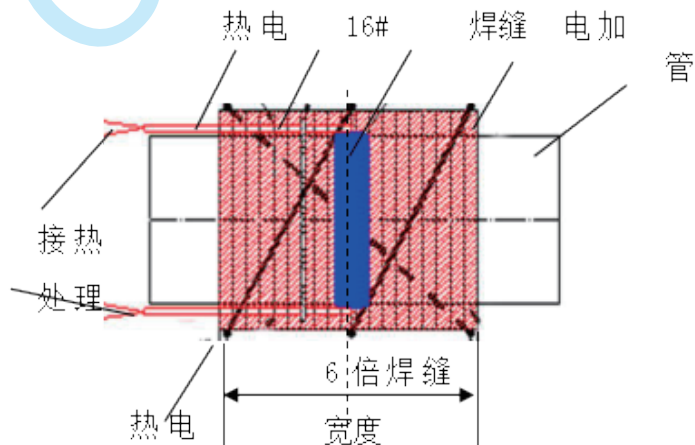


热电偶固定示意

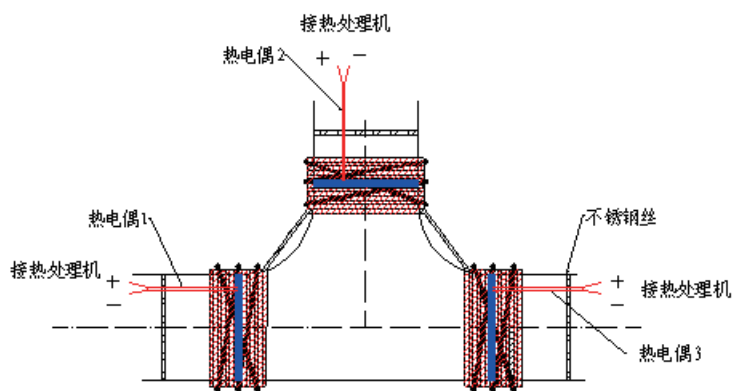
2.3 加热器的安装

2.3.1 以焊缝为中心在焊缝两侧均匀缠绕加热器，直焊缝和弯管焊缝缠绕电加热板（宽度不得小于 250mm）。小管口和角焊缝缠绕电加热绳（规格：绳长度为 10000mm）。

2.3.2 焊缝加热范围为焊缝中心为基准，两侧各不小于三倍焊缝宽度，且不小于 50mm。



加热板安装示意图



加热绳安装示意图

2.3.3 缠绕加热板时要确保缠紧，加热板要紧贴工件表面，不得有重叠、交叉、悬空或松动。缠绕宽度不得小于 300mm。

2.3.4 根据管道不同直径选择电加热器，电加热器居中、紧贴管道焊缝上、绑扎牢固；两引线留在上部，并将电缆与电加热器引线可靠连接。

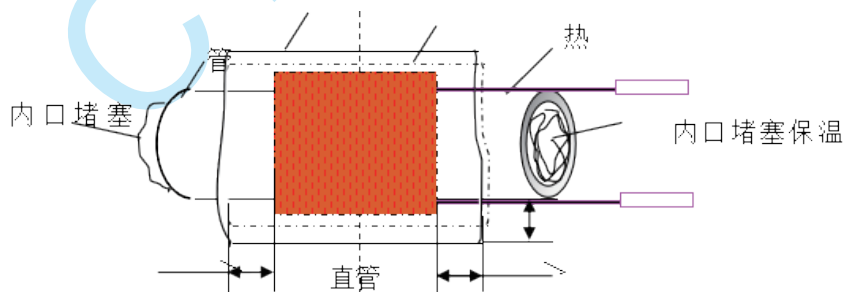
2.4 热处理的保温

2.4.1 保温被以焊缝居中、紧贴包在电加热器外面，保温厚度 100mm 为宜，层数 2 层。加热带以外 150 mm 的范围进行保温。用铁箍带或铁丝绑扎牢固，每 300mm 进行一次捆扎，如下图所示：



保温被外层三通

保温被内层弯头



保温敷设示意图

2.4.2 保温被材质为硅酸铝纤维保温棉。第一层保温包裹时，必须将保温被用 16# 铁丝捆扎紧实，尤其是两个端头和中间必须捆扎牢固，保温被接头之间其搭接长度大于或等于 80mm。

2.4.3 第二层在包裹时，接缝位置应与第一层接缝位置错开至少 200mm，端头及用 16# 铁丝在捆扎牢实，第二层保温被的对口缝应放在上部，便于温度的调节。各保温棉之间不得有搭接间隙，

防止热量损失。

2.4.4 热处理过程中保温材料表面温度不大于 60℃。

2.5 补偿导线的安装电加热板、热电偶和硅酸铝保温棉均已包好后，将热电偶、电加热板的连线分别连接。

2.6 送电调试

2.6.1 热处理加热区布置、测温点布置及热电偶安装可靠性、热处理设备、保温措施等进行全面检查并合格。

2.6.2 接好各连接线并检查无误后，接通电源、打开温控仪，按照工艺参数调节好各数据后，向加热板送电。

2.6.3 检查供电系统、电加热器、控制柜可靠后，进行热处理工作。

2.6.4 控制热处理过程中各个阶段的升、恒、降温速率及三阶段各测温部位的温差，采用热电偶信号反馈，全自动程序。

2.7 热处理升温刚开始送电时将电压设定为加热器最高使用电压的 1/3，运行正常后，按照工艺要求对电压进行调整；当温度出现偏差时，要及时查找原因，预防事故的发生。

2.8 监控热处理过程

2.8.1 监控热处理过程升、恒、降温记录在规范内；400℃以上升温阶段、恒温阶段、降温阶段，应对照自动记录每 30 分钟手工记录一次。

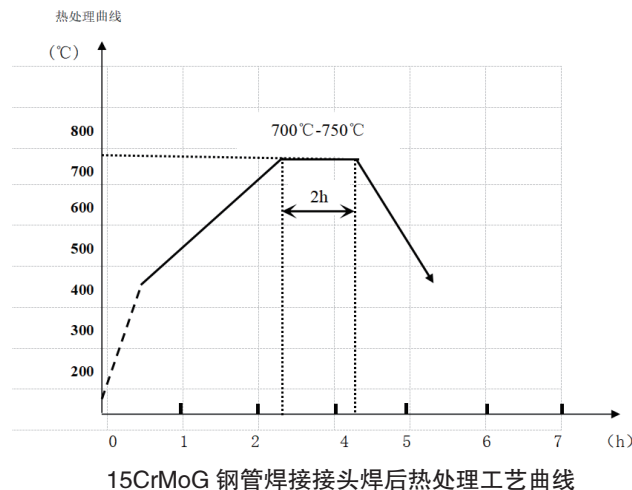
2.8.2 热处理过程中，升温、恒温、降温速度规定如下（具体参见焊缝热处理工艺参数表）：

2.8.2.1 升温过程中，当温度升至 400℃时，加热速率不超过 $205 \times 25/t^{\circ}\text{C/h}$ ，且 $\leq 180^{\circ}\text{C/h}$ ；

2.8.2.2 恒温时间：13mm ≤ 管道壁厚 ≤ 22mm 的，恒温时间 120min；22 < 管道壁厚 ≤ 45mm 的，恒温时间 150~180min；在恒温期间内最高与最低温度温差应低于 20℃。

2.8.2.3 降温过程中，降温速率不超过 $260 \times 25/t^{\circ}\text{C/h}$ ，且 $\leq 200^{\circ}\text{C/h}$ ；温度在 400℃以下可自然冷却。

2.8.2.4 热处理工艺曲线：（以 15CrMoG 为例）



2.9 热处理过程控制

2.9.1 管道管口应封闭，防止管道内气体流动。

2.9.2 应随时检查加热器、温控柜、记录仪等工作是否正常。监控热处理时的升温、恒温、降温、记录是否在规定的范围内。

2.9.3 热处理焊缝两侧应有支架支撑，避免热处理过程中管道加热区变形。

2.9.4 热处理温度在整个热处理过程中应连续自动记录，记录图表上应能区分每个为测温点的数值。热处理过程中应防止热电偶与焊件接触松动。

2.10 热处理后的工作

2.10.1 工装拆除后，将加热器、保温被归类摆放。

2.10.2 热处理后应及时在图纸，温度记录曲线上标明热处理时间、工件名称、操作人、填写热处理工艺记录等；在管道焊缝一侧进行标记，防止与未热处理焊缝混淆。

2.11 检测

2.11.1 根据热处理自动记录曲线分析热处理的技术效果。

2.11.2 热处理后进行硬度检查，管道焊接接头的热处理质量采用硬度测定法进行检测，检测比例 100%。每个焊接接头检查不少于一处，每处分别检测焊缝、热影响区。

2.11.3 热处理焊缝和管道组成件的合格标准：布氏硬度 $\leq 225\text{HB}$ 。

2.11.4 硬度检查结果超过规定范围时，应查找原因，采取措施，重新热处理。并应在热处理后重新检验硬度。

2.11.5 热处理后进行焊接返修、弯曲、成形加工的，应重新进行热处理。

2.11.6 焊缝热处理完成 24 小时后，应按规定比例对焊缝进行磁粉检测，以无裂纹、无超标缺陷为合格。

2.12 交工验收热处理结束后，及时填写焊缝热处理前检查表、热处理工艺过程曲线记录、热处理前后硬度检测记录、热处理工艺报告等，按交工验收程序办理。

三、质量检验 见表 29-6

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
3.0 预热 热处理	3.0.1 焊接预 热	①管道组成件焊前预热温度应符合表 9 的规定，并通过焊接工艺评定验证。中断焊接后需要继续焊接时，应重新预热。	SH3501-2011， 7.3.1	抽查
		②预热时应在坡口两侧均匀进行加热，预热范围应为坡口中心两侧各不小于壁厚的 5 倍，且不小于 100mm，并防止局部过热加热区以外 100mm 范围应予以保温。	SH3501-2011， 7.3.3	抽查
3.1 预热、 热处理	3.1.1 热处理	①铬钼合金钢和标准抗拉强度下限值等于或大于 540MPa 钢材的管道焊接接头，焊后应立即进行热处理。否则，焊后应立即均匀加热至 300℃ ~ 350℃ 保温缓冷。加热保温范围应与焊后热处理要求相同。	SH3501-2011， 7.4.5	抽查
		②符合下列规定的钢管冷弯后，应进行消除应力热处理：1) 壁厚大于 19mm 的碳钢和碳锰钢钢管；2) 公称直径大于 100mm 或壁厚大于 13mm 的铬钼合金钢和含镍低温钢钢管；3) 有应力腐蚀的冷弯弯管；4) 要求进行冲击试验的材料冷弯成形应变率大于 5% 时。	SH3501-2011， 6.1.8	抽查

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
		③用于平焊法兰、承插焊法兰和公称直径小于或等于 50mm 管子连接的角焊缝、密封焊缝以及管道支吊架与管道连接的角焊缝，如果任一截面的焊缝厚度大于表 10 规定的需要热处理的材料名义厚度的 2 倍时，应进行焊后热处理。但下述情况可不要求热处理：a) 碳钢材料焊缝厚度小于或等于 16mm 时，任意厚度的母材都不需要进行热处理；b) 铬钼合金钢材料焊缝厚度小于或等于 13mm，且母材规定的最小抗拉强度小于 490MPa，当预热温度高于表 9 规定值时，则任意厚度的母材都不需要进行热处理。	SH3501-2011， 7.4.4	抽查
		④经焊后热处理合格的部位，不得再进行焊接作业，否则应重新进行热处理。	SH3501-2011， 7.4.10	抽查
		⑤焊后热处理工艺应在焊接工艺卡中规定，并经焊接工艺评定验证。管道焊接接头焊后应及时进行热处理。	SH3501-2011， 7.4.1	抽查
		⑥测温点沿焊缝圆周均匀分布。水平放置的管道应优先在焊缝底部放置一个测温点。垂直放置的管道应在焊缝下部放置一个测温点。测温点的数量需满足 SH/T3554-2013 规范 8.2.1 的要求。	SH/T3554- 2013，8.2.1； 8.2.2	抽查
3.1 预热、热处理	3.1.2 热处理报告	热处理曲线图、热处理报告	SH3501-2011， 7.4.13	抽查
3.2 硬度检测	3.2.1 测定硬度值	①焊接接头热处理后，首先应确认热处理自动记录曲线。热处理自动记录曲线异常，应查明原因；被检部件的焊接接头硬度值超过规定范围时，应重新进行热处理。	SH3501-2011， 7.4.13	抽查（实测）
		②经焊后热处理后的焊接接头，应对焊缝和热影响区进行 100% 硬度值测定，且其硬度值均不得超过表 10 的规定。热影响区的测定区域应紧邻熔合线。	SH3501-2011， 7.4.11	抽查
		③检测合格应出具硬度检测报告		抽查

第五节 管道试压、清洗、吹扫

一、试压准备

在一个工程项目中，某个系统的工艺管道安装完毕以后，就可以按设计规定，对管道进行系统强度试验和气密型试验，其目的是为了检查管道承受压力情况和各个连接部位的严密性。一般输送液体的管道都采用水压试验，输送气体的管道多采用气体进行试验。

管道压力试验之前应具备以下条件：

1. 试压范围内的管道安装工程除涂漆、隔热外，已按设计图纸全部完成，安装质量符合有关规定。
2. 管道上的膨胀节已设置了临时约束装置。
3. 试验用压力表已经效验，并在周检期内，其精度不得低于 1.6 级，表的满刻度值应为测最大压力的 1.5~2 倍，试压时系统内使用的压力表不得少于 2 块。
4. 符合压力试验要求的液态介质或气体已经备齐。
5. 按试验的要求，管道已经加固。
6. 对于输送剧毒液体的管道及设计压力大于等于 10MPa 的管道，在压力试验前，规范规定要求的资料已经复查。
7. 待试管道与无关系统已用盲板或采取其他措施隔开。

8. 待试管道上的安全阀、爆破板及仪表元件等已经拆下或加以隔开。

9. 管道系统压力试验时宜与设备隔离，当管道与设备作为一个系统进行试验时，应征得建设或设计单位同意，并符合下列规定：

9.1 管道系统压力小于或等于设备的试验压力，应按管道的试验压力进行试验；

9.2 管道试验压力大于设备的试验压力，且设备的试验压力不小于管道试验压力的 77% 时，应按设备的试验压力进行试验。

10. 试验方案已经批准，并已进行了技术交底。

二、液体压力试验

液体试验，在一般情况下都是用清洁的水做试验，如设计有特殊要求时，按设计规定进行。

水压试验的程序，首先做好试验前的准备工作。安装好试验用临时注水及排水管线；

在试验管道系统的最高点和管道末端，安装排气阀；在管道的最低处安装排水阀；压力表应安装在最高点，试验压力以此表为准。

管道上已安装完的阀门及仪表，如不允许与管道同时进行水压试验时，应先将阀门和仪表拆下来，阀门所占的管线长度用临时短管线连接起来串通，管道与设备相连接的法兰中间要加上盲板，使整个试验的管道系统成封闭状态。

上述这些准备工作完成以后，开始向管道内注水，注水时要打开排气阀，当发现管道末端的排气阀也见到流水时，立即把排气阀关好，等全系统管道最高点的排气阀也见到流水时，说明全系统管道已经全部注满水，把最高点的排气阀也关好。这时对全系统管道进行检查，如没有漏水现象，就可升压。升压时应缓慢进行，达到规定的试验压力以后，停压 10 分钟，经检查无泄漏，目测管道无变形为合格。

各种管道试验时的压力标准，一般设计都有明确规定。如果没有规定可按管道施工及验收规范的规定进行。

试验的管道，按规定检查合格以后，要把管内的水放掉，排水前应先打开管道最高点排气阀，再打开排水阀，把水放入排水管道。最后拆除试验用临时管道和连通管及盲板，拆下的阀门和仪表复位，连接好所有法兰，填写管道系统试验记录。

管道压力试验，如环境气温低于 0 摄氏度时，放水后管道应即时用压缩空气吹干，避免管内积水冻坏管道。

三、气体压力试验

气压试验压力是指小于或等于 1.6MPa 的管道系统，试验所用的气体，大多数为压缩空气或惰性气体。试验前必须用空气进行预试验，试验压力不应大于 0.2MPa。试验时，其压力应逐级缓升，当压力升到规定试验压力 50% 时，稳压 3 分钟，如未发现异状或泄漏，继续按试验压力的 10% 逐级升压，每级稳压 3 分钟，直到试验压力，稳压 10 分钟，再将压力降至设计压力，停压时间应根据查漏工作需要而定。以发泡剂检验不泄露为合格。

四、泄露性试验

输送剧毒流体、有毒流体、可燃流体的管道必须进行泄露性试验。泄露性试验应按下列规定进行。

1. 泄露性试验应在水试压试验合格后进行, 试验介质宜采用空气。
2. 泄露性试验压力应为设计压力。
3. 泄露性试验可结合试车工作, 一并进行。
4. 泄露性试验应重点检查阀门填料函、法兰或螺纹连接处、放空阀、排气阀等。以发泡剂检验不得泄露为合格。
5. 经气压试验合格, 且在试验后未经拆卸过的管道可不进行泄露性试验。

五、管道的吹扫和清洗

管道系统压力试验合格后, 应进行吹洗。吹洗的方法应根据对管道的使用要求、工作介质及管道内表面的脏污程度确定。公称直径大于或等于 600mm 的液体或气体管道, 宜采用人工清理; 公称直径小于 600mm 的液体管道, 宜采用水清洗; 公称直径小于 600mm 的气体管道, 宜采用空气吹扫; 蒸汽管道应以蒸汽吹扫; 非热力管道不得用蒸汽吹扫。

管道系统吹洗前, 应符合下列要求:

1. 应编制冲洗方案, 并对施工人员做技术安全交底;
2. 不应安装孔板、法兰连接的调节阀、重要阀门、节流阀、安全阀、仪表等, 对于焊接的上述阀门和仪表、应采取经旁路或卸掉阀头及阀座加保护套等保护措施。
3. 应检验管道支、吊架的牢固程度, 必要时应予以加固。
4. 不允许吹洗的设备及管道应与吹洗系统隔离。

管道吹洗的顺序应按主管、支管、疏排管依次进行, 吹洗出的脏物, 不得进入已合格的管道。清洗排放的脏液不得污染环境, 严禁随地排放。

六、水冲洗

工艺管道中凡是输送液体介质的管道, 一般设计要求都要进行水冲洗。冲洗所用的水, 常选用饮用水、工业用水或蒸汽冷凝水。冲洗时宜采用大流量, 水在管内的流速不应小于 1.5m/s, 排放管的截面积不应小于被冲洗管截面积的 60%, 冲洗流向应尽量由高处往低处冲水并要保证排放管道的畅通和安全。水冲洗要连续进行, 冲洗质量应符合设计规定, 如设计无明确规定时, 则以出口的出色和透明度与入口的水目测一致为合格。

七、空气吹扫

工艺管道中凡是输送气体介质的管道, 一般都采用空气吹扫, 忌油管吹扫时要用不含油的气体。

空气吹扫应利用生产装置的大型压缩机, 吹扫压力不得超过容器和管道的设计压力, 流速不宜小于 20m/s。工艺管道空气吹扫起源压力一般要求为 0.6~0.8MPa, 对吹扫质量要求高的可适当提高压力, 但不要高于其管道操作压力。

空气吹扫的检查方法, 是在吹扫管道的排气口, 设置用白布或涂有白漆的靶板来检查, 如果在 5 分钟内靶板上无铁锈、尘土、水分及其他杂质, 应为合格。



空气吹扫应具备的条件：工艺系统管理、设备安装竣工、强度试压合格；禁吹的设备、管道、机泵、阀门等已安装好盲板；需要吹扫的工艺管道一般暂不保温。

八、蒸汽吹扫

蒸汽吹扫这种方法，适用于输送动力蒸汽的管道，因为蒸气吹扫温度较高，管道受热后要膨胀和位移，在设计时就考虑了这些因素，在管道上装有补偿器，管道支架吊架也都考虑到受热后位移的需要。输送其他介质的管道，设计时一般不考虑这些因素，所以不适用蒸汽吹扫时，一定要采取必要的措施，并应检查管道热位移。蒸汽吹扫通常按管网配置顺序进行，一般先吹扫高压管，然后吹扫中压管，最后吹扫低压管。

蒸汽吹扫的检查方法，中、高压蒸汽管道和蒸汽透平入口的管道，要用平面光洁的铝板靶，低压蒸气用刨平的木板靶来检查，靶板放置在排气管出口，按规定检查靶板，无赃物为合格。

九、质量检验 表 29-7

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
4.1 管道吹扫与清洗	4.1.1 一般规定	①管道系统压力试验合格后，应进行吹扫或清洗，吹扫可采用水冲洗、空气吹扫等方法。	SH3501-2011, 8.2.1、8.2.3、8.2.5	抽查
		②管道系统吹扫前，应具备下列条件：a) 不应安装孔板、法兰连接的调节阀、节流阀、安全阀、仪表件等。对已焊在管道上的阀门和仪表，应采取相应的保护措施；b) 不参与系统吹扫的设备及管道系统，应与吹扫系统隔离；c) 管道支架吊架应符合要求，必要时应予以加固。		
	4.1.1 一般规定	③吹扫压力不得超过容器和管道系统的设计压力。	SH3501-2011, 8.2.1、8.2.3、8.2.5	
	4.1.2 水冲洗	①冲洗不锈钢管道系统时，水中氯离子含量不得超过 50mg/L。	SH3501-2011, 8.2.4、8.2.6、8.2.7	抽查
		②管道系统水冲洗时，宜以最大流量连续进行冲洗，流速不得小于 1.5m/s。		
		③水冲洗后的管道系统，以目测排出口的水色和透明度与入口的水色和透明度一致为合格。		
	4.1.3 空气吹扫	①管道系统空气吹扫时，空气流速不得小于 20m/s。	H3501-2011, 8.2.8、8.2.9、8.2.10	抽查
		②管道系统在空气吹扫过程中，应在排出口用白布或涂白色油漆的靶板检查，在 5min 内，靶板上无铁锈及其他杂物为合格		
		③有化学清洗、油清洗或脱脂要求的管道系统，应按国家现行标准 SH/T3547 的规定进行。		
	4.1.4 蒸汽吹扫	①蒸汽管道应以大流量蒸汽进行吹扫，流速不应低于 30m / s。	GB50235-2010, 9.4.3、9.4.8	抽查
		②通往汽轮机或设计文件有规定的蒸汽管道，经蒸汽吹扫后应对扫靶板进行检验。最终验收的靶板应做好标识，并应妥善保管。		
	4.1.5 化学清洗	①需要化学清洗的管道，其清洗范围和质量要求应符合设计文件的规定。	GB50235-2010, 9.7.1、9.6.2、9.6.5	抽查
		②当进行管道化学清洗时，应与无关设备及管道进行隔离。		
		③对不能及时投入运行的化学清洗合格的管道，应采取封闭或充氮保护措施。		

检查项目	检查内容	有关要求	条款依据	检查方式
	4.1.6 油清洗	润滑、密封及控制系统的油管道，应在机械设备和管道酸洗合格后、系统试运行前进行油清洗。不锈钢油系统管道宜采用蒸汽吹净后进行油清洗。	GB50235-2010，9.7.1	抽查
4.2 工艺管道压力试验	4.2.1 管道系统试压前条件	管道施工完毕，支吊架安装符合设计要求施工完毕，单线图审查合格，试压方案已经审批并技术交底，质量、安全体系人员落实到位，安全措施可靠，临时盲板位置正确，标识明显。	GB50235-2010，6.12.3	抽查
	4.2.2 试验压力	当管道与设备作为一个系统进行试验，管道的试验压力等于或小于设备压力时，应按管道的试验压力进行试验；当管道试验压力大于设备压的试验压力，并无法将管道与设备隔开，以及设备的试验压力大于 $PT=1.5P[\sigma]/T[\sigma]$ 计算的管道试验压力的 77% 时，经设计或建设单位同意，可按设备的试验压力进行试验。	GB50235-2010，8.6.4.6	抽查
4.2 工艺管道压力试验	4.2.3 试验过程	试压过程中若有泄漏，不得带压修理。缺陷消除后应重新试验。	SH3501-2011，8.1.16	抽查
	4.2.4 填写记录	压力试验合格后，应填写“管道系统压力试验和泄漏试验记录”	GB50235-2010，8.6.1.7	抽查
	4.2.5 气压试验	除设计文件规定进行气压试验的管道外，管道系统的压力试验介质应以液体进行。液压试验确有困难时，经设计单位和建设单位同意，可用气压试验代替，但试验压力不宜大于 1.6MPa 并应符合下列条件：		
		a) 管道系统内现场施工焊接接头已按本规范 7.5 条规定检测合格；		
		b) 脆性材料管道组成件经液压试验合格；		
		c) 试压方案中应有切实的安全措施，经施工单位技术总负责人批准。	SH3501-2011，8.1.4	抽查
	4.2.6 奥氏体不锈钢	液体压力试验介质应使用工业用水。当生产工艺有要求时，可用其他液体。不锈钢管道（含包括不锈钢设备的试压系统）用水试验时，水中的氯离子含量不得超过 50mg/L。	SH3501-2011，8.1.10	抽查

第六节 工艺管道安装质量控制点及质量通病治理

一、工艺管道安装工程质量控制点见表 29-7

序号	质量控制点	控制主要内容	等级	备注
1	施工图纸会审、设计交底	图纸及其它设计文件是否齐全；阀门、安全附件及材料检验标准；水准点、坐标及尺寸正确性，设计是否漏项	AR	
2	施工方案 / 技术措施审查	施工技术质量措施，质量控制点设置；施工标准规范、施工工艺、工序；人力、机具安排	AR	
3	施工及验收规范强制性条款	强制性条文的执行情况，是工程评优的基本条件，是一项重要的考核指标	C	
4	焊接工艺评定 / 焊工资格证审查	焊工、质量检查人员资格	BR	配合焊接
5	材料、管配件到货验收	材料合格证、质量证明书、出厂检验报告、复验报告；、硬度及无损检测；现场材料标识管理	BR	
		材料外观及几何尺寸	B	
6	阀门及安全附件（包括：阻火器、减压阀、视镜、疏水器）	1. 试压场地、产品合格证、质量证明书；阀门解体、阀门试压方案、安全附件的试验程序及方法；	BR	



序号	质量控制点	控制主要内容	等级	备注
		2. 阀门安全附件强度及密封试验, 试压记录	BR	
7	管道坡口制作、组对	管道坡口加工情况, 组对间隙、错边量	C	
8	管道焊接	焊条烘干、发放制度	C	配合焊接专业
		焊道表面质量	C	
9	焊接热处理	热处理设备; 热处理工艺	BR	配合焊接专业
		热处理工艺的執行、热处理后的硬度抽查	C	
10	管道内部清理及封堵	管道内部及封堵的方法和措施要在施工方案中详细说明, 并且在施工过程中严格执行。	A	
11	弹簧支吊架安装	结构形式、安装位置、定位销子	C	
		SH3503J413 固定管架及弹簧支、吊架调整记录	B	
12	安全阀调试及安全附件安装	安全阀型号、规格、使用介质、开启压力	A	
13	补偿器安装	补偿器形式、预拉(压)量、偏移量	B	
14	与动设备连接的管道安装	法兰平行度、安装偏差、有无附加应力	B	
15	管道静电接地	接地位置、接头形式、接地电阻、管道静电接地施工记录	C	配合电气专业
16	管道隐蔽	隐蔽项目、位置、隐蔽记录	BR	
17	管道试压条件确认	试验方案审批、试验台帐, 焊接、热处理、探伤完成; 支吊架及临时加固正确齐全; 试压方案批准; 压力表校验完成	BR	
18	管道试压	试验压力、升压速度、保压时间、管道焊口耐压情况、试压记录	AR	
19	吹扫清洗(脱脂)	吹扫清洗方案审批; 设备、仪表、安全阀、调节阀的隔离及保护; 清洁情况	AR	
20	系统气密性试验	试验方案审批、试验台帐; 过程中检查; 管道复位; 填写记录	AR	
21	交工验收	施工过程的技术资料、质量评定资料审查	AR	

二、常见质量通病及防治

(一) 不锈钢与碳钢管混放:

不锈钢管在材料场地堆放时, 应规划专用区域, 并在下面铺上枕木等, 以便与地面和其他材料隔离; 不锈钢管件等管道组成件在库房内保管时, 也应设置专用货架和区域进行存放, 并与碳钢货架隔离。

管子加工过程中不得用铁锤敲击不锈钢管; 加工好的管子与同样要摆放在单独区域并与地面和碳钢隔离。

(二) 不做标识移植:

管子切割前, 应检查核对原有材料标识, 无误后, 将原标识完整地移植到下料加工的管子上并核对。

(三) 环境不适宜时进行焊接:

在风、雨、雪天气不适宜室外焊接作业时, 应停止施焊; 如必须焊接时应对焊接工作面进行遮蔽, 并监测环境湿度和温度, 当焊接环境温度和湿度不适宜时也应停止焊接作业。

(四) 预制成品内部不清理干净, 管口不封堵:

每段预制完成并检查检验合格后,应将成品内部清理干净,对管口进行封堵,编号存放在成品区。

(五) 碳钢管煨弯角度、弯曲半径不准确,煨弯段过烧及外壁减薄量超标:

煨弯时使用控制弯曲半径的模具,并应随时使用样板进行检查;热煨弯管灌砂(砂子要事先烘干)一定要密实以防管子截面变形或内壁起皱;加热温度要控制在 $850 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 范围内,以防过烧造成外壁减薄量超标而使管子报废。

(六) 管子对口错边和不平直:

管子对口时,应用钢直尺检查错边量(不应超过壁厚的10%,且不大于2mm)及在距接口中心200mm处检查平直度(允许偏差 $1/1000$,但全长不得超过10mm,符合要求后再施焊)。

(七) 焊缝位置不符合规定。焊接飞溅物和渣皮不清除干净:

管道安装前应考虑好焊缝留置位置距弯管的起弯点、距支、吊架的间距应符合有关规定,水平卷管纵向焊缝不宜留置在底部。

焊后应及时将渣皮及飞溅物清理干净。

(八) 焊条乱放,保温桶敞口,未用完的焊条不及时退库,在母材表面引弧损伤母材:

现场检查随时发现,随时制止,并通过管理制度和奖惩促进守规;母材表面引弧造成的弧坑应打磨修平,并不得使壁厚减薄超过允许值。

(九) 现场未组装的管道、管件乱堆放:

现场尚未安装的法兰应放在不会损伤法兰密封面的垫板上并码好,以防相互碰撞密封面;不锈钢管件应与碳钢管件分开放置。

使用钢丝绳吊装不锈钢管道、管件时应采取措施使其不与不锈钢管道、管件接触。

(十) 拆除工卡具时损伤母材,残留疤痕不打磨平:

拆除工卡具时不得强力拆除,在使用砂轮或气割拆除时,焊肉应留有打磨修平的裕量,以防损伤母材,工卡具拆除后再将残留焊疤打磨修平。

(十一) 法兰安装不平行、不同轴:

法兰成对组对时,应用直尺或塞尺检查法兰平行度和同轴度后再与管子进行点焊定位;单片法兰与管子预先组对时,应用角尺检查端面与管子的垂直度,符合要求后再点焊定位。

(十二) 使用的垫片不符合规定,螺栓使用不当,安装方向不一致:

垫片安装前应核对管道温度、压力、介质与要求使用的垫片,临时垫片应在管道单线图上做出标识,以防漏换;大直径垫片要拼接时应用斜口或迷宫式对接口,不得用平接口。

螺栓要与法厚度、孔径、材质、温度相适应,使用高强螺栓或合金螺栓的连接,要进行标识识别,不得用错;螺栓安装时方向要一致,双头螺栓两端外露长度要一致。

(十三) 管道穿越墙体和楼板不按规定处理:

穿墙及过楼板的管道应加套管。套管长度应大于墙厚度或高于楼20mm,管道与套管间应用石棉、油麻或其他软质材料填塞;焊口不得置于套管内。



(十四) 管道支、吊架制作质量差,与管道安装不同步,临时支、吊架与工艺管道焊接固定:

现场委托制作的支、吊架,要求逐件进行质量检查和验收,现场制作的支、吊架,应采取机械下料、钻孔的方法,严格按标准图或设计图制作,必须用气割下料时用对切割边进行修磨,不得气割开孔,焊接质量也要达到要求。

现场管道安装应同步进行支、吊架的安装,经检查安装合格后,在管道单线图上做出标识或在资料做出记录;必须用临时支、吊架时,支、吊架管道应采用托、卡方法固定,不得与工艺管道或管件焊接固定。

(十五) 固定在平台或楼板上的穿孔吊架,其顶端暴露在平台或楼板表面:

固定在平台或楼板上的穿孔吊架,其顶端应低于平台或楼板抹面高度。

(十六) 有热位移的管道吊杆未按固定位移值的 $1/2$ 向位移相反方向偏移:

有热位移的管道吊杆安装前,应按照管道位移值先确定吊杆安装的偏移值,安装后检查核对偏移值是否为管道位移值的 $1/2$,并且偏移方向与管道位移方向相反。

(十七) 有热位移的管道支架安装不正确:

管道支架安装前,应按图纸核对支架位置、支架类型,安装后要逐个检查核对,以防其固定支架、滑动支架、导向支架相互用错而影响热位移和造成事故。

导向支架或滑动支架的安装位置应从支撑面中心向位移相反方向偏移 $1/2$ 位移值,以防热位移时滑脱。

(十八) 管道内尘土、杂物等不清理,管道不及时封口:

在管道安装前必须检查管道内有无尘土杂物,如有,应采用拖、擦或冲洗、吹扫的方法清洗干净才能安装。

安装完的管道,应及时应板或薄膜等进行封口,以防异物进入。

(十九) 补偿器不做预拉伸(或压缩):

补偿器不做预拉伸(或压缩)将会影响管道的正常运行。

安装前或安装时,应先测量补偿器在自由状态下的尺寸,然后按设计补偿量

的 $1/2$ 进行预拉伸(或压缩),再进行安装;波纹补偿器预拉伸或预压时应分 $2 \sim 3$ 次进行,作用力应逐渐增加,以保证各节的圆周面受力均匀。

波纹补偿器安装时温度如等于补偿零点温度(管道设计考虑的最高工作温度和最低工作温度的中点温度)时,可以不进行预拉伸或预压缩。

(二十) 波纹补偿器安装方向不对:

水平安装时要分清介质流向,使内套有焊缝的一端迎向介质流向,垂直安装时应置于上部。

(二十一) 不锈钢管道焊缝及热影响区表面不酸洗:

不锈钢管道焊接后,应用酸洗膏或其他方法对焊缝及热影响区的表面进行酸洗,达到不锈钢本色为止。

不锈钢管道安装对管内清洁度要求较高,安装前还应对管内清洁度进行对光观察,如有污物

应进行清洁。

(二十二) 不锈钢管道与碳钢支架间不做隔离:

不锈钢管道与碳钢支架间不做隔离将会使不锈钢管道受到铁离子污染, 从而降低其耐腐蚀性能造成点腐蚀。

因此不锈钢管道安装时, 应在管道和支架间垫入不锈钢或氯离子含量低于 50×10^{-6} (50ppm) 的非金属垫片, 并且尺寸要合适, 同管径的垫片规格要统一。

(二十三) 氧气管道施工不符合要求:

氧气管道有着特殊的防爆要求, 施工中要严格按规范规定施工。

管道和管件必须经过脱脂, 安装时还应观察和使用白色滤纸对管道管件擦拭检查有无油迹污染。

管道焊接时焊缝内表面余高必须控制在允许范围, 并且不得有挂瘤; 要严格防止焊接飞溅物和焊渣进入管道内部; 不合格的焊缝应切除重焊, 禁止补焊。

所有氧气管道安装后都必须做静电接地。

(二十四) 室内管道没有坡度甚至倒坡, 与建筑结构或其他管道间的距离不符合要求:

室内管道安装前应先安装管支座, 支座安装前应按设计坡度放线定位, 以保证管道坡度正确。为保证使用安全, 各种管道的间距在规范中有明确规定, 管道安装时要严格执行, 其中室内热力管道与煤气管道平行敷设时最小净距为 150mm, 胶层时最小净距为 100mm。

(二十五) 阀门方向装反或不便于操作:

阀门安装前应先根据图纸确定介质流向, 安装时使阀门上的流向标识与管道介质流向一致。因设计原因或管道下料安装原因造成阀门安装位置不便于使用操作时, 应对阀门安装位置和手柄方向进行调整 (应设计同意)。

(二十六) 管道压力试验前不检查条件是否具备:

应在压力试验前组织有关人员逐项检查是否具备试压条件或组织各专业会签, 以避免压力试验后发现还有未完成项目而造成重试或采取其他处理措施。

逐项检查不参与试压的设备、管道的隔离, 以避免压力试验时对其造成损坏。

(二十七) 试验用压力表未经调校或超过使用期限, 规格、准确度不符合要求:

对于试压用的仪器、设备, 在试压前应确认完好并符合试压条件要求。

(二十八) 临时盲板不做标识:

管道系统压力试验用的临时盲板要编号标识, 现场的应挂牌标识, 并在管线图上做出标识, 试压后应逐项拆除消号, 以避免漏拆而造成系统无法联运。

(二十九) 试压前焊缝已做防腐或绝热:

对于试压前已做防腐或绝热的焊缝, 必须清除防腐层或将绝热层剥离, 以便对焊缝进行检查。

(三十) 试验时升压及卸压过快或过度超压, 给管道造成即时或潜在的损坏:

试压时要旁站监督, 严格按规范和方案要求控制好升压、卸压速度及压力值; 卸压时应防止



形成负压。

（三十一）水压试验后管道内的水随意排放：

试压前在方案中就应充分考虑排放措施，并按其实施。

（三十二）试压后有积水存留，易产生锈蚀或上冻：

对液压式呀后排放不净的部位，应采取吹扫的方法将残留液体清除，以避免对设备、管道造成锈蚀或冻坏。

CNCEC

第三十章 工业设备、管道防腐蚀和绝热工程

第一节 工业设备、管道防腐蚀工程质量控制

一、工程内容

以钢、铸铁为基体的工业设备及管道防腐蚀衬里和外表面涂层防护的工程。

二、主要控制环节

- (一) 施工准备检查
- (二) 原材料质量控制
- (三) 除锈方式及等级的确定
- (四) 基体处理检查
- (五) 防腐蚀衬里层、涂层检查
- (六) 外观质量检查

三、质量检验

(一) 施工前应检查以下内容

1. 防腐蚀工程施工前应编制施工组织设计和专项施工方案。
2. 设计及其相关技术文件齐全，施工图纸已经会审。
3. 施工组织设计或专项施工方案已批准，技术和安全交底已完成。
4. 材料、机具、检测仪器、施工设施及场地已齐备，且完成检验和报批。
5. 防护设施应安全可靠，施工用水、电、气、汽应能满足连续施工的需要。
6. 已制定相应的安全应急预案。
7. 温度、相对湿度应满足衬里施工要求。
8. 使用时原材料的温度宜符合施工要求。
9. 待衬或被涂覆的基体表面温度应大于露点温度 3°C 。
10. 当环境条件无法满足规定时，应采取措施达到环境温度和相对湿度要求。
11. 衬里施工宜在车间进行；当露天施工时，应设置遮阳避雨设施。
12. 施工前，转动部件应具有静平衡或动平衡的试验报告。施工后，应做静平衡或动平衡复核检查。

(二) 原材料检查

1. 检查原材料出厂质量证明书文件，应有以下内容：产品质量合格证及材料检测报告；质量技术指标及检测方法；复验报告或技术鉴定文件；检查原材料质量和规格、尺寸，应符合设计和规范要求并应与产品技术文件的各项指标相符合。



1. 用于工业设备及管道防腐衬里和外表面防护施工的材料，应具有产品质量证明文件，其质量不得低于国家现行有关标准的规定。当对到场的原材料有异议时，应进行复验或技术鉴定。

2. 工业设备及管道防腐衬里和外表面防护施工的材料应具有施工指南。需要现场配制使用的材料，应根据施工环境温度、相对湿度、原材料性能及施工工艺特点，通过试验确定施工配合比。经试验确定的配合比不得任意改变。

（三）计量器具、检测仪器和设备应经计量检定、校准，并应在有效期内。

（四）设备及管道基体检查要求

1. 设备、管道、管件的加工制作、安装，必须符合图纸及设计文件的要求，在防腐施工前，应全面检查验收。

2. 制造完成的设备及管道应经验收合格并办理工序交接手续后，方可进行防腐工程施工。

3. 结构内的零部件设计应满足衬里施工要求。

4. 钢制设备、管道、管件的表面应平整、清洁，并应无砂粒或熔渣、飞边毛刺、缩孔、局部孔隙、冷重叠或结瘤等缺陷；焊接区应光滑，且应无凹坑或凸起。

3. 待衬里设备及管道的壁厚设计应计入表面处理造成的厚度减薄量，减薄量厚度不宜大于1mm。

4. 待衬里设备及管道的加工、气割、焊接、热处理、焊缝检验、试漏和试压均应在衬里施工前完成。

7. 已完成衬里的设备及管道吊装，不得损伤衬里层，吊耳与设备及管道间应加焊垫板。

（五）除锈方式及等级的确定

1. 锈蚀等级的确定

《涂装前钢材表面锈蚀等级》GB/T8923 标准中共给出了 A、B、C、D 四个锈蚀级别，各级别的定义如下：

1.1A 级：全面地覆盖着氧化皮而几乎没有铁锈的钢材表面。

1.2B 级：已发生锈蚀，并且部分氧化皮已经剥落的钢材表面。

1.3C 级：氧化皮已因锈蚀而剥落，或者可以刮除，并且有少量点蚀的钢材表面。

1.4D 级氧化皮已因锈蚀而全面剥离，并且已经普遍发生点蚀的钢材表面。

2. 除锈方式的确定

目前主要的除锈方式分为抛射除锈，手工和动力除锈、化学除锈和火焰除锈，抛射除锈可分为抛丸除锈和喷砂除锈，常用的是抛射除锈和动力工具除锈。

3. 除锈等级及相关要求

工业设备及管道在防腐衬里和外表面涂层防护施工前应进行基体表面处理，基体表面处理宜采用喷射清理、抛射清理、动力工具清理和手工工具清理等方法。

3.1 喷射除锈的等级四个级别为 Sa1、Sa2、Sa2½、Sa3 级

3.1.1 Sa1 级：轻度的喷射清理，清理后的表面应无可见的油脂和污物，并且没有附着不牢的氧

化皮、铁锈、涂层和外来杂质。

3.1.2Sa2 级：彻底的喷射清理，清理后的表面应无可见的油脂和污物，并且几乎没有氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质，任何残留污染物应附着牢固。

3.1.3Sa21/2 级：非常彻底的喷射清理，清理后的表面应无可见的油脂和污物，并且没有氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质，任何污染物的残留痕迹仅呈现为点状或条纹状的轻微色斑。

3.1.4Sa3 级：使钢材表面观洁净的喷射处理，清理后的表面应无可见的油脂和污物，并且没有氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质，该表面应具有均匀的金属光泽。

3.2 动力工具除锈等级两个级别 St2 和 St3 级

3.2.1St2 级：彻底的手工和动力工具清理，清理后的表面应无可见的油脂和污物，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。

3.2.2St3 级：非常彻底的手工和动力工具清理，清理后的表面应无可见的油脂和污物，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质。露底材的表面应具有金属底材的光泽。

（六）检测金属表面预处理质量

根据设计防腐蚀衬里或涂层对金属表面预处理的质量要求，采用合理的预处理方法和工艺，表面预处理质量应达到规范和设计要求的标准。

1. 喷射或抛射清理和动力工具或手工工具清理的基体表面处理质量等级分类应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T8923.1 的有关规定。

2. 在衬里侧基体表面处理前，应先对衬里侧基体表面进行预处理；当基体表面有缺陷时，应补焊打磨，再对基体表面进行喷射清理。

3. 喷射或抛射清理后的基体表面粗糙度应符合设计要求。

4. 施工环境相对湿度不应大于 80%，基体表面温度与露点温度的关系应符合规范的规定。

5. 基体表面处理后的可溶性氯化物残留量应符合设计规定，当设计无规定时不宜大于 50mg/m²。

5. 处理合格的基体表面在涂覆底层涂料前应保持干燥和洁净，当发生再度污染或锈蚀时，应重新进行表面处理。

7. 基体表面处理后应及时涂覆底层涂料，间隔时间不宜大于 4h。

8. 采用喷射或抛射清理时，基体表面不需要做处理的螺纹、密封面及光洁面应妥善保护，不得受损。

（七）纤维增强塑料衬里

1. 纤维增强塑料衬里施工环境温度应符合下列规定：

1.1 施工环境温度宜为（15 ~ 30）℃，相对湿度不宜大于 80%。

1.2 当施工环境温度低于 10℃时，应采取加热保温措施，但不得用明火或蒸汽直接加热。

1.3 施工时原材料的使用温度，被衬设备及管道的表面温度，不应低于允许的施工环境温度。



2. 树脂胶料的配制应符合下列规定：

2.1 应按确定的施工配合比和配制顺序混合均匀。

2.2 每次配制数量应满足施工需要，并应在凝胶前用完。

3. 衬里层的外观检查应符合下列规定：

3.1 衬里表面允许最大气泡直径应为 3mm；每平方米直径（1 ~ 3）mm 的气泡应少于 3 个。

衬里表面应平整光滑，并不得出现分层和发白现象。

3.2 衬里与基体的粘结应牢固，并应无纤维裸露、色泽明显不均等现象。

4. 衬里层的厚度应符合设计规定，各层厚度允许偏差应为设计厚度的（-30 ~ +50）%，总厚度的允许偏差应为设计总厚度的（0 ~ +50）%。

5. 衬里层应无影响衬里性能的针孔、气泡、裂纹或杂质等缺陷，进行针孔检测时，衬里层应无击穿现象。测试电压宜按 3000V/mm 确定，探头行走速度宜在（50 ~ 100）mm/s 内匀速移动。

6. 固化度的检查应符合下列规定：

6.1 树脂应固化完全，表面应无黏丝或流淌等现象。

检验方法：采用白棉花球蘸丙酮擦拭方法检查。

6.2 当需测定树脂固化度时，其值不应小于 85% 或应符合设计规定。

7. 纤维增强塑料衬里热处理时，应按程序升温，并应严格控制升降温度的速度，不得局部过热。

（八）橡胶衬里

1. 橡胶衬里施工应符合下列规定：

1.1 施工环境温度宜为（15 ~ 30）℃，相对湿度不宜大于 70%。

1.2 当环境温度低于 15℃时，应设置安全热源提高环境温度，且不得使用明火加热升温。

1.3 当温度超过 35℃时，不宜进行施工。

2. 检查原材料质量

2.1 胶板与胶浆胶（或胶粘剂）应为同一制造厂提供，配套使用；胶板与胶浆胶使用前，应检查牌号、规格、出厂日期。

2.2 施工前胶板材料检验应符合下列规定：

2.2.1 胶板应有出厂合格证，并应在保质期内。

2.2.2 自然硫化胶板和需低温储存的胶板，应无变硬、自硫化现象出现。

2.2.3 检查项目应包括外观、厚度和尺寸偏差及电火花检查。

2.2.4 胶板外观质量应符合规范的规定，当有缺陷时，应作出标记，在下料时剔除，对气泡或针孔，应进行修补。

2.2.5 当对胶板质量有异议时，应按有关规定执行。

2.3 施工前胶粘剂的检验应符合下列规定：

2.3.1 胶粘剂应在质保使用期内，黏度测定应合格，且不得有凝胶、结块、沉淀或翻花现象。

2.3.2 发生早期交联现象的胶粘剂不得使用。

2.4 施工前待衬胶板材料的复验应符合下列规定：

2.4.1 试板应按产品使用说明提供的衬里施工工艺制作，复验胶板的粘合强度和硬度。

2.4.2 每种试板数量应为 3 件（组）。

2.4.3 当复验胶板与基体材料的粘合强度时，硬胶应按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶与金属粘合强度的测定二板法》GB/T11211、软胶应按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶与硬质板材粘合强度的测定 90° 剥离法》GB/T7760 的有关规定执行；复验胶板的表面硬度应按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶压入硬度试验方法第 1 部分邵氏硬度计法（邵氏硬度）》GB/T531.1 的有关规定执行。粘合强度和表面硬度值应符合规范的规定。

2.5 胶板规格尺寸及偏差应符合规范的规定。

2.6 真空设备橡胶衬里的粘合强度应符合下列规定：

2.6.1 硬胶板衬里的粘合强度检测应按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶与金属粘合强度的测定二板法》GB/T11211 有关规定执行，标准试验温度下粘合强度值不得小于 8.0MPa。

2.6.2 软胶板衬里粘合强度检测应按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶与硬质板材粘合强度的测定 90° 剥离法》GB/T7760 有关规定执行，标准试验温度下粘合强度值不得小于 6.0kN/m。

2.7 衬里施工前的胶板应致密、均匀、表面清洁、边缘整齐。

2.8 胶板展开后目测检查外观质量和厚度，必要时可进行电火花针孔检测；发现的缺陷应做好记号，在下料时剔除或进行修补。

2.9 粘接系统应与胶板配套，配制胶粘剂应符合下列规定：

2.9.1 配制胶粘剂用胶片、胶粒应全部溶于溶剂中，不得出现结块、沉淀或翻花现象。

2.9.2 配制好的胶粘剂应呈黏稠状液体，使用时不得呈凝胶状态。

2.10 胶板和胶粘剂的储存应符合下列规定：

2.10.1 胶板应按种类、规格、出厂日期分类存放，在保质期内应按出厂日期的先后取用。

2.10.2 加热硫化胶板和自然硫化胶板应悬置，不得挤压或粘连。

2.10.3 需要低温冷藏的胶板和胶粘剂，在长途运输中应冷藏运输，施工现场应冷藏储存。冷藏温度应符合产品使用规定。

3. 底涂和胶粘剂涂覆应符合下列规定：

3.1 涂覆过底涂的基体表面，在涂覆第一遍胶粘剂前，放置时间不得超过施工工艺要求，当出现返锈时，应重新进行表面处理。

3.2 胶粘剂在使用前应搅拌均匀，涂覆应薄而均匀，不得出现堆积、流淌或起泡现象。前后两遍的涂覆方向应纵横交错操作。

3.3 胶板侧的胶粘剂应在临近贴衬前涂覆，涂覆后不宜久放。

3.4 预硫化胶板的胶粘面涂覆胶粘剂前，应用手工或动力工具打磨成均匀毛面，打磨不得损伤胶板，并应采用清洗剂清洗粘贴面，且应保持胶板表面清洁。

3.5 涂覆胶粘剂的胶板表面应风干，并应控制环境温湿度，空气中的水分不得在表面冷凝，当



温湿度条件不能满足风干时间要求时，应启动加热、除湿设备。

3.6 灰尘、油、水和其他杂物不得污染已涂覆胶粘剂的胶板。

3.7 底涂和胶粘剂的涂覆层数、每层涂覆后风干或放置的最短和最长时间，应符合衬里施工工艺或胶板使用规定。

4. 胶板下料应符合下列规定：

4.1 裁胶或胶板削边应采用冷裁刀。

4.2 胶板下料时，削边应平直、宽窄一致，边角应小于 30° 。

4.3 冷藏胶板或冬季气温较低时，胶板应经解冻和预热后方可下料。

4.4 胶板下料尺寸应准确合理，并应减少贴衬应力和接头。对形状复杂的工件，应绘制排版图，并应制作样板，按样板下料。

4.5 衬胶后的胶板需机械加工时，胶层厚度应留出加工裕量。

5. 胶板的贴衬应符合下列规定：

5.1 贴衬胶板时，胶板铺放位置和顺序应正确，不得起皱或拉扯变薄。贴衬时胶膜应完整，发现脱落应及时补涂。

5.2 胶板贴衬后，应采用专用压滚或刮板依次滚压或刮压，不得漏压或漏刮，并应标记施工者代码。压滚或刮板用力程度应以胶板压合面见到压（刮）痕为宜，前后两次滚压或刮压应重叠 $1/3 \sim 1/2$ ，并应排净粘合面间的空气。

5.3 胶板接头和边角处应用小号辊子压合严实，边沿应圆滑过渡，不得漏刮，并不得有翘起、脱层。

5.4 衬至法兰密封面上的胶板应平整，不得有径向沟槽或超过 1mm 的凸起。

5.5 管子衬里可采用预制胶筒贴衬。公称直径小于 250mm 时，宜采用气顶贴合法和气囊牵引法施工。

6. 胶板贴衬完成后的中间检查应符合下列规定：

6.1 衬里层接头应无漏压或漏刮现象。

6.2 衬里层不得有鼓泡、粘贴不牢、表面伤痕等缺陷。

6.3 接头搭接方向应正确，接头贴合应严密。

6.4 每衬一层胶板应采用电火花检测仪检查，应无漏电现象。

7. 当中间检查有漏电、鼓泡、衬里不实、表面伤痕、最低处小于厚度标准等缺陷时，应进行修复，并应符合下列规定：

7.1 滚压胶板出现的小气泡，应立即切口放气，切口涂覆胶粘剂，碾压压合，并应在其表面加贴原胶盖面胶板，盖面胶板的直径不得小于 50mm。

7.2 对漏电、面积较大的鼓泡、贴衬不实及表面伤痕等缺陷，应将缺陷处胶板去除，将缺口四周胶板边缘磨毛成 30° 的坡口，基体的表面磨至金属本色并应有粗糙度，打磨后的金属及胶板缺口四周（50 ~ 100）mm 范围应采用溶剂清洗，干燥后应按原施工工艺涂覆底涂及胶粘剂，并应风干。

7.3 修补用胶板应采用原胶板，胶板可按修补面积及形状裁出。修补部位搭边宽度应大于50mm。贴衬胶板时，应采用压辊依次压实，不得有气泡。

7.4 当某一处修补点大于2个，且相距较近时，可将各修补点补平后再衬一块大胶板，也可将该部分全部去除后重新衬胶。

7.5 修补结束后应进行电火花检测。

7.6 当胶板有特别性能要求时，应满足胶板的特殊施工要求。

8. 加热硫化应包括硫化罐硫化、带压本体硫化、常压热水硫化、常压蒸汽硫化。加热硫化应按硫化工艺进行，不得欠硫化、过硫化，硫化终止时需对产品试板进行测试，当硬度不符合要求、发生欠硫化状况时，应进行二次硫化。二次硫化应控制硫化温度，任何部位不得产生过硫化。

9. 设备及管道任何部位，总硫化次数不得超过三次。

10. 当衬里层最终检验出现脱层、气泡、裂纹、针孔等缺陷时，应进行修补；同一处缺陷修补次数不得超过两次。

11. 橡胶衬里设备及管道的包装、储存、运输和安装应符合下列规定：

11.1 橡胶衬里设备及管道保管温度不应低于0℃。

11.2 衬胶制品用户应缩短衬胶制品保管期。

11.3 衬胶制品的法兰未衬面应表面处理，并应涂覆与橡胶衬里设备及管道外表面相同的防腐涂料。在储存期间应采用盲板、螺栓压紧法兰衬胶面。

11.4 初次使用的衬胶贮罐使用前不得空罐存放，宜充水储存保管；使用过的衬胶贮罐，在不储存物料期间，宜充水储存保管；气温低于0℃时，宜充（10~15）%盐水溶液储存保管。

11.5 衬胶制品在低于5℃温度下运输时，应采取防止胶板产生裂纹的措施；

12. 橡胶衬里施工质量的最终检查：

12.1 橡胶衬里设备及管道应全部检验。

12.2 用目测法和锤击法检查胶层外观质量和胶层与金属的粘接情况，胶层表面允许有凹陷和深度不超过0.5mm的外伤、印痕和嵌杂物，但不得出现裂纹或海绵状气孔。

12.3 橡胶衬里接头，应采用搭接。搭接方向应与介质流向一致。胶板搭接宽度应为30mm。设备转角处的搭接头宽度应为50mm。多层胶板衬里时，上下层的接头应错开，错开距离不得小于200mm。

12.4 衬里接头采用丁字缝时，丁字缝错缝距离应大于200mm，不得有通缝。

12.5 胶板贴衬后，不得漏压或漏刮，并应排净粘合面间的空气。胶板搭接头应压合严实，边沿应圆滑过渡，不得有翘起、脱层、空鼓等现象。

13. 贴衬工序完成后，应按下列项目进行中间检查：

13.1 衬胶各部位尺寸应符合设计文件的规定；

13.2 胶层不得有气泡、空鼓等现象；

13.3 衬里层应使用电火花进行完好性检测；



13.4 总体检查前应出示施工单位中间检查合格记录；

13.5 总体检查合格后，方可进行胶板的硫化。

14. 使用电火花检测仪检查胶层，不得有漏电现象，监测时，电火花探头形状接触长度、探头火花长度，探头行走速度等，均应按规范规定；检测时，探头不得在胶层上停留，以防胶层被高压电击穿。

15. 硫化胶板硬度值按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶压入硬度试验方法第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）》GB/T531.1的规定进行检测，应符合下列规定：

15.1 硬度测点数：硫化罐硫化，每罐不得少于5点，应取算术平均值；本体硫化的设备，每个衬胶面不得少于2处，每处测点应为3个，应取算术平均值；热水硫化和自然硫化的设备，可在与设备一起硫化的试板上进行，每个衬胶面试板不得少于2块，每块试板的测点不得少于3个，应取算术平均值。

15.2 测点处表面应光滑、平整、不应有机械损伤及杂质。

15.3 测定点的环境条件应符合现行国家标准《橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序》GB/T2941的有关规定。

15.4 胶板制造商应提供不同温度下和标准温度下胶板硬度换算表。

16. 真空容器按设计文件的规定进行抽真空试验，试验时间不应小于1h，试验合格后应对衬里层检查，不得有脱层、鼓泡、起皱等缺陷。

（九）衬铅及搪铅

1. 衬铅及搪铅衬里施工前的基体要求应符合下列规定：

1.1 基体内壁附件的焊接应完成。

1.2 基体内壁附件角焊缝待衬里侧的圆角部位，焊角高应大于或等于5mm；焊接圆弧半径应大于或等于10mm。

1.3 受压设备应进行压力试验，合格后方可进行铅衬里。

2. 原材料质量检查

2.1 铅板表面应光滑、清洁，不得有污物、泥砂和油脂，也不得有砂眼、裂缝或厚薄不均等缺陷，其化学成份及规格应符合现行国家标准《铅及铅锑合金板》GB/T1470的有关规定。

2.2 焊条材质与焊件材质应相同。焊条表面应干净，应无氧化膜及污物。

3. 衬铅的焊接施工准备应符合下列规定：

3.1 施焊前，应清除焊缝中的油脂、泥砂、水或酸碱等杂质。

3.2 焊缝处不得有熔点较高的氧化铅层。在施焊前应采用刮刀刮净，使焊缝区域露出金属光泽。应随焊随刮，刮净的焊口应在3h内焊完。多层焊时，每焊完一层，应刮净后再焊下一层。

3.3 对接焊缝应根据焊件的厚度，留出不同的间隙，并应切出适当的坡口；

3.4 厚度在7mm以下的焊件，应采用搭接焊，搭接尺寸应为（25~40）mm。

3.5 铅板焊接时，焊缝应错开，不得十字交叉，错开距离不应小于100mm。

3.6 焊接前，焊缝应平整，不得有凸凹不平现象。

3.7 焊接前应将焊缝相互对正，可采用点焊固定，点焊间距应为（200~300）mm。

4. 搪铅的施工准备应符合下列规定：

4.1 搪铅施工前，基体表面处理质量等级应符合本表 30-1 规定，并应露出金属光泽。

表 30-1 衬里的基体表面处理质量等级

衬里类别	基体表面处理质量等级
铅衬里（搪铅）、金属热喷涂层	Sa3 级
纤维增强塑料衬里、橡胶衬里、涂料衬里、塑料衬里（粘贴法）、玻璃鳞片衬里、喷涂聚脲衬里、砖板衬里	Sa2 $\frac{1}{2}$ 级
铅衬里（衬铅）、塑料衬里（非粘贴法）、氯丁胶乳衬里	Sa2 级或 St3 级

4.2 称量、配制和盛装焊剂的器皿、涂覆焊剂用的毛刷应清洁，不得被油脂等污染。

4.3 设备表面应平整，焊缝应采取对接形式，焊缝余高不应大于 3mm，并应磨光，不应有焊渣或毛刺等缺陷。

5. 焊接检查：焊接接头形式应符合规范规定，铅板焊接时焊缝应错开，错开距离不得小于 100mm，焊缝应避免十字交叉。

6. 铅衬里质量检查：

衬铅板表面不得有机械损伤、凹陷或减薄；焊缝应平整均匀，并应无漏焊、虚焊、缩孔、错口或咬肉等现象；焊缝内部不得有夹层、气孔或未焊透等现象；按规定的方法进行盛水试验、充气试验、气密试验应合格。

7. 搪铅外观检查

搪铅时，每层应进行中间检查。厚度应均匀一致，不应有夹渣、裂纹、鼓泡、气孔、焊瘤等缺陷；用磁性厚度测量仪在不同部位检测厚度，其厚度偏差应符合设计规定；设计无规定时，不得 > 25%；用硫酸检查微孔，应无锈蚀点。

（十）塑料衬里

1. 塑料衬里设备在衬里施工前，在设备底部和其他位置应设置检漏孔。进行 24h 的注水试验，检漏孔内应无水渗出。

2. 原材料检查

2.1 软聚氯乙烯（PVC）焊条应与焊件材质相同，焊条表面应无节瘤、折痕和杂质，颜色应均匀一致。

2.2 氟塑料板表面应光洁、色泽均匀、厚薄一致，无裂纹、黑点等缺陷。

3. 施工环境条件应符合下列规定：

3.1 环境温度宜为（15 ~ 30）℃。

3.2 现场应干净。

3.3 施工宜在室内进行。

4. 基体表面处理应符合下列规定：



- 4.1 待衬里的基体表面不得有油脂、临时保护物和粉笔记号等缺陷，并可采用蒸汽脱脂。
- 4.2 松衬里的基体表面应无疏松的锈垢和其他污垢。
- 4.3 需要粘贴衬里的基体表面应进行喷射清理，基体表面处理质量等级应符合表 30-1 的规定。
- 4.4 当喷射清理无法处理公称尺寸较小管道时，可采用手工除锈。
- 4.5 喷射清理后，基体表面的所有灰层、残留物和碎屑应扫除或真空清除。
5. 衬里塑料之间焊接前，应选择焊接材料和焊接工艺，焊接工艺应评定合格。
6. 软聚氯乙烯板接缝应采用搭接，搭接宽度宜为（20 ~ 25）mm。应采用热风焊枪熔融本体并加压焊接。焊接时，在上、下两板搭接内缝处，每间隔 200mm 点焊固定，搭接外缝处应采用焊条满焊封缝。
7. 塑料衬里管道的翻边处应进行加热，并应压平。
8. 衬里应连续完整，不应有裂纹、气泡、针孔等缺陷。
9. 采用粘贴法工艺的试板在相同条件下进行剥离强度试验，试验方法可按现行国家标准《高强度胶粘接剂剥离强度的测定浮辊法》GB/T7122 有关规定执行。
10. 设备及管道塑料衬里采用电火花针孔检测仪检查，应完好、无针孔。

（十一）玻璃鳞片衬里

1. 玻璃鳞片衬里施工前的基体表面外观除应下列规定：
 - 1.1 表面与内外支撑件之间的焊接、铆接、螺接应完成。
 - 1.2 衬里侧的焊缝应满焊，不得出现断焊、漏焊等缺陷。
 - 1.3 衬里侧焊缝、焊瘤、弧坑、焊渣应打磨平整、表面应光滑。焊缝高度不得超过 1mm。
 - 1.4 基体表面附着物应符合规范的规定。
2. 玻璃鳞片衬里采用的固化体系应与树脂类型相配套，且质量应符合规范的规定。
3. 施工环境条件应符合下列规定：
 - 3.1 当采用乙烯基酯树脂类或双酚 A 型不饱和聚酯树脂类玻璃鳞片衬里时，施工环境温度宜为（5 ~ 30）℃；当采用环氧树脂的玻璃鳞片衬里类时，施工环境温度宜为（10 ~ 30）℃。
 - 3.2 施工环境相对湿度不宜大于 80%。
 - 3.3 当温度低于本条第 1 款的规定时，应采取加热保温措施，且不得采用明火直接加热。
4. 底涂层的施工应符合下列规定：
 - 4.1 在底涂料中按比例加入固化剂后，应搅拌均匀，并应在初凝前用完。
 - 4.2 底涂料的施工宜采用刷涂或滚涂，不得漏涂。
 - 4.3 当采用二层底涂料施工时，底涂料的施工间隔时间符合规范的规定。
5. 玻璃鳞片胶泥层的施工应符合下列规定：
 - 5.1 在玻璃鳞片胶泥料中按比例加入固化剂，宜在真空度不低于 0.08MPa 搅拌机中搅拌均匀。配制好的玻璃鳞片胶泥料应在初凝前用完。
 - 5.2 第一层玻璃鳞片胶泥的施工应在底涂层施工完成且指触干燥或 12h 后进行。

5.3 玻璃鳞片胶泥宜采用人工涂抹（刮抹）的方法进行施工。应将玻璃鳞片胶泥摊铺在底涂层表面，用抹刀（或刮板）单向有序、均匀地涂抹。

5.4 单道玻璃鳞片胶泥衬里的施工厚度，在初凝后宜为 $(1.0 \pm 0.2)\text{mm}$ 。

5.5 滚压作业应与涂抹施工同步进行。在初凝前，应采用沾有适量溶剂的羊毛辊往复滚压至胶泥层光滑均匀；溶剂的选用应符合本标准第 10.2.5 条的规定。

5.6 同层涂抹的端部界面连接，应采用斜槎搭接方式。

5.7 当采用二层涂抹施工时，玻璃鳞片胶泥的施工间隔时间应符合表 30-2 的规定。两层胶泥料涂抹方向宜相互垂直。

表 30-2 底涂料的施工间隔时间

类型	乙烯基酯树脂类、双酚 A 型 / 不饱和聚酯树脂类			环氧树脂类		
环境温度（℃）	10	20	30	10	20	30
最短施工间隔（h）	10	5	3	24	12	6
最长施工间隔（h）	48	36	24	72	48	24

5.8 玻璃鳞片胶泥涂抹达到设计规定的厚度后，再进行封面层或其他后续层施工。

6. 局部加强的纤维增强塑料层施工应符合下列规定：

6.1 纤维增强塑料应采用与玻璃鳞片胶泥相同的树脂胶料。

6.2 局部纤维增强区的玻璃鳞片衬里表面应打磨平整，并应采用溶剂清洗干净，再应按涂覆树脂胶料、贴衬纤维布（毡）的顺序进行施工。

6.3 在纤维增强塑料材料指触表干或施工 12h 后，应将纤维增强塑料材料的毛边、气泡或脱层等清除干净，并应采用玻璃鳞片胶泥填平补齐。

6.4 纤维增强塑料层达到设计规定的厚度后，再进行封面层或其他后续层施工。

7. 玻璃鳞片胶泥封面层施工应符合下列规定：

7.1 封面料应采用与玻璃鳞片胶泥相同的树脂胶料。

7.2 在封面料中应按比例加入固化剂搅拌均匀。配制好的封面料应在初凝前用完。

7.3 封面料施工可采用刷涂和滚涂，应均匀涂覆到玻璃鳞片胶泥层和局部加强的纤维增强塑料层表面。

7.4 当采用乙烯基酯树脂或双酚 A 型不饱和聚酯树脂类封面料时，最后一层封面料中，应含有苯乙烯蜡液。

8. 玻璃鳞片涂料（面涂）层的施工应符合下列规定：

8.1 在玻璃鳞片涂料中应按比例加入固化剂搅拌均匀。配制好的玻璃鳞片涂料应在初凝前用完。

8.2 施工应采用高压无气喷涂，也可采用刷涂和滚涂，应均匀涂覆到底涂层表面。高压无气喷涂一次厚度不宜超过 0.6mm。

8.3 当采用乙烯基酯树脂或双酚 A 型不饱和聚酯树脂类玻璃鳞片涂料时，最后一层玻璃鳞片涂料中，应含有苯乙烯蜡液。

8.4 当采用多层玻璃鳞片涂料施工时，涂装的间隔时间应符合规范的规定。



9. 玻璃鳞片衬里的养护期内不得在衬里表面进行施工作业或踩踏。

10. 玻璃鳞片衬里层的表面应平整，颜色应均匀，并应无明显凹凸、漏涂、流淌、气泡或裂纹。面层与基体表面粘结应牢固，并应无起壳或脱层等现象。

11. 玻璃鳞片衬里层表面应固化完全，应无发粘现象。

12. 玻璃鳞片衬里层的厚度检测采用磁性测厚仪检查，应符合设计规定，衬里厚度允许偏差应为设计规定值的 $(-10 \sim 50)\%$ 。

13. 玻璃鳞片衬里层应采用电火花针孔检测仪进行针孔检测，玻璃鳞片胶泥衬里的检测电压不宜小于 $3000\text{V}/\text{mm}$ ；玻璃鳞片涂料衬里的检测电压不宜小于 $400\text{V}/(0.10\text{mm})$ ；探头移动速度宜为 $(0.3\sim 0.5)\text{m/s}$ ，衬里层应无击穿现象。

(十二) 喷涂聚脲衬里

1. 预制的管道和拼装式设备，应在焊接一侧预留 $(120 \sim 200)\text{mm}$ 的拼装焊接宽度，待现场装配检验合格后，方可进行喷涂聚脲衬里施工。

2. 喷涂聚脲料的质量应符合现行行业标准《喷涂聚脲防护材料》HG/T3831的有关规定。

3. 喷涂聚脲衬里施工环境条件应符合下列规定：

3.1 环境温度宜大于 5°C ，相对湿度宜小于 80% 。

3.2 当风速大于 5m/s 时，不宜进行室外喷涂施工。

3.3 在雨、雪、雾天气环境，当采取措施仍无法满足施工环境条件时，不得进行室外喷涂聚脲衬里施工。

4. 喷涂聚脲衬里施工时应根据聚脲材料及配套材料的特性及施工现场环境条件，对每一批次的材料确定施工工艺和设备参数后，应进行试喷。试喷检验合格后的工艺条件应确定为现场施工工艺，再进行喷涂施工。

5. 喷涂聚脲衬里的施工应符合下列规定：

5.1 喷涂施工作业应按先上、后下、再底的顺序，宜连续喷涂作业。

5.2 喷枪与基体表面的距离应为 $(300 \sim 700)\text{mm}$ ，角度宜控制在 ± 200 范围内，喷涂移动速度宜均匀、一致，并应采用上下、左右多次交叉喷涂，并应达到规定厚度。

5.3 当喷涂衬里的接缝时，接缝表面应先处理，后喷涂。

5.4 衬里接缝的喷涂宽度应大于 120mm ；相邻的非喷涂基体表面应采取遮盖保护措施。

5.5 当喷涂施工作业出现异常时，应立即停止喷涂。

5.6 当喷涂衬里表面出现不固化层、鼓泡或脱层等缺陷时，应按工艺要求处理。

6. 喷涂聚脲衬里施工不得与其他工种交叉作业，施工完毕的衬里表面应采取保护措施。

7. 喷涂聚脲衬里的表面应平整、色泽应一致、并应无明显尖锐突出物，龟裂、尖口划伤等缺陷。

8. 喷涂聚脲衬里出现大于 0.5m^2 面积的鼓泡或脱层等缺陷时，宜采用机械喷涂方法修补；小于 0.5m^2 面积上的鼓泡、脱层或针孔可采用机械喷涂方法或手工方法修补。

9. 喷涂聚脲衬里的厚度应符合设计规定。

10. 喷涂聚脲衬里表面应采用电火花检测仪进行针孔检测。当厚度为 1.0mm 时, 检测电压应为 3000V; 厚度每增加 0.5mm, 检测电压应增加 1500V, 检测探头行走速度宜为 (0.1 ~ 0.3) m/s, 应无击穿现象。

(十三) 氯丁胶乳衬里

1. 氯丁胶乳衬里的原材料及制成品质量应符合规范的规定。
2. 施工环境温度宜为 10℃ ~ 35℃, 当施工环境温度低于 5℃ 时, 应采取加热保温措施。施工中应采取防风、雨、雪和阳光直射措施。
3. 氯丁胶乳的存放温度宜为 5℃ ~ 40℃, 夏季应防止高温、阳光直射; 冬季不得受冻。破乳和冻结的氯丁胶乳不得使用。
4. 施工前, 氯丁胶乳水泥素浆、胶泥、砂浆的配合比宜按厂家提供的使用说明书使用, 并根据现场施工环境温度、湿度、施工条件等因素, 确定适宜的施工配合比和施工操作方法。
5. 配制好的氯丁胶乳水泥素浆、胶泥、砂浆应在初凝前用完, 当有凝胶、结块现象时, 不得使用。
6. 氯丁胶乳水泥胶泥多层施工时, 每层完成后表面应为毛面, 施工间隔时间宜为 1h。
7. 氯丁胶乳水泥砂浆多层施工时, 每层完成后表面应为毛面。施工间隔时间宜为 3h。
8. 氯丁胶乳水泥砂浆边摊铺边压抹, 宜一次抹平, 不宜反复抹压。当有气泡时应刺破压紧, 表面应密实。
9. 同层玻纤网的搭接宽度不应小于 50mm; 上下两层玻纤网的接缝应错开, 错开距离不得小于 50mm; 阴阳角处应增加 (1 ~ 2) 层玻纤网。
10. 氯丁胶乳衬里完成后, 应进行封闭养护 7d, 再自然养护 21d 后方可使用。
11. 氯丁胶乳衬里与基体表面应粘结牢固, 并应无脱层和起壳现象。
12. 氯丁胶乳衬里的表面应平整, 并应无裂缝、脱皮、起砂或麻面现象。
13. 氯丁胶乳衬里铺抹的整体衬里面层与阴阳角、结构件、预留孔、管道出入口应结合严密、粘结牢固、接缝平整, 并应无渗漏和空鼓现象。
14. 氯丁胶乳衬里的厚度应符合设计规定。
15. 氯丁胶乳衬里表面平整度的允许偏差不应大于 5mm。

(十四) 砖、板衬里

1. 砖板衬里施工前基体要求应符合下列规定:
 - 1.1 基体或基体部件制作验收应合格。
 - 1.2 基体表面处理质量等级应符合设计和规范的规定。
 - 1.3 除锈后的基体表面粗糙度等级应符合设计和规范规定。
2. 砖板的品种、规格和等级、砖板衬里采用的胶泥应符合设计规定。施工前对原材料和制成品应抽样复验, 其性能应符合规范有关规定, 不合格材料不得投入使用。
3. 施工环境条件应符合下列规定:
 - 3.1 温度宜为 (15 ~ 30) ℃, 相对湿度不宜大于 80%。



3.2 当酚醛树脂采用苯磺酰氯固化剂时，最低施工环境温度不得低于 17℃。

3.3 采用其他固化剂的砖板衬里材料，其最低施工环境温度不得低于 10℃。

3.4 当施工环境温度低于最低温度要求时，应采取加热保温措施，且不得采用明火或蒸汽直接加热。

4. 水玻璃材料不得受冻。受冻的水玻璃应经加热，并搅拌均匀后方可使用。

5. 水玻璃胶泥和树脂胶泥在施工或固化期间，不得与水或水蒸气接触，并不得暴晒。

6. 各种胶泥的施工配合比可按生产厂家提供的使用说明书选用，无说明书时应符合规范规定。各种胶泥在施工过程中，出现凝固结块等现象时，不得使用。

7. 砖板衬砌应符合下列规定：

7.1 砖板衬砌时，宜采用揉挤法。结合层和灰缝的胶泥应饱满密实，砖板不得滑移。在胶泥初凝前，应将缝填满压实，灰缝的表面应平整光滑。

7.2 砖板衬砌前，宜先试排；衬砌时，顺序应由低往高。阴角处立面砖板应压住平面砖板，阳角处平面砖板应压住立面砖板。

7.3 在立面衬砌砖板时，一次衬砌的高度应以不变形为限，待已衬砌部分凝固后再继续施工，在平面衬砌砖板时，应采取防止滑动的措施。

8. 砖板衬砌应错缝排列，并应符合下列规定：

8.1 同层或层与层间的纵缝或横缝错开量应符合规范的有关规定。

8.2 两层及两层以上砖板衬砌不得出现重叠缝。

9. 胶泥衬砌的砖板结合层应饱满密实、粘结牢固、固化完全。平面砖板砌体无滑移，立面砖板砌体无变形。灰缝应挤严、饱满，表面应平滑，应无裂缝、气孔。胶泥衬砌砖板后的常温养护时间应符合规范规定，胶泥衬砌砖板完毕后，进行热处理时，温度应均匀，不得局部受热。

10. 砖板衬里面层相邻砖板之间的高差和表面平整度应符合下列规定：

10.1 高差采用尺量检查，相邻砖板之间的高差不得大于 1mm。

10.2 表面平整度采用 2m 直尺和楔形尺检查，砖板衬里表面平整度的允许偏差不得大于 4mm。

11. 砖板衬里面层坡度的允许偏差为坡长的 $\pm 0.2\%$ 。

(十五) 金属热喷涂层

1. 金属热喷涂层的原材料质量应符合现行国家标准《热喷涂火焰和电弧喷涂用线材、棒材和芯材分类和供货技术条件》GB/T12608 的有关规定。

3. 金属热喷涂施工应在基体表面处理合格后 4h 内进行，待喷涂和喷涂过程中工件表面应干燥、洁净，并应无可见的氧化变色或任何污染。

3. 金属热喷涂施工环境条件应符合下列规定：

3.1 环境温度不宜低于 5℃，相对湿度不宜大于 80%。

3.2 雨、雪和大雾天气不得进行室外作业。

4. 设计厚度超过 $100\mu\text{m}$ 的金属热喷涂层, 应分层喷涂。分层喷涂时, 每一涂层均应平行搭接, 同层涂层的喷涂方向宜一致; 上下两层的喷涂方向宜纵横交叉。

5. 当对大型设备或大面积施工时, 应划区作业, 分段、分片喷涂。各分段、分片的接头应错开, 错开距离应大于 100mm 。

6. 喷涂层外观应致密、平整、色泽一致, 表面应无裂纹、翘皮、起泡、底材裸露的斑点和粗大未熔或附着不牢的金属颗粒。

7. 金属热喷涂层与基体的结合强度应符合下列规定:

7.1 当采用定性检测方法时, 涂层不应从基体上剥离。

检验方法: 按现行国家标准《热喷涂金属和其他无机覆盖层锌、铝及其合金》GB/T9793 有关规定, 进行划格试验。

7.2 当采用定量测定方法时, 喷涂层与基体的结合强度应符合本标准表 14.3.6 的规定。

(十六) 衬里设备及管道包装、储存、运输和安装检查

1. 衬里设备及管道的包装、运输应符合现行行业标准《压力容器涂敷与运输包装》JB/T4711 的有关规定。

2. 衬里零部件应采用专用包装方式运输。

3. 衬里设备及管道储存时应避免阳光长期直射, 并距离热源不应小于 1m 。

4. 衬里设备及管道在运输和储存过程中不得与化学介质接触。

5. 当衬里设备及管道露天放置一个冬季后, 使用前应进行衬里性能复检。

6. 薄壁衬里设备及管道在运输中应设置加固设施, 移动过程中不得用钢丝绳拖拉。

7. 衬里设备及管道在运输过程中, 松散的零部件不得放置在衬里设备及管道内部。

8. 衬里设备及管道应轻装轻卸, 不得剧烈震动或机械损伤。

9. 衬里设备及管道起吊时, 吊索和其他辅助件不得与衬里表面接触。衬里表面不得承受过大的局部载荷。

10. 所有向外开口的接管口、人孔、检查孔均应采用木板或其他适当材料保护固定, 并应符合下列规定:

10.1 衬里在法兰上的翻边完成后, 应立即安装保护板, 直到配对法兰安装到位。

10.2 当需拆开配对法兰时, 应采用木板进行保护。

10.3 衬里设备的法兰连接宜在室温下拆开。

(十七) 防腐蚀涂层

1. 设备、管道和附属钢结构外表面防护前的基体表面处理质量等级应符合下列规定:

1.1 基体表面粗糙度应符合规范的规定。

1.2 基体焊缝应符合规范的有关规定。

2. 检查原材料质量。

2.1 防腐蚀涂料应具有稳定性能及可测试的技术指标, 并应符合国家现行标准的规定。



2.2 涂料的产品质量证明文件应符合设计和规范的有关规定。

2.3 进行涂料施工前，应进行试涂；涂料使用时，应搅拌均匀，如有结皮或其他杂物，必须清除后方可使用。

3. 施工环境条件应符合下列规定：

3.1 施工环境温度宜为（10 ~ 30）℃，相对湿度不宜大于 80%。

3.2 在大风、雨、雾、雪天或强烈阳光照射下，不宜进行室外施工。

4. 涂料施工工艺应符合下列规定：

4.1 涂装应根据涂料的耐腐蚀性能、施工环境及条件、基体表面处理、基体形状等选择涂装方案。

4.2 需要现场配制的材料，应根据施工环境温度、相对湿度、原材料性能及施工工艺特点，通过试验确定施工配合比。经试验确定的配合比不得任意改变。

4.3 基体表面预处理后应在 4h 内涂覆底层涂料，当发现返锈或污染时，应重新处理。

4.4 涂装应采用刷涂、滚涂或喷涂，不得漏涂或误涂。

4.5 涂覆间隔时间应按涂料施工指南确定。

4.6 涂层全部涂装结束后，常温养护不应少于 7d。

4.7 在涂层干燥过程中，应采取防风沙、防雨雪、防紫外线、防低温等措施。

4.8 涂料应在规定的贮存期内使用。

5. 涂层表面应平整、色泽应一致，并应无流挂、起皱、脱皮、返锈、漏涂等缺陷。

6. 涂层的厚度应均匀一致，涂层的层数和厚度应符合设计规定。

7. 涂层的附着力应符合设计规定，涂层与基体的附着力（拉开法）不应小于 5MPa，无机富锌底涂附着力（拉开法）不应小于 3MPa。

8. 当采用涂层高电压火花检测仪或低电压漏涂检测仪进行涂料涂层针孔检测时，设备涂料涂层的针孔漏点每平方米不得大于 2 个，管道每 5m 涂层针孔漏点不得大于 1 个。检测电压应根据涂料产品技术要求确定。

9. 涂层的养护时间应符合涂料使用说明书或规范的规定。

四、防腐蚀工程施工常见质量通病及防治

（一）防腐蚀材料配制不符合要求：

配制时，应对配制过程监督检查，严格按配比计量配制，并按配制的工艺操作方法、程序进行配制操作，不得随意改变配比和不计量。

（二）基层处理不彻底：

必须严格按施工规范要求及施工使用指南进行施工，基层处理后应经过检查确认，基层达不到要求不得进行下道工序。

（三）面层脱层：

必须严格按施工规范要求及施工使用指南做好基层处理，基层未经检查合格前，不得进行下道工序施工。

(四) 面层气泡多:

主要是施工方法不当,胶板贴衬时铺贴方法要正确,压合时应使用压滚,依次压合,排净粘结面的空气,不得漏压;压滚的用力程度以胶板表面见到压痕为限,前后两次滚压应重叠 $1/3 \sim 1/2$ 。

(五) 涂层漏刷、起皱,不重视外观质量:

涂装前应进行工艺操作交底,工序过程加强质量检查;容易漏刷的部位可先做好标记,一次涂刷不要太多,涂刷方法和顺序应符合操作工艺要求。

(六) 厚度不符合要求或做针孔检测:

采用测厚仪进行厚度检测,对规范和设计要求进行针孔检测的防腐蚀层,必须进行电火花探测器检测,对发现有针孔的部位应做出标记,修补后重新检测。

(七) 防腐蚀涂层返锈:

其原因多为基层除锈不符合要求,以及涂层厚度不足。因此,要对基层除锈质量进行检查和环境湿度、湿度进行检测,符合要求后方可刷涂层,涂层厚度应进行检测。

(八) 雨、雾作业不采取措施:

雨天、雾天必须进行防腐蚀施工时,一定要有防水措施;相对湿度大于85%不宜施工;环境温度在 5°C 以下缩(气喷涂)必须在室内或工棚中进行。

第二节 工业设备、管道绝热工程质量控制

一、工程内容

工业设备、管道外表面温度为 $-196 \sim +850^{\circ}\text{C}$ 的外部绝热工程。

二、主要控制环节

1. 施工前检查。
2. 固定件、支承件安装检查。
3. 绝热层检查。
4. 防潮层检查。
5. 保护层检查。

三、质量检验

(一) 施工前检查

1. 工业设备及管道绝热工程施工前,应具备下列条件:
 - 1.1 设计文件及有关技术文件齐全,施工图纸已经会审。
 - 1.2 施工组织设计或施工方案已批准,技术及安全交底已经完成。
 - 1.3 施工人员已进行技能培训,且经考核合格。
 - 1.4 已办理绝热工程开工手续。



1.5 已制定相应的安全应急预案。

1.6 参与施工人员已进行安全教育。质量保证体系已建立并正常运行，应当告知的已向当地质量技术监督部门办理告知手续。

1.7 施工现场应按施工平面布置图进行布置，施工前临时供水、供电、消防等设施已设置好，道路应通畅。

1.8 临设已布置完毕，各种生产临设已搭设牢固安全。施工机具应按规定位置就位，施工机具保养试运合格，满足施工要求。

1.9 经检验合格的绝热材料都已入库，能满足施工进度要求。

2. 中间交接检查

2.1 需进行绝热层施工的设备、管道及附件必须全面检查，确定全部合格，办理工序交接手续后，方可进行施工。

2.2 检查的内容有：设备、管道的支吊架、支承件、固定件及仪表接管等已安装完毕；强度试验、严密性试验、管道吹扫及表面防腐等工作已全部合格，并办妥交接手续；设备及管道表面的油污、尘土等杂物清除干净。

3. 原材料质量检查

3.1 绝热材料及制品必须具有产品质量证明书或出厂合格证，其规格、性能等技术指标应符合设计文件规定。

3.2 绝热工程所使用有机材料的燃烧性能应符合设计要求，阻燃型绝热材料及其制品的氧指数不应小于 30%。

3.3 用于与奥氏体不锈钢表面接触的绝热材料，应符合现行国家标准《覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范》GB/T17393 的有关规定。

3.4 应从送达现场的材料中，对产品的外观状态、几何尺寸进行随机抽样检查，抽样的数量应按技术文件及国家现行有关标准的规定执行。当对产品的内在质量有疑义时，应抽样送具有国家认证的第三方检测机构检验。

3.5 固定件及支承件的材质、品种和规格应符合设计要求。检查材料的质量证明书或现场抽样的性能检测报告，核对材料的品种和规格。

3.6 绝热材料及其制品的化学性能应稳定，对金属不得有腐蚀作用。当用于奥氏体不锈钢设备或管道上时，其氯化物、氟化物、硅酸盐、钠离子的含量应符合现行国家标准《覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范》GB/T17393 的有关规定。

3.7 用于填充结构的散装绝热材料，不得混有杂物及尘土。不宜采用直径小于 0.3mm 的多孔性颗粒类绝热材料。纤维类绝热材料的渣球含量应符合国家现行产品标准及设计文件的规定。

3.8 受潮的绝热材料及其制品，当经过干燥处理后仍不能恢复合格性能时，不得使用。用于保温的绝热材料及其制品，含水率应小于 7.5%；用于保冷的绝热材料及其制品，含水率应小于 1%。

3.9 对超过保管期限的绝热层、防潮层、外护层材料及其制品，应重新进行抽检，合格后方可

使用。

4 绝热材料的运输存放和保管

4.1 硬质绝热制品在装卸时不得抛掷，在运输过程中应减少振动；矿纤类绝热制品在装卸时不得挤压、抛掷；长途运输应采取防雨水的措施。

4.2 绝热材料应存放在仓库或棚库内。

4.3 绝热材料应按材质分类存放。在保管中应根据材料品种的不同，分别设置防潮、防水、防冻、防成型制品挤压变形及防火等设施。

4.4 软质及半硬质材料堆放高度不应超过 2m。

4.5 对有毒、易燃易爆及沸点低的溶剂材料应存放在通风良好的室内，并应采取防火、防毒措施。

5. 施工环境检查：雨雪天不宜进行室外绝热工程的施工。在雨雪天或冬季施工时，施工现场应采取防雨、防雪、防冻、防风和防滑措施。

6. 采用新技术、新工艺施工时，操作工人必须经过技术培训合格后方可上岗。

(二) 固定件和支承件的安装检查

1. 在有防腐、衬里的工业设备及管道上焊接绝热层的固定件时，焊接及焊后热处理必须在防腐、衬里和试压之前进行。

2. 用于绝热结构的固定件和支承件的材质和品种必须与设备及管道的材质相匹配。

3. 用于保温层的钩钉或销钉的安装间距：硬质材料宜为 300mm ~ 600mm，软质材料不宜大于 350mm。每平方米面积上钩钉或销钉的数量，侧面不宜少于 6 个，底部不宜少于 9 个，且每块保温材料不宜少于 2 个固定件。

4. 当保冷结构采用钩钉或销钉固定时，不得穿透保冷层，其长度应小于保冷层厚度 10mm，且最小不得小于 20mm。当采用塑料销钉时应用黏结剂粘贴，黏结剂应与塑料销钉的材质相匹配。粘贴时应先进行试粘。每块保冷材料制品上的销钉用量宜为 4 个。

5. 直接焊于不锈钢设备、管道上的固定件，必须采用不锈钢制作。当固定件采用碳钢制作时，应加焊不锈钢垫板。

6. 对立式设备、管道、平壁面和卧式设备的底面绝热层，应设支承件。支承件的布置和安装应符合下列规定：

6.1 支承件的材质应根据设备、管道材质确定，宜采用普通碳钢板或型钢制作。

6.2 支承件不得设在有附件的位置上，环面应水平设置，各托架筋板之间安装偏差不应大于 10mm。

6.3 当不允许直接焊于设备上时，应采用抱箍型支承件。

6.4 支承件的承面宽度应小于绝热层厚度 10 ~ 20mm。

6.5 立式设备和公称直径大于 100mm，且水平夹角大于 45° 的管道支承件的安装间距，应符合规范规定。

7. 抱箍式固定件与设备、管道之间，有下列情况之一时，应设置隔垫：



7.1 介质温度大于或等于 200℃。

7.2 保冷结构。

7.3 设备、管道系非铁素体碳钢。

8. 设备振动部位的绝热层固定件,当壳体上已设有固定螺母时,应在螺杆拧紧丝扣后点焊固定。

9. 设备封头处固定件的安装,应符合下列规定:

9.1 当采用焊接时,可在封头与筒体相交的切点处焊设支承环,并应在支承环上断续焊设固定环。

9.2 当设备不允许焊接时,支承环应改用包箍型。

9.3 多层绝热层应逐层设置活动环。

10. 设备及管道的固定件和支承件的安装及和支承环的间距等应符合设计和规范要求。

11 固定件的安装应牢固、垂直,间距应均匀,长短应一致,自锁紧板不得向外滑动。

12. 固定件和支承件的位置应避开设备及管道的焊缝、法兰和阀门。

13. 保冷结构的支、吊、托架等用的木垫块,应浸渍沥青防腐,并不得漏设。

(三) 绝热层施工质量控制

1. 当采用一种绝热制品,绝热层厚度大于 80mm 时,绝热层施工应分层错缝进行,各层的厚度应接近。

2. 当采用两种及以上绝热材料复合结构时,每种材料的厚度及安装顺序应符合设计要求;当绝热层采用复合材料时,安装方向应符合设计要求。

3. 硬质或半硬质制品绝热层拼缝的质量验收应符合下列规定:

3.1 拼缝宽度:保温层不得大于 5mm,保冷层不得大于 2mm。

3.2 同层应错缝,上、下层应压缝,搭接长度宜大于 100mm。

4. 绝热层施工时,同层应错缝,上下层应压缝,其搭接的长度不宜小于 100mm。

5. 水平管道的纵向接缝位置,不得布置在管道垂直中心线 45° 范围内。当采用大管径的多块硬质成型绝热制品时,绝热层的纵向接缝位置可不受此限制,但应偏离管道垂直中心线位置。

6. 方形设备、方形管道四角的绝热层采用绝热制品敷设时,其四角角缝应采用封盖式搭缝,不得采用垂直通缝。

7. 绝热层各层表面均应做严缝处理。干拼缝应采用性能相近的矿物棉填塞严密,填缝前,应清除缝内杂物。湿砌灰浆胶泥应采用相同于砌体材质的材料拼砌,灰缝应饱满。

8. 保冷设备及管道上的裙座、支座、吊耳、仪表管座、支吊架等附件,必须进行保冷,其保冷层长度不得小于保冷层厚度的 4 倍或敷设至垫块处,保冷层厚度应为邻近保冷层厚度的 1/2,但不得小于 40mm。设备裙座里外均应进行保冷。

9. 管道端部或有盲板的部位,应敷设绝热层,并应密封。

10. 施工后的保温层不得覆盖设备铭牌。

11. 有防潮层结构的绝热层应接缝严密,表面应干净、干燥和平整,并应无突角、凹坑等现象。

12. 绝热层采用镀锌铁丝、不锈钢丝、金属带、黏胶带捆扎时，应符合下列规定：

12.1 捆扎间距：对硬质绝热制品不应大于 400mm；对半硬质绝热制品不应大于 300mm；对软质绝热制品宜为 200mm。

12.2 每块绝热制品上的捆扎件不得少于两道；对有振动的部位应加强捆扎。

12.3 不得采用螺旋式缠绕捆扎。

12.4 伴热管与主管的加热空间应无堵塞。

12.5 当采用泡沫玻璃制品进行绝热施工时，耐磨剂的涂抹应符合设计要求。

12.6 深冷绝热结构中的隔汽层应符合设计要求。

13. 软质绝热制品的保温层厚度和密度应均匀，外形应规整。双层或多层绝热层的绝热制品，应逐层捆扎，并应对各层表面进行找平和严缝处理。

14. 拼砌法施工时，绝热灰浆在绝热制品的对接或敷设面上应涂抹均匀、饱满。干砌填缝材料应填塞严实，湿砌粘结材料应涂抹均匀、粘贴牢固。

15. 当绝热层采用毡、箔等卷材类多功能绝热材料进行包缠捆扎法施工时，其搭接长度应大于 50mm，并应顺水搭接、绑扎牢固。

16. 采用绝热绳、绝热带或绝热毡箔缠绕法施工的质量验收应符合下列规定：

16.1 绝热绳的缠绕应互相紧靠，并应拉紧无松动。多层应压缝，反向缠绕。表面应平整、美观，厚度应一致。

16.2 绝热带应缠绕紧密、牢固，表面应平整、无翻边，多层应压缝，搭接宽度应均匀美观。

17. 绝热层采用纤维状或粒状材料进行填充法施工的质量验收应符合下列规定：

17.1 固形层设置应正确，散状材料应无外露，填充材料应紧贴工件和平整美观。

17.2 填料的填充密度应密实、平整、均匀，不得出现空洞。当分层进行填充时，层间应均匀，每层高度宜为 400mm ~ 600mm。

17.3 不得有填料架桥和漏填现象。

18. 绝热层采用粘贴法施工的质量验收应符合下列规定：

18.1 当设备封头、异型件和管道弯头等部位进行绝热层粘贴时，绝热制品加工面应平整、尺寸正确、拼缝规整，应与工件粘贴牢固、平顺美观。

18.2 设备及管道的绝热层采用软质、半硬质制品粘贴时应粘贴牢固，并应拼缝规整严密，缝内粘结剂饱满，表面平整美观。

18.3 绝热层应粘贴牢固，无断裂现象；粘结剂涂抹部位应准确均匀，无漏涂。

19. 当绝热层采用涂抹法施工时，应分层涂敷，每层涂敷的厚度应符合产品使用说明的要求。涂抹的绝热层厚度应均匀、表面平整，并应无开裂和脱落等现象。

20. 聚氨酯、酚醛等泡沫塑料的浇注，应符合下列规定：

20.1 正式浇注前应进行试浇，并应观测发泡速度、孔径大小、颜色变化、无裂纹和变形。试浇试块的有关技术指标应符合产品说明书的要求。



20.2 浇注料温度、环境温度必须符合产品使用规定。

20.3 配料应准确，混合料应均匀。搅拌剂料应顺一个方向转动。每次配料应在规定时间内用完。

20.4 浇注时应轻轻敲打金属模具两侧并随时观察发泡情况，浇注时应均匀，并应用聚乙烯薄膜封口。浇注的施工表面，应保持干燥。

20.5 大面积浇注应设对称多点浇口，分段分片进行。浇注应均匀，并应迅速封口。

20.6 浇注不得有发泡不良、脱落、发酥发脆、发软、开裂、孔径过大等缺陷；当出现以上缺陷时必须查清原因，重新浇注。

21. 喷涂施工应符合下列规定：

21.1 可在伸缩缝嵌条上划出标志或用硬质绝热制品拼砌边框等方法控制喷涂层厚度。

21.2 喷涂时应由下而上，分层进行。大面积喷涂时，应分段分片进行。接茬处必须结合良好，喷涂层应均匀。

21.3 喷涂矿物纤维材料及聚氨酯、酚醛等泡沫塑料时，应分层喷涂，依次完成。第一次喷涂厚度不应大于 40mm。应待第一层固化后再喷第二层，直至达到要求厚度。

21.4 喷涂轻质粒料保温混凝土时，施工应连续进行，并应一次达到设计厚度。当保温层较厚需分层喷涂时，应在上层喷涂料凝结前喷涂次层，直至达到设计厚度。

21.5 在风力大于三级、酷暑、雾天或雨天环境下，不宜进行室外喷涂施工。

22 设备或管道采用硬质绝热制品时，应留设伸缩缝。

22.1 两固定管架间水平管道绝热层的伸缩缝，至少应留设一道。

22.2 立式设备及垂直管道，应在支承件、法兰下面留设伸缩缝。

22.3 伸缩缝留设的宽度，设备宜为 25mm，管道宜为 20mm。

22.4 保冷层及高温保温层的各层伸缩缝，必须错开，错开距离应大于 100mm。

22.5 绝热层的伸缩缝和膨胀间隙，其位置、宽度、间距、膨胀方向、缝内充填物的使用温度等应符合设计和规范要求；采用塞尺检查伸缩缝的宽度，其允许偏差为 5mm。

23. 保冷的设备或管道，其可拆卸式结构与固定结构之间必须密封。

防潮层施工质量检查

1. 防潮层表面应平整、接缝应紧密，并应无翘口、脱层、空鼓和褶皱等缺陷。

2. 当防潮层采用复合铝箔、涂膜弹性体及其他复合材料施工时，接缝处应严密，厚度或层数应符合设计文件的要求。

3. 防潮层外不得设置铁丝、钢带等硬质捆扎件。

4. 设备筒体、管道上的防潮层应连续施工，不得有断开或断层等现象。防潮层封口处应封闭。

5. 防潮层的厚度允许偏差应符合下列规定：

5.1 胶泥类防潮层的厚度允许偏差应为设计厚度的 $\pm 20\%$ 。

5.2 成型卷材类防潮层的厚度允许偏差应符合防潮层材料偏差的要求。

6 胶泥类防潮层中胶泥的施工质量应符合下列规定：

6.1 胶泥与绝热层外表面应结合紧密、应无虚粘；涂抹应均匀一致，无漏涂。

6.2 胶泥与纤维布、塑料网格布等加强布应粘贴密实、无漏涂。

6.3 涂抹后的胶泥表层应平整，并应无脱层、流挂、空鼓和褶皱等缺陷。

7 胶泥类防潮层中纤维布或塑料网格布等加强布的施工质量应符合下列规定：

7.1 加强布缠绕应紧密、无皱折和起鼓，搭接应均匀。

7.2 加强布的环向和纵向搭接尺寸不应小于 50mm，接口搭接尺寸不应小于 100mm，接头应牢固。

7.3 加强布与胶泥之间应粘贴紧密，网格内应布满复合胶泥涂料，并应无漏涂。

8 成型卷材类防潮层的施工质量应符合下列规定：

8.1 防潮层搭接和压接应均匀，松紧应适度，并应无皱折、起鼓和翻边现象。

8.2 防潮层环向和纵向接缝搭接尺寸不应小于 50mm，接口搭接尺寸不应小于 100mm。

8.3 成型卷材类防潮层采用缠绕法施工时，宜反向缠绕；当同向缠绕时，上、下层应压缝，压缝尺寸不应小于 50mm，且应压接均匀。

8.4 成型卷材类防潮层采用搭接法施工时，搭接缝应顺水压缝；多层施工时上、下层应盖缝，盖缝尺寸不应小于 50mm，且应压接均匀。

8.5 防潮层的端部、接头及尾部应固定牢固、稳定；自粘型防潮层的环纵缝及搭接缝处应无虚粘、翘口、脱层和开裂等缺陷。

9 检查管道、阀门、支、吊架或设备支座处防潮层，不得漏设。

（五）保护层施工质量检查

1. 金属保护层的外观应无翻边、豁口、翘缝或凹坑。

2. 管道金属保护层的环向接缝应与管道轴线保持垂直；设备及大型贮罐金属保护层的环向接缝应与纵向接缝相互垂直。金属保护层的搭接应均匀严密、整齐美观。

3. 金属保护层的固定应牢固、无松动，间距应均匀一致。设备及管道金属保护层的接缝应顺水搭接。

4. 直管段金属护壳外圆周长的下料，应比绝热层外圆周长加长 30 ~ 50mm。护壳环向及纵向搭接一边应压出凸筋，环向搭接尺寸不得少于 50mm，纵向搭接尺寸不得少于 30mm。

5. 弯头与直管段上金属护壳的搭接尺寸，高温管道应为 75 ~ 150mm；中、低温管道应为 50 ~ 70mm；保冷管道应为 30 ~ 50mm。搭接部位不得固定。

6. 水平管道金属保护层的环向接缝应沿管道坡向，搭向低处，其纵向接缝宜布置在水平中心线下方的 15° ~ 45° 处，并应缝口朝下。

7. 管道金属保护层的纵向接缝，当为保冷结构时，应采用金属包装带抱箍固定，间距宜为 250 ~ 300mm；当为保温结构时，可采用自攻螺丝或抽芯铆钉固定，间距宜为 150 ~ 200mm，间距应均匀一致。

8. 当固定保冷结构的金属保护层时，严禁损坏防潮层。

9. 当有下列情况之一时，金属保护层必须按照规定嵌填密封剂或在接缝处包缠密封带：



- 9.1 露天、潮湿环境中的保温设备、管道和室内外的保冷设备、管道与其附件的金属保护层。
- 9.2 保冷管道的直管段与其附件的金属保护层接缝部位，以及管道支吊架穿出金属护壳的部位。
10. 管道在法兰断开处及三通部位金属保护层的施工质量验收应符合下列规定：
- 10.1 管道保温在法兰断开处的端面应用金属保护层做成防水结构进行封堵，且不得与奥氏体不锈钢管材或高温管道相接触。
- 10.2 管道保冷在法兰断开处的端面应做成封闭的防潮防水结构或用防水胶泥抹成 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的圆锥形状抹面保护层。
- 10.3 管道三通部位金属保护层支管与主管在相交部位宜翻边固定，并应顺水搭接。
11. 压型板的下料，应按设备外形和压型板的尺寸进行排版拼样，并应采用机械切割，不得用火焰切割。
12. 下列部位保护层均不得固定：
- 12.1 管道弯头与直管段上金属护壳的搭接部位。
- 12.2 直管段金属护壳膨胀的环向接缝部位。
- 12.3 静置设备、转动机械的金属护壳膨胀缝的部位。
13. 大型贮罐及设备金属保护层的施工质量验收应符合下列规定：
- 13.1 当采用平壁非压型板金属保护层时，保护层的接缝应呈棋盘形错列布置，纵向接缝应上、下错缝 $1/2$ ，环缝应与水平一致，搭接缝应上口压下口。
- 13.2 当采用大截面平壁压型板金属保护层时，保护层的结构形式应满足强度和防水要求，并应接缝严密、平整美观。
- 13.3 风力较大地区的大型贮罐及设备应设置加固金属箍带，加固金属箍带之间的间距应小于 450mm。
14. 圆形封头设备及球形容器的金属保护层的施工质量验收应符合下列规定：
- 14.1 金属保护层的接缝应呈棋盘形错列布置，纵向接缝应上、下错缝 $1/2$ ，环缝应与水平一致，搭接缝应上口压下口。
- 14.2 当圆形设备绝热层外径小于 600mm 时，封头可做成平盖式；当绝热层外径大于或等于 600mm 时，封头应做成橘瓣式。
15. 金属保护层椭圆度和平整度的质量验收应符合下列规定：
- 15.1 管道金属保护层椭圆度公差不得大于 8mm。
- 15.2 金属保护层表面平整度的质量要求表面平整度允许偏差 $\pm 3\text{mm}$ 。
16. 采用毡、箔、布、防水卷材和玻璃钢制品等包缠型保护层的施工质量验收应符合下列规定：
- 16.1 外观应无松脱、翻边、豁口、翘缝、气泡等缺陷，表面应整洁美观。
- 16.2 接缝粘贴应严密、牢固。
- 16.3 管道环向与纵向接缝搭接尺寸不应小于 50mm，设备平壁或大型贮罐接缝的搭接尺寸不应小于 30mm。接缝搭接尺寸应均匀，并应整齐美观。

17. 当采用阻燃型防水卷材及涂膜弹性体做保护层时, 应符合下列规定:

17.1 防水涂料的配制应按产品说明书的要求进行。

17.2 当施工防水涂料时, 绝热层表面的接缝处尚应嵌平、光滑, 并不得高出绝热层表面。

17.3 卷材包扎的环向、纵向接缝的搭接尺寸不应小于 50mm。接缝处可采用专用涂料粘贴封口。

18. 当采用玻璃钢保护层时, 应符合下列规定:

18.1 玻璃钢可分为预制成型和现场制作(现绕), 可采用粘贴、铆接、组装的方法进行连接。

18.2 玻璃钢的配制应严格按设计文件及产品说明书的要求进行。

18.3 当现场制作玻璃钢时, 铺衬的基布应紧密贴合, 并应顺次排净气泡。胶料涂刷应饱满, 并应达到设计要求的层数和厚度。

19. 抹面保护层表面应无疏松层, 使用前应无明显的干缩裂缝, 不得露出铁丝头和铁丝网, 表面应平整光洁, 室外抹面层表面应做防水处理。

20. 抹面保护层伸缩缝的留设应符合设计要求或下列规定:

20.1 高温管道抹面层的断缝应与保温层的伸缩缝留在同一部位。

20.2 大型设备抹面层留出的方格形或环形凹槽伸缩缝的宽度应为 8mm ~ 12mm, 深度应为 5mm ~ 8mm, 伸缩缝外观应整齐美观。

四. 绝热工程常见质量通病及防治

(一) 雨雪天、寒冷季节施工, 无防雨雪和防冻措施:

雨雪天、寒冷季节施工, 应采取防雨雪和防冻措施, 并对现场的措施进行检查确认。

(二) 绝热层同层不错位、上下层不压缝:

绝热层施工时应进行技术交底, 施工过程中进行中间检查, 应该按规范要求施工。

(三) 绝热材料受潮使用:

受潮绝热材料经过干燥处理后, 性能仍能达不到要求的, 应及时清理出场, 绝热材料保管时应采取防潮、防雨措施。

(四) 绝热性能不良:

绝热材料严格按标准选用, 并抽样检查, 合格者才能使用, 施工时必须严格按设计规定的厚度进行施工, 防潮层应缠紧并搭接, 搭接宽度 30 ~ 50mm, 封口朝下, 并封口严密。

(五) 绝热结构不牢, 薄厚不均:

按设计及官方要求安装支承件, 焊接要牢固; 用预制瓦块结构绝热时, 如聚苯乙烯泡沫塑料, 需用粘接剂粘牢, 瓦块厚均一致, 绑扎件要拧紧。

(六) 防潮层不平整、均匀, 有凸角、凹坑及起砂现象:

对设置防潮层的绝热层外表面, 应清理干净, 并保持干燥, 施工时应进行中间检查验收。

(七) 金属保护层松脱、翻边、豁口、翘边和明显凹坑:

保护层插接、搭接、咬接、自攻螺丝固定要牢固, 下料尺寸要准确, 采取机械切割和加工。

(八) 护壳凹凸不平, 表面粗糙:



用铝板或镀锌铁皮做保护层时，根据绝热层外缘加搭接长度（缝宽）下料、滚圆，安装时，纵向搭接宽度一致，纵缝搭口朝下。

（九）管道端部护壳敞口：

按现场实测下料，下料时应留出必要的咬口余量；阀门、法兰等处的金属保护层宜选用 0.5mm 厚是镀锌铁皮，预制成可拆式的。

（十）金属保护层固定间距不符合要求，护壳固定铆钉间距过大：

金属保护层施工时，固定铆钉前应先用量尺定位，并根据固定部位复杂程度适量增加铆钉，一保证间距均匀美观和符合规范规定。

（十一）保护层的成果损坏：

已安装好的金属护壳上，不准踩踏或堆放物品。对于不可避免的踩踏部位，应采取临时保护措施。

（十二）绝热层妨碍管道支吊架的热位移：

绝热层施工时，应测量检查是否妨碍支吊架的热位移，如影响则应进行修正。

CNCEC

第三十一章 化工电气安装工程

第一节 化工装置电气专业特点

一、化工装置的特点

- (一) 生产高度连续
- (二) 自动化程度高
- (三) 高温、高压
- (四) 易燃、易爆、有毒、腐蚀性介质多

二、化工装置电气专业特点

(一) 用电负荷等级高

由于化工装置生产的高度连续性,不正常停电会造成设备损坏、原材料及产品大量报废、连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复,严重时甚至会造成人身伤亡事故的发生,因此,化工装置用电负荷一般按一级负荷考虑,即有来自不同母线段的两路电源,特别重要的负荷还要有应急电源,例如化工装置消防系统、自控系统 DCS、主要变电所控制及操作电源、应急及疏散指示照明、强制排风系统等。应急电源根据用电设备允许断电时间及容量一般有以下几种类型:

干电池:如应急照明

蓄电池:如变电所控制及操作电源

不间断电源(UPS 或 EPS):如 DCS 电源

带自启动装置柴油发电机:如消防水泵

(二) 部分装置用电设备电压等级高、容量大

例如:多晶硅、离子膜烧碱、空分、硫酸项目等部分装置,由于化工工艺原理决定了用电设备容量大,电压等级高。电源采用高电压等级,高压用电设备一般为 10kV、35kV;有的用电设备负荷电流可达几千或上万安培。由于高电压、大电流,从而对设备和材料的绝缘质量和运行环境的散热要求很高。

(三) 控制线路复杂

由于化工装置自动化程度高,工艺流程复杂,工艺参数多,决定了化工装置电气设备控制线路较复杂。

(四) 电气设备防护等级高

化工装置生产环境恶劣,有些装置处于露天、风沙等环境,因此对电气设备的防护等级要求高。

(五) 火灾、爆炸事故隐患大,防爆电器多

由于化工生产工艺的原因,决定化工装置多处于高温、高压、易燃、易爆的环境。有统计资

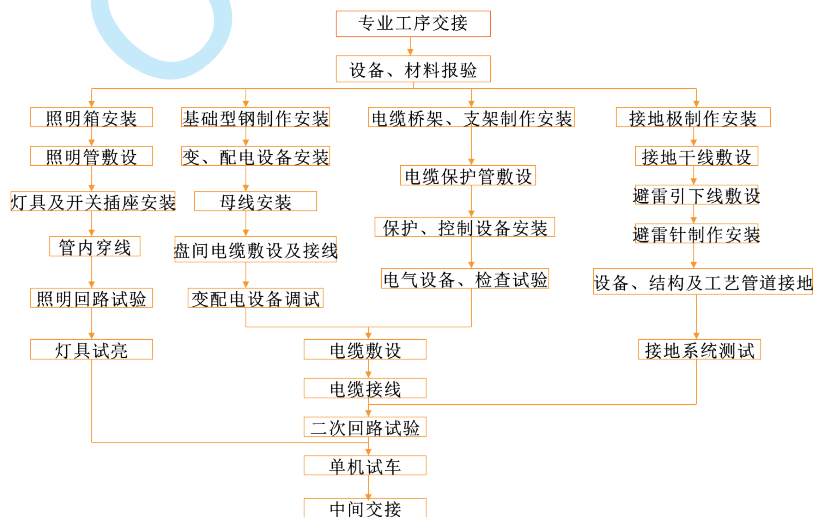


料表明，化工生产装置 80% 以上出于爆炸及火灾危险环境。所处区域均为防爆区，所采用的设备多采用防爆型。

第二节 主要工作内容和分项工程

- 一、变压器安装（包括油浸电抗器、互感器等）
- 二、成套配电柜、控制柜（屏、台）和动力、照明配电箱（盘）安装
- 三、母线安装（包括应母线、插接式母线、封闭母线、绝缘子等）
- 四、高压电器安装（断路器、负荷开关、隔离开关、熔断器、电抗器等）
- 五、低压电器安装
- 六、电缆敷设（包括沟内、桥架内、构筑物内、电缆沟内、直埋等）
- 七、电缆头制作安装（包括高压、低压；热缩式、干包式等）
- 八、导管安装（包括钢导管、硬质塑料管、软质塑料管等）
- 九、旋转电机安装（包括高压、低压；交流、直流；异步、同步、汽轮发电机、调相机等）
- 十、蓄电池安装
- 十一、起重机安装
- 十二、66kV 及以下架空线路安装
- 十三、电力变流设备安装
- 十四、防雷装置安装（包括接闪器、避雷网、引下线等）
- 十五、接地装置安装（包括接地体、接地母线；室内明敷接地母线等）
- 十六、照明装置安装（包括灯具、吊扇、开关、插座等）

第三节 主要施工程序



上图是在正常情况下,主要的施工流程,但施工现场的条件和环境较为复杂,有的分项工程施工程序往往受各种施工条件的影响而不一定是同步的,其他专业的进度、设备材料进场时间等、各专业交叉施工都会使施工程序调整。

第四节 主要施工规范

一、国家和行业现行电气施工规范及其适用范围

(一)《建筑电气施工质量验收规范》GB50303-2015

适用电压等级为 35kV 及以下建筑电气安装工程的施工质量验收。

(二)《电气装置安装工程高压电器施工及验收规范》GB50147-2010

适用于交流 500kV 及以下的断路器、负荷开关、隔离开关、熔断器、电抗器(油浸式电抗器除外)、避雷器及电容器安装工程的施工和验收。

(三)《电气装置安装工程电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范》GB50148-2010

适用于 500kV 及以下、频率 50Hz 的电力变压器、油浸电抗器、电压互感器及电流互感器安装工程的施工和验收。

(四)《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》GB50149-2010

适用于 500kV 及以下母线、绝缘子及穿墙套管安装工程的施工和验收。

(五)《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》GB50168-2018

适用于 500kV 及以下电缆线路及附属设施施工及验收。

(六)《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》GB50169-2016

适用于电气装置安装工程接地装置的施工及验收。

(七)《电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范》GB50170-2018

适用于旋转电机中的电动机及容量 6000kW 及以上汽轮发电机、调相机的施工及验收。

(八)《电气装置安装工程盘、柜及二次回路结线施工及验收规范》GB50171-2012

适用于盘、柜及其二次回路接线安装工程的施工及验收。

(九)GB50172-2012《电气装置安装工程蓄电池施工及验收规范》

适用于电压为 12V 及以上、容量为 25A·h 及以上的阀控式密封铅酸蓄电池组和容量为 10A·h 及以上的镉镍碱性蓄电池组安装工程的施工与质量验收。

(十)《电气装置安装工程 66kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》GB50173-2014

适用于 66kV 及以下架空电力线路新建、改建、扩建工程的施工及验收。

(十一)《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB50254-2014

适用于交流 50Hz 或 60Hz,额定电压为 1000V 及以下,直流额定电压为 1500V 及以下通用低压电器的安装与验收。



(十二) 《电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范》GB50255-2014

适用于除电力系统高压直流输电和柔性交流输电以外的电力变流设备的施工、调试及验收。

(十三) 《电气装置安装工程起重机电气装置施工及验收规范》GB50256-2014

适用于建设工程中额定电压 10kV 及以下的各式起重机、电动葫芦的电气装置和滑触线安装工程的施工及验收。

(十四) 《电气装置安装工程爆炸及火灾危险环境电气装置施工及验收规范》GB50257-2014

适用于在生产、加工、处理、转运或贮存过程中出现或可能出现气体、蒸汽、粉尘、纤维爆炸性混合物和火灾危险物质环境的电气装置安装工程的施工及验收。

(十五) 《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》GB50150-2016

适用于 750kV 及以下交流电压等级新安装的、按照国家相关出厂试验标准试验合格的电气设备交接试验。

(十六) 《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》GB50601-2011

适用于新建、改建和扩建建筑物防雷工程的施工与质量验收。

(十七) 《建筑电气照明装置施工与验收规范》GB50617-2010

适用于工业与民用建筑物、构筑物中电气照明装置安装工程的施工与工程交接验收。

(十八) 《1KV 及以下配线工程施工与验收规范》GB50575-2010

适用于建筑物、构筑物中 1kV 及以下配线工程的施工与验收。

(十九) 《火灾自动报警系统施工及验收规范》GB50166—2019

适用于建(构)筑物中设置的火灾自动报警系统的施工、检测、验收及维护保养,不适用于火药、炸药、弹药、火工品等生产和贮存场所设置的火灾自动报警系统的施工、检测、验收及维护保养。

(二十) 《电梯工程施工质量验收规范》GB50310-2002

适用于电力驱动的曳引式或强制式电梯、液压电梯、自动扶梯和自动人行道安装工程质量的验收;本规范不适用于杂物电梯安装工程质量的验收。

(二十一) 《石油化工电气工程施工质量验收规范》SH3552-2013

适用于石油化工和以煤为原料的煤化工装置新建、扩建和改建工程电气施工质量验收。

(二十二) 《石油化工电气工程施工技术规程》SH3612-2013

适用于石油化工和以煤为原料的煤化工装置新建、扩建和改建工程电气安装工程施工。

(二十三) 其他标准规范

1 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013

2 《工业安装工程施工质量验收统一标准》GB/T50252-2018

3 《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011

4 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46—2005

5 《建设工程施工现场供用电安全规范》GB50194-2014

(二十四) 《工程建设标准强制性条文》(电力工程部分)2011 年版

二、规范使用过程中应注意的问题

（一）强制性条文

强制性条文——具有法律性的标准条款，是国家针对工程建设所颁布的法令法规配套标准。必须严格执行。

现行的国家《工程建设标准强制性条文（电力工程部分）（2011年版）》是2011年修订的，由中国电力企业联合会以中电联标准【2012】16号文件形式颁布实施的。修订的原则是，依据国家标准化的法律、行政法规和强制性标准。2011年版中选入的所有条款均是现行电力工程建设国家标准、行业标准中直接有关工程建设的，涉及安全、人身健康与卫生、环境保护和其他公众利益的且必须严格执行的条款。

《工程建设标准强制性条文（电力工程部分）（2011年版）》是电力工程建设过程中应强制执行的技术法规，是参与电力工程建设活动各方执行工程建设强制性标准的重要内容，执行“强制性条文”是从技术上保证工程质量与安全的关键，同时，作为国务院《建设工程质量管理条例》的配套文件，也是政府对执行工程建设强制性标准的情况进行监督检查的依据。编制、实施“强制性条文”，对提高电力工程建设质量、改善安全状况起到积极的促进作用。

（二）规范中对要求严格程度不同的用词的说明

1、表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2、表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4、表示有选择，在一定条件下可以这样做的，用“可”。

第五节 施工质量管理

一、技术与质量、施工规范与质量验收规范

施工过程的施工行为是靠技术来支撑的，而质量建立在技术的平台上，两者的管理路线既有侧重又有相容，管理的内容既有一定的区别又有紧密的联系。技术是在施工过程中体现质量的好坏，质量是在施工结果上反映施工过程技术的高低。

我们施工过程所执行的规范叫××施工及验收规范，它是我们施工行为的准则，所以施工行为必须符合施工规范。验收所执行的规范叫××质量验收规范，它是工程验收的准则，是检验施工行为最终结果的标准，所以工程验收必须符合质量验收标准。从两种规范的关联性来看，只要施工行为符合施工规范，那么，施工的结果就可以达到质量验收标准。

二、主要施工质量管理要点



电气安装工程施工质量管理涉及多方面，且自始至终贯穿于施工的全过程。唯有牢固地树立“质量第一”的思想，采用科学的方法，严格的管理，认真把好每一道工序、每一个环节质量关，才能保证整个工程的质量。

（一）建立质量保证体系

为了保证工程施工质量，必须建立质保体系，负责对工程施工质量的检查、监督和管理。做到层层把关，人人负责。

（二）制定电气安装工程施工质量管理目标

电气安装工程施工质量管理的目标，就是通过安装施工过程中的科学管理，实现设计和规范的要求，保证工程的施工质量。

（三）影响电气安装工程施工质量的因素

在电气安装工程施工过程中，影响安装施工质量的因素是多方面的。施工管理者只有事先预测到影响安装施工质量的诸因素，在管理中针对这些因素采取有效的控制措施，才可能实现电气安装工程施工质量管理的目标。影响电气安装工程施工质量的主要因素主要有以下几个方面：

1. 人员和组织

人的因素第一。项目各级领导、质量管理人员和施工人员的质量意识、技术业务素质和责任心对工程施工质量至关重要，缺一不可。没有与工程技术难易程度相适应的技术水平、有责任心的施工人员去管理和参与施工，就谈不上保证工程的质量。还应有一个协同配合的组织，如果没有各技术工种的有机配合，协同施工及高素质的管理人员的检查和监督，也难以保证整个工程的质量。

2. 施工技术措施及施工机械、设备、工具

电气安装工程施工质量要靠科学施工方法和工艺来保证，但同时合格的和状况良好的机械、设备、工具不但能提高施工效率，对保证施工质量也是至关重要的。例如，电气调整试验阶段，调试、计量设备必须是经过国家认可的检定和计量机构检定的，且使用时必须是在有效检定期内的。没有经过检定或超过检定期的调试计量设备，不能可靠的检验电气设备、电缆、元器件等质量状况，不能准确的反映各项性能和参数的正确性，会对电气系统的可靠运行产生不利的影响，从而影响到工艺设备的运行的连续性和可靠性，甚至于产品质量都会受到影响，严重时会给生产企业造成严重的损失。

3. 施工的环境条件、气候条件

施工的环境、气候条件直接影响到电气装置的施工质量。所以要选择和创造有利于保证施工质量的环境条件和气候条件。相关规范对变压器器身检查、设备耐压试验、电缆敷设等都有环境温度、湿度、作业环境等都做了相关的规定，满足这些条件时才可以进行上述项目的施工。

4. 工种之间的交叉作业

一个工程项目同时可能出现多工种交叉作业。例如，电气预埋、接地装置安装、变电所电气设备安装、电缆桥架安装、电气配管、电缆敷设等，都会与建筑和安装专业交叉作业，不同程度

的对电气施工质量造成影响。建筑施工的砂、石、砼会进入电线管将其堵塞；接地装置被挖断、电缆桥架受外力变形、电缆被损坏等等。所以电气安装与其他专业交叉作业时，要合理安排交叉作业的时间和程序，同时采取必要的成品保护措施。

5. 不合理的工期

施工现场经常遇到某个装置节点提前或整个项目提前完工的要求，往往不是由于施工单位的原因造成了工期延误，为了抢回工期，所以对施工企业提出压缩工期的要求。这不仅给施工企业在施工成本形成了压力，也对施工质量造成了不利的影响。由于忙于赶工期，使一些科学合理的施工程序和时间不能正常实施，从而使得施工人员匆匆忙忙，操作方法不到位，程序省略，时间缩短，如果安排不合理，监管不到位，则会为工程质量埋下了隐患。所以，除了适当的增加施工人员，适当延长作业时间，要着手从提高施工效率上下功夫，质量管理人员还要加强质量监督、工序控制，采取措施，减少返工，防止产生质量隐患。

6. 电气设备、材料的质量问题

电气设备、材料自身质量也直接影响着安装工程施工质量。要做好电气设备和材料的进场验收工作，做好验收记录。施工过程中，根据规范规定做好检验、试验、测量等工作，发现的设备材料缺陷，及时上报，不合格品不得使用。

（四）电气施工四个阶段质量管理

针对可能影响电气安装工程施工质量的诸多因素，必须在施工过程中各个施工环节采取有效的管理措施，严格控制，以保证整个工程的质量。

1. 施工准备阶段

1.1 针对人员的因素和劳动组织的影响，在施工前，施工组织者要根据电气工程的具体情况，按工程施工技术的难易程度配置相适应的技术人员，同时对施工班组进行优化劳动组合。

1.2 施工前要组织技术人员和班组进行内部图纸会审，尤其是一次系统图、二次原理图要深度掌握。对设计图纸中存在的问题及时整理，为外部图纸会审做准备。

1.3 针对施工项目的特点认真编制施工方案，制定质量保证措施、质量通病预防措施，提出科学的施工方法和工艺，选用适和本项目的施工机械、设备、工具。施工方案要经过技术负责人审核，定稿前要集思广益，重大的方案要组织有关人员讨论或讲评。对调试方案、受送电方案要有详尽的操作方法和操作步骤，应有很强的操作性。从技术上保证施工质量管理目标的实现。

1.4 为了使施工人员熟练掌握工程图纸和施工规范，工程技术人员要向施工班组进行图纸、施工验收规范和施工方案的技术、质量交底。

总之，施工前期的质量管理主要是：强化质量意识，明确质量目标，落实质量责任。

2. 安装阶段

2.1 严把设备、材料质量关，执行设备、材料报验制度；

2.2 严格按照经审核、批准的施工方案施工；

2.3 对隐蔽工程、关键部位、关键工序、关键设备的施工实现全过程监督和检查，必要时，实



行旁站；

2.4 严格执行工序交接验收制度，有问题的必须及时处理，不合格的不得验收。禁止上一工序的质量问题带入下一道工序。

3. 调试阶段

电气安装工作结束后，按照国家有关规范要求，应对电气设备及其保护装置进行调试工作，以检验安装质量及设备质量是否符合有关设计和技术要求。调试工作结束后，应进行电气装置的系统试运行工作，主要是对电气装置运行状态进行检验，是否符合设计要求和电气运行要求。调试过程中必须严格按照调试方案的程序和步骤进行，要同步做好各项调试记录，力求做到数据真实。

4. 竣工阶段

4.1 电气安装调试工作结束后，要对照设计图纸查看工程实体的每个施工部位与设计图纸是否一致。要对工程实体进行全方位的质量检查，最终确认施工质量是否符合相应质量验收规范的要求。

4.2 要全面核查工程施工的全部技术资料，并重点通过查验质量证明文件、调试报告、施工质量记录等施工质量文件来证实工程实体的内在质量是否符合设计文件和标准规范的要求。

4.3 对检查中发现的不符合项，应及时下达给有关施工单位，责成施工单位按照要求完成整改。

4.4 施工单位完成的整改内容，应通过文字形式，及时反馈检查人核查确认。检查人必须准确核查所提问题均已按设计图纸、施工规范、质量验收标准整改合格。

三、质量记录收集整理

（一）基本要求

1. 项目开工前，应编制施工技术文件的编制计划和收集计划，明确施工技术文件、主要施工图的内容、格式和数量要求，并得到建设单位或其他相关部门的认可。

2. 应对施工图和设计技术文件（含设计变更文件）的有效性进行管理。并应建立文件目录及收发台账，设计变更文件宜在相应施工图上标识变更内容。

3. 技术人员应负责工程施工范围内施工技术文件的编制、整理、审核和汇编，并应与工程进度同步进行。

4. 应按质量管理程序、标准规范要求及时办理过程质量的确认和文件的确认手续。

（二）施工过程技术文件、交工技术文件的编制与整理

1. 应按工程合同和质量管理要求，编制下列施工质量管理及技术文件，并在工程施工前得到批准确认：

1.1 施工方案或技术措施；

1.2 施工作业指导书；

1.3 质量计划、检验试验计划或工序质量控制计划。

2. 应在施工过程中形成、积累的施工过程技术文件。施工过程技术文件应包括：质量策划的输出文件、过程实现质量控制记录、工程质量符合行政法规和标准规范要求的见证文件等内容。并应符合下列规定：

2.1 设备 / 材料质量证明文件应在设备安装前或材料投用前确认。应对设备 / 材料质量证明文件进行核查和管理, 建立编号, 按专业工程编制目录。

2.2 质量控制记录应在转入下道工序前进行确认。

3. 应与工程进度同步形成、积累、编制与整理交工技术文件。交工技术文件的内容至少应包括下列内容:

3.1 施工方案;

3.2 中间交接、交工验收等工程交付文件;

3.3 工程施工质量检验、检测等质量验收文件;

3.4 设备、材料质量证明文件及材料的检测、试验报告;

3.5 竣工图。

(三) 电气安装分项工程主要质量验收记录种类

1. 工程竣工图。

2. 变更设计的证明文件。

3. 各种报验资料。

4. 制造厂提供的材质检验证明、合格证件、产品说明书等技术文件。

5. 设备材料检验记录。

6. 根据合同提供的备品备件清单。

7. 安装记录。

8. 调整试验记录。

9. 隐蔽工程的技术记录。

第六节 主要电气分项工程部分施工质量要求

一、变压器安装

(一) 开箱检查时, 要重点进行外观检查, 不得有受外部冲击的痕迹, 绝缘套管不得有裂纹损伤, 本体不得有渗油漏油现象, 核对随机技术资料是否与设计和产品铭牌相符;

(二) 在安装施工过程中, 要保证设备的绝缘不受潮湿和不受污染。绝缘受潮的电力变压器, 必须进行干燥以除去潮湿。

(三) 附件安装必须严格按说明书操作, 要注意使各个附件与油箱连接部分密封良好, 不渗油漏油。

(四) 注、补油前, 变压器油必须是经过强度试验并符合要求的, 必须先对滤油机进行循环清理。注补油时, 必须严格按说明书的程序和操作方法进行操作。补加油结束后变压器应静置 72 小时以上, 然后按说明书进行排放气。

(五) 变压器进行交接试验前, 应再次对变压器进行检查和清扫, 试验用设备和仪器必须在

有效的检定期内。

(六) 试验项目和标准必须严格按规范进行, 不得随意增减项目或增减标准

二、高低压盘柜安装

(一) 认真做好“开箱验收检查记录”, 基础未作验收以前不要过早地拆除设备的包装。

(二) 基础中的预留预埋工作在土建施工时就应严格把关, 基础槽钢安装时还应注意, 要满足盘顶母线 B 相的中心与穿墙孔的中心、变压器的 B 相中心线尽量重合的要求, 以利母线的安装。

(三) 成排配电柜(盘、屏)安装时, 柜与柜之间应用螺栓固定好, 无明显缝隙。盘顶平直度与盘面平直度及垂直度等应符合规范的规定。型钢上的螺栓连接孔, 不得用气焊切割开孔。

(四) 有时有接地导线截面不够的情况, 必须更换。保护地线不得串接。

(五) 盘后配线排列不整齐。应按支路绑扎成束, 并固定在盘内。

三、母线安装

(一) 母线出厂合格证件或材质证明应齐全。

(二) 母线表面应光洁平整, 不应有裂纹、折皱、夹杂物及变形和扭曲现象。

(三) 成套供应的封闭母线、插线母线槽的各段应标志清晰, 附件齐全, 外壳无变形, 内部无损伤。所有焊接部位(如母线、母线补偿器接头、外壳及其连接套管等)应符合母线的焊接规定。螺栓固定的母线搭接面应平整, 其镀银层不应麻面、起皮及未覆盖部分。

(四) 各种金属构件的安装螺孔不应采用气焊割孔或电焊吹孔。

(五) 金属构件除锈应彻底, 防腐漆应涂刷均匀, 粘合牢固, 不得有起层、皱皮等缺陷;

(六) 母线涂漆应均匀, 无起层、皱皮等缺陷;

(七) 支持绝缘子的座、套管的法兰、保护网(罩)等不带电的金属构件应按规定进行接地。接地线宜排列整齐, 方向一致。不应作为接地(PE)或接零(PEN)的接续导体。

(八) 母线连接时, 搭接长度应符合规范要求, 搭接面加工平整清洁, 连接螺栓数量规格符合规范, 贯穿方向外露丝扣符合要求。母线连接后应逐个检查紧固螺栓, 不应有松动, 附件不全现象。

四、电缆桥架安装

(一) 沿电缆桥架敷设铜绞线、镀锌扁钢及利用沿桥架构成电气通路的金属构件, 如安装托架用的金属构件作为接地网时, 电缆桥架接地时应符合下列规定:

1. 电缆桥架全长不大于 30m 时, 与接地网相连不应少于 2 处。
2. 全长大于 30m 时, 应每隔 20m ~ 30m 增加与接地网的连接点。
3. 电缆桥架的起始端和终点端应与接地网可靠连接。

(二) 金属电缆桥架的接地应符合下列规定:

1. 宜在电缆桥架的支吊架上焊接螺栓, 和电缆桥架主体采用两端压接铜鼻子的铜绞线跨接, 跨接线最小截面积不应小于 4mm²。

2. 电缆桥架的镀锌支吊架和镀锌电缆桥架之间无跨接地线时, 其间的连接处应有不少于 2 个带有防松螺帽或防松垫圈的螺栓固定。

(三) 电缆桥架的接地干线应沿电缆桥边架设, 直线段每隔 1.5m 固定一次, 转弯处应增设固定点。接地干线每隔 25m 与接地干线连接一次。当电缆桥架有数层电缆桥时, 接地干线只架设在顶层的电缆桥边上。并每隔 6m 与下面各层跨接一次。

(四) 电缆桥架的加工应采用等离子切割机, 不得使用电气焊, 以免损伤电缆桥架表面的防腐层。

(五) 桥架的支架应安装设计图纸的要求制作, 并且支架的材料采用热镀锌槽钢或角钢, 支架间距应根据电缆桥架的强度、质量、内含的电缆数量的多少来确定。但支架的间距不可大于 3 米。

(六) 桥架及其支架等安装完毕后, 焊点和支架要进行冷镀锌并刷一层防腐漆。

五、电缆敷设

(一) 三相四线制配电系统中应采用四芯电力电缆, 不应采用三芯电缆另加一根单芯电缆或以导线、电缆金属护套作中性线。

(二) 交流系统的单芯电缆或三芯电缆分相后, 固定夹具不得构成闭合磁路, 宜采用非铁磁性材料。

(三) 在构筑物中, 并列敷设的电力电缆, 其相互间的净距应符合设计要求。电缆敷设完毕后, 应及时清除杂物, 盖好盖板, 必要时, 尚应将盖板缝隙密封, 以免水、汽、油、灰等侵入。

(四) 在支架上敷设时, 交流三芯电力电缆在普通支架上不宜超过一层, 桥架上不宜超过 2 层。

(五) 直埋电缆应做好隐蔽工程记录, 报监理验收后, 方可进行回填土。

(六) 电缆出入电缆沟、隧道、竖井、建筑物、柜(盘); 电缆敷设排列整齐, 水平敷设的电缆, 首尾两端、转弯两侧及每隔 5 ~ 10m 处设固定点;

(七) 电缆头制作时, 从开始剥切到制作完毕, 必须连续进行, 一次完成, 以免受潮。

(八) 电缆头做耐压试验时, 认真清洁芯线绝缘表面, 以防泄漏电流过大。

六、防爆区域划分与电气设备及线路安装

(一) 爆炸火灾危险环境分区 (表 31-1)

表 31-1 爆炸火灾危险环境分区

爆炸物质	区域定义	分区
气体	连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境。	0 区
	正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境。	1 区
	正常运行时不太可能出现爆炸性气体混合物的环境, 或即使出现, 也仅是短时存在的爆炸性气体混合物的环境。	2 区
粉尘	空气中可燃性粉尘持续地或长期地或频繁地出现于爆炸性环境的区域。	20 区
	正常运行时, 空气中的可燃性粉尘云很可能偶尔出现于爆炸性环境的区域。	21 区
	正常运行时, 空气中的可燃性粉尘云一般不可能出现于爆炸性粉尘环境中的区域, 即使出现, 持续时间也是短暂的。	22 区

(二) 电气设备的防爆标志

EXx1x2x3x4 如 EXeIIBT2

EX—表示该设备为防爆电气设备

x1—表示防爆结构形式, 共分为 9 种, 分别为:



d—隔爆外壳；e—增安型；i—本安型；p—正压外壳型；o—油浸型；n—n 型电气设备；

x2—表示防爆电气设备的分类，共两类，分别为：

I—煤矿井下用防爆电气设备；II—其它场所用防爆电气设备

x3—爆炸物质的类别

x4—温度级别，表示该设备表面的最高允许温度。

（三）电气设备及线路安装

1. 防爆电气设备和材料的型号、规格应符合设计要求，铭牌、防爆标志应正确、清晰，并附有合格证。

2. 防爆电气设备的外壳应无裂纹、损伤，隔爆面（法兰面）上不应有砂眼和机械损伤，也不应有锈蚀和油污、油漆等杂物。接合面的紧固螺栓应齐全，弹簧垫圈也应齐全、完好。接地螺钉及接地标志应完好无损。

3. 镀锌管的镀锌层应完整。接线盒、管端、管接头上的螺纹应完整、光滑，防腐层完整。电缆密封压盖与电缆外径和密封圈应配套。

4. 防爆电气设备的进线口与电缆应能可靠地密封，电缆密封压盖内的弹性密封圈及金属垫应与电缆外径和密封压盖相匹配，弹性垫圈压紧后，必须将电缆周围均匀的挤紧密封。多余的进线口其弹性密封圈和金属垫片、封堵件等应齐全，且安装紧固，密封良好。

5. 在爆炸危险环境的电气设备的金属外壳、金属构架、安装在已接地的金属结构上的设备、金属配线管及其配件、电缆保护管、电缆的金属护套等非带电的裸露金属部分，均应接地。

6. 防爆区的电气设备应使用专用的接地线可靠接地，接地螺栓应带有弹簧垫圈，接触面应平整，并涂上电力复合脂。防爆灯具的金属外壳应用专用接地线可靠接地。

7. 引入爆炸危险环境的金属管道、配线的钢管、电缆的铠装及金属外壳，必须在危险区域的进口处接地。

8. 安装过程中，不得随意减少设备和材料的密封件，必须按顺序安装。

9. 防爆电气设备在每次受电前，都应检查电气设备的绝缘状况。对受潮的电气设备，应在对电气设备进行干燥处理后，绝缘恢复正常后才能受电运行。

10. 电缆（线）保护管应使用低压流体输送用镀锌焊接钢管，镀锌钢管采用螺纹连接，不得采用套管焊接。

11. 钢管连接点的螺纹部分应涂以铅油或磷化膏。在可能凝结冷凝水的地方，管线上应装设排除凝水的密封接头。

12. 电压为 1000V 及以下的钢管配线的技术要求应符合表 31-2 中的规定。

表 31-2 电压为 1000V 及以下的钢管配线的技术要求

爆炸危险区域	钢管配线用绝缘导线铜芯的最小截面（mm ² ）			管子连接要求
	电力	照明	控制	
1 区、20 区、21 区	2.5	2.5	2.5	钢管螺纹旋合不应少于 5 扣
2 区、22 区	2.5	1.5	1.5	

13. 电气管路之间不得采用倒扣连接；当连接有困难时，应采用防爆活接头，其结合面应密贴。

14. 在 1 区内电缆线路严禁有中间接头，在 2 区、20 区、21 区内不应有中间接头。

15. 爆炸危险环境内采用的低压电缆和绝缘导线，其额定电压必须高于线路的工作电压，且不得低于 500V，绝缘导线必须敷设于钢管内。电气工作中性线绝缘层的额定电压，必须与相电压相同，并必须在同一护套或钢管内敷设。

16. 电缆线路在爆炸危险环境内，必须在相应的防爆接线盒或分线盒内连接或分路。

17. 电缆线路宜从电气设备的底部时入，当由上往下从侧面进入电气设备时，应做防水弯，以防雨水顺着电缆线路渗入电气设备内。

18. 防爆挠性连接管的两端应连接牢固，弯曲半径不应小于管外径的 5 倍。

七、防雷接地安装

（一）避雷网及引下线焊接面不够，焊口有夹渣、咬肉、裂纹、气孔及药皮处理不干净等现象。应按规范要求修补更改。

（二）引下线不垂直，超出允许偏差。引下线应横平竖直，超差应及时纠正。

（三）利用主筋作防雷引下线时，除主筋截面不得小于 90mm² 外，其焊接方法可采用压弧焊，对焊等；以上接头处可做防雷引下线，但需进行隐蔽工程检查验收。

（四）避雷线不平直、超出允许偏差，调整后应横平竖直。

（五）卡子螺丝松动，应及时将螺丝拧紧。

（六）变形缝处未做补偿处理，应补做。

（七）垂直接地体的间距不宜小于其长度的两倍，水平接地体的间距应根据设计规定，不宜小于 5m。

（八）接地干线至少应在不同的两点与接地网相连接。自然接地体至少应在不同的两点与接地干线相连接。

（九）接地极的连接应采用焊接，接地线与接地极的连接应采用焊接。异种金属接地极之间连接时接头处应采取防止电化学腐蚀的措施。

（十）电气设备上的接地线，应用热镀锌螺栓连接；有色金属接地线不能采用焊接时，可用螺栓连接。螺栓连接处的接触面应按现行国家标准《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》GB50149 的规定执行

（十一）热镀锌钢材焊接时，在焊痕外最小 100mm 范围内应采取可靠的防腐处理。在做防腐处理前，表面应除锈并去掉焊接处残留的焊药。

（十二）接地线、接地极采用电弧焊连接时应采用搭接焊，其搭接长度应符合下列规定：

1. 扁钢为其宽度的 2 倍且不得少于 3 个棱边焊接；

2. 圆钢为其直径的 6 倍；

3. 圆钢与扁钢连接时，其长度应为圆钢直径的 6 倍；

4. 扁钢与钢管、扁钢与角钢焊接时，除应在其接触部位两侧进行焊接外，还应由钢带或钢带



弯成的卡子与钢管或角钢焊接。

(十三) 接地体(线)为铜与铜或铜与钢的连接工艺采用热剂焊(放热焊接)时,其熔接接头必须符合下列规定:

1. 被连接的导体截面应完全包裹在接头内;
2. 被连接的导体接头表面应完全熔合;
3. 接头的表面应平滑;
4. 接头应无贯穿性的气孔。

(十四) 敷设完接地体的土沟回填土内不应夹有石块、建筑材料或垃圾等。

(十五) 接地体埋深或间隔距离不够。按设计要求执行。

(十六) 接地端子漏垫弹簧垫,应及时补齐。

(十七) 电气装置的接地必须单独与接地母线或接地网相连接,严禁在一条接地线中串接两个及两个以上需要接地的电气装置。

(十八) 变压器室、高低压配电室接地干线至少应在不同的两点与接地网相连接。

(十九) 变压器室、高低压配电室接地干线上应设有专供连接临时接地线使用的接线板和螺栓,且不应少于两处。

第七节 质量验收

一、质量验收规范

(一) 2000年起,原建设部相继颁布了三大系列规范:《建筑工程制图系列标准》、《建筑工程结构设计系列规范》、《建筑工程施工质量验收系列规范》。

全面推行三大系列规范是我国工程建设是我国标准化历史上一项重大举措,尤其是《建筑工程施工质量验收系列规范》对我们施工单位建筑工程质量验收提供了国家法制性的依据,因此,全面系统掌握新规范是我们每一个施工技术、质量管理人员从事施工管理工作必须具备的条件之一。

(二) 质量验收规范体现了“验评分离、强化验收、完善手段、过程控制”的指导思想

1. 验评分离主要体现在原施工及验收规范中,施工工艺与质量验收分离;原质量验评标准中,质量检验与质量评定分离。

将验收评定标准中质量检验与施工规范中验收衔接,形成工程质量验收规范。

将施工工艺部分作为企业标准或行业标准。

将质量评定部分作为评价企业操作水平的推荐性标准。

《质量验收规范》、《施工工艺指南》、《评优标准》与质量管理的监督、保证、评价三大体系相呼应。

《验收规范》——————作为验收依据——————与质量监督相呼应

《施工工艺指南》————指导企业具体操作——与质量保证相呼应

《评优标准》——————评定优良工程的准绳——与评定体系相呼应

2. 强化验收主要是《质量验收规范》作为强制性标准是建设工程必须完成的最低标准，必须达到。它的强化体现在：

2.1 是强制性标准；

2.2 只设一个合格等级；

2.3 质量指标必须达到；

2.4 增加了检测项目。

3. 完善手段主要从三个阶段改进：

3.1 完善施工准备阶段的材料、设备的检验；

3.2 改进施工阶段的施工试验；

3.3 竣工阶段工程抽测项目，减少人为因素主观评价。

4. 过程控制，必须做到：

4.1 建立过程控制的各项制度；

4.2 设置控制要求：中间控制、合格控制、综合考核；

4.3 验收规范中本身规定的分项、分部、单位工程的逐次检查验收就是严格的过程控制。

二、施工及验收规范与质量验收规范施行现状

（一）国家现行标准《建筑电气施工质量验收规范》GB50303-2015，此验收的标准分为主控项目和一般项目，各地方有具体的验收标准内容和验收记录表格。

（二）国家现行标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 与《建筑电气施工质量验收规范》GB50303-2015 配套使用。

（三）《工业安装工程施工质量验收统一标准》GB/T50252-2018

目前工业项目电气施工所使用的国家规范有很多，都是施工及验收规范，目前还没有相配套的质量验收规范。由全国化工施工标准化管理中心站主编，国家住房和城乡建设部、市场监督管理总局发布的国家标准《工业安装工程施工质量验收统一标准》GB/T50252 — 2018 制定了验收的形式，规范构架及验收表格格式与《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013 相似，但是，“分项工程质量验收记录”中“检验项目”具体的验收标准没有规定，在实施中需要相关方确定，与施工及验收规范配套起来。

（四）《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011

目前石油化工项目大多使用 SH 系列规范。《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 与《石油化工电气工程施工质量验收规范》SH3552-2013 配套使用。有具体的验收标准。

（五）《石油化工电气工程施工质量验收规范》SH3552-2013

从规范内容看，大部分引用了国家现行质量验收规范和国家现行施工及验收规范，验



收标准比较详细。

目前石油、化工项目主要执行《石油化工电气工程施工质量验收规范》SH3552-2013

三、质量验收内容

(一) 主要包括工程实体及其观感性、功能性等验收和技术资料的验收。

(二) 验收的工程实体主要有：电气装置、电气设备、电气线路等。

(三) 工程技术资料是指在电气施工中形成或收集的各类技术与技术管理资料，主要包括：承建工程的交工技术文件和施工过程技术文件；施工组织设计和施工方案；图纸和产品生产厂商提供的技术资料等。

四、质量验收程序和组织及验收记录

(一) 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2013

1. 质量验收的程序和组织

1.1 检验批由专业监理工程师组织施工单位项目专业质量检查员、专业工长等进行验收。

1.2 分项工程验收由专业监理工程师组织施工单位项目专业技术负责人等进行验收。

1.3 分部工程由总监理工程师组织施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收。

2. 质量验收记录

2.1 检验批质量验收记录为 GB50300—2013 附录 E。

“施工单位检查结果”一栏，由专业工长和项目专业质量检查员签字；“监理单位验收结论”一栏，由专业监理工程师签字。

2.2 分项工程质量验收记录为 GB50300—2013 附录 F。

“施工单位检查结果”一栏，由项目专业技术负责人签字；“监理单位验收结论”一栏，由专业监理工程师签字。

2.3 分部工程质量验收记录为 GB50300—2013 附录 G。

“施工单位”一栏，由项目负责人签字；“勘察单位”一栏，由项目负责人签字；“设计单位”一栏，由项目负责人签字；“监理单位”一栏，由总监理工程师签字。

(二) 《工业安装工程质量检验评定统一标准》GB/T50252-2018

1. 施工质量验收的程序及组织

1.1 工业安装工程施工质量验收应按检验项目（检验批）、分项工程、分部工程、单位工程顺序逐级进行验收。

1.2 检验项目（检验批）、分项工程应在施工单位自检合格的基础上，由施工单位（总承包单位）向建设单位（监理单位）提出报验申请，由建设单位专业工程师（监理工程师）组织施工单位（总承包单位）项目专业工程师进行验收，并填写验收记录。

1.3 分部工程应在各分项工程验收合格的基础上，由施工单位（总承包单位）向建设单位（监理单位）提出报验申请，由建设单位质量技术负责人（总监理工程师）组织监理、设计、施工等有关单位质量技术负责人进行验收，并应填写验收记录。

1.4 当工程由分包单位施工时，其总承包单位应对工程质量全面负责，并由总承包单位报验。

2. 质量验收记录

2.1 分项工程质量验收记录为《工业安装工程质量检验评定统一标准》GB/T50252-2018 附录 B。

“建设 / 监理单位”一栏，由专业工程师签字；“总承包 / 设计单位”一栏，由专业工程师签字；“施工单位”一栏，由质量检验员和专业工程师签字。

2.2 分部（子分部）工程质量验收记录为《工业安装工程质量检验评定统一标准》GB/T50252-2018 附录 C。

“建设 / 监理单位”一栏，由项目质量技术负责人和总监理工程师签字；“总承包 / 设计单位”一栏，由项目负责人和项目质量技术负责人签字；“施工单位”一栏，由项目负责人和项目质量技术负责人签字。

（三）《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011

1. 质量验收程序和组织

1.1 施工质量验收应按单项工程进行，并应按检验批、分项工程、分部工程、单位工程 / 子单位工程、工程交工验收顺序逐级进行验收。

1.2 施工质量验收应在专业工程施工质量验收规范规定的检验项目检验合格后，由施工单位 / 总承包单位向建设单位 / 监理单位提交申请报告，建设单位 / 监理单位按下列规定组织、施工单位 / 总承包单位参加进行施工质量验收，并填写验收记录：

1.2.1 实施工程监理的项目

1.1.2.1 检验批及分项工程由监理工程师组织、施工单位质量工程师参加验收；

1.1.2.2 分部工程由总监理工程师组织、施工单位项目总工程师参加验收；

1.1.2.3 单位工程 / 子单位工程由建设单位项目经理组织、监理单位总监理工程师、施工单位项目经理参加验收；

1.2.2 未实施工程监理的项目

1.2.2.1 检验批、分项工程由建设单位代表组织、施工单位质量工程师参加验收；

1.2.2.2 分部工程由建设单位代表组织、施工单位项目总工程师参加验收；

1.2.2.3 单位工程 / 子单位工程由建设单位项目经理组织、施工单位项目经理参加验收；

1.2.3 实行总承包的项目：

1.2.3.1 总承包单位专业工程师参加检验批及分项工程验收；

1.2.3.2 总承包单位项目总工程师参加分部工程验收；

1.2.3.3 总承包单位项目经理参加单位工程 / 子单位工程验收；

1.2.4 组织验收与参加验收的单位应在质量验收记录上签署意见或签字认可。

2. 质量验收及记录

2.1 检验批质量验收记录为《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 附录 A 中 A.2 号。



“建设单位”一栏，由项目代表签字；“监理单位”一栏，由监理工程师签字；“总承包单位”一栏，由专业工程师签字；“施工单位”一栏，由质量检查员签字。

2.2 分项工程质量验收记录《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 附录 A 中 A.3 号。“建设单位”一栏，由项目代表签字；“监理单位”一栏，由监理工程师签字；“总承包单位”一栏，由专业工程师签字；“施工单位”一栏，由质量工程师签字。

2.3 分部工程质量验收记录《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 附录 A 中 A.4 号。“建设单位”一栏，由项目代表签字；“监理单位”一栏，由总监理工程师签字；“总承包单位”一栏，由项目总工程师签字；“施工单位”一栏，由项目总工程师签字。

2.4 子单位工程质量验收记录《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 附录 A 中 A.5 号。“建设单位”一栏，由项目经理签字；“监理单位”一栏，由总监理工程师签字；“总承包单位”一栏，由项目经理签字；“施工单位”一栏，由项目经理签字。

2.5 单位工程质量验收记录《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 附录 A 中 A.6 号。“建设单位”一栏，由项目经理签字；“监理单位”一栏，由总监理工程师签字；“总承包单位”一栏，由项目经理签字；“施工单位”一栏，由项目经理签字。

2.6 工程观感质量验收记录《石油化工安装工程施工质量验收统一标准》SH/T3508-2011 附录 A 中 A.7 号。“建设单位”一栏，由项目代表签字；“监理单位”一栏，由监理工程师签字；“总承包单位”一栏，由专业工程师签字；“施工单位”一栏，由专业工程师签字。

第三十二章 化工仪表安装工程

第一节 仪表设备和材料的检验及保管

一、工作内容

自动化仪表设备和材料开箱检验及保管。

二、主要控制环节

(一) 仪表设备开箱检验

(二) 材料开箱检验

(三) 仪表设备和材料保管要求

三、质量检验

(一) 仪表设备开箱检验

1. 开箱前检查仪表设备包装及密封是否完好；
2. 仪表设备外观检查有无运输造成的损坏；
3. 仪表设备型号、规格、材质、数量与装箱单、设计文件的要求一致；
4. 仪表设备铭牌是否清晰牢固，附件齐全，防爆及防护等级要符合设计文件的要求；
5. 产品的技术文件和质量证明书齐全。
6. 开箱领用仪表盘、柜、箱时，应进行以下检查：
 - 6.1 表面平整，内外漆层完好；
 - 6.2 外形尺寸和安装孔径尺寸，盘、柜、箱内的所有仪表、电源设备及其所有部件的型号、规格均应与设计文件相符合。

7. 成套设备随机仪表开箱检验

- 7.1 核对已安装仪表型号、规格、材质及数量与合同技术附件要一致；
- 7.2 已安装仪表设备的安装质量要符合规范要求；
- 7.3 需现场安装的仪表设备型号、规格、材质、数量应和装箱单一致，质量证明文件要齐全；
- 7.4 仪表部分随机资料要齐全。

(二) 材料开箱检验

1. 核对到货仪表安装材料的型号、规格、材质及数量应和材料计划表一致，铭牌标志清晰，质量证明文件齐全；
2. 铬钼合金钢、含镍低温钢、含钼奥氏体不锈钢管道和加工件应采用光谱分析或其他方法对主要合金元素含量进行验证性检验。
3. 成套设备材料开箱检验核对需现场安装材料的型号、规格、材质及数量应和装箱单一致，



质量证明文件齐全。

（三）仪表设备和材料保管要求

1. 仪表设备保管要求

1.1 仪表设备开箱验收合格后应按其要求的保管条件分区、分类存放在防潮、防寒的标准库房内保管，标识明显清晰；

1.2 贵重易损、易碎、精密的仪表设备要轻拿轻放，严禁挤压、碰撞，要用专用区域存放并有妥善的保护措施；

1.3 脱脂合格的仪表设备必须封闭保存，并加设标识；

1.4 成套设备随机仪表设备开箱验收合格后要用专用区域保管，标识要写上所用的成套设备。

2. 仪表材料保管要求

2.1 仪表材料验收合格后要针对不同的材料，采取相应的存储措施分区、分类保管，并堆放整齐，做好防护，避免材料锈蚀、损坏。在每种材料旁设标志牌，标明材料品名、规格及检验状态等；

2.2 不锈钢和有色金属不得与碳钢接触；

2.3 脱脂合格的仪表阀、管子和其他管道组成件必须封闭保存，并加设标识。

四、常见质量通病及防治

（一）搬运过程损伤仪表：

装卸和运输过程中要有保护措施，禁止扔、砸现象，避免挤压碰撞。从入库检验直至仪表安装就位，均要保留仪表的保护性外包装。

（二）材料摆放混乱：

规定仪表材料要根据不同的材料分区、分类保管，堆放要整齐，每种材料旁设标志牌，材料下面要采取措施与地面隔离。并要定期检查。

第二节 取源部件安装

一、工程内容

自动化仪表温度、压力、流量、物位和分析取源部件的安装

二、主要控制环节

（一）焊接检查

（二）检测仪表取源部件的安装检查

三、质量检验

（一）焊接检查

1. 检查仪表导压管、阀门、管件等的施焊人员，应有相应的有效资格证。

2. 使用的焊材应符合不同材质仪表管道、阀门、管件等对焊材的要求，焊条必须按规定要求进行烘焙，且重复烘焙次数不超过二次。

3. 焊缝过渡应圆滑、匀直，接头良好。焊缝表面不允许有裂纹，未熔合、气孔、夹渣等缺陷。

(二) 检测仪表取源部件的安装检查

1. 检查取源部件的结构尺寸、材质和安装位置应符合设计文件要求。

2. 检查设备上的取源部件，应在设备制造的同时安装。

3. 检查设备或管道上安装取源部件的开孔和焊接，必须在设备或管道的衬里和压力试验前进行；取源部件安装完毕后，应随同设备和管道进行压力试验。

4. 检查取源部件安装时的开孔机焊接，不宜开在焊缝及其边缘上。

5. 检查温度取源部件的安装方向：当与管道相互垂直安装时，取源部件轴线应于管道轴线垂直相交；当在管道拐弯处或呈倾斜角度安装时，宜逆着物流方向安装。

6. 检查压力取源部件的安装方向：

6.1 安装压力取源部件时，其端部不应超出设备或管道内壁；压力取源部件与温度取源部件在同一管段上时，应安装在温度取源部件的上游侧；

6.2 当检测带有尘土、固定颗粒、或沉淀物等混浊物料的压力时，在挫折倾斜的设备或管道上，取源部件应倾斜向上安装，在水平管道上宜顺物流束成锐角安装；

6.3 当检测温度高于 60℃ 的液体、蒸汽和可凝气体的压力时，就地安装的压力表的取源部件应带有环形或 U 形冷凝弯；

6.4 在水平或倾斜管道上安装压力取源部件时，取压点的方位应符合规范规定。

7. 检查流量取源部件安装：

7.1 流量取源部件上下游直管段最小长度应符合设计文件规定和产品说明书要求，并且在直管段最小长度范围内不得设置其他取源部件或检测元件；

7.2 节流装置的取压扣方位应符合规范规定；

7.3 皮托管、文丘里式皮托管和均速管等流量检测元件的取源部件的轴线，必须与管道轴线垂直相交。

8. 检查物位取源部件安装：

8.1 内浮筒液位计和浮球液位计的导向装置必须垂直安装并应保证导向管内液流畅通；

8.2 双室平衡容器安装前应复核制造尺寸，检查内部管道的严密性，并垂直安装，使其中心点与正常液位重合；

8.3 单室平衡容器安装标高应符合设计文件规定，补偿式平衡容器安装固定时，应有防止因被测容器热膨胀而破损坏的措施；

8.4 安装浮球式液位计的法兰短管必须保证浮球在全量程范围内自由活动；

8.5 电接点水位计的测量筒应垂直安装，并使零水位电极的中轴线与被测容器零水位线处于同一高度；

8.6 静压液位计取源部件的安装位置应远离液体出口。

9. 检查分析取源部件安装：在水平或倾斜管道上安装分析取源部件，其方位应符合规范规定；



被分析的气体中含有固体或液体杂质时，取源部件的轴线与水平线之间的仰角应大于 15° 。

四、常见质量通病及防治

（一）取源部件取压口位置不对：

取源部件施工前，要进行有关不同介质工艺管道取压口开孔位置要求的技术交底，施工过程中加强巡查，及时发现，及时整改。

（二）取源部件取压口开孔小于取源部件孔内径：

在开孔时，要依据取源部件孔内径，在开孔位置画合适的标记再进行作业。

（三）取源部件取压口开用气割：

取源部件施工前，要进行有关高压、合金钢、有色金属设备和管道上开孔时，要采用机械加工的方法的技术交底，施工过程中加强巡查，及时发现，及时制止。

（四）取源部件取压短管碰弯或者螺纹损坏：

把取源部件安装施工程序安排到工艺施工完毕后，减少取压短管碰创，有螺纹的取源部件焊接后加装保护套管，防止螺纹碰坏。

（五）取源点开孔位置距管线的焊缝过近。

取源口与焊缝之间的距离应符合焊接要求，一般不小于管外径。如必须在规定局部无损探伤的焊缝及其边缘上开孔，则被开孔中心周围不少于 1.5 倍开孔直径范围内的焊缝要全部进行无损探伤。

（六）焊缝表面有气孔、夹渣、未熔合等缺陷，焊缝成形差：

施焊人员，应有相应的有效资格证。不合格焊工和无证焊工不得进行设备、管道及有关结构上的焊接工作。

第三节 仪表设备安装

一、工程内容

自动化仪表安装工程的仪表、盘、柜、箱、部件等设备安装。

二、主要控制环节

（一）仪表盘、柜、箱安装检查

（二）检测仪表设备的安装检查

（三）仪表电源设备安装检查

三、质量检验

（一）仪表盘、柜、箱安装检查

1. 检查仪表盘、柜、操作台的基础安装：

用尺量和拉线的方法，检查仪表盘、柜、操作台的型钢底座制作尺寸，应于盘、柜、操作台相符，其直线度偏差不应大于 1mm，当型钢底座长度大于 5m 时，全长偏差不应大于 5mm；型钢底座宜

高出地面，并进行了防腐处理。

2. 检查仪表盘、柜、操作台的安装：

2.1 其固定要牢固，仪表盘、柜、操作台之间及盘、柜、操作台内各设备构件之间的连接应牢固；安装用的紧固件应为防锈材料，安装固定不得采用焊接方式；

2.2 用长钢尺、吊线、水平仪检查盘、柜、操作台安装的垂直度偏差不应大于 1.5mm/m，水平度偏差不应大于 1mm/m；

2.3 成排仪表盘、柜、操作台安装时，同一系列规格相邻两盘、柜、台的顶部高度差不应大于 2mm；当同一系列盘、柜、台间的连接处超过 2 处时，顶部高度差不应大于 5mm；相邻两盘、柜、台间的接缝处正面的平面度偏差，不应大于 1mm；

2.4 当盘、柜、台间的连接处超过 5 处时，正面的平面度偏差，不应大于 5mm；相邻两盘、柜、台间的接缝间隙，不应大于 2mm；

2.5 当仪表盘、柜、操作台安装在振动场所，应按设计文件要求采取防振措施。当仪表盘、柜、操作台安装在多尘、潮湿、有腐蚀性气体或爆炸和火灾危险环境，应按设计文件要求采取密封措施；

2.6 仪表盘、柜、台、箱在搬运和安装过程中应防止变形和表面油漆损伤，安装及加工中严禁使用气焊方法。

3. 用钢尺、吊线、水平检查仪表箱、保温箱、保护箱的安装：其固定要牢固，垂直度偏差不应大于 3mm，当箱高大于 1.2m 时，垂直度偏差不应大于 4mm；水平度偏差不应大于 3mm；成排安装时应整齐美观。

4. 尺量检查就地接线箱安装：箱体中心距操作地面高度宜为 1.2~1.5m，接线箱应密封和标明编号，箱内接线应标明线号。

(二) 检测仪表设备及部件的安装检查

1. 仪表安装前应按设计数据核对其位号、型号、规格、材质和附件；检查仪表设备的产品铭牌和位号标志应齐全、牢固、清晰。安装在爆炸危险环境的仪表规格型号要符合设计文件规定，要有铭牌和防爆标识，铭牌上标明国家授权的机构颁发的防爆合格证编号。

2. 安装过程中不得敲击、震动仪表。

3. 检查设计文件规定需脱脂的仪表，安装前必须脱脂合格。

4. 检查直接安装在管道上的仪表的安装时间，应在管道吹扫后压力试验前，并随同设备、管道系统进行压力试验；必须与管道同时安装时，管道吹扫前应将仪表拆下。仪表外壳上箭头的指向应于管料的流向一致。

5. 检查仪表上接线盒的引入口，不应向上，当不可避免时应采取密封措施；施工过程中应及时封闭接线盒盖及引入口。

6. 仪表毛细管的敷设要有保护措施，其弯曲半径不应小于 50mm。

7. 检查温度检测仪表安装：

7.1 测温元件安装在易受物料强烈冲击位置，或水平安装时其插入深度大于 1m，或被测温度



大于 700℃时，应采取防弯曲措施；

7.2 表面温度计的感温面应与被测对象表面紧密接触，固定牢固；压力式温度计的温包必须全部浸入被测对象中，毛细管的敷设应有保护措施，其弯曲半径不应小于 50mm。

8. 检查压力检测仪表安装：

8.1 现场安装的压力表不应固定在有强烈振动的设备或管道上；

8.2 测量高压的压力表，宜距地面 1.8m 以上，或在仪表正面加保护罩。

9. 检查流量检测仪表安装：

9.1 孔板等节流装置安装前应进行外观检查，入口边缘应无毛刺和圆角，孔板材质应符合设计要求。孔板的锐边应迎着被测介质的流向，不得装反；

9.2 节流元件必须在管道吹扫后安装。节流元件的密封垫片内径不应小于管道内径，夹紧后不得突入管道内壁；

9.3 差压计或差压变送器正负压室与测量管道的连接必须正确，引压管倾斜方向和坡度以及分离器、冷凝器、沉降器、集气器的安装均应符合设计文件的规定。各种流量计的安装方位、角度和轴线偏差、直管段长度、以及信号线等均应符合规范规定。

10. 检查物位检测仪表安装：

10.1 浮筒液位计的安装应使浮筒呈垂直状态，垂直度允许偏差应为 2mm/m。浮筒中心应处于正常操作液位或分界液位的高度；

10.2 钢带液位计的导管应垂直安装，钢带应处于导管的中心并应滑动自如；

10.3 雷达物位计、超声波物位计不应安装在进料口的上方，传感器要垂直物料表面；

10.4 物位开关安装要符合规范要求。

11. 检查机械量检测仪表安装：

11.1 电阻应变式称重仪表的负荷传感器安装要呈垂直状态，传感器的主轴线要与加荷轴线相重合，各个传感器的受力要均匀。传感器的支承面及底面均应平滑，不得有锈蚀，擦伤及杂物；

11.2 测量位移，振动，速度等机械量仪表的测量探头安装要在机械安装完毕，被测机械部件处于工作位置时进行，探头的定位要按照产品说明书和机械设备制造厂技术文件的要求确定和固定。

12. 检查成分分析和物性检测仪表安装：

12.1 分析取样系统的预处理装置应单独安装，并宜靠近传送器；

12.2 被分析样品的排放管应直接与排放总管连接，总管应引至室外安全场所，其集液处应有排液装置；

12.3 可燃气体检测器和有毒气体检测器的安装位置应根据所检测气体的密度确定。其密度大于空气时，检测器应安装在距地面 200 ~ 300mm 的位置；其密度小于空气时，检测器应安装在泄漏区域的上方。

13. 检查执行器的安装：

13.1 控制阀的安装位置要便于观察，操作和维护；

13.2 执行机构应固定牢固，操作手轮应处在便于操作的位置。执行机构的机械传动要灵活，没有松动和卡涩现象；

13.3 气动及液动执行机构的信号管应有伸缩余度，不得妨碍执行机构的动作；

13.4 电磁阀的进出口方位要安装正确，安装前要检查线圈与阀体间的绝缘电阻。

（三）仪表电源设备安装检查

1. 检查电源设备的外观及其技术性能，应符合以下规定：

1.1 继电器、接触器和开关的触点，接触应紧密可靠，动作灵活，无锈蚀；

1.2 固定和接线用的紧固件、接线端子应完好无损，且无污染和锈蚀；

1.3 防爆电器设备及附件的密封垫、填料函，应完整、密封；设备的电气绝缘性能、输出电压值、熔断器的容量应符合产品说明书的规定。

2. 检查就地仪表供电箱的规格、型号和安装位置，应符合设计文件要求；箱体中心距操作地面的高度宜为 1.2~1.5m；成排安装时应排列整齐、美观。

3. 检查电源设备的安装：应牢固、整齐、美观，设备位号、端子位号、用途标志、操作标志等应完整无缺，强电、弱电端子应分开布置。

4. 尺量检查盘柜内安装的电气设备及配电线路，其电气间隙和爬电距离应符合规范规定。

5. 检查金属供电箱的接地要牢固可靠，接地标志明显。

四、常见质量通病及防治

（一）仪表盘、柜底座尺寸与型钢基础尺寸不符：

型钢制作前，要和设计、厂家仔细核对图纸，进度允许的情况下，可以盘柜到货实量。

（二）型钢基础防腐不全：

防腐前要对型钢基础除锈、防腐涂料进行检查，防腐后再进行检查，如有漏防腐和损坏的则及时补刷防腐涂料。

（三）在控制室内条件不完备的情况下安装仪表盘、柜：

安装前必须进行条件确认检查，其土建工程应已完工并办理了交接，门、窗要安装完毕、屋面防水已施工完验收合格。

（四）安装过程中仪表盘、柜的表面被污染和油漆被损坏：

安装过程中运、吊时要采用对盘、柜表面的保护措施；安装完毕后室内不应有其他专业施工，如有，要对盘、柜采取保护措施。

（五）仪表设备安装后被弄脏，油漆被损坏：

仪表设备要在合适时期安装，安装后应及时采取包、裹、遮、盖等保护措施；对设备上的易损、易丢失件，可采取临时拆除保管的措施。

（六）仪表台、箱、板的固定，使用电、气焊接：

应采用固定件连接方式，在安装前应向施工人员进行安装技术要求交底。

（七）仪表污损：



仪表出库后，现场堆放要整齐，在室外要上盖下垫，及时安装，不安装的仪表及调节阀不要久置地面，安装前不要拆除保护性外包装。

（八）管道试压时拆下的调节阀、开关阀随意堆放，没有防护措施：

管道试压时须将调节阀等拆下，拆下的调节阀应放在铺垫的木板上，不得放在泥土地上，要有专人保管，两端口要进行封堵保护。

（九）孔板安装方向不对：

孔板安装时要根据图纸确定管道介质流向，按规范规定的安装方向检查确定无误后再进行安装。

（十）安装好的仪表毛细管不做保护：

在仪表设备安装前，要对施工人员做有针对性的安装技术交底。要统一用角钢、小槽盒或其他合适保护毛细管的材料对毛细管进行保护性制作、安装。

第四节 仪表线路安装

一、工程内容

自动化仪表安装工程的支架制作、电缆槽、保护管安装及仪表电气线路敷设。

二、主要控制环节

- （一）支架制作、安装检查
- （二）电缆槽、保护管安装前检查
- （三）电缆、电线、光缆敷设前型号、规格检查
- （四）电缆绝缘性检查
- （五）电缆校、接线检查
- （六）仪表线路隔热、防火措施

三、质量检验

- （一）支架制作、安装检查

1. 检查需要支架的材质、规格、结构形式应和设计文件一致。
2. 检查支架制作：应平直，切口处无卷边和毛刺，开孔光洁，制作好的支架牢固、平正；被损伤的防腐层应修补好。

3. 检查支架的安装固定：

3.1 在允许焊接的金属结构、设备、管道和混凝土预埋件上应采用焊接固定，且焊接质量应符合要求，不得有超过允许的咬边等缺陷；

3.2 当支架与设备、管道材质不同或需要加强时，应先焊接一块与设备、管道同材质的加强板。在不允许焊接的管道上应采用U型卡等进行固定；在混凝土上安装支架可采用膨胀螺栓固定。支架应固定牢固、横平竖直、整齐美观，在同一直线段上的支架间距应均匀。

4. 检查支架位置：不得与高温或低温管道直接接触。
5. 检查支架在有坡度的电缆沟和有弧度的设备上的安装：应安装成相同的坡度和弧度。
6. 检查支架间距：电缆槽及保护管的金属支架间距宜为 2m，在拐弯处和终端处应设置支架。支架敷设电缆的支架间距，当水平敷设时宜为 0.8m，垂直敷设时宜为 1m。

（二）电缆槽安装检查

1. 电缆槽安装前的外观检查。槽内外应平整、槽内应光洁、无毛刺、有排水孔、配件齐全。
2. 检查电缆槽的安装固定：宜采用半圆头螺栓连接固定，且螺母应在电缆槽外侧；必须采用焊接方式连接时，应焊接牢固，且不应有明显的焊接变形。

3. 检查电缆槽的安装外观：

- 3.1 竖直、排列整齐，拐弯处的弯曲弧度一致。
- 3.2 槽与槽之间、槽与仪表盘、柜箱之间、槽与盖之间、盖与盖之间的连接处，应对合严密，槽的端口应封闭。

3. 检查电缆槽的垂直段：当垂直段大于 2m 时，应在垂直段上、下端增设固定电缆用的支架；当垂直段大于 4m 时，还应在其中部增设支架。

4. 检查电缆桥架或电缆沟道通过不同等级的爆炸危险区域的分隔间壁时，在分隔间壁处要做充填密封。

（三）保护管安装检查：

1. 电缆导管安装前要检查其有没有变形及裂缝，内部应清洁，无毛刺。管口应光滑，无锐边。
2. 检查保护管的制作和外观：弯曲角度不应小于 90°，单根保护管的直角弯不宜超过 2 个，弯曲半径不应小于所穿电缆的最小允许弯曲半径。当保护管的直线长度超过 30m 或弯曲角度总和超过 270° 时，应在其中间加装拉线盒。保护管不应有裂缝，其内部应清洁、无毛刺，两端管口应带护线箍或打成喇叭形，管口应光滑无锐边。

3. 检查保护管的连接：

3.1 金属保护管采用螺纹连接时，管端螺纹长度应大于管接头的 1/2，用套管焊接连接（镀锌管和薄壁管不应采用焊接）时，焊接应牢固，焊口应严密，并进行防腐处理。保护管与检测元件或现场仪表之间，应用金属挠性管连接，并设有防水弯，与接地仪表箱、接线箱、拉线箱等连接时应密封，并固定牢固。

3.2 安装在爆炸危险区域的电缆保护管之间及电缆保护管与接线箱（盒）、穿线盒之间，应采用螺纹连接，螺纹有效啮合部分不应少于 5 扣，螺纹处要涂电力复合脂，锁紧螺母要锁紧，连接处要保证良好的电气连续性。

4. 检查保护管的安装：

4.1 埋入墙体或混凝土的保护管，离表面的净距离不应小于 15mm；埋设的保护管引出地面时，管口宜高出地面 200mm，从地下引入落地式仪表盘、柜箱时，宜高出盘、柜、箱内地面 50mm；穿墙保护套管或保护罩伸出墙面的长度不应大于 30mm。



4.2 保护管穿过楼板或钢平台等需开孔时，不得切断楼板内钢筋或平台钢梁。保护管应排列整齐，固定牢固，固定点均匀。保护管有可能受雨水或潮气浸入时，应在其最低点采用排水措施；有可能有粉尘、液体、腐蚀性或潮湿气体进入管内时，其两端管口应密封。

4.3 电缆保护管穿过不同等级爆炸危险区域的分隔间壁时，分界处电缆保护管盒电缆之间、电缆保护管与分隔间壁之间必须充填密封。电缆保护管与仪表、检测元件、电气设备、接线箱连接时，或进入仪表盘、柜、箱时，应安装防爆密封管件，并充填密封。

（四）检查电缆、电线敷设，应符合下列要求：

1. 检查需敷设电缆、电线、光缆的型号、规格应和设计文件一致。
2. 检查电缆电线和光缆应导通，外观应无损伤；用直流兆欧表测量电缆电线的绝缘电阻，不应小于 $5\text{M}\Omega$ ；光缆的弯曲半径不应小于光缆外径的 15 倍。
3. 敷设仪表电缆时的环境温度对于塑料绝缘电缆 $> 0^{\circ}\text{C}$ ；对于橡皮绝缘电缆 $> -15^{\circ}\text{C}$ 。
4. 塑料绝缘、橡皮绝缘多芯控制电缆的弯曲半径，不应小于其外径的 10 倍。
5. 电缆沿支架敷设时，应绑扎固定。
6. 线路与绝热设备、管道绝热层之间的距离应大于 200mm，与其他设备、管道表面之间的距离应大于 150mm。
7. 明敷设的仪表信号线路与具有强磁场和强静电场的设备之间的净距离，宜大于 1.5m；当采用屏蔽电缆或穿金属保护管以及在带盖的金属电缆槽内敷设时，宜大于 0.8m。
8. 各种不同性质的线路，应采用各自的保护管。
9. 从室外进入室内时应有防水和封堵措施；进入室外盘、柜箱时，应从底部进入并应有防水密封措施。
10. 检查电缆敷设应排列整齐、固定时应松紧适当；绝缘层应无损坏。
11. 线路敷设完及校线和标号后，断开所连接的仪表设备及部件测量电缆电线的绝缘电阻，不应小于 $5\text{M}\Omega$ 。
12. 光缆的连接和测试应符合产品说明书的规定。
13. 线路的终端处及地下埋设的线路，应加标志牌及设明显标识。
14. 电缆头制作和电缆屏蔽接地应符合规范规定。

（五）仪表线路配线检查

1. 检查仪表盘、柜、箱内的线路不应有接头，其绝缘层不应有损伤；盘、柜、箱内明线敷设的电缆电线束，应用绝缘材料扎带扎牢，扎带间距宜为 100 ~ 200mm。
2. 检查电缆与端子的连接应牢固、导电良好，线端应有标号。
3. 检查仪表盘、柜、箱内接线端子的安装应牢固；当其在仪表盘、柜、箱底部时，距离基础面的高度不宜小于 250mm；在顶部及侧面时，与盘、柜、箱边缘的距离不宜小于 100mm；多组接线端子板并排安装时，其间净距离不宜小于 200mm。
4. 检查备用芯线，应接在备用端子上或按可能使用的最大长度进行预留，并标注备用线号。

5. 检查本质安全回路，应采取了与其它回路的隔离措施。

6. 防爆仪表和电气设备接入电缆时，电缆要用弹性密封圈挤紧不松动，空余接口，要用堵头密封，弹性密封圈的一个孔只能密封一根电缆。

四、常见质量通病及防治

（一）支架未及时防腐：

支架制作要使用规定的防腐涂料进行防腐，对施焊后损坏的防腐应及时补刷。

（二）桥架观感不平直：

支架安装前应先测量定位，桥架安装时应观察检查不平直的地方，将其调整平直后固定牢固；对电缆电线敷设中造成不平直的地方，应重新调整平直。

（三）安装后的桥架内部不清洁：

宜在安装部位上部无土建和其他专业施工时安装，或安装完毕后及时采取遮盖等保护措施，以防污染。

（四）桥架没有漏水孔：

仔细核对桥架的规格型号，对没有漏水孔的桥架应采用进行开孔，并清除毛刺。

（五）不同型号的电缆未隔离：

敷设前应仔细核对图纸，采取相应的隔离措施，对未隔离的重新进行隔离。

（六）电缆敷设时垂直下弯处不绑扎：

在电缆敷设过程中应加强检查，做到放一根扎一根。

（七）标识不完善：

加强现场巡查，督促完善标识。

（八）电缆槽分支开孔用气割：

加强现场巡查，一经发现，应要求立刻返工，以使施工人员杜绝这种行为。

（九）支架间距过大，与不同材质的设备、管道直接焊接：

支架安装时应先按要求间距进行定位；在与不同材质的设备、管道直接焊接固定时，应先在设备、管道上焊接与设备、管道同材料的垫板，再将支架焊接在垫板上；不允许焊接的设备、管道应采取其他方法安装固定支架。

（十）仪表设备上接线盒入口朝上，不封闭：

加强现场巡查，一经发现，立即进行纠正。

第五节 接地工程

一、工程内容

自动化仪表安装工程现场仪表的外壳、仪表盘、柜、箱、盒、支架、底座及控制系统等金属部分的接地安装



二、主要控制环节

(一) 现场仪表设备的接地检查

(二) 控制系统的接地检查

(三) 仪表线路的接地检查

三、质量检查

(一) 现场仪表设备的接地检查

1. 检查供电电压高于 36V 的现场仪表的外壳、仪表盘、柜、箱、盒、支架、底座等正常不带电的金属部分的保护接地。

2. 仪表保护接地应接到电气工程低压电气设备的保护接地网上，连接应牢固可靠，不应串联接地。

(二) 控制系统的接地检查

1. 仪表及控制系统的工作接地、保护接地应共用接地装置。接地电阻值要符合设计文件规定。

2. 接地系统的连线要采用铜芯绝缘电线或电缆，用镀锌螺栓紧固。接地线的标识颜色

应采用绿、黄色两色或绿色。接地总干线与接地体之间要焊接。当控制室、机柜室内的接地干线采用扁钢时，要进行绝缘，绝缘要到接地装置的连接点。接地汇流排要采用铜材，用绝缘支架固定。

3. 检查仪表盘、柜、箱内各回路的各类接地，应分别由各自的接地支线引至接地汇流排或接地端子板，由接地汇流排或接地端子板引出接地干线，再与接地总干线和接地极相连。各接地支线、汇流排或端子板之间在非连接处应相互绝缘。

4. 检查仪表及控制系统的工作接地，工作接地包括信号回路接地和屏蔽接地，以及特殊要求的本质安全电路接地，接地系统的连接方式和接地电阻值是否符合设计文件规定。

5. 检查各仪表回路应只有一个信号回路接地点。信号回路的接地点要在显示仪表侧，当采用接地型热电偶和检测元件已接地的仪表时，在显示仪表侧不应再接地。

(三) 仪表线路的接地检查

1. 仪表电缆的屏蔽层要在控制室仪表盘柜侧接地，同一回路的屏蔽层应具有可靠的电气连续性，不要浮空或重复接地。铠装电缆的铠装两端应进行保护接地。

2. 在中间接线箱内，主电缆分屏蔽层与二次电缆屏蔽层要对应连接，不同的屏蔽层应分别连接，并加套管绝缘。

四、质量通病

(一) 接地端子压接不牢：

接地端子压接安装完成后，要仔细检查是否牢固，发现问题及时整改。

(二) 各类接地连接不清：

连接接地线时，要依据接地系统图分清各类接地，分类连接，分类绑扎，由各自的接地支线引至接地汇流排或接地端子板，由接地汇流排或接地端子板引出接地干线，再与接地总干线和接

地极相连。

第六节 仪表管道安装

一、工程内容

自动化仪表安装工程测量管道、气动管道、液压管道等仪表管道敷设。

二、主要控制环节

- (一) 仪表管道安装前的型号、规格、材质检查
- (二) 一般仪表管道的敷设检查
- (三) 焊接检查
- (四) 测量管道的安装检查
- (五) 气源管道的安装检查
- (六) 盘、柜、箱内管道安装检查
- (七) 管道试验

三、质量检验

(一) 焊接检查

1. 检查焊工技能：焊工应持有效证件上岗，其合格项目应与施焊的项目、位置一致。对焊工技能有疑虑时，应对焊工进行现场技能考试，合格后方能上岗。

2. 检查现场焊接质量：仪表管道的对接焊缝外观成形应美观、不应有气孔、咬边、未熔合等缺陷，角焊缝焊角高度要符合要求，不应有气孔、咬边、明显偏弧等缺陷。

3. 检查焊材使用：应符合不同材质仪表管道对焊材的要求。

4. 阀门焊接时，应使阀门处于开启状态。

5. 焊接高压管，管口应加工坡口，坡口角度为 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 钝边为 $0.5 - 1.0\text{mm}$ ；高压管路需要分支时，应采用与管路同材质三通，不得在管路上直接开孔焊接。

(二) 仪表管道制作检查

1. 原材料、管件外观检查：检查质量保证书和实物，其材质、规格和型号应符合设计要求；管子外观检查无裂纹、伤痕和严重锈蚀等缺陷。螺纹、密封面加工良好，粗糙度等符合标准要求。

2. 检查金属管道弯制，应一次冷弯成形（高压管的弯制必需一次冷弯成形），外观应无裂纹、凹陷、皱褶和椭圆等现象。

高压管的弯曲半径宜大于管子外径的 5 倍，其他金属管的弯曲半径宜大于管子外径的

3.5 倍，塑料管的弯曲半径宜大于管子外径的 4.5 倍。

3. 检查需脱脂的管道，其脱脂应符合要求。

4. 检查埋地仪表管道，应经试压合格和防腐处理；直接埋地的管道连接必须采用焊接；在穿过道路及进出地面处应加保护套管。



5. 检查管道连接，直径小于 13mm 的铜管及不锈钢管，宜采用卡套式接头连接，也可采用承插法或套管法焊接。

采用承插法焊接时，其插入方向应顺着流体流向。

6. 检查仪表管道支架的安装，应满足仪表管道坡度的要求，支架间距应符合以下表 32-1 规定：

管道类型	水平安装	垂直安装
钢管	1.00 ~ 1.50mm	1.50 ~ 2.00mm
铜管、铅管、塑料管、管缆	0.50 ~ 0.70mm	0.70 ~ 1.00mm

7. 检查仪表管道安装，管道应采用管卡固定在支架上，当管道与支架有经常性的相对运动时，应在管道与支架间加木块或软垫；不锈钢管固定时，不得与碳钢材料直接接触，应加垫隔离。

（三）导压管道敷设检查

1. 导压管道到水平敷设时，应根据不同介质测量要求分别按 1:10 ~ 1:100 的坡度敷设，其倾斜方向应保证能排除气体或冷凝液，当不能满足要求时，应在管道集气处安装排气装置，集液处安装排液装置。

2. 导压管道与工艺设备、管道或建筑物表面之间的距离宜大于 50mm；测量油类及易燃易爆物资的管道与热表面支架的距离不应小于 150mm，且不应敷设在其上方。

3. 用于测量的导压管道在满足要求的条件下应尽量短，且不宜大于 15m。

4. 用于测量的导压管道与高温设备、管道连接时，应采取热膨胀补偿措施。

5. 测量导压管道与玻璃微压计连接时，应采用软管，管道与软管连接处应高出仪表接头 150 ~ 200mm。

6. 导压管道在穿墙或过楼板时，应安装保护管（罩），管子接头不得放在保护管（罩）内。管线由防爆厂或有毒厂房进入非防爆厂或无毒厂房时，在穿墙或过楼进行密封。

7. 导压管道的连接部分应与轴线一致，保证其严密性，不得有泄漏和节流现象。

8. 当管道成排安装时，应排列整齐，间距应均匀一致。

9. 高压管导压管路上应做出明显的标识，并应有详细的安装记录。

（四）剧毒、可燃介质导压管道敷设检查

1. 剧毒、可燃介质导压管道与高温设备、管道或建筑物的热表面距离应大于 150mm，且不宜平行敷设在其上方。

2. A 级管道上的导压管道用的管子应逐根进行外观及壁厚测量，其尺寸应符合制造标准；B 级管道上的管子应抽检 5%。

3. A 级管道上的导压管弯制时，宜选用壁厚有正偏差的管子，

4. 螺纹接头如采用密封焊时，不得所有密封胶带，其露出螺纹不应过长，并全部由密封焊缝覆盖。

5. 管子焊接时，应清洁管子内外表面，在 20mm 范围内不得有油漆、毛刺、锈斑、氧化皮及对焊接有害的物质。

6. 采用承插焊的高压导压管焊接部位宜着色检查。

7. 管道连接件安装前, 应检查其密封面, 不得有影响密封性能的缺陷。
8. 连接件选用的垫片、密封填料应符合设计要求; 非金属垫片应平整光滑, 边缘应切割整齐。
9. 敷设的剧毒、可燃介质的导压管道是应做出明显的标识, 并做详细的施工记录。

(五) 分析取样管道敷设检查

1. 取样系统管道应整齐布置, 并应使气体或液体能排放到安全地点。
2. 分析取样管道长度不宜超过 10m。取样系统部件应尽量减少, 以保证试样的正确传递和处理。
3. 管道敷设前应将管子、阀门、配件、各设备组件清洗干净, 保证无油、无锈、无有机物、无杂质。
4. 管道系统连接宜采用承插焊或对焊, 焊缝不得有裂纹, 内壁无杂质; 如采用螺纹连接, 密封填料不得进入系统内。

(六) 气动信号管线敷设检查

1. 仪表空气总管宜采用镀锌管、薄壁不锈钢管或黄铜管, 仪表空气过滤器下游可采用紫铜管、不锈钢管、铝管和塑料管, 但不得使用未镀锌的碳钢管。
2. 供气管采用镀锌管时, 应用螺纹连接, 且连接处必须密封; 缠绕密封带或涂抹密封胶时, 不应使其进入管内。支管应从总管顶部引出, 总管上应留有备用接头。
3. 仪表气源管线进入仪表前, 必须加过滤减压装置; 集中过滤减压时, 减压装置前后的空气管线上应装有压力表和安全阀, 分散减压时, 在减压装置后应装压力表。
4. 供气系统的配管应整齐、美观, 其末端和积液处应有排污阀, 排污管口应远离仪表、电器设备及接线端子。
5. 气动信号管线宜采用紫铜管、不锈钢管或尼龙塑料管, 不得用碳钢管。
6. 金属气动信号管线必须用弯管器冷弯, 弯曲半径和质量符合相关标准要求。
7. 气动信号管线敷设时, 应尽量避免接头, 如无法避免时, 以采用承插焊或卡套式中间接头, 管线与仪表相接处, 应加可拆卸的活动连接头。
8. 安装在腐蚀性大气中的管线, 其接头处和管子的露出部分应采取保护措施。
9. 气源管道安装完毕应进行吹扫; 吹扫应使用合格的仪表空气, 排出的吹扫气应用涂白漆的木制靶板检验, 1min 内板上无铁锈、尘土、水分及其他杂物时, 即为合格。

(七) 液压管道敷设检查

1. 贮液箱的安装位置应低于回液集管, 回液集管与贮液箱上回液接头间最小高差, 宜为 0.3 ~ 0.5m。
2. 油压管道不应平行敷设在高温设备和管道的上方, 与热表面绝缘层的距离 > 150mm。
3. 液压泵的自然流动回液管的坡度不应小于 1:10, 当回液落差较大时, 为减少泡沫, 应在集液箱之前安装一水平段或 U 形弯管。
4. 回液管道的各分支管与总管连接时, 支管应顺介质流动方向与总管成锐角连接。
5. 接至液压控制器的液压管道, 不应有环形弯和曲折弯; 液压控制器与供油管和回液管连接时, 应采用耐压挠性管。



6. 供液系统应进行压力试验和清洗, 并按设计文件和产品技术文件规定进行检查、调整和试验。

(八) 盘、柜、箱内仪表管道敷设检查

1. 盘、柜、箱内仪表管道应成排敷设, 固定牢固, 且整齐美观; 与仪表连接时, 不应使仪表承受机械力。

2. 仪表管道与仪表线路应分开。

3. 当仪表管道引入安装在爆炸和火灾危险, 有毒及有腐蚀性物资环境的仪表盘柜箱时, 其入口应密封。

(九) 管道脱脂检查

1. 需要脱脂的仪表、控制阀、管子和其他管道组成件, 必须按照设计文件规定脱脂; 脱脂方法应按规范规定。

2. 用于脱脂的有机溶剂含油量不应大于 50mg/L, 并应使用设计文件规定的脱脂溶剂; 设计文件未规定时, 应按规范要求选用脱脂溶剂。

3. 脱脂溶剂不得混合使用, 且不得与浓酸浓碱接触。

4. 用四氯化碳、二二氯乙烷和三氯乙烯时, 脱脂件应干燥、无水分。

5. 接触脱脂件的工具、量具及仪器, 必须经脱脂合格后方可使用。

6. 脱脂合格的仪表、控制阀、管子和其他管道组成件必须封闭保存, 并加标志; 安装时严禁被油污染; 脱脂合格后的仪表管道, 在压力试验及仪表校准、试验时, 必须使用不含油脂的介质。

7. 制造厂脱脂合格并封闭的仪表及附件, 应进行外观检查, 如发现有油迹及有机杂质时必须重新脱脂。

8. 脱脂检验符合下列规定之一的即为合格:

用洁净干燥的白滤纸擦拭脱脂件表面, 纸上无油迹; 用紫外线灯照射脱脂件表面, 无紫蓝荧光; 用蒸汽吹洗脱脂件, 将颗粒度小于 1mm 的纯樟脑放入蒸汽冷凝液内, 樟脑在冷凝液表面不停旋转。

(十) 管道压力试验检查

1. 试验前应切断与仪表的连接。

2. 仪表管道的压力试验以液体为介质; 仪表气源管道和气动信号管道以及设计压力小于或等于 0.6MPa 的仪表管道, 可采用气压试验。

3. 液压试验应选用清洁水 (当对奥氏体不锈钢管道进行试验时, 水中氯离子含量不得超过 25mg/L), 试验压力为设计压力的 1.5 倍, 当达到试验压力后, 停压 10min, 再将至设计压力, 停压 10min, 以压力不降、无泄漏为合格。试验后将液体排净, 并进行吹扫。

4. 气压试验宜采用净化空气或其他惰性气体, 试验压力为设计压力的 1.15 倍, 当达到试验压力后, 停压 10min, 再降至设计压力, 停压 5min, 以发泡剂检验不泄漏为合格。

5. 试验用的压力表精度不应低于 1.5 级, 刻度上限宜为试验压力的 1.5 ~ 2 倍, 并应有有效的鉴定合格证书。

6. 压力试验过程中, 发现泄漏现象, 应先卸压再做处理, 处理后, 应重新试验。

7. 仪表导压管随同工艺管线一起做压力试验时，在工艺管线开始试验前应打开管路一次阀和排污阀吹洗管路，接触管路是否畅通无阻，再关闭一次阀，检查阀芯是否关严，然后关闭排污阀，打开一次阀，等压力升至试验压力后，停压 10min，管道各部位应无泄漏现象。

8. 当工艺规定进行真空度或泄漏性试验时，仪表管道应随同工艺系统一起进行试验。

9. 气动信号管道压力试验接触

9.1 气动管线压力试验的介质应采用空气或惰性气体。

9.2 试验用的压力表应校验合格，其精度不应低于 1.5 倍，刻度上限宜为试验压力的 1.5 ~ 2 倍。

9.3 气压试验压力为设计压力的 1.15 倍，试验要求同导压管。

9.4 气动信号管线气密性试验时，应使用干燥的净化空气，试验压力为仪表压力的最高压力。当达到试验压力后，停压 5min，无压降为试验合格。

四、常见质量通病及防治

(一) 成排管道间距不一致、排列不整齐：

1. 成排管道的支架钻管卡孔时，应量好间距再钻孔。

2. 垂直段的弯管，弯制时应采取措施保证其弯曲半径和弧度一致；水平段弯管在弯制时，应采取措施保证其弯曲弧度一致，弯曲半径按间距均匀递增。

(二) 管路弯制后有裂纹、凹坑、椭圆等现象：

弯制导压管宜采用冷弯法，弯制时工、机具要合适，弯制方法要正确，弯制速度不可过快；金属气动信号管必须用弯管器冷弯，弯曲半径不小于管子外径的 3.5 倍。

(三) 导压管敷设的坡度不符合要求：

导压管应根据不同介质测量要求按 1:10 ~ 1:100 的坡度敷设，其倾斜方向应保证能排除气体或冷凝液。当不能满足要求时，应在管路集气处安装排气装置，集液处安装排液装置。

(四) 易燃、易爆介质的导压管与热表面距离过近：

易燃、易爆介质的导压管与热表面距离宜大于 150mm，且不宜平行敷设在其上方。

(五) 导压管路安装记录不详：

高压管路及剧毒、可燃介质的导压管路敷设，应做好详细的施工记录，并在导压管上做明显的标识。

(六) 高压管路需要分支时，在管道上直接开孔焊接：

高压管路需要分支时，应采用与管路同材质三通，不得在管道上直接开孔焊接；对直接开孔焊接的，应返工。

(七) 管子对接焊时，管子内外表面清理不干净：

管子焊接时，应清洁管子内外表面，在 20mm 范围内不得有油漆、锈斑、氧化皮以及对焊接有害的物质。

(八) 不锈钢管、镀锌管的连接用手工电弧焊：

不锈钢管或质量要求严格的导压管焊接宜采用氩弧焊或承插焊，镀锌管应采用螺纹连接，且



连接处必须密封。

(九) 脱脂件安装前受到污染:

脱脂宜在安装前进行,不宜过早;脱脂合格后应及时封闭并进行标识,妥善保管,以防污染;脱脂件安装前应接触脱脂件,如受到污染,必须重新脱脂。

第七节 仪表伴热系统的安装

一、工程内容

自动化仪表安装工程伴热管道、电伴热的安装。

二、主要控制环节

(一) 蒸汽、热水伴热管线检查;

(二) 电伴热线绝缘检查。

三、质量检验

(一) 蒸汽、热水伴热管线敷设检查

1. 伴热管线选材要符合设计规定。

2. 蒸汽伴热管线敷设检查: 蒸汽伴热管要单独供气, 伴热系统之间不能串联连接。伴热管的集液处要有排液装置。伴热管的连接宜焊接, 固定不要过紧, 能自由伸缩。接汽点要在蒸汽管的顶部。

3. 热水伴热管线敷设检查: 热水伴热管要单独供水, 伴热系统之间不能串联连接。伴热管的集气处应有排气装置。伴热管的连接宜焊接, 固定不要过紧, 能自由伸缩。接水点要在热水管的底部。

4. 轻伴热的伴热管线与仪表设备和导压管之间应保持 1 — 2mm 的间距, 可用橡胶石棉板等按 200mm 的距离点进行隔离。

5. 重伴热的伴热管线紧贴仪表设备和导压管敷设。

6. 强伴热的伴热管线缠绕在仪表设备和导压管上。

7. 伴热管线应采用镀锌钢丝或不锈钢丝与导压管路捆扎在一起, 捆扎间距 800mm, 捆扎不宜过紧, 且不应采用缠绕方式捆扎。

8. 供汽系统伴热管线安装后, 应进行水压试验, 试验压力为设计压力的 1.5 倍。有条件时可用伴热蒸汽进行系统吹扫试压, 通入蒸汽时应逐渐加量, 缓慢加热。

(二) 电伴热线敷设检查

1. 电热线在敷设前, 要进行外观和绝缘检查, 其绝缘电阻值不应小于 1MΩ。

2. 电热线要均匀敷设, 固定要牢固。

3. 敷设电热线时不能损坏绝缘层。

4. 仪表规定系统各部件的伴热不要遗漏

四、常见质量通病及防治

(一) 导压管轻重伴热不分:

进行伴热管线安装时,要依据伴热管线安装图根据设计要求进行,安装好后要按规范要求检查是否合格。

(二) 电伴热线不做绝缘检查:

电伴热线在敷设前,要进行外观和绝缘检查,敷设完后,也要进行电伴热线绝缘检查,以及电伴热线敷设过程中有无绝缘层破损。保温工作结束后,在对电伴热线进行最后绝缘检查。

第八节 仪表试验

一、工程内容

自动化仪表单体调校和系统试验。

二、主要控制环节

- (一) 仪表单体试验;
- (二) 检测系统试验;
- (三) 调节系统试验;
- (四) 报警系统试验;
- (五) 联锁系统试验。

三、质量检验

(一) 仪表单体校验检查

1. 检查仪表校验人员,应有相应的资格证。
2. 仪表检验室检查:室内要清洁、安静、光线充足、无振动、通风良好,温度能保持在 10~35℃之间和相对湿度不大于 85%,无对仪表及线路的电磁场干扰;有上下水设施。
3. 有稳定的调校用电源,其交流电源及 60V 以上的直流电源电压波动不超过 10%,60V 以下的直流电源波动不超过 5%。
4. 仪表试验用的气源要清洁、干燥,露点要比环境最低温度低 10℃以上,气源压力要稳定;
5. 查验仪表校验室的标准仪器,应检定合格并在有效内;其基本误差的绝对值不超过被校准仪表基本误差绝对值的 1/3。
6. 检查单台仪表检验记录,其校准点应在全量程范围内均匀选取并不少于 5 点。
7. 监督检查禁油和脱脂的仪表校验与试验是否严格按规定进行。
8. 检查各种就地指示仪表、传感器、变送器、流量计等的一次校验记录和调节阀的强度试验、泄露试验、行程试验记录。均应合格。
9. 检查已校准和试验合格仪表,要粘贴有合格有效期和位号的标志;仪表需加封印和漆封的部位加封印漆封。

(二) 检测系统试验

1. 在系统的信号发生端输入模拟信号,检查系统误差,回路的显示仪表部分的示值误差,不

应超过回路内各单台仪表允许基本误差平方和的平方根值。

2. 系统校验点不应少于 0、50%、100% 三点。

3. 当系统的误差超过上述规定时，应单独调校系统内各单元仪表（校准点在全程范围内不应少于 5 点）及检查仪表线路或管路。

4. 检查 PLC、DCS 和一次仪表（如各类变送器、热电阻、热电偶、流量计等）组成检测、调节回路时，系统试验用的标准表精度不能低于系统误差值。

（三）调节系统试验内容

1. 按设计规定检查 DCS 及执行器的动作方向。

2. 由操作站操作输出模拟信号，检查调节阀动作情况，观察调节阀对应各点的输出值，计算各点的系统误差和变差，其最大值应在允许范围之内。

（四）报警系统试验内容

1. 由现场仪表的输入端加入模拟信号（或开关量信号），根据设计数据设定报警值。

2. 检查 DCS 操作站的声光报警信号是否符合设计要求。如不符合要求，应单独调校系统内所有仪表（包括 DCS 软件）、电气元件及检查线路

（五）联锁保护系统试验内容

1. 联锁保护系统应按程序设计（逻辑图）的步骤逐步进行试验检查，其条件判定、逻辑关系、动作时间和输出状态等均应符合设计文件规定。

2. 联锁系统可按联锁检测点，分解成单个联锁回路，单个联锁回路的参数整定和试验与上述报警系统的调试基本相同，当单个联锁系统试验合格后，再做整套联锁系统的联动试验。联动试验的动作及送至电气的联锁点必须正确可靠。

四、常见质量通病及防治

（一）仪表设备安装前未单体校验：

仪表设备安装前应按规定单体校验合格，并做出的单体校验记录，没有单校或没有单校记录的不得进行安装。

（二）单校合格仪表设备随意堆放和不做标识：

单校合格的仪表必须进行标识，并按顺序分类排放，不应随意乱放。

（三）仪表面校记录不符合规定：

仪表面校记录应使用规定的校验记录表格，校验时按照校验记录的内容要求同时进行记录，不得事后回忆记录，字迹应端正不应潦草，并且不应有涂改现象。

（四）系统试验点少于 3 点：

应严格执行规范的规定，即系统试验点不得少于 3 点，即 0%、50%、100%，并应做出试验记录备审。

（五）系统试验仪器未经检定：

在施工前期检查其标准仪器的有效期和检定合格证，不符合要求者，必须禁止使用。

（六）系统试验后现场仪表接线等恢复工作马虎：

试验前应对接线恢复要求进行交底，过程中应及时检查，严格按程序办事。

（七）系统试验记录不规范：

试验前应对记录要求进行交底，试验时应根据试验实际情况随时记录，技术人员应及时检查并确认，记录不规范的地方立即纠正。

（八）输入模拟信号进行联校时，未按规范要求在现场输入端输入模拟信号：

严格按规范进行试验，凡应在现场输入端加模拟信号的，必须在现场输入模拟信号。

CNCEC



第三十三章 无损检测、理化试验

第一节 无损检测工程

一、X 光射线探伤

(一) X 射线探伤的有关概念

1.X 射线探伤原理

射线在穿透物质过程中会与物质发生相互作用，因吸收和散射而使其强度减弱，强度衰减程度取决于物质的衰减系数和射线在物质中穿透的厚度。如果被透照物体的局部存在缺陷，且构成缺陷的物质的衰减系数又不同于试件，该局部区域的透过射线强度就会与周围产生差异。把胶片放在适当位置使其在透过射线的作用下感光，经暗室处理后得到底片。底片上各点的黑化程度取决于射线照射量，由于缺陷部位和完好部位的透射射线强度不同，底片上相应部位就会出现黑度差异。底片上相邻区域的黑度差定义为“对比度”。把底片放在观片灯光屏上借助透过光线观察，可以看到由对比度构成的不同形状的影像，评片人员据此判断缺陷情况并评价试件质量。

2.X 射线探伤的目的

2.1 验证施焊单位焊接工艺的正确性。

2.2 评定被检工件焊接接头的质量是否符合设计要求。

(二) 常用 X 射线探伤标准

1.NB/T47013《承压设备无损检测》

2.GB/T3323《金属熔化焊焊接接头射线照相》

3.GB/T12604.2《无损检测—术语—射线照相检测》

4.GBZ117《工业 X 射线探伤放射卫生防护标准》

(三) 质量控制要点见表 33-1

序号	控制点	控制措施
1	人员资格	检查检测人员资格证书，严禁无证上岗
2	检测工艺	编制检测方案、检测操作指导书
3	曝光参数	按操作指导书规定的曝光参数曝光
4	暗室处理	控制显、定影温度和显影时间，保证充分的水洗时间
5	底片质量	底片黑度、像质计灵敏度不符合标准要求或存在水迹、划伤的底片重新拍片
6	焊缝质量评定	实行复评制，一人评定，另一人复核
7	检测报告	实行检测报告审核制，审核人员对报告内容的准确性进行审核

(四) X 射线探伤工作程序

1、工艺准备

1.1 射线检测方案

大型检测项目或客户有特殊要求的检测项目，X 射线检测应单独编制射线检测方案。检测方案应根据本单位射线检测工艺规程由 RT-Ⅱ级及以上人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

1.2 射线检测操作指导书

射线检测前应编制射线检测操作指导书。射线检测操作指导书由 RT-Ⅱ级人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

首次使用的射线检测操作指导书应进行工艺验证。验证可通过专门的透照试验进行，或以产品的第一批底片作为验证依据。在这两种情况下，作为依据的验证底片应做出标识。

2、检测作业人员

2.1 从事射线检测人员上岗前应进行辐射安全知识的培训，并取得放射工作人员证。

2.2 射线检测工作应由按 TSGZ8001-2019《特种设备无损检测人员考核规则》考核合格，并取得射线检测Ⅰ级或Ⅰ级以上资格证书的检测人员担任。

2.3 无损检测人员证有效期为 5 年，证件有效届满 6 个月以前、18 个月以内向发证机关提出换证申请。换证包括免试换证和考试换证两种方式。Ⅱ级、Ⅲ级无损检测人员满足下列要求的可以申请免试换证，Ⅰ级无损检测人员满足下列（二）、（三）项要求的可以申请免试换证；

（五）上次为考试换（取）证的；

（六）申请换证的相应项目和级别的证书在有效期内，并且未中断执业 6 个月以上；

（七）执业期间未发生过无损检测违规行为和责任事故。

3、检测设备与器材

3.1X 射线探伤机

3.1.1X 射线检测时，根据被检工件的厚度不同，可参照下表 33-2 选用不同管电压的 X 射线机：

序号	管电压 kV	管电流 mA	穿透力（钢）mm	备注
1	150	5	19	
2	200	5	29	
3	250	5	39	
4	300	5	50	

3.1.2 每台在用的 X 射线机均应做出常用检测材料的曝光曲线，制作曝光曲线所采用的胶片、增感屏、焦距、射线能量等条件和底片应达到的灵敏度、黑度等均应符合所使用的检测标准的规定。对使用中的曝光曲线，每年至少应校验一次。射线设备更换重要部件或经较大修理后应及时对曝光曲线进行校验或重新制作。

3.2 胶片：通常应采用 C5 类胶片，采用 γ 射线进行射线检测，以及对标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 的高强度材料射线检测时，应采用 C4 类或更高类别的胶片。

3.3 增感屏：增感屏的选用应符合下表 33-3 的规定：

射线源	增感屏材料	前屏厚度（mm）	后屏厚度（mm）	中屏厚度（mm）
X 射线（ $\leq 100\text{kV}$ ）	铅	不用或 ≤ 0.03	≤ 0.03	—
X 射线（ $> 100\text{--}150\text{kV}$ ）	铅	0.02 ~ 0.10	0.02 ~ 0.15	2×0.02 ~ 2×0.10

射线源	增感屏材料	前屏厚度 (mm)	后屏厚度 (mm)	中屏厚度 (mm)
X 射线 (> 150–250kV)	铅	0.02 ~ 0.15	0.02 ~ 0.15	2 × 0.02 ~ 2 × 0.10
X 射线 (> 250–500kV)	铅	0.02 ~ 0.20	0.02 ~ 0.2	2 × 0.02 ~ 2 × 0.10
Ir ¹⁹²	铅	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.20	2 × 0.10
Se ⁷⁵	铅	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.20	2 × 0.10

3.4 观片灯：观片灯的最大亮度应能满足评片的要求。

3.5 黑度计：

3.5.1 黑度计可测的最大黑度应不小于 4.5，测量值的误差应不超过 ± 0.05 。黑度计首次使用前应进行核查，以后至少每六个月应进行一次核查，并填写核查记录。

3.5.2 标准密度片应至少有 8 个一定间隔的黑度基准，且能覆盖 0.3 ~ 4.5 黑度范围，应至少每 2 年校准一次。

3.6 像质计

线型像质计的型号和规格应符合 JB/T7902–2015 的规定。像质计的材料、材料代号和不同材料的像质计适用的工件材料范围应符合下表 33–4 的规定：

像质计材料代号	Al	Ti	Fe	Ni	Cu
像质计材料	工业纯铝	工业纯钛	碳素钢	镍 – 铬合金	3# 纯铜
适用材料范围	铝，铝合金	钛，钛合金	钢	镍、镍合金	铜、铜合金

3.7 对比试块

3.7.1 对比试块分为 I 型（小径管环焊缝专用对比试块）和 II 型（通用槽型对比试块）两类。制作对比试块的材料应与被检工件的材料射线吸收系数相同或相近。

3.7.2 对比试块规格和尺寸应符合所使用的检测标准的要求。

3.8 射线剂量仪与个人射线剂量仪：

3.8.1 配备满足现场检测需要的射线剂量仪，射线剂量仪必须经计量检定合格，并在规定的有效检定期内。

3.8.2 检测作业人员必须每人配备个人射线剂量仪，以监测个人累积照射剂量。个人射线剂量仪每三个月交职业病防治所测定个人吸收剂量。

4. 作业条件

4.1 工件表面准备

4.1.1 工件表面的不规则状态在底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面作适当修整。

4.1.2 被检工件焊接接头的表面质量应由委托单位的质量检查人员检验合格并在检测委托单上签字认可。检测人员操作前应对工件的表面质量进行复核，当表面质量不符合检测要求时，应在委托单上注明原因，退回委托单位进行表面修整，直至符合检测要求。

4.2 检测时机

除非设计文件另有规定，射线检测应在焊接完工后进行。有延迟裂纹倾向的材质，应在焊接完成 24h 以后进行检测操作，标准抗拉强度大于 540Mpa 钢材制造的球罐，应在焊接结束 36 小时

后进行射线检测操作。

4.3 设施与环境

4.3.1 容器内作业或在曝光室内作业，应有通风设施，保证容器内或曝光室内空气的流通。

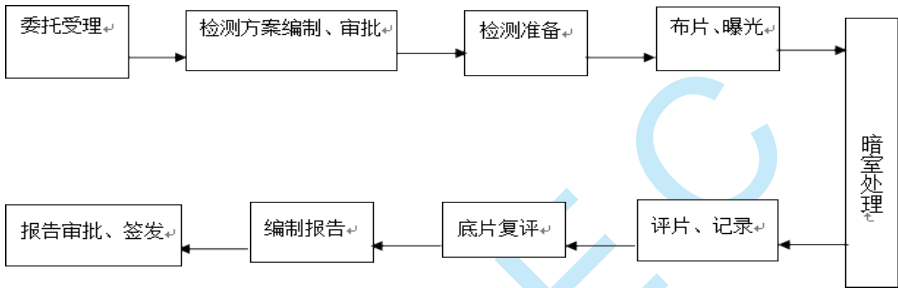
4.3.2 夜间现场检测或容器内检测操作时，应有足够的照明设施，保证良好的照明条件。

4.3.3 暗室应装有空调或其他温度控制设施，并配备温度计，保证暗室处理时显影液的温度为 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。并使用安全红灯。

4.3.4 评片应在专用的评片室内进行。评片室应整洁、安静，温度适宜，光线应暗且柔和，评片人员在评片前应经历一定的暗适应时间。从阳光下进入评片的暗适应时间一般为 $5\text{min} \sim 10\text{min}$ ；从一般的室内进入评片的暗适应时间应不少于 30s 。

5. 检测实施

5.1 检测控制流程图



5.2 焊接对接接头射线透照

5.2.1 工艺参数

5.2.1.1 检测技术等级：锅炉、压力容器及压力管道对接焊接接头的制造、安装一般应采用 AB 级，当设计文件或用户有要求时，也可采用其他技术等级。

5.2.1.2 透照布置

(1)透照方式：应根据工件的特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。在可以实施的情况下应选用单壁透照方式，在单壁透照不能实施时才允许采用双壁透照方式。

(2)透照方向：透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心，需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。

(3)一次透照长度：一次透照长度以透照厚度比 K 控制。不同级别技术和不同类型焊接接头的透照厚度比应符合下表 33-5 的规定。

射线检测技术级别	A 级；AB 级	B 级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1$	$K \leq 1.06$

注：对 $100\text{mm} < D_o \leq 400\text{mm}$ 的环向焊接接头（包括曲率相同的曲面焊接接头），A 级，AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。

5.2.1.3 射线能量

(1) 对碳钢、不锈钢、合金钢以及铝及铝合金材料用 X 射线透照时所允许的最高管电压应符



合下表 33-6 的规定：

透照厚度 (mm)	4	6	8	10	12	14	18	20
钢铁	135kV	150kV	165kV	180kV	195kV	210kV	240kV	260kV
铝及铝合金	50kV	55kV	60kV	65kV	70kV	75kV	80kV	85kV
透照厚度 (mm)	24	28	30	32	34	36	38	40
钢铁	260kV	280kV	320kV	340kV	360kV	380kV	400kV	400kV
铝及铝合金	90kV	100kV	105kV	110kV	110kV	115kV	115kV	120kV

(2) 对其他材料用 X 射线透照时所允许的最高管电压应符合所使用的检测标准的规定。

5.2.1.4 射线源至工件表面的距离

(1) 射线源至工件表面的距离 f 与射线源焦点尺寸 d 和工件表面至胶片的距离 b 应满足以下关系：

A 级： $f \geq 7.5d \cdot b^{2/3}$

AB 级： $f \geq 10d \cdot b^{2/3}$

B 级： $f \geq 15d \cdot b^{2/3}$

(2) 采用源在内中心透照方式周向曝光时，只要得到的底片质量符合标准要求， f 值可以减小，但减小值最多不应超过规定值的 50%。

(3) 采用源在内单壁透照方式时，只要得到的底片质量符合标准要求， f 值可以减小，但减小值最多不应超过规定值的 20%。

5.2.1.5 曝光量

(1) X 射线透照时，焦距为 700mm 时曝光量应不小于 $15\text{mA} \cdot \text{min}$ ；当焦距改变时可按平方反比定律对曝光量进行换算。下表 33-7 是部分焦距所对应曝光量的换算值：

焦距 mm	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
曝光量 $\text{mA} \cdot \text{min}$	1.92	2.76	3.75	4.90	6.20	7.65	9.26	11.02	12.94	15.0
焦距 mm	750	800	850	900	1000	1200	1500	1800	2000	2500
曝光量 $\text{mA} \cdot \text{min}$	17.22	19.60	22.18	24.80	30.61	44.08	68.88	99.18	122.45	191.33

5.2.1.6 像质计的使用

(1) 像质计一般应放置在焊接接头的一端（在被检区长度的 1/4 左右位置），金属丝横跨焊缝，细丝置于外侧。当一张胶片上同时透照多条焊接接头时，像质计应放置在透照区最边缘的焊缝处。

(2) 单壁透照像质计应放置在源侧，如果像质计无法放置在源侧，允许放置在胶片侧（球罐全景曝光除外），但应进行对比试验，以保证实际透照的底片灵敏度符合要求。

(3) 双壁单影透照时像质计放置在胶片侧。双壁双影透照时像质计可放置在射线源侧，也可放置在胶片侧。

(4) 当像质计放置在胶片侧时，应在像质计上适当位置放置铅字“F”作为标记，F 标记的影像应与像质计的标记同时出现在底片上，且应在检测报告中注明。

(5) 原则上每张底片上都应有像质计的影像。当一次曝光完成多张胶片照相时，允许使用的像质计数量减少，但应符合以下要求：

a. 环形焊接接头采用源置于中心周向曝光时，至少在圆周上等间隔地放置 3 个像质计。

b. 一次曝光连续排列多张胶片时, 至少在第一张、中间一张和最后一张胶片处各放置一个像质计。

5.2.1.7 对比试块的放置

(1)管子直径大于 100mm 的管对接焊缝, 使用 II 型对比试块。

(2)对比试块应平行于焊缝放置, 且距焊缝边缘的距离应不小于 5mm。

5.2.2 检测操作

5.2.2.1 暗室装片: 根据所用胶片规格在暗室切片, 装入暗袋。操作前要检查暗室、安全灯、暗袋是否安全可靠, 并保持暗袋及增感屏清洁, 不得用手触及胶片及增感屏的铅箔部位。

5.2.2.2 划线: 根据每次透照的有效长度, 在工件上画出透照中心线及搭接标记位置线。

5.2.2.3 布片

(1)工件上应放置下列标记:

a. 定位标记: 中心标记、搭接标记, 也可以使用探伤部位编号兼作搭接标记。

b. 识别标记: 工件编号、焊缝编号、部位编号、焊工代号、透照日期, 返修片还应有返修标记: “R1, R2……” (1、2……代表返修次数); 扩探片应有扩探标记 “K”。

c. 上述标记应放置在工件的适当位置, 距离焊缝边缘的距离不小于 5mm。

d. 搭接标记一般应放在射线源侧的工件表面上, 但采用环焊缝内照法当焦距大于工件半径时, 必须放于胶片侧, 中心透照时, 可放置于任意一侧。

(2)按 2.1.6 条的规定放置像质计。

(3)用磁铁或胶带将暗袋固定在透照部位。

5.2.2.4 对焦: 根据确定的透照布置, 将探伤设备固定在透照部位, 调整好透照焦距, 使射线束中心对准探伤部位的透照中心线。

5.2.2.5 散射线的屏蔽: 为防止散射线的影应用铅板屏蔽背散射。

5.2.2.6 曝光: 根据确定的曝光参数和探伤设备的操作规程进行曝光操作。曝光时应注意操作人员和其他人员的安全防护。

5.2.2.7 探伤标记: 探伤部位应打印永久性探伤标记, 其内容包括: 定位标记、焊缝编号、部位编号。不适宜打钢印的工件, 可用油漆、记号笔等进行标注。并在容器排版图或单线图上标注探伤位置。

5.2.2.8 暗室处理

(1) 胶片可以使用自动洗片机进行处理或手工冲洗。采用自动洗片机时的处理条件可参照说明书选定。

(2) 显、定影药应按所用胶片推荐的配方配制。

(3) 显影: 显影温度 18-22℃, 显影时间为 5-8 分钟, 在显影过程中应使胶片上下移动, 以使显影均匀。

(4) 停显: 显影结束后, 将胶片放入 3% 的醋酸中停显 30 秒, 或在清水中强力抖动, 漂洗 2-3 分钟。



(5) 定影：停显后的胶片放入定影液中的第一分钟内要均匀上下移动，然后放入定影液中定影 10–15 分钟。

(6) 水洗：定影后的底片，放在流动的清水中冲洗 20 分钟以上，然后将底片浸入 0.1% 浓度的洗洁精溶液中浸泡 30 秒。

(7) 干燥：水洗后的底片，用不锈钢夹子固定在铁丝上进行自然干燥，也可用烘箱烘干，烘干温度不大于 50℃。

5.2.2.9 底片评定

(1) 评片时，底片评定范围内的亮度应符合下列规定：

(2) 当底片评定范围内的黑度 $D \leq 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 30cd/m²。

(3) 当底片评定范围内的黑度 $D > 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 10cd/m²。

(4) 底片黑度：单胶片透照技术，单底片观察评定，底片评定范围内的黑度应满足：

A 级：1.5 ≤ D ≤ 4.5；

AB 级：2.0 ≤ D ≤ 4.5；

B 级：2.3 ≤ D ≤ 4.5；

(5) 双胶片透照技术，双底片叠加观察评定，评定范围内的黑度 D 应为 2.7 ≤ D ≤ 4.5。

(6) 用 X 射线透照小径管或其他截面厚度变化大的工件，单底片观察评定时，AB 级最低黑度允许降至 1.5；B 级最低黑度可降至 2.0。

(7) 对检测区进行评定时，对应着不同的胶片透照技术或不同的底片观察技术的区域的黑度范围应分别在检测报告中进行标识。

(8) 底片的像质计灵敏度应符合检测标准要求；底片上的定位标记和识别标记的影像应完整、位置准确；有效评定范围内不得有影响缺陷评定的伪缺陷、划伤、水迹、脱膜、污斑等，否则应重新拍片。

(9) 缺陷定性：底片上发现缺陷影像后，应首先检查是否为伪缺陷。当排除是伪缺陷影像后，应根据工件的材质、厚度、坡口形式、焊接方法，结合缺陷在底片上的形状，判定缺陷的性质。

(10) 缺陷定量：圆形缺陷应测量其长径尺寸，并换算成点数；条形缺陷应测量其度。

(11) 焊接接头质量等级评定：质量等级评定按 NB/T47013 标准执行，当设计文件另有规定时，以设计文件的规定为准。

(五) 质量控制程序图

(六) 质量检查

1. 质量检查要求和方法

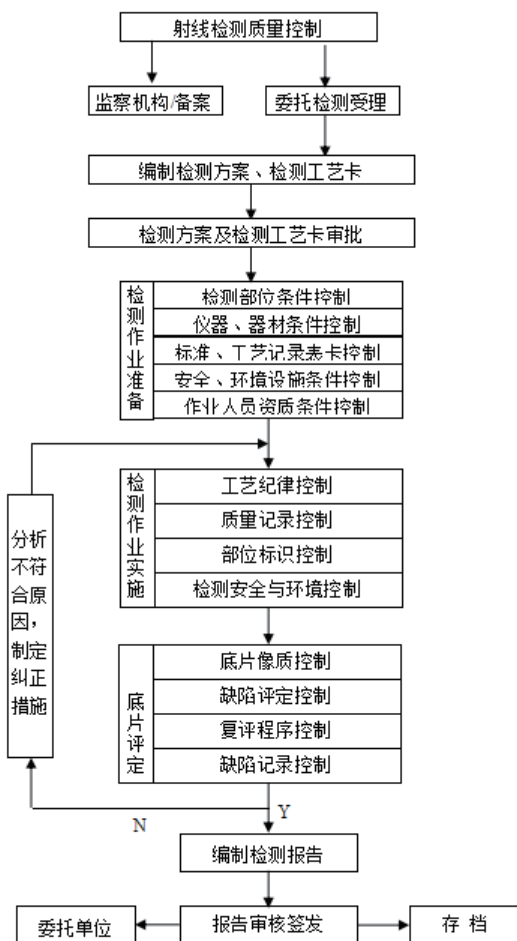
1.1 质量检查要求

应检查底片质量、评片准确性。

1.2 质量检查方法

1.2.1 用黑度计检查底片黑度是否符合标准要求；观察像质计在底片上的影像，判断透照灵敏

度是否符合标准要求；检查底片上的识别标记和定位标记；检查底片灰雾度是否符合标准要求；检查底片有效评定范围内是否存在水迹、划痕、脱膜、污斑、伪缺陷等。



1.2.2 检查、复评：缺陷的定性是否准确、缺陷定量是否正确。

1.2.3 检查、复评：焊缝质量评定中是否存在错评、漏评现象，质量等级评定是否准确。

2. 质量检验标准

2.1 底片的黑度应为 2.0 ~ 4.5，用 X 射线透照小径管或其他截面厚度变化大的工件时，最低黑度允许降至 1.5。

2.2 底片灰雾度符合标准要求，像质计摆放正确，显示的像质计最小线径应符合检测标准的规定。

2.3 识别标记和定位标记齐全，且距离焊缝边缘的距离不小于 5mm。

2.4 在有效评定区范围内不得有影响底片评定的伪缺陷、划伤、水迹、脱膜、污斑等。

2.5 缺陷定性、定量、定位准确，焊接接头质量等级评定准确。

2.6 射线检测报告字迹清晰、数据准确，无涂改现象，签字手续齐全。

3. 质量记录

3.1 射线检测记录



检测时应认真填写原始记录,其内容应包括:委托单位、工件名称、编号、规格、材质,坡口型式、焊接方法、热处理状况、检测设备名称、型号、焦点尺寸、技术等级、透照布置、胶片型号、增感屏、射线能量、曝光量、焦距、暗室处理、条件、检测标准和验收条件、底片黑度、像质计灵敏度、质量评定等级、返修情况等,并有检测人员和审核人员签字及检测日期。

3.2 射线检测报告

应及时签发射线探伤报告,其内容除包括射线检测记录规定的内容外,还应满足检测标准规定的有关内容。

3.3 资料保管:底片保存条件至少应符合按档案文件管理的有关规定,并应满足胶片制造商的建议和要求。

4. 应注意的质量问题

4.1 不得采用提高管电压、缩短曝光时间的方法来提高检测速度,这样将导致底片灰雾度增大,对比度减小,降低灵敏度,可能使微小裂纹漏检。

4.2 暗室处理时应注意显、定影液的老化情况,及时更换或补充显、定影液,否则将增大底片灰雾度。

4.3 评片时,应注意伪缺陷的辨别。当根据影像特征怀疑是伪缺陷而又不能排除是伪缺陷时,应重新拍片进行验证。

4.4 评片人员的视力应符合要求,必要时用 3 ~ 5 放大镜观察底片。否则能使微小裂纹漏评。

二、r 射线探伤

(一) γ 射线探伤的有关概念

1. γ 射线的产生机理

γ 射线是一种强电磁波,它的波长比 X 射线还要短,一般波长 < 0.001 纳米。在原子核反应中,当原子核发生 α 、 β 衰变后,往往衰变到某个激发态,处于激发态的原子核仍是不稳定的,并且会通过释放一系列能量使其跃迁到稳定的状态,而这些能量的释放是通过射线辐射来实现的,这种射线就是 γ 射线。

2. γ 射线探伤原理

射线在穿透物质过程中会与物质发生相互作用,因吸收和散射而使其强度减弱,强度衰减程度取决于物质的衰减系数和射线在物质中穿透的厚度。如果被透照物体的局部存在缺陷,且构成缺陷的物质的衰减系数又不同于试件,该局部区域的透过射线强度就会与周围产生差异。把胶片放在适当位置使其在透过射线的作用下感光,经暗室处理后得到底片。底片上各点的黑化程度取决于射线照射量,由于缺陷部位和完好部位的透射射线强度不同,底片上相应部位就会出现黑度差异。底片上相邻区域的黑度差定义为“对比度”。把底片放在观片灯光屏上借助透过光线观察,可以看到由对比度构成的不同形状的影子,评片人员据此判断缺陷情况并评价试件质量。

3. γ 射线探伤辐射防护

现场进行 γ 射线检测时,应按 GBZ132-2008 的规定划定控制区和监督区,控制区边界外空

气比释动能率应低于 15uGy.h-1 在控制区边界应用警示绳、旗围住控制区。在控制区边界上合适的位置设置电离辐射警告标志并悬挂清晰可见的“禁止进入放射工作场所”标牌。监督区位于控制区外，边界外空气比释动能率不大于 2.5uSv.h-1, 边界处应设置电离辐射警告标志牌。

二、常用 γ 射线探伤标准

- 1.NB/T47013《承压设备无损检测》
- 2.GB/T33239《金属熔化焊焊接接头射线照相》
- 3.GB/T12604.2《无损检测 – 术语 – 射线照相检测》
- 4.GBZ132《工业 γ 射线探伤放射防护标准》
- 5.SY/T4109《石油天然气钢质管道无损检测》
- 6.SH/T3545《石油化工管道无损检测标准》

三、质量控制要点见表 33-8

序号	控制点	控制措施
1	人员资格	检查检测人员资格证书，严禁无证上岗
2	检测工艺	编制检测方案、检测操作指导书
3	曝光参数	按操作指导书规定的曝光参数曝光
4	暗室处理	控制显、定影温度和显影时间，保证充分的水洗时间
5	底片质量	底片黑度、像质计灵敏度不符合标准要求或存在水迹、划伤的底片重新拍片
6	焊缝质量评定	实行复评制，一人评定，另一人复核
7	检测报告	实行检测报告审核制，审核人员对报告内容的准确性进行审核

四、γ 射线探伤工作程序

1. 工艺准备

1.1 检测方案

大型检测项目或客户有特殊要求的检测项目，射线检测应单独编制射线检测方案。检测方案应根据本单位射线检测工艺规程由 RT- II 级及以上人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

1.2 射线检测操作指导书

射线检测前应编制射线检测操作指导书。射线检测操作指导书由 RT- II 级人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

首次使用的射线检测操作指导书应进行工艺验证。验证可通过专门的透照试验进行，或以产品的第一批底片作为验证依据。在这两种情况下，作为依据的验证底片应做出标识。

2. 检测作业人员

2.1 从事射线检测人员上岗前应进行辐射安全知识的培训，并取得放射工作人员证。

2.2 射线检测工作应由按 TSGZ8001-2019《特种设备无损检测人员考核规则》考核合格，并取得射线检测 I 级或 I 级以上资格证书的检测人员担任。

3. 检测设备与器材

3.1 γ 射线源：γ 射线检测时，根据被检工件（钢、铜、镍合金等）的厚度不同，可参照下表



33-9 选用不同的射线源:

射线源	透照厚度 mm	
	A 级, AB 级	B 级
Se75	$\geq 10-40$	$\geq 14-40$
Ir192	$\geq 20-100$	$\geq 20-90$
Co60	$\geq 40-200$	$\geq 60-150$

采用源在内中心透照方式,在保证像质计灵敏度达到标准要求的前提下,透照厚度取该表下限值的 1/2。

3.2 胶片:采用 C4 类或更高级别的胶片。

3.3 增感屏:增感屏的选用应符合下表 33-10 的规定

射线源	增感屏材料	前屏厚度 (mm)	后屏厚度 (mm)	中屏厚度 (mm)
Ir192	铅	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.20	2 × 0.10
Se75	铅	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.20	2 × 0.10
Co60	钢或铜	0.25 ~ .070	0.25 ~ .070	0.25
	铅 (A 级、AB 级)	0.50 ~ -2.0	0.50 ~ 2.0	2 × 0.10

3.4 观片灯:观片灯的最大亮度应能满足评片的要求。

3.5 黑度计:

3.5.1 黑度计可测的最大黑度应不小于 4.5,测量值的误差应不超过 ± 0.05 。黑度计首次使用前应进行核查,以后至少每六个月应进行一次核查,并填写核查记录。

3.5.2 标准密度片应至少有 8 个一定间隔的黑度基准,且能覆盖 0.3 ~ 4.5 黑度范围,应至少每 2 年校准一次。

3.6 像质计

线型像质计的型号和规格应符合 JB/T7902-2015 的规定。像质计的材料、材料代号和不同材料的像质计适用的工件材料范围应符合下表 33-11 的规定:

像质计材料代号	Al	Ti	Fe	Ni	Cu
像质计材料	工业纯铝	工业纯钛	碳素钢	镍-铬合金	3# 纯铜
适用材料范围	铝,铝合金	钛、钛合金	钢	镍、镍合金	铜、铜合金

3.7 对比试块

3.7.1 对比试块分为 I 型(小径管环焊缝专用对比试块)和 II 型(通用槽型对比试块)两类。制作对比试块的材料应与被检工件的材料射线吸收系数相同或相近。

3.7.2 对比试块规格和尺寸应符合所使用的检测标准的要求。

3.8 射线剂量仪与个人射线剂量仪:

3.8.1 配备满足现场检测需要的射线剂量仪,射线剂量仪必须经计量检定合格,并在规定的有效检定期内。

3.8.2 检测作业人员必须每人配备个人射线剂量仪,以监测个人累积照射剂量。个人射线剂量仪每三个月交职业病防治所测定个人吸收剂量。

4 作业条件

4.1 工件表面准备

4.1.1 工件表面的不规则状态在底片上的影像不得掩盖或干扰缺陷影像，否则应对表面作适当修整。

4.1.2 被检工件焊接接头的表面质量应由委托单位的质量检查人员检验合格并在检测委托单上签字认可。检测人员操作前应对工件的表面质量进行复核，当表面质量不符合检测要求时，应在委托单上注明原因，退回委托单位进行表面修整，直至符合检测要求。

4.2 检测时机

除非设计文件另有规定，射线检测应在焊接完工后进行。有延迟裂纹倾向的材质，应在焊接完成 24h 以后进行检测操作，标准抗拉强度大于 540Mpa 钢材制造的球罐，应在焊接结束 36 小时后进行射线检测操作。

4.3 设施与环境

4.3.1 容器内作业或在曝光室内作业，应有通风设施，保证容器内或曝光室内空气的流通。

4.3.2 夜间现场检测或容器内检测操作时，应有足够的照明设施，保证良好的照明条件。

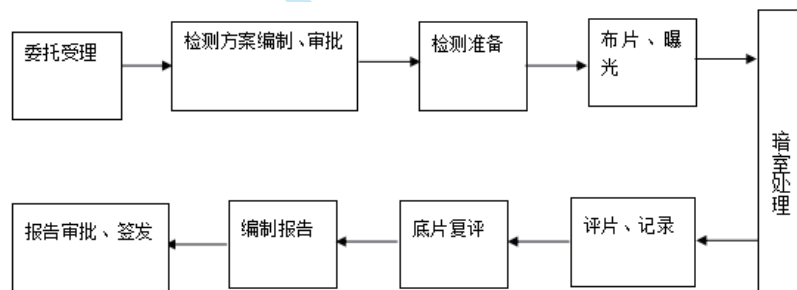
4.3.3 暗室应装有空调或其他温度控制设施，并配备温度计，保证暗室处理时显影液的温度为 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。并使用安全红灯。

4.3.4 评片应在专用的评片室内进行。评片室应整洁、安静，温度适宜，光线应暗且柔和，评片人员在评片前应经历一定的暗适应时间。从阳光下进入评片的暗适应时间一般为 5min ~ 10min；从一般的室内进入评片的暗适应时间应不少于 30s。

5. 检测实施

5.1 检测控制流程图

5.2 焊接对接接头射线透照



5.2.1 检测工艺

5.2.1.1 检测技术等级：锅炉、压力容器及压力管道对接焊接接头的制造、安装一般应采用 AB 级，当设计文件或用户有要求时，也可采用其他技术等级。

5.2.1.2 透照布置

(1) 透照方式：应根据工件的特点和技术条件的要求选择适宜的透照方式。在可以实施的情况下应选用单壁透照方式，在单壁透照不能实施时才允许采用双壁透照方式。

(2) 透照方向：透照时射线束中心一般应垂直指向透照区中心，需要时也可选用有利于发现缺陷的方向透照。



(3) 一次透照长度：一次透照长度以透照厚度比 K 控制。不同级别技术和不同类型焊接接头的透照厚度比应符合下表 33-12 的规定。

射线检测技术级别	A 级；AB 级	B 级
纵向焊接接头	$K \leq 1.03$	$K \leq 1.01$
环向焊接接头	$K \leq 1.1$	$K \leq 1.06$

注：对 $100\text{mm} < D_o \leq 400\text{mm}$ 的环向焊接接头（包括曲率相同的曲面焊接接头），A 级，AB 级允许采用 $K \leq 1.2$ 。

5.2.1.3 射线源至工件表面的距离

(1) 射线源至工件表面的距离 f 与射线源焦点尺寸 d 和工件表面至胶片的距离 b 应满足以下关系：

A 级： $f \geq 7.5d \cdot b^{2/3}$

AB 级： $f \geq 10d \cdot b^{2/3}$

B 级： $f \geq 15d \cdot b^{2/3}$

(2) 采用源在内中心透照方式周向曝光时，只要得到的底片质量符合标准要求， f 值可以减小，但减小值最多不应超过规定值的 50%。

(3) 采用源在内单壁透照方式时，只要得到的底片质量符合标准要求， f 值可以减小，但减小值最多不应超过规定值的 20%。

5.2.1.4 曝光量： γ 射线源曝光时，曝光时间可采用曝光尺等方式计算，总的曝光时间不少于输送源往返所需时间的 10 倍

5.2.1.5 像质计的使用

(1) 像质计一般应放置在焊接接头的一端（在被检区长度的 1/4 左右位置），金属丝横跨焊缝，细丝置于外侧。当一张胶片上同时透照多条焊接接头时，像质计应放置在透照区最边缘的焊缝处。

(2) 单壁透照像质计应放置在源侧，如果像质计无法放置在源侧，允许放置在胶片侧（球罐全景曝光除外），但应进行对比试验，以保证实际透照的底片灵敏度符合要求。

(3) 双壁单影透照时像质计放置在胶片侧。双壁双影透照时像质计可放置在射线源侧，也可放置在胶片侧。

(4) 当像质计放置在胶片侧时，应在像质计上适当位置放置铅字“F”作为标记，F 标记的影像应与像质计的标记同时出现在底片上，且应在检测报告中注明。

(5) 原则上每张底片上都应有像质计的影像。当一次曝光完成多张胶片照相时，允许使用的像质计数量减少，但应符合以下要求：

a. 环形焊接接头采用源置于中心周向曝光时，至少在圆周上等间隔地放置 3 个像质计。

b. 一次曝光连续排列多张胶片时，至少在第一张、中间一张和最后一张胶片处各放置一个像质计。

5.2.1.6 对比试块的放置

(1) 管子直径大于 100mm 的管对接焊缝, 使用 II 型对比试块。

(2) 对比试块应平行于焊缝放置, 且距焊缝边缘的距离应不小于 5mm。

5.2.2 检测操作

5.2.2.1 暗室装片: 根据所用胶片规格在暗室切片, 装入暗袋。操作前要检查暗室、安全灯、暗袋是否安全可靠, 并保持暗袋及增感屏清洁, 不得用手触及胶片及增感屏的铅箔部位。

5.2.2.2 划线: 根据每次透照的有效长度, 在工件上画出透照中心线及搭接标记位置线。

5.2.2.3 布片

(1) 工件上应放置下列标记:

a. 定位标记: 中心标记、搭接标记, 也可以使用探伤部位编号兼作搭接标记。

b. 识别标记: 工件编号、焊缝编号、部位编号、焊工代号、透照日期, 返修片还应有返修标记: “R1, R2……” (1、2……代表返修次数); 扩探片应有扩探标记 “K”。

c. 上述标记应放置在工件的适当位置, 距离焊缝边缘的距离不小于 5mm。

d. 搭接标记一般应放在射线源侧的工件表面上, 但采用环焊缝内照法当焦距大于工件半径时, 必须放于胶片侧, 中心透照时, 可放置于任意一侧。

(2) 按 2.1.6 条的规定放置像质计。

(3) 用磁铁或胶带将暗袋固定在透照部位。

5.2.2.4 对焦: 根据确定的透照布置, 将探伤设备固定在透照部位, 调整好透照焦距, 使射线束中心对准探伤部位的透照中心线。

5.2.2.5 散射线的屏蔽: 为防止散射线的影应用铅板屏蔽背散射。

5.2.2.6 曝光: 根据确定的曝光参数和探伤设备的操作规程进行曝光操作。曝光时应注意操作人员和其他人员的安全防护。

5.2.2.7 探伤标记: 探伤部位应打印永久性探伤标记, 其内容包括: 定位标记、焊缝编号、部位编号。不适宜打钢印的工件, 可用油漆、记号笔等进行标注。并在容器排版图或单线图上标注探伤位置。

5.2.2.8 暗室处理

(1) 胶片可以使用自动洗片机进行处理或手工冲洗。采用自动洗片机时的处理条件可参照说明书选定。

(2) 显、定影药应按所用胶片推荐的配方配制。

(3) 显影: 显影温度 18-22℃, 显影时间为 5-8 分钟, 在显影过程中应使胶片上下移动, 以使显影均匀。

(4) 停显: 显影结束后, 将胶片放入 3% 的醋酸中停显 30 秒, 或在清水中强力抖动, 漂洗 2-3 分钟。

(5) 定影: 停显后的胶片放入定影液中的第一分钟内要均匀上下移动, 然后放入定影液中定影 10-15 分钟。



(6) 水洗：定影后的底片，放在流动的清水中冲洗 20 分钟以上，然后将底片浸入 0.1% 浓度的洗洁精溶液中浸泡 30 秒。

(7) 干燥：水洗后的底片，用不锈钢夹子固定在铁丝上进行自然干燥，也可用烘箱烘干，烘干温度不大于 50℃。

5.2.2.9 底片评定

(1) 评片时，底片评定范围内的亮度应符合下列规定：

(2) 当底片评定范围内的黑度 $D \leq 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 30cd/m²。

(3) 当底片评定范围内的黑度 $D > 2.5$ 时，透过底片评定范围内的亮度应不低于 10cd/m²。

(4) 底片黑度：单胶片透照技术，单底片观察评定，底片评定范围内的黑度应满足：

A 级： $1.5 \leq D \leq 4.5$ ；

AB 级： $2.0 \leq D \leq 4.5$ ；

B 级： $2.3 \leq D \leq 4.5$ ；

(5) 双胶片透照技术，双底片叠加观察评定，评定范围内的黑度 D 应为 $2.7 \leq D \leq 4.5$ 。

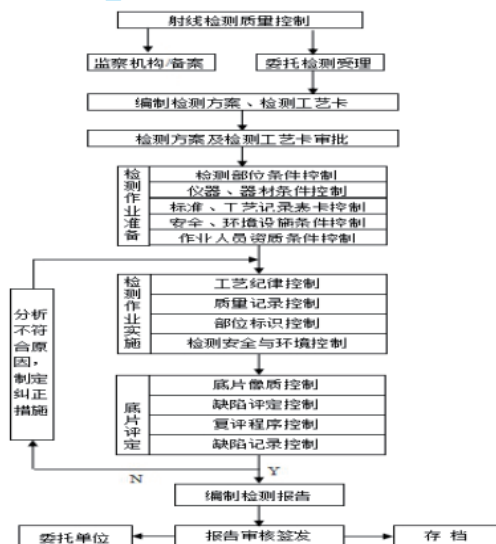
(6) 底片的像质计灵敏度应符合检测标准要求；底片上的定位标记和识别标记的影像应完整、位置准确；有效评定范围内不得有影响缺陷评定的伪缺陷、划伤、水迹、脱膜、污斑等，否则应重新拍片。

(7) 缺陷定性：底片上发现缺陷影像后，应首先检查是否为伪缺陷。当排除是伪缺陷影像后，应根据工件的材质、厚度、坡口形式、焊接方法，结合缺陷在底片上的形状，判定缺陷的性质。

(8) 缺陷定量：圆形缺陷应测量其长径尺寸，并换算成点数；条形缺陷应测量其长度。

(9) 焊接接头质量等级评定：质量等级评定按 NB/T47013 标准执行，当设计文件另有规定时，以设计文件的规定为准。

(五) 质量控制程序图



（六） γ 射线源的使用与管理

1. γ 射线探伤管理原则

1.1 作业前，作业单位应提供相关资质证明材料在业主（建设单位）或行业主管部门登记备案，获得作业许可；

1.2 放射源的异地作业应根据《放射性同位素与射线安全和防护条例》（国务院 449 号令）的要求，持有迁出地和接受地环保部门审批的《放射性同位素异地使用备案表》和所用放射源身份编码及活度证明材料，并将这些材料登记备案留存，没有办理放射性同位素异地使用备案的严禁开展放射源异地探伤作业；

1.3 作业单位应按国家相关规定划出控制区和监督区，并在监督区外采用警戒绳加以圈定，四周设置放射性危险标志、警示灯等明显的警示标识，在作业现场边界外公众可达地点放置安全信息公示牌，公示内容包括《辐射安全许可证》、公司法人、辐射安全负责人、操作人员、和现场安全员姓名（照片）、资质证书、环保部门监督电话等，防止无关人员误入；

1.4 γ 射线机探伤时，控制区外生产区域现场放射性同位素辐射防护须按《放射性同位素与射线装置安全防护条例》、《工业 γ 射线探伤放射防护标准》等相关法律法规、标准执行；

1.5 作业单位每次作业完成后立即将放射源送到其指定的源库中。

1.6 发生辐射事故时，立即启动应急预案，按预案规定逐级上报。

2. 放射源管理

2.1 放射源的购置与废源处理

2.1.1 购置放射源时，使用单位应以书面形式向所在地省环保部门提出购置申请计划，批准后方可采购放射源。

2.1.2 放射源到货后，使用单位应组织有关专业人员进行验收。验收项目包括：包装有无破损、储源容器是否安全无损，并用 X- γ 射线剂量仪测试，验证放射源处于储源容器的屏蔽位置。验收合格后，将放射源运至储源库房妥善保管。

2.1.3 放射源衰减至无使用价值时，应连同储源容器一起运回放射源生产单位回收，领取回收证明。

2.2 放射源的运输

2.2.1 放射源应用专门车辆由生产单位或委托有专业资质运输单位运输。

2.2.2 异地使用时的运输以及废源处理的运输，必须按国家有关运输规定进行包装和剂量监测。

2.2.3 放射源由存放地点运送到施工现场时，应将其放入专用铅箱内，用专车并派专人押运。

2.3 放射源的储存

2.3.1 放射源应储存于专用储源室内，储源室应远离火源及易燃、易爆、腐蚀性物品。储源室须经环保部门检测合格方可使用，并设置放射性警示标志和视频监控、防盗报警系统。

2.3.2 储源室应设专人监护，每天定时检查，并做好记录，发现异常情况应及时向工程管理科汇报，并保护好现场。



2.3.3 现场放射源应设置现场储源库，储源库应经建设单位及环保部门验收合格方可使用，或租借建设单位设立的储源库集中储源保管。

（七）质量检查

1. 质量检查要求和方法

1.1 质量检查要求

应检查底片质量、评片准确性。

1.2 质量检查方法

1.2.1 用黑度计检查底片黑度是否符合标准要求；观察像质计在底片上的影像，判断透照灵敏度是否符合标准要求；检查底片上的识别标记和定位标记；检查底片灰雾度是否符合标准要求；检查底片有效评定范围内是否存在水迹、划痕、脱膜、污斑、伪缺陷等。

1.2.2 检查、复评：缺陷的定性是否准确、缺陷定量是否正确。

1.2.3 检查、复评：焊缝质量评定中是否存在错评、漏评现象，质量等级评定是否准确。

2. 质量检验标准

2.1 底片的黑度应为 2.0 ~ 4.5。

2.2 底片灰雾度符合标准要求，像质计摆放正确，显示的像质计最小线径应符合检测标准的规定。

2.3 识别标记和定位标记齐全，且距离焊缝边缘的距离不小于 5mm。

2.4 在有效评定区范围内不得有影响底片评定的伪缺陷、划伤、水迹、脱膜、污斑等。

2.5 缺陷定性、定量、定位准确，焊接接头质量等级评定准确。

2.6 射线检测报告字迹清晰、数据准确，无涂改现象，签字手续齐全。

3. 质量记录

3.1 射线检测记录

检测时应认真填写原始记录，其内容应包括：委托单位、工件名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法、热处理状况、检测设备名称、型号、焦点尺寸、技术等级、透照布置、胶片型号、增感屏、射线能量、曝光量、焦距、暗室处理、条件、检测标准和验收条件、底片黑度、像质计灵敏度、质量评定等级、返修情况等，并有检测人员和审核人员签字及检测日期。

3.2 射线检测报告

应及时签发射线探伤报告，其内容除包括射线检测记录规定的内容外，还应满足检测标准规定的有关内容。

3.3 资料保管：底片保存条件至少应符合按档案文件管理的有关规定，并应满足胶片制造商的建议和要求。

4. 应注意的质量问题

4.1 应严格按照被检工件的材质和厚度选用不同种类的射线源。

4.2 暗室处理时应注意显、定影液的老化情况，及时更换或补充显、定影液，否则将增大底片

灰雾度。

4.3 评片时，应注意伪缺陷的辨别。当根据影像特征怀疑是伪缺陷而又不能排除是伪缺陷时，应重新拍片进行验证。

4.4 评片人员的视力应符合要求，必要时用 3 ~ 5 放大镜观察底片。否则能使微小裂纹漏评。

三、超声波检测

（一）超声检测的有关概念

超声检测原理

超声检测主要是基于超声波在工件中的传播特性，如声波在通过材料时能量会损失，在遇到声阻抗不同的两种介质分界面时会发生放射等。其工作原理是：

（1）声源产生超声波，采用一定的方式使超声波进入工件。

（2）超声波在工件中传播并与工件材料以及其中的缺陷相互作用，使其传播方向或特征被改变。

（3）改变后的超声波通过检测设备被接收，并可对其处理和分析。

（4）根据接收的超声波的特征，评价工件本身及其内部是否存在缺陷及缺陷的特征。

2. 超声检测的适用范围

超声检测适用范围广，从化工建设方面主要涉及焊接件、板材、管材、铸件、锻件等。检测厚度范围大，可小至 1mm 大至几米，检测的缺陷既可以是表面缺陷，也可以是内部缺陷。

（二）常用超声检测标准

1、GB/T15830《无损检测钢制管道环向焊缝对接接头超声波检测方法》

2、GB/T5777《无缝钢管超声波探伤检验》

3、GB11345《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》

4、NB/T47013《承压设备无损检测》

5、SY/T4109《石油天然气钢质管道无损检测》

6、SH/T3545《石油化工管道无损检测标准》

（三）质量控制要点见表 33-13

序号	控制点	控制措施
1	人员资格	检查检测人员资格证书，严禁无证上岗
2	仪器校验	仪器性能符合标准要求，每隔三个月至少对仪器的水平线性和垂直线性进行一次测定
3	检测工艺	编制检测方案、检测作业指导书卡
4	仪器调整	严格按标准要求调整时基线性、距离一波幅曲线灵敏度
5	检测报告	实行检测报告审核制，审核人员对报告内容的准确性进行审核

（四）检测工作程序

检测准备

1. 工艺准备

1.1 检测方案

大型检测项目或客户有特殊要求的检测项目，超声检测应单独编制检测方案。检测方案应根据本单位超声检测工艺规程由 UT- II 级及以上人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

1.2 超声检测操作指导书

检测前应编制超声检测操作指导书。超声检测操作指导书由 UT- II 级人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。首次使用的检测操作指导书应进行工艺验证。验证可通过专门的工件试验进行，或以产品的第一批工件作为验证对象。

2. 检测作业人员

2.1 超声检测应由按 TSGZ8001-2019《特种设备无损检测人员考核规则》考核合格，并取得超声检测 II 级或 II 级以上资格证书的检测人员担任。

2.2 I 级人员应在 II 级或 III 级人员的指导下进行超声检测操作和记录。II 级或 III 级人员有权对检测结果进行评定，签发检测报告。

2.3 检测人员的视力应符合有关检测标准的要求。

2.4 无损检测人员证有效期为 5 年，证件有效届满 6 个月以前、18 个月以内向发证机关提出换证申请。换证包括免试换证和考试换证两种方式。II 级、III 级无损检测人员满足下列要求的可以申请免试换证，I 级无损检测人员满足下列 2.4.2、2.4.3 项要求的可以申请免试换证；

2.4.1 上次为考试换（取）证的；

2.4.2 申请换证的相应项目和级别的证书在有效期内，并且未中断执业 6 个月以上；

2.4.3 执业期间未发生过无损检测违规行为和责任事故。

3. 检测设备与器材

3.1 探伤仪

采用 A 型脉冲反射式超声检测仪，其工作频率按 -3dB 测量应至少包括 0.5MHz~10MHz 频率范围，在任意连续 20dB 范围内衰减器累积误差 $\leq 1.7\text{dB}$ ，在任意连续 60dB 范围内衰减器累积误差 $\leq 3\text{dB}$ ，最大累计误差不超过 1dB。

3.2 探头

圆形晶片直径一般不应大于 40mm，方形晶片任一边长一般不大于 40mm。单斜探头声束轴线水平偏离角不应大于 2° 。

3.3 超声探伤仪和探头的组合性能要求

3.3.1 水平线性偏差不大于 1%，垂直线性偏差不大于 5%。

3.3.2 仪器和探头的组合频率与公称频率误差不得大于 $\pm 10\%$ 。

3.3.3 在达到所探工件的最大检测声程时，其有效灵敏度余量应不小于 10dB。

3.3.4 仪器 - 直探头组合性能还应满足以下要求：

灵敏度余量应不小于 42dB；在基准灵敏度下，对于标称频率为 5MHz 的探头，盲区不大于 10mm；对于标称频率为 2.5MHz 的探头，盲区不大于 15mm；远场分辨力不小于 20dB。

3.3.5 仪器 – 斜探头组合性能还应满足以下要求：

灵敏度余量应不小于 52dB；斜探头远场分辨力不小于 12dB。

3.4 耦合剂

应采用透声性好，且不损伤检测表面的耦合剂，如机油、化学浆糊、甘油和水等。

3.5 试块

3.5.1 标准试块

标准试块是指用于仪器探头系统性能校准的试块。本部分采用的标准试块为 CSK-IA、DZ-1 和 DB-P（Z20-2）。

3.5.2 对比试块

（1）对比试块的外形尺寸应能代表被检工件的特征，试块厚度应与被检工件的厚度相对应。如果涉及到不同工件厚度对接焊接接头的检测，试块厚度的选择应由较大工件厚度确定。

（2）对比试块应采用与被检材料声学性能相同或相似的材料制成，当采用直探头检测时，不得有大于或等于 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔当量直径的缺陷。

（3）不同被检工件超声检测用对比试块人工反射体的形状、尺寸和数量应符合相关章节的规定。

3.6 超声仪器和探头校准、核查、运行核查和检查

3.6.1 校准、核查和运行核查应在标准试块上进行，校准时应使探头主声束垂直对准反射体的反射面，以获得稳定和最大的反射信号。

3.6.2 校准或核查

（1）每年至少对超声仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性、组合频率、盲区（仅限直探头）、灵敏度余量、分辨力以及仪器的衰减器精度，进行一次校准并记录，测试要求应满足 4.2.2.3 的规定。

（2）每年至少对标准试块与对比试块的表面腐蚀与机械损伤，进行一次核查，按 JB/T8428 的要求进行。

3.6.3 运行核查

（1）数字超声检测仪每 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的水平线性和垂直线性，进行一次运行核查并记录。

（2）每 3 个月至少对探头的盲区（仅限直探头）、灵敏度余量和分辨力进行一次运行核查并记录。

3.6.4 检查

（1）每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

（2）使用斜探头时，检测前应测定入射点（前沿距离）和折射角（K 值）。

3.6.5 校准、运行核查和检查时，应将影响仪器线性的控制器（如抑制或滤波开关等）均置于“关”的位置或处于最低水平上。



3.7 仪器和探头系统的复核

3.7.1 发生以下情况时应对系统进行复核：

- (1) 探头、耦合剂和仪器调节发生改变时；
- (2) 怀疑扫描量程或扫查灵敏度有变化时；
- (3) 连续工作 4h 以上时；
- (4) 工作结束时。

3.7.2 扫描量程的复核

如果任意一点在扫描线上的偏移超过扫描线该点读数的 10% 或全扫描量程的 5%，则扫描量程应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检。

3.7.3 扫查灵敏度的复核

复核时，如发现扫查灵敏度或距离 - 波幅曲线上任一深度人工反射体回波幅度下降 2dB，则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；如幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

4. 作业条件

4.1 工件表面准备

4.1.1 探头移动区范围内应清除飞溅、焊疤、焊渣、氧化皮等，且表面粗糙度应为 $Ra \leq 6.3 \mu m$ 。

4.1.2 被检工件的表面质量应由委托单位的质量检查人员检验合格并在检测委托单上签字认可。检测人员操作前应对工件的表面质量进行复核，当表面质量不符合检测要求时，应在委托单上注明原因，退回委托单位进行表面修整，直至符合检测要求。

4.2 检测时机

4.2.1 锻件的检测原则上应安排在热处理后，孔、台等结构机加工前进行。

4.2.2 焊接接头超声波检测一般在焊接完成后进行。有延迟裂纹倾向的材质，应在焊接完成 24h 以后进行检测操作。标准抗拉强度大于 540MPa 钢材制造的球罐，应在焊接结束 36 小时后进行检测操作。

4.3 设施与环境

4.3.1 容器内作业时，应采取有效通风设施，保证通风良好。

4.3.2 夜晚现场检测或容器内检测操作时，应有足够的照明设施，保证良好的照明条件。

(五) 检测实施

5.1 检测控制流程图

5.2 钢板超声波检测

5.2.1 适用范围

本节适用于板厚 6-250mm 的碳素钢、低合金钢板材的超声波检测。奥氏体钢板材、镍及镍合金板材以及双相不锈钢板材的超声波检测，也可参照本条执行。

5.2.2 检测器材

5.2.2.1 探头

钢板厚度为 6–20mm 时, 选用双晶直探头, 公称频率为 5MHz; 钢板厚度大于 20mm–60mm 时, 选用双晶直探头或单晶直探头, 公称频率为 2–5MHz; 钢板厚度大于 40mm 时, 选用单晶直探头, 公称频率为 2–5MHz。探头晶片尺寸为: 圆形晶片直径 $\phi 10$ – $\phi 30$ mm, 方形晶片边长 10–30mm。

5.2.2.2 试块

(1) 用双晶直探头检测厚度不大于 20mm 的板材时, 采用 NB/T47013.3–2015 标准 5.3 条款中图 1 规定的阶梯平底试块。

(2) 检测厚度大于 20mm 的板材时, 对比试块形状和尺寸应符合 NB/T47013.3–2015 标准 6.3 条款中表 4 和图 2 的规定。对比试块人工反射体为 $\phi 5$ mm 平底孔, 反射体个数至少 3 个。

5.2.3 工艺参数

5.2.3.1 扫描时基线调节

板材厚度小于或等于 20mm 时, 应使荧光屏出现 5 次底波, 壁厚大于或等于 20mm 时, 应使荧光屏出现至少 2 次底波。

5.2.3.2 检测灵敏度:

(1) 板厚小于等于 20mm 时, 用阶梯平底试块调节, 也可用被检板材无缺陷完好部位调节, 此时用与工件等厚部位试块或被检板材的第一次底波调整到满刻度的 50%, 再提高 10dB 作为基准灵敏度。

(2) 板厚大于 20mm 时, 按所用探头和仪器在 $\phi 5$ mm 平底孔试块上绘制距离 – 波幅曲线, 并以此曲线作为基准灵敏度。

(3) 如能确定板材底面回波与不同深度 $\phi 5$ 平底孔反射波之间的关系, 则可采用板材无缺陷完好部位第一次底波来调节基准灵敏度。

(4) 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度高 6dB。

5.2.3.3 表面补偿

(1) 应用灵敏度试块与检测的等厚钢板(无缺陷部位)测定其表面补偿。

(2) 测定方法: 将探头分别放置在灵敏度试块上和等厚钢板(无缺陷部位)部位, 将第一次反射底波调整到相同波高, 分别读出两次测试的衰减器(增益)的数值, 其差值即为表面补偿分贝值。

(3) 用钢板无缺陷完好部位的第一次底波来校准灵敏度时, 无需表面补偿。

5.2.3.4 检测面: 钢板的任一轧制表面, 若检测人员认为需要或设计上有要求时, 也可选钢板的上、下两轧制表面分别进行检测。

5.2.3.5 耦合方式: 直接接触法。

5.2.3.6 验收标准: 除非设计文件另有规定, 应按 NB/T47013 标准进行评定验收。

5.2.4 检测操作

5.2.4.1 连接仪器和探头, 在试块上调节探伤灵敏度。



5.2.4.2 在工件上涂布耦合剂，在工件上做以下方式的探伤扫查：

(1) 在板材周边或剖口预定线两侧范围内应作 100% 扫查，扫查区域宽度见下表 33-14：

板厚	< 60mm	≥ 60~100mm	≥ 100mm
扫查区域宽度	50mm	75	100mm

(2) 球罐安装时，球壳板周边 100mm 范围内应作 100% 扫查。

(3) 在板材中部区域，探头沿垂直于板材压延方向，间距不大于 50mm 的平行线进行扫查，或探头沿垂直和平行板材压延方向且间距不大于 100mm 格子线进行扫查。

(4) 双晶直探头扫查时，探头的移动方向应与探头的隔声层相垂直。

5.2.4.3 探头的扫查速度不应超过 150mm/s。当采用自动报警装置扫查时，不受此限。做 100% 扫查时探头每次扫查的覆盖范围应大于探头直径的 15%。

5.2.5 缺陷的测定与记录

5.2.5.1 在检测基准灵敏度条件下，发现下列二种情况之一即作为缺陷：

(1) 第一次反射波 (F1) 波幅高于距离 - 波幅曲线，或用双晶探头检测板厚小于 20mm 板材时，第一次反射波 (F1) 波幅大于或等于显示屏满刻度的 50%；

(2) 底面第一次反射波 (B1) 波幅低于显示屏满刻度的 50%，即 $B1 < 50\%$ 。

5.2.5.2 缺陷的定量

5.2.5.2.1 双晶直探头检测时缺陷的定量

(1) 使用双晶直探头对缺陷进行定量时，探头的移动方向应与探头的隔声层相垂直；

(2) 板材厚度小于等于 20mm 时，移动探头使缺陷波下降到基准灵敏度条件下显示屏满刻度的 50%，探头中心点即为缺陷的边界点；

(3) 板材厚度大于 20mm~60mm 时，移动探头使缺陷波下降到距离 - 波幅曲线，探头中心点即为缺陷的边界点；

(4) 确定 5.2.5.2.1 (2) 中缺陷的边界范围时，移动探头使底面第一次反射波上升到基准灵敏度条件下显示屏满刻度的 50% 或上升到距离 - 波幅曲线，此时探头中心点即为缺陷的边界点；

(5) 缺陷边界范围确定后，用一边平行于板材压延方向矩形框包围缺陷，其长边作为缺陷的长度，矩形面积则为缺陷的指示面积。

5.2.5.2.2 单晶直探头检测时缺陷的定量

使用单晶直探头除按 5.2.5.2.1 (3)、(4)、(5) 的方法对缺陷进行定量外，还应记录缺陷的反射波幅或当量平底孔直径。

5.2.5.3 检测时应记录缺陷反射波情况，缺陷指示长度或指示面积，并绘制缺陷位置图。

5.2.6 缺陷尺寸的评定方法

5.2.6.1 缺陷指示长度的评定规则

用平行于板材压延方向矩形框包围缺陷，其长边作为该缺陷的指示长度。

5.2.6.2 单个缺陷指示面积的评定规则

(1) 一个缺陷按其指示的矩形面积作为该缺陷的单个指示面积;

(2) 多个缺陷其相邻间距小于相邻较小缺陷的指示长度时,按单个缺陷处理,缺陷指示面积为各缺陷面积之和。

5.2.7 缺陷评定

质量等级评定按 NB/T47013 标准执行,当设计文件另有规定时,以设计文件的规定为准。

5.3 锻件超声波检测

5.3.1 适用范围:

本条款适用于碳素钢和低合金钢锻件的超声波检测和缺陷等级评定,不适用于内、外半径之比小于 65% 的环形和筒形锻件的周向横波检测。

5.3.2 检测器材

5.3.2.1 探头

(1) 探头的标称频率应在 1MHz ~ 5MHz 范围内。

(2) 双晶直探头的晶片面积不小于 150mm²;单晶直探头的晶片有效直径应在一般为 $\phi 10 \sim \phi 40\text{mm}$ 范围内。

(3) 斜探头的标称频率应为 2MHz ~ 5MHz,探头晶片面积为 80 ~ 625mm²。

5.3.2.2 试块

(1) 采用纵波单晶直探头时采用 CS-2 试块;工件检测厚度小于 45mm 时,采用纵波双晶探头时应采用 CS-3 对比试块。

(2) 检测面曲率半径小于或等于 250mm 时,应采用曲面对比试块(试块曲率半径在工件曲率半径)的 0.7 倍至 1.1 倍范围内)。或采用 CS-4 对比试块来测定由于曲率不同而引起的声能损失。

5.3.2.3 耦合剂:化合浆糊、机油。

5.3.3 检测时机:检测原则上应安排在热处理后,孔、台等结构机加工前进行,检测面的表面粗糙度 $R_a \leq 6.3 \mu\text{m}$ 。

5.3.4 检测灵敏度的确定

5.3.4.1 单直探头基准灵敏度的确定

采用 CS-2 或 CS-4 试块,依次测试一组不同检测距离的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔(至少三个),制作单晶直探头距离一波波幅曲线,并以此为基准灵敏度。当被检部位的厚度大于或等于探头的三倍近场区长度,且探测面与底面平行时,可采用底波计算法确定基准灵敏度。

5.3.4.2 双直探头基准灵敏度的确定

采用 CS-3 试块,依次测试一组不同检测距离的 $\phi 2\text{mm}$ 平底孔(至少三个),制作双晶直探头距离一波波幅曲线,并以此为基准灵敏度。

5.3.4.3 扫查灵敏度一般应比基准灵敏度提高 6dB。

5.3.5 检测方法

5.3.5.1 耦合方式:一般采用直接接触法。



5.3.5.2 灵敏度补偿：检测时应根据实际情况进行耦合补偿、衰减补偿和曲面补偿。

5.3.5.3 移动探头从两个相互垂直的方向在检测面上做 100% 扫查；双晶直探头扫查时，探头的移动方向应与探头的隔声层相垂直。

5.3.6 缺陷当量的确定

5.3.6.1 被检缺陷的深度大于或等于探头的三倍近场区时，采用 AVG 曲线及计算法确定缺陷当量。对于三倍近场区内的缺陷，可采用距离 - 波幅曲线来确定缺陷当量。也可采用其他等效方法来确定。

5.3.6.2 当采用计算法确定缺陷当量时，若材质衰减系数超过 4dB/m，应考虑修正。材质衰减系数的测定应按有关标准执行。

5.3.6.3 当采用距离 - 波幅曲线来确定缺陷当量时，若对比试块与工件材质衰减系数差值超过 4dB/m，应进行修正。

5.3.7 缺陷记录

5.3.7.1 记录当量直径超过 $\phi 4\text{mm}$ 的单个缺陷的波幅和位置。

5.3.7.2 密集区缺陷：记录密集区缺陷中最大当量缺陷的位置和缺陷分布。

5.3.7.3 底波降低量 BG/BF 大于或等于 6dB 时，应予以记录。

5.3.8 质量等级评定

除非设计文件另有规定，缺陷评定应按 NB/T47013.3-2015 标准执行。

5.4 承压设备 I 型焊接接头超声波检测

5.4.1 适用范围：

本条款适用于母材厚度为 6mm ~ 200mm 的锅炉、压力容器筒体或封头对接焊接接头的超声检测，也适用于外径 $\geq 159\text{mm}$ ，厚度为 6mm ~ 150mm 的锅炉、压力容器管子以及压力管道环向对接焊接接头和纵向对接焊接接头的超声波检测。

5.4.2 超声检测技术等级：B 级。

5.4.3 检测器材

5.4.3.1 探头

斜探头的折射角（K 值）、标称频率的选取可参照下表 33-15 的规定。条件允许时，应尽量采用较大折射角（K 值）探头。

工件厚度 t/mm	折射角（K 值）	标称频率 /MHz
6 ~ 25	63° ~ 72° （2.0 ~ 3.0）	4 ~ 5
> 25 ~ 40	56° ~ 68° （1.5 ~ 2.5）	2 ~ 5
> 40	45° ~ 63° （1.0 ~ 2.0）	2 ~ 2.5

5.4.3.2 试块

5.4.3.2.1 标准试块：CSK-IA 试块

5.4.3.2.2 对比试块

（1）工件厚度为 6 ~ 40mm 时，使用 CSK- II A-1 型对比试块。

(2) 工件厚度大于 40 ~ 100mm 时, 使用 CSK- II A-2 型对比试块。

(3) 工件厚度大于 40 ~ 200mm 时, 使用 CSK- II A-3 型对比试块。

5.4.3.2.3 对于工件壁厚范围为 8mm ~ 120mm 的焊接接头超声检测, 也可采用 CSK- III A 试块, 但应对灵敏度进行适当调整以与 CSK- II A 试块保持一致。

5.4.3.3 耦合剂: 化学浆糊、机油

5.4.4 工艺参数

5.4.4.1 检测技术等级: B 级。

5.4.4.2 检测面

5.4.4.2.1 纵向缺陷检测时, 检测面按照以下条款执行;

(1) 工件厚度为 6 ~ 40mm 时, 使用一种折射角 (K 值) 的探头, 做单面双侧检测。

(2) 工件厚度大于 40 ~ 100mm 时, 使用一种折射角 (K 值) 的探头, 做双面双侧检测, 或使用 2 种不同折射角 (K 值) 的探头, 做单面双侧或双面单侧检测。

(3) 工件厚度大于 100 ~ 200mm 时, 使用两种不同折射角 (K 值) 的探头, 做双面双侧检测。

5.4.4.2.2 横向缺陷检测时, 检测面按照以下条款执行;

(1) 工件厚度为 6 ~ 100mm 时, 使用一种折射角 (K 值) 的探头, 做单面双侧检测。

(2) 工件厚度大于 100 ~ 200mm 时, 使用两种折射角 (K 值) 的探头, 做单面双侧检测。

5.4.4.3 检测灵敏度

5.4.4.3.1 距离一波幅曲线灵敏的确定按下表 33-16 执行:

试块形式	工件厚度 t/mm	评定线	定量线	判废线
CSK- II A	$\geq 6 \sim 40$	$\Phi 2 \times 40-18\text{dB}$	$\Phi 2 \times 40-12\text{dB}$	$\Phi 2 \times 40-4\text{dB}$
	$> 40 \sim 100$	$\Phi 2 \times 60-14\text{dB}$	$\Phi 2 \times 60-8\text{dB}$	$\Phi 2 \times 40+2\text{dB}$
	$> 100 \sim 200$	$\Phi 2 \times 60-10\text{dB}$	$\Phi 2 \times 60-4\text{dB}$	$\Phi 2 \times 40+6\text{dB}$

5.4.4.3.2 工件厚度为 8 ~ 120mm 的焊接接头斜探头检测时, 如果使用 CSK- III A 试块, 距离一波幅曲线灵敏的确定按下表 33-17 执行:

试块形式	工件厚度 t/mm	评定线	定量线	判废线
CSK- III A	$\geq 8 \sim 15$	$\Phi 1 \times 6-12\text{dB}$	$\Phi 1 \times 6-6\text{dB}$	$\Phi 1 \times 6+2\text{dB}$
	$> 15 \sim 40$	$\Phi 1 \times 6-9\text{dB}$	$\Phi 1 \times 6-3\text{dB}$	$\Phi 1 \times 6+5\text{dB}$
	$> 40 \sim 120$	$\Phi 1 \times 6-6\text{dB}$	$\Phi 1 \times 6$	$\Phi 1 \times 6+10\text{dB}$

5.4.4.3.3 扫查灵敏度不低于评定线灵敏度, 此时在检测范围内最大声程处的评定线高度不得低于荧光屏满刻度的 20%。

5.4.4.3.4 检测和评定横向缺陷时, 应将各线灵敏度均提高 6dB。

5.4.4.4 表面补偿: 一般为 3dB (当表面粗糙度 $R_a > 6.3\text{mm}$ 时应实测)。

5.4.4.5 检测区: 检测区的宽度为焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 10mm 的范围。

5.4.4.6 探头移动区宽度

(1) 采用一次反射法检测时, 探头移动区大于或等于 $2.5TK$ (T: 母材厚度, K: 探头 K 值)。

(2) 采用直射法检测时, 探头移动区应大于或等于 $1.5TK$ (T: 母材厚度, K: 探头 K 值)。



5.4.5 距离 ---- 波幅曲线的绘制

5.4.5.1 探头前沿长度的测量

将探头置于 CSK-ⅠA 标准试块上, 利用 R100 曲面测量探头的前沿长度, 测量三次取平均值作为探头的前沿长度。

5.4.5.2 K 值的测量

将探头置于 CSK-Ⅱ A 或 CSK-Ⅲ A 试块上, 利用深度为 25mm 或 30mm 的孔测定 K 值, 测量三次取平均值作为探头 K 值。

5.4.5.3 绘制曲线

将探头置于 CSK-Ⅱ A 或 CSK-Ⅲ A 试块上, 按照仪器使用说明的规定制作距离波幅曲线。

5.4.6 检测操作

5.4.6.1 扫查方法

(1) 为检测纵向缺陷, 斜探头应垂直于焊缝中心线放置在检测面上, 作锯齿型扫查。探头前后移动的范围应保证扫查到全部焊接接头截面, 在保持探头垂直焊缝作前后移动的同时, 还应作 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的左右转动。

(2) 为观察缺陷动态波形和区分缺陷信号或伪缺陷信号, 确定缺陷的位置、方向和形状, 可采用前后、左右、转角、环绕等四种探头基本扫查方式。

(3) 为检测横向缺陷, 可在焊接接头两侧边缘使斜探头与焊接接头中心线成不大于 10° 作两个方向斜平行扫查。如焊接接头余高磨平, 探头应在焊接接头及热影响区上作两个方向的平行扫查。

5.4.6.2 检测面曲率半径小于 250mm 环向对接焊接接头的检测

(1) 如检测面曲率半径 $R \leq W/4$ 时 (W 为探头宽度), 应采用 RB-C 型对比试块。

(2) 工件检测面曲率半径应为对比试块曲率半径的 $0.9 \sim 1.5$ 倍。

(3) 扫查方法按 5.4.6.1 (1) 和 5.4.6.1 (2) 条执行。

5.4.7 缺陷定量检测

检测扫查发现缺陷后, 应把检测灵敏度应调到定量线灵敏度。对所有反射波幅达到或超过评定线的缺陷, 均应确定其位置、波幅和指示长度。

5.4.7.1 缺陷定位: 应测定缺陷的水平位置和埋藏深度。缺陷水平位置的测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

5.4.7.2 缺陷波幅测定: 将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置, 测定波幅大小。

当使用不同折射角 (K 值) 的探头或从不同检测面 (侧) 检测同一缺陷时, 以获得的最高波幅为缺陷波幅。

5.4.7.3 缺陷指示长度的测量

(1) 当缺陷反射波只有一个高点, 且位于 II 区或 II 区以上时, 用 -6dB 法测其指示长度; (2) 当缺陷反射波峰值起伏变化, 有多个高点, 且位于 II 区或 II 区以上时, 用端点 -6dB 法测其指示长度;

(3) 当缺陷反射波峰位于Ⅰ区, 将探头左右移动, 使波幅降到评定线, 以用评定线绝对灵敏度法测量缺陷指示长度。

5.4.7 缺陷评定

5.4.7.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹、未熔合、未焊透等类型缺陷特征,

如有怀疑时, 应采取改变探头折射角(K值)、增加检测面、观察动态波形并结合结构工艺特征作判定, 如对波形不能判断时, 应辅以其他检测方法作综合判定。

5.4.7.2 沿缺陷长度方向相邻的两缺陷, 其长度方向间距小于其中较小的缺陷长度且两缺陷在与缺陷长度相垂直方向的间距小于5mm时, 应作为一条缺陷处理, 以两缺陷长度之和作为其指示长度(间距计入)。如果两缺陷在长度方向投影有重叠, 则以两缺陷在长度方向上投影的左、右端点间距离作为其指示长度。

5.4.8 质量等级评定

除非设计文件另有规定, 质量等级评定应按NB/T47013标准执行。

5.5 承压设备Ⅱ型焊接接头超声波检测

5.5.1 适用范围

本条款适用于壁厚为6~50mm, 外径为32mm~159mm或壁厚为4mm~6mm, 外径大于或等于32mm的钢制锅炉、压力容器管子环向对接焊接接头和压力管道环向对接焊接接头的超声波检测; 不适用于奥氏体不锈钢及双相不锈钢压力管道环向对接焊接接头的超声检测。

5.5.2 检测器材

5.5.2.1 探头

(1) 推荐采用线聚焦斜探头和双晶斜探头。

(2) 斜探头折射角(K值)的选取可参照下表33-18的规定。如有必要, 也可采用其他折射角(K值)的探头。

管壁厚度, mm	探头折射角(K值)	探头前沿, mm
≥4~8	68°~72° (2.5~3.0)	≤6
>8~15	63°~68° (2.0~2.5)	≤8
>15	56°~63° (1.5~2.0)	≤12

(3) 探头楔块的曲率应加工成与管子外径相吻合的形状。加工好曲率的探头应对其折射角(K值)和前沿长度进行测定, 要求一次波至少扫查到焊接接头根部。

5.5.2.2 对比试块

(1) 采用的试块型号为GS-1、GS-2、GS-3、GS-4。对比试块的形状和尺寸应符合NB/T47013.3-2015标准的规定。

(2) 当施工验收规范或设计文件另有规定时, 也可以采用验收规范或设计文件要求的其他形式的试块。

5.5.3 工艺参数

5.5.3.1 检测频率: 检测频率一般采用5MHz, 当管壁厚度大于15mm时, 可采用2.5MHz。



5.5.3.2 探头移动区

探头移动区应大于 3KT。一般应从焊接接头两侧进行检测，确因条件限制只能从焊接接头一侧检测时，应采用两种或两种以上的不同 K 值探头进行检测。

5.5.3.3 时基线调节：一般按水平 1:1 调节扫描时基线。

5.5.3.4 检测灵敏度

(1) 距离—波幅曲线灵敏的确定按下表 33-19 执行：

管壁厚度 t/mm	评定线	定量线	判废线
$\geq 4 \sim 8$	$\Phi 2 \times 20-24\text{dB}$	$\Phi 2 \times 20-18\text{dB}$	$\Phi 2 \times 20-12\text{dB}$
$> 8 \sim 15$	$\Phi 2 \times 20-20\text{dB}$	$\Phi 2 \times 20-14\text{dB}$	$\Phi 2 \times 20-8\text{dB}$
> 15	$\Phi 2 \times 20-16\text{dB}$	$\Phi 2 \times 20-10\text{dB}$	$\Phi 2 \times 20-4\text{dB}$

(2) 扫查灵敏度不得低于评定线灵敏度。

5.5.4 距离——波幅曲线的绘制

5.5.4.1 探头前沿长度的测量

将探头置于 GS 标准试块上，利用 R50 曲面测量探头的前沿长度，测量三次取平均值作为探头的前沿长度。

5.5.4.2 K 值的测量

将探头置于 GS 试块上，利用深度为 20mm 的孔测定 K 值，测量三次取平均值作为探头 K 值。

5.5.4.3 绘制曲线

将探头置于 GS 试块上，按照仪器使用说明的规定制作距离波幅曲线。

5.5.5 检测操作

5.5.5.1 一般将探头从对接焊接接头两侧垂直于焊接接头进行扫查，探头左右移动应使得扫查覆盖大于探头宽度的 15%。

5.5.5.2 为了观察缺陷动态波形或区分伪缺陷信号以确定缺陷的位置、方向、形状、可采用前后、左右、转角等扫查方法。

5.5.6 缺陷定量检测

5.5.6.1 对所有反射波幅位于 I 区或 I 区以上的缺陷，均应对缺陷位置、缺陷最大反射波幅和缺陷指示长度等进行测定。

5.5.6.2 缺陷位置的测定应以获得缺陷最大反射波的位置为准。

5.5.6.3 缺陷最大反射波幅的测定方法是：将探头移至缺陷出现最大反射波信号的位置，测定波幅大小，并确定它在距离—波幅曲线中的区域。

5.5.6.4 缺陷指示长度的测定按下述方法进行：

(1) 当缺陷反射波只有一个高点，且位于 II 区或 II 区以上时，用 -6dB 法测量其指示长度。

(2) 当缺陷反射波峰值起伏变化，有多个高点，且均位于 II 区或 II 区以上时，应以端点 -6dB 法测量其指示长度。

(3) 当缺陷最大反射波幅位于 I 区，将探头左右移动，使波幅降到评定线，以用评定线绝对

灵敏度法测量缺陷指示长度。

(4) 缺陷的指示长度 l 应按下式计算 (适用于管径较小且壁厚较大时) :

$$l = L \times (R - H) / R$$

式中: L ——测定的缺陷指示长度, mm;

R ——管子外径, mm;

H ——缺陷距外表面深度 (指示深度), mm。

5.5.7 缺陷的评定

5.5.7.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹、未熔合等类型缺陷特征, 如有怀疑时, 应采取改变探头折射角 (K 值)、观察缺陷动态波形并结合焊接工艺等进行综合分析。

5.5.7.2 相邻两缺陷在一直线上, 其间距小于其中较小的缺陷长度时, 应作为一条缺陷处理, 以两缺陷长度之和作为其单个缺陷指示长度 (间距计入缺陷长度)。

5.5.8 质量等级评定

除非设计文件另有规定, 质量等级评定应按 NB/T47013 标准执行。

5.6 超声波测厚

5.6.1 适用范围:

本条款适用于锅炉、压力容器、压力管道及其零部件厚度的超声测量。

5.6.2 超声测厚仪: 使用数字式超声波测厚仪, 其精度应达到 $\pm (0.5\%t + 0.05)$ mm, t 为壁厚。

5.6.3 探头: 采用带延迟块的单晶直探头或双晶直探头。

5.6.4 校正试块: 采用 NB/T47013.3-2015 标准中图 25 规定的超声测厚阶梯试块或测厚仪的配套试块。

5.6.5 耦合剂: 化学浆糊、甘油、机油等。

5.6.6 仪器校正

5.6.6.1 采用阶梯试块校正

(1) 将探头分别在阶梯试块上厚度接近待测厚度的最大值和待测厚度的最小值 (或待测厚度最大值的 $1/2$) 进行校正;

(2) 将探头置于较厚试块上, 调整“声速校准”旋钮, 使测厚仪显示读数接近已知值;

(3) 将探头置于较薄的试块上, 调整“零位校准”旋钮, 使测厚仪显示读数接近已知值;

(4) 反复调整, 使量程的高低两端都得到正确读数;

5.6.6.2 用测厚仪配套试块校正

若已知材料声速, 则可预先调好声速值, 然后在仪器附带的试块上, 调节“零位校准”旋钮, 使仪器显示为试块的厚度。将测厚仪的声速调节为被测材料的声速值, 将探头置于仪器配套的试块上, 调节“零位校正”旋钮, 使仪器读数为试块厚度。

5.6.7 测厚操作

5.6.7.1 测厚部位用砂纸将锈蚀、氧化皮清除干净并露出金属光泽, 涂布耦合剂。



5.6.7.2 探头置于涂有耦合剂的工件上，从显示屏上读出所测厚度值。同一部位应将探头转动 90° 测量两次，取较小数值为该点的厚度值。

5.6.7.3 当测定值不稳定时，以一个测定点为中心，在 $\phi 30\text{mm}$ 的范围内进行多点测定，测定值以最小值为准。

5.6.7.4 管子测厚时，如使用单晶直探头，应使探头中心线与管轴中心线相垂直，并通过管轴中心；使用双晶直探头测厚时，探头分割线必须与管轴中心线垂直。

5.6.8 仪器复核

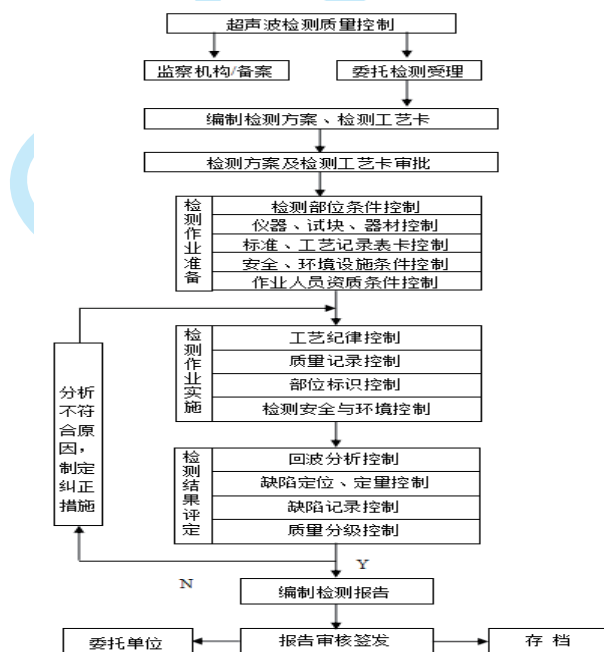
5.6.8.1 遇有下述情况应对仪器进行复核：

- (1) 厚度连续测量超过 1 小时；
- (2) 探头或探头线更换时；
- (3) 测量材料类型改变时；
- (4) 工件表面温度明显变化时（变化量超过 $\pm 14^{\circ}\text{C}$ ）；
- (5) 对测量数值有怀疑时；
- (6) 测量结束时。

5.6.8.2 若复核读数偏差超过仪器允许误差，则对测量开始或上次复核以来的全部测量数据予以复测。

5.6.9 测厚记录与报告

操作时应详细记录测厚工件编号、测厚位置和测量数据，并画出测厚部位示意图。测厚报告应包括工件名称、材质、编号、委托单位、仪器型号、探头、试块、耦合剂、测定方法、测定部位和数据，并附有测厚部位图，操作人员、校核人员均应在报告上签字。



36
超声波检测质量控制程序图

（五）质量检查要求和方法

1、质量检查要求

检查仪器时基线性调节的准确性、检查距离一波幅曲线灵敏度和缺陷评定的准确性。

2、质量检查方法

2.1 检测过程中遇有下述情况应对仪器和探头系统进行复核：

2.1.1 校准后的探头、耦合剂和仪器调节旋钮发生改变时。

2.1.2 检测人员怀疑扫描量程或扫查灵敏度有变化时。

2.1.3 连续工作 4h 以上时。

2.1.4 工作结束时。

2.2 在检测结束前对仪器和探头系统进行复核

2.2.1 每次检测结束前，应对扫描量程进行复核。如果任意一点在扫描线上的偏移超过扫描线读数的 10%，则扫描量程应重新调整，并对上一次复核以来所有的检测部位进行复检。

2.2.2 每次检测结束前，应对扫查灵敏度进行复核。一般对距离-波幅曲线的校核不应少于 3 点。如曲线上任何一点幅度下降 2dB，则应对上一次复核以来所有的检测部位进行复检；如幅度上升 2dB，则应对所有的记录信号进行重新评定。

3、质量检验标准

3.1 时基线性调整正确，距离一波幅曲线灵敏度符合检测标准要求。

3.2 缺陷定量、定位及质量等级评定准确。

3.3 超声波检测报告字迹清晰、数据准确，无涂改现象，签字手续齐全。

4、质量记录

4.1 超声波检测记录

操作时应认真填写超声检测记录，其内容至少应包括：委托单位、工程名称、工程编号、工件名称、工件编号、材质、规格、热处理状态和表面状况、检测时机、检测比例、经常技术等级；探伤仪型号和编号、探头、试块、耦合剂、检测范围、扫查位置、扫查方式、检测灵敏度、耦合补偿、缺陷状况、评定级别和返修情况等，并有检测人员和责任人员签字。

4.2 超声检测报告

应及时签发超声检测报告，其内容除包括超声检测记录规定的内容外，还应满足检测标准规定的有关内容。

四、磁粉探伤

（一）磁粉探伤的有关概念

1、磁粉探伤原理

铁磁性材料工件被磁化后，由于不连续性的存在，使工件表面和近表面的磁感应线发生局部畸变而产生漏磁场，吸附施加在工件表面的磁粉，在合适的光照条件下形成目视可见的磁痕，从而显示出不连续性的位置、大小、形状和严重程度。



2、磁粉探伤的适用范围

2.1 适用于检测铁磁性材料；

2.2 适用于检测工件表面和近表面的裂纹、白点、发纹、折叠、疏松、冷隔、气孔和夹杂等缺陷。

(二) 常用磁粉探伤标准

《无损检测磁粉检测》GB/T15822.1

《钢结构现场检测技术标准》GB/T50621

《承压设备无损检测》NB/T47013.4

《石油天然气钢质管道无损检测》SY/T4109

《石油化工管道无损检测标准》SH/T3545

(三) 质量控制要点见表 33-20

序号	控制点	控制措施
1	人员资格	检查检测人员资格证书，严禁无证上岗
2	检测工艺	编制检测方案、检测操作指导书
3	系统灵敏度	每天工作开始前，用标准试片校验系统灵敏度
4	磁悬液浓度	按要求配制新磁悬液，循环使用的磁悬液每天工作前测定浓度
5	仪器校验	磁粉检测设备的电流表每半年校准一次；电磁轭的提升力每半年核准一次
6	检测报告	实行检测报告审核制，审核人员对报告内容的准确性进行审核

(四) 磁粉探伤工作程序

1、工艺准备

1.1 检测方案

大型检测项目或客户有特殊要求的检测项目应单独编制磁粉检测方案（或包含在无损检测方案中）。磁粉检测方案由 MT-Ⅲ级人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

1.2 检测操作指导书

检测前应编制磁粉检测操作指导书。检测操作指导书由 MT-Ⅱ级人员编制，项目检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

2、检测作业人员

2.1 磁粉检测工作应由按 TSGZ8001-2019《特种设备无损检测人员考核规则》考核合格，并取得磁粉检测Ⅱ级或Ⅱ级以上资格证书的检测人员担任。

2.2 磁粉检测人员未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0）。并一年检查一次，不得有色盲。

3、检测设备与器材

3.1 磁粉探伤机

3.1.1 对接焊接接头磁粉检测一般使用磁轭式或交叉磁轭式磁粉探伤机，角接焊接接头磁粉检测时可使用磁轭式或触头式磁粉探伤机，口径较小的管子对接焊缝也可采用带有磁化线圈的磁粉检测设备，高压管材或管件磁粉检测应使用磁化电流 1000A 以上的磁粉探伤机。

3.1.2 当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有 45N 的提升力；直流电磁轭至少应有 177N

的提升力；交叉磁轭至少应有 118N 的提升力（磁极与试件表面间隙为 0.5mm）。

3.1.3 磁粉检测设备的电流表至少半年校准一次。当设备进行重要电器修理或大修后，或者设备停用一年以上应重新进行校准。磁轭探伤机的提升力至少半年核查一次；磁轭损伤修理后应重新核查。

3.2 黑光辐照度及波长

当采用荧光磁粉检测时，使用的黑光灯在工件表面的黑光辐照度应大于或等于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，黑光的波长应为 320nm ~ 400nm，中心波长约为 365nm。

3.3 照度计和黑光辐照计，照度计用于测量可见光的照度，黑光辐射计用于测量黑光的辐照度。照度计和黑光辐照计应至少每年校准一次。

3.4 标准试块

一般应选用 A1：30/100 型标准试块，当检测焊接接头坡口等狭小部位，由于尺寸关系，A1 型标准试片使用不便时，一般可选用 C-15/50 型标准试片。为了更准确地推断出被检工件表面的磁化状态，当用户需要或技术文件有规定时，可选用 D 型或 M1 型标准试片。

3.5 磁悬液的配制

3.5.1 磁粉：磁粉应具有高磁导率、低矫顽力和低剩磁，并应与被检工件表面颜色有较高的对比度。也可选用磁膏。

3.5.2 磁悬液：一般用水磁悬液或油磁悬液，配制水磁悬液时，应加入适当的防锈剂和表面活性剂，必要时添加消泡剂。非荧光磁粉的配制浓度为 10~25g/L，沉淀浓度为 1.2~2.4mL/100mL；荧光磁粉的配制浓度为 0.5~3g/L，沉淀浓度为 0.1~0.4mL/100mL。

3.5.3 辅助材料：磁悬液喷壶、手把灯或手电筒、2~10 倍放大镜等。

4、作业条件

4.1 工件表面准备：应清除检测范围内的飞溅、焊疤、焊渣、氧化皮、油污等。工件表面的不规则状态不得影响检测结果的正确性和完整性，否则，应进行适当的修理。如进行打磨修理，则打磨后的表面粗糙度 R_a 不得大于 $2.5\mu\text{m}$ 。

4.2 检测时机：铁磁性原材料应在使用前检测，焊接件一般应在焊接完成并经外观检查合格后进行检测，有延迟裂纹倾向的材质，应在焊接完成 24h 以后进行检测操作。

4.3 被检工件表面质量应由委托单位的质量检查人员检验合格并在检测委托单上签字认可。检测人员操作前应对工件的表面质量进行复核，当表面质量不符合检测要求时，应在委托单上注明原因，退回委托单位进行表面修整，直至符合检测要求。

4.4 设施与环境

4.4.1 容器内作业时，应采取有效通风设施，保证通风良好。

4.4.2 夜间现场检测或容器内检测操作时，应有足够的照明设施，保证良好的照明条件。

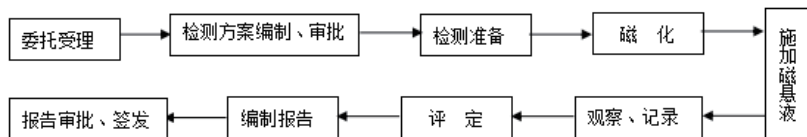
4.4.3 非荧光磁粉检测时，通常工件被检表面可见光照度应大于或等于 1000lx；当现场采用便携式设备检测，由于条件所限无法满足时，可见光照度可以适当降低，但不得低于 500lx。



4.4.4 荧光磁粉检测时,所用黑光灯在工件表面的辐照度大于或等于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$,黑光波长应在 $315\text{nm} \sim 400\text{nm}$ 的范围内,峰值波长约为 365nm 。磁痕显示的评定应在暗室或暗处进行,暗室或暗处可见光照度应不大于 20lx 。

(五) 检测实施

1、检测控制流程图



2、焊接对接接头磁粉检测

2.1 适用范围:本节适用于铁磁性材料焊接对接接头及热影响区表面和近表面缺陷的检测。

2.2 工艺参数

2.2.1 磁化方法:通常采用磁轭法或交叉磁轭法。

2.2.2 磁化方向:磁轭法纵向磁化。

2.2.3 磁化电流类型:一般选用交流,如欲检出近表面缺陷也可选用直流。

2.2.4 磁化通电方式:连续法

2.2.5 磁化强度

磁轭法的磁场强度应根据提升力和灵敏度试片来确定,当提升力符合要求、灵敏度试片显示清晰时,即认为磁场强度是适宜的。

2.3 系统灵敏度的校验

每个班次开始工作前,应进行系统灵敏度的校验。校验时,用透明胶布将标准试片贴在工件被检范围的一端,刻槽的一面朝向工件。用与工件探伤相同的磁化规范进行磁化,当试片人工刻槽磁痕显示清晰时,则认为系统灵敏度合格。

2.4 检测操作

2.4.1 垂直焊缝分段检测时,应在每一段检测过程中按自上而下的方向探伤。

2.4.2 使用磁轭法磁化时,应使磁轭与工件接触良好。用连续法进行探伤,即磁悬液必须在通电时间内施加完毕。磁轭的磁极间距应控制在 $75\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 之间,检测的有效区域为两极连线两侧各 $1/4$ 极距的范围内,磁化区域每次应有不少于 10% 的重叠。磁化通电时间为 $1\sim 3$ 秒,间隔 1 秒。同一部位至少磁化两次。每一被检区进行两次独立的磁化检验,两次磁化检验的磁力线应大致相互垂直。

2.4.3 使用交叉磁轭磁化时,四个磁极端面与检测面之间应尽量贴合,最大间隙不应超过 1.5mm 。连续拖动检测时,检测速度应尽量均匀,一般不应大于 $4\text{m}/\text{min}$ 。

2.4.4 施加磁悬液

(1) 在对工件磁化的同时,用喷壶对工件施加磁悬液。停施磁悬液至少 1 秒后才能停止磁化。

(2) 用磁轭检测焊缝时,磁悬液应喷洒在磁轭行走方向的前方。

(3) 用交叉磁轭检测垂直焊缝时,磁悬液应喷洒在磁轭行走方向的前方;用交叉磁轭检测水平焊缝时,磁悬液应喷洒在交叉磁轭行走方向的前上方。

2.5 磁痕观察

2.5.1 在进行磁化的同时,对形成的磁痕进行观察。

2.5.2 非荧光磁粉检测时,磁痕的评定应在可见光下进行。

2.5.3 荧光磁粉检测时,磁痕的评定应在黑光下进行。

2.5.4 荧光磁粉检测时,检测人员进入暗区至少经过 3min 的黑暗适应后,才能进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时,检测人员不准戴对检测有影响的眼镜。

2.5.5 除能确认磁痕是由于工件材料局部磁性不均或操作不当造成的之外,其他磁痕显示均应作为缺陷处理。当辨认细小磁痕时,应用 2 倍 ~ 10 倍放大镜进行观察。

2.5.6 缺陷的记录

发现磁痕后,应不少于 2 次反复磁化,当确认为相关显示后,用记号笔在工件上标出,用草图在探伤记录上标注。必要时可采用照相、录像、透明胶带、可剥离的反差增强剂等方式记录。

2.6 缺陷评定

质量等级评定按 NB/T47013 标准执行,当设计文件另有规定时,以设计文件的规定为准。

2.7 后处理:必要时,应清除检测部位的磁悬液、磁粉。

3、焊接角接及 T 型接头的磁粉检测

3.1 适用范围:本节适用于铁磁性材料焊接的角接接头和 T 型接头及其热影响区表面和近表面缺陷的检测。

3.2 工艺参数

3.2.1 磁化方法:通常采用磁轭法或触头法。

3.2.2 磁化方向:磁轭法纵向磁化或触头法周向磁化。

3.2.3 磁化电流类型:一般选用交流,如欲检出近表面缺陷也可选用直流。

3.2.4 磁化通电方式:连续法

3.2.5 磁化强度

(1) 磁轭法的磁场强度应根据提升力和灵敏度试片来确定,当提升力符合要求、灵敏度试片显示清晰时,即认为磁场强度是适宜的。

(2) 触头法的磁化电流值可按下表 33-21 的规定选用,检测时磁化电流应根据标准试片实测结果来校正。

工件厚度 T, mm	电流值 I, A
$T < 19$	(3.5 ~ 4.5) 倍触头间距
$T \geq 19$	(4 ~ 5) 倍触头间距



3.3 系统灵敏度的校验

每个班次开始工作前，应进行系统灵敏度的校验。校验时，用透明胶布将标准试片贴在工件被检范围的一端，刻槽的一面朝向工件。用与工件探伤相同的磁化规范进行磁化，当试片人工刻槽磁痕显示清晰时，则认为系统灵敏度合格。

3.4 检测操作

3.4.1 磁轭法的磁化操作

(1) 用磁轭法磁化时，应使用带有活动关节的磁轭探伤机。操作时，先将磁轭垂直焊缝放置，调节活动关节使磁轭与工件接触良好。用连续法对纵向缺陷进行检测。

(2) 再将磁轭沿焊缝方向放置，使磁轭与工件接触良好。用连续法对横向缺陷进行检测。

(3) 磁轭的磁极间距应控制在 75mm ~ 200mm 之间，检测的有效区域为两极连线两侧各 1/4 磁极间距的范围内，磁化区域每次应有不少于 10mm 的重叠。通电时间为 1~3 秒，间隔 1 秒。

3.4.2 采用触头法时，电极间距应控制在 75mm ~ 200mm 之间。磁场的有效宽度为触头中心线两侧 1/4 极距，通电时间不应太长，电极与工件之间应保持良好的接触，以免烧伤工件。两次磁化区域间应有不小于 10% 的磁化重叠区。其典型磁化方法如下图所示：

3.4.3 施加磁悬液

(1) 在对工件磁化的同时，用喷壶对工件施加磁悬液。停施磁悬液至少 1 秒后才能停止磁化。

(2) 用磁轭检测焊缝时，磁悬液应喷洒在磁轭行走方向的前方。

(3) 用触头法检测时，磁悬液应喷洒在两触头之间的检测部位。

3.5 磁痕观察

3.5.1 在进行磁化的同时，对形成的磁痕进行观察。

3.5.2 非荧光磁粉检测时，磁痕的评定应在可见光下进行。

3.5.3 荧光磁粉检测时，磁痕的评定应在黑光下进行。

3.5.4 荧光磁粉检测时，检测人员进入暗区至少经过 3min 的黑暗适应后，才能进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时，检测人员不准戴对检测有影响的眼镜。

3.5.5 除能确认磁痕是由于工件材料局部磁性不均或操作不当造成的之外，其他磁痕显示均应作为缺陷处理。当辨认细小磁痕时，应用 2 倍 ~ 10 倍放大镜进行观察。

3.6 缺陷的记录

发现磁痕后，应不少于 2 次反复磁化，当确认为相关显示后，用记号笔在工件上标出，用草图在探伤记录上标注。必要时可采用照相、录像、透明胶带、可剥离的反差增强剂等方式记录。

3.7 缺陷评定

质量等级评定按 NB/T47013 标准执行，当设计文件另有规定时，以设计文件的规定为准。

3.8 后处理：必要时，应清除检测部位的磁悬液、磁粉。

4、高压管材和管件磁粉检测

4.1 适用范围：本节适用于铁磁性材料高压管材或管件的表面和近表面缺陷检测。

4.2 工艺参数

4.2.1 磁化方法：轴向通电法

4.2.2 磁化方向：周向磁化。

4.2.3 磁化电流类型：一般选用交流。若要检测近表面缺陷可使用半波整流或全波整流。

4.2.4 磁化通电方式：连续法。

4.2.5 磁化电流选择：

直流（整流电） $I = (12-32) D$

交流 $I = (8-15) D$

式中 I — 电流值 A；

D — 为工件截面上最大尺寸 mm。

4.3 系统灵敏度的校验

每个班次开始工作前，应进行系统灵敏度的校验。校验时，用透明胶布将标准试片贴在工件被检范围的一端，刻槽的一面朝向工件。用与工件探伤相同的磁化规范进行磁化，当试片人工刻槽磁痕显示清晰时，则认为系统灵敏度合格。

4.4 检测操作

4.4.1 使管子或管件与电缆接触良好，必要时加铅垫，防止管子或管件烧伤。

4.4.2 用连续法进行探伤，即磁悬液必须在通电时间内施加完毕。通电时间为 1-3 秒，间隔 1 秒。

4.4.3 在对工件磁化的同时，用喷壶对工件施加磁悬液。停施磁悬液至少 1 秒后才能停止磁化。

4.5 磁痕观察

4.5.1 在进行磁化的同时，对形成的磁痕进行观察。

4.5.2 非荧光磁粉检测时，磁痕的评定应在可见光下进行。

4.5.3 荧光磁粉检测时，磁痕的评定应在黑光下进行。

4.5.4 荧光磁粉检测时，检测人员进入暗区至少经过 3min 的黑暗适应后，才能进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时，检测人员不准戴对检测有影响的眼镜。

4.5.5 除能确认磁痕是由于工件材料局部磁性不均或操作不当造成的之外，其他磁痕显示均应作为缺陷处理。当辨认细小磁痕时，应用 2 倍 ~ 10 倍放大镜进行观察。

4.6 缺陷的记录

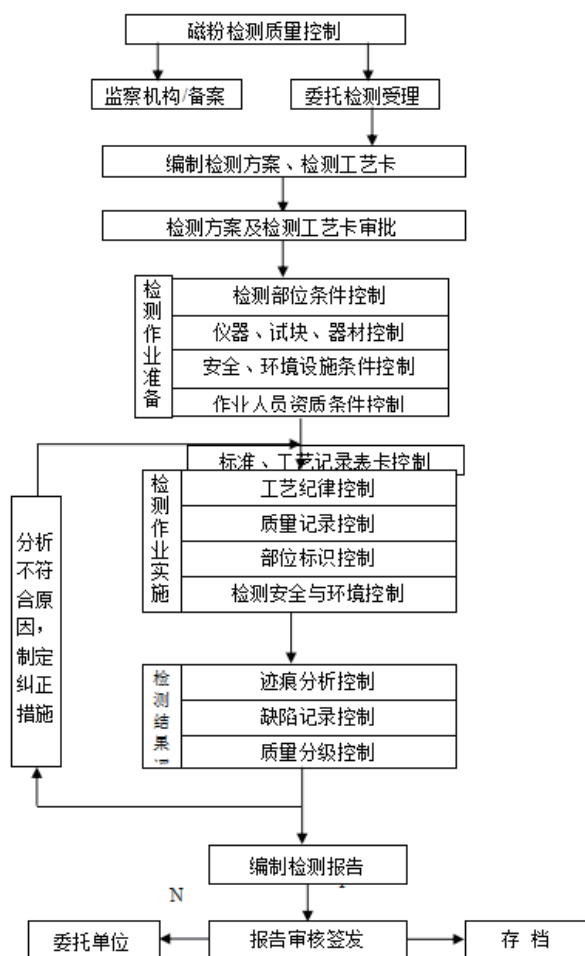
发现磁痕后，应不少于 2 次反复磁化，当确认为相关显示后，用记号笔在工件上标出，用草图在探伤记录上标注。必要时可采用照相、录像、透明胶带、可剥离的反差增强剂等方式记录。

4.7 缺陷评定

质量等级评定按 NB/T47013 标准执行，当设计文件另有规定时，以设计文件的规定为准。

4.8 后处理：必要时，应清除检测部位的磁悬液、磁粉。

（六）磁粉检测质量控制程序图



（七）质量检查

1. 质量检查要求和方法

1.1 质量检查要求

检查系统灵敏度，缺陷评定准确性。

1.2 质量检查方法

1.2.1 复验：当出现下列情况之一时，需要复验：

1.2.1.1 检测结束时，用标准试片验证检测灵敏度不符合要求时。

1.2.1.2 发现检测过程中操作方法有误或技术条件改变时。

1.2.1.3 合同各方有争议或认为有必要时。

1.2.1.4 对检测结果有怀疑时。

1.2.2 检查缺陷记录，必要时进行复验。

2. 质量检验标准

2.1 试片人工刻槽磁痕显示清晰。

2.2 缺陷定量、定位及质量等级评定准确。

2.3 磁粉检测报告字迹清晰、数据准确，无涂改现象，签字手续齐全。

3. 质量记录

3.1 磁粉检测记录

操作时应认真填写磁粉检测记录。检测记录内容应包括：工程名称、工程编号、工件名称、工件编号、材质、规格、坡口型式、焊接方法、热处理状态、仪器型号、磁粉种类及磁悬液浓度和施加磁粉的方法、磁化电流类型、磁化方法及磁化规范、检测灵敏度校验、标准试片、验收标准、缺陷情况、探伤结论等，检测人员及审核人员应在检测记录上签字。

3.2 磁粉检测报告

应及时签发磁粉检测报告，其内容除包括磁粉检测记录规定的内容外，还应满足检测标准规定的有关内容。检测人员及审核人员应在检测报告上签字。

4. 应注意的质量问题

4.1 磁轭法检测时，如果磁轭移动速度过快，磁化时间不够，可能造成漏检。

4.2 检测面照明需符合要求，否则细小磁痕观察时有可能遗漏。

五、渗透探伤

（一）渗透探伤的有关概念

1. 渗透探伤原理

工件表面被施涂含有荧光染料或着色染料的渗透剂后，在毛细作用下，经过一定时间，渗透剂可以渗入表面开口缺陷中；去除工件表面多余的渗透剂，经干燥后，再在工件表面施加吸附介质——显像剂；同样在毛细作用下，显像剂将吸引缺陷中的渗透剂，即渗透剂回渗到显像剂中；在一定的光源下，缺陷处的渗透剂痕迹被显示，从而探测出缺陷的形貌和分布状态。

渗透探伤的优点和局限性

2.1 渗透检测的优点：渗透检测可以检查金属和非金属工件表面开口缺陷，不受工件的化学成分的限制，不受工件结构的限制，并不受缺陷形状、尺寸和方向的限制。

2.2 渗透检测的局限性：渗透检测无法检查多孔的材料（如粉末冶金工件）。

（二）常用渗透探伤标准

NB/T47013《承压设备无损检测》

JB/T9218《无损检测渗透检测方法》

SY/T4109《石油天然气钢质管道无损检测》

SH/T3545《石油化工管道无损检测标准》

（三）质量控制要点见表 33-22

序号	控制点	控制措施
1	人员资格	检查检测人员资格证书，严禁无证上岗
2	渗透检测剂	使用同一厂家生产的同一种型号的渗透检测剂（渗透剂、清洗剂、显像剂等）
3	检测工艺	编制检测方案、检测操作指导书
4	系统灵敏度	每天工作开始前，用镀铬试块校验系统灵敏度
5	检测报告	实行检测报告审核制，审核人员对报告内容的准确性进行审核



(四) 渗透探伤工作程序

1. 工艺准备

1.1 渗透检测方案

大型检测项目或客户有特殊要求的检测项目以及本工艺规程未包括的渗透检测项目应单独编制渗透检测方案（或包含在无损检测方案中）。渗透检测方案由 PT-Ⅲ级人员编制，现场无损检测责任师审核，项目技术负责人批准后执行。

1.2 渗透检测操作指导书

渗透检测前应编制渗透检测操作指导书。渗透检测操作指导书由 PT-Ⅱ级人员编制，现场无损检测责任人员（师）审核，现场无损检测技术负责人批准。

2. 检测作业人员

2.1 渗透检测工作应由按 TSGZ8001-2019《特种设备无损检测人员考核规则》考核合格，并取得渗透检测Ⅱ级或Ⅱ级以上资格证书的检测人员担任。

2.2 渗透检测人员的未经矫正或经矫正的近（距）视力和远（距）视力应不低于 5.0（小数记录值为 1.0）。并一年检查一次，不得有色盲。

3. 检测设备与器材

3.1 渗透探伤剂由渗透剂、清洗剂、显像剂组成。一般情况使用喷罐式渗透检测剂。对同一工件检测时，不同类型的渗透检测剂不得混用。

3.2 黑光辐照度及波长

当采用荧光磁粉检测时，使用的黑光的波长应为 315nm ~ 400nm，中心波长约为 365nm。

3.3 照度计和黑光辐照计

照度计用于测量可见光的照度，黑光辐射计用于测量黑光的辐照度。照度计和黑光辐照计应至少每年校准一次。

3.4 标准试块

3.4.1 铝合金试块 (A 型对比试块)

3.4.1.1 在正常使用情况下，检验渗透检测剂能否满足要求，以及比较两种渗透检测剂性能的优劣。

3.4.1.2 对用于非标准温度下的渗透检测方法作出鉴定。

3.4.2 镀铬试块 (B 型试块) 主要用于检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。

4. 作业条件

4.1 工件表面准备

4.1.1 应清除检测范围内的飞溅、焊渣、氧化皮、铁锈、毛刺、油污及防护层等。

4.1.2 局部检测时，表面准备范围应从检测面四周向外扩展 25mm。

4.1.3 被检工件的表面质量应由委托单位的质量检查人员检验合格并在检测委托单上签字认可。检测人员操作前应对工件的表面质量进行复核，当表面质量不符合检测要求时，应在委托单上注

明原因，退回委托单位进行表面修整，直至符合检测要求。

4.2 检测时机

4.2.1 焊缝的渗透检测应在焊接完工后或焊接工序完成后进行。对有延迟裂纹倾向的材料，至少应在焊接完成 24h 后进行焊缝的渗透检测。

4.3 设施与环境

4.3.1 容器内作业时，应采取有效通风设施，保证通风良好。

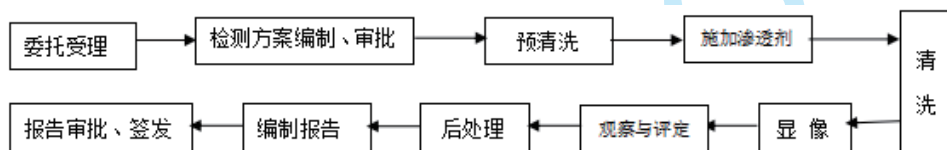
4.3.2 夜晚现场检测或容器内检测操作时，应有足够的照明设施，保证良好的照明条件。

4.3.3 着色渗透检测时，通常工件被检表面可见光照度应大于等于 1000lx；当现场采用便携式设备检测，由于条件所限无法满足时，可见光照度可以适当降低，但不得低于 500lx。

4.3.4 荧光渗透检测时，缺陷显示的评定应在暗室或暗处进行，黑光灯在工件表面的黑光辐照度应大于或等于 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，暗室或暗处可见光照度应不大于 20lx。

（五）检测实施

1. 检测控制流程图



2. 工艺参数

2.1 渗透检测方法：溶剂去除型着色渗透检测（溶剂悬浮显像剂）或溶剂去除型荧光渗透检测。

2.2 渗透剂施加方法：喷涂法。

2.3 渗透时间及温度

在整个检测过程中，渗透检测剂的温度和工件表面温度应当在 $5^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 温度范围，在 $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 温度条件下，渗透时间至少为 10min；在 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 温度条件下，渗透时间至少为 20min。

当温度条件不能满足上述条件时，应按（5 例外情况的处理方法）的要求对操作方法进行鉴定。

2.4 清洗方法：采用擦洗法去除工件表面多余的渗透剂。

2.5 干燥方法和干燥时间：自然干燥，干燥时间一般 $5 \sim 10\text{min}$ 。

2.6 显像剂施加方法：喷涂法

2.7 显像时间：一般不小于 10min，且不大于 60min。

2.8 灵敏度校验

使用新的渗透检测剂、改变或替换渗透检测剂类型或操作规程时，实施检测前应用镀铬试块检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。一般情况下每周应用镀铬试块检验渗透检测剂系统灵敏度及操作工艺正确性。检测前、检测过程或检测结束认为必要时应随时校验。

3. 检测操作



3.1 予清洗

用清洗剂把被检部位表面的油污和污垢彻底清除，并让其自然干燥。局部检测时，预清洗范围应从检测部位四周向外扩展 25mm。

3.2 施加渗透剂

用喷涂法施加渗透剂，喷嘴距工件表面 20–30mm，渗透剂要覆盖整个被检部位。并应在整个渗透时间内保持湿润状态。

3.3 去处多余的渗透剂

渗透结束后，先用干净不脱毛的布或吸水纸将大部分多余的渗透剂擦除干净，再将清洗剂喷涂至干净不脱毛的布或吸水纸上进行擦洗。直到将多余渗透剂擦洗干净，但不允许往复擦洗或将清洗剂直接喷涂在被检部位。采用荧光渗透剂时，清洗工序应在黑光灯下观察清洗效果。

3.4 干燥：去处多余的渗透剂后自然干燥，干燥时间一般 5 ~ 10min。

3.5 施加显像剂

显像剂使用前要充分摇匀，薄而均匀的喷涂在被检表面，不可在同一部位反复多次施加。喷嘴距工件表面 300–400mm，喷嘴方向与被检表面的夹角为 30–40 度。

3.6 观察

3.6.1 观察显示应在显像剂施加后开始，在显像时间内连续进行。

3.6.2 着色深透检测时，观察评定应在可见光下进行，工件表面可见光的照度应符合 4.3.3 条的规定。。

3.6.3 荧光渗透检测时，工件表面的黑光照度及暗室或暗处可见光照度应符合 4.3.4 条的规定。

3.6.4 荧光磁粉检测时，检测人员进入暗区至少经过 3min 的黑暗适应后，才能进行荧光磁粉检测。观察荧光磁粉检测显示时，检测人员不准戴对检测有影响的眼镜。

3.6.5 辨认细小显示时可用 5 ~ 10 倍放大镜进行观察。

3.7 缺陷记录

发现缺陷后，用记号笔在工件上标出，并用草图在探伤记录中标注。必要时可采用照相、录像和可剥性塑料薄膜等方式记录。

3.8 后处理

检测结束后，用干净不脱毛的布或纸清除探伤部位的渗透剂和显像剂。

4. 缺陷评定

质量等级评定按 NB/T47013.5–2015 标准执行，当设计文件另有规定时，以设计文件的规定为准。

5. 例外情况的处理方法

当检测温度高于或低于标准规定的检测温度范围（5–50℃）时，应使用铝合金试块对检测方法进行鉴定，以确定在非标准温度下检测时的渗透时间和显像时间。

5.1 温度低于 5℃ 条件下渗透检测方法的鉴定

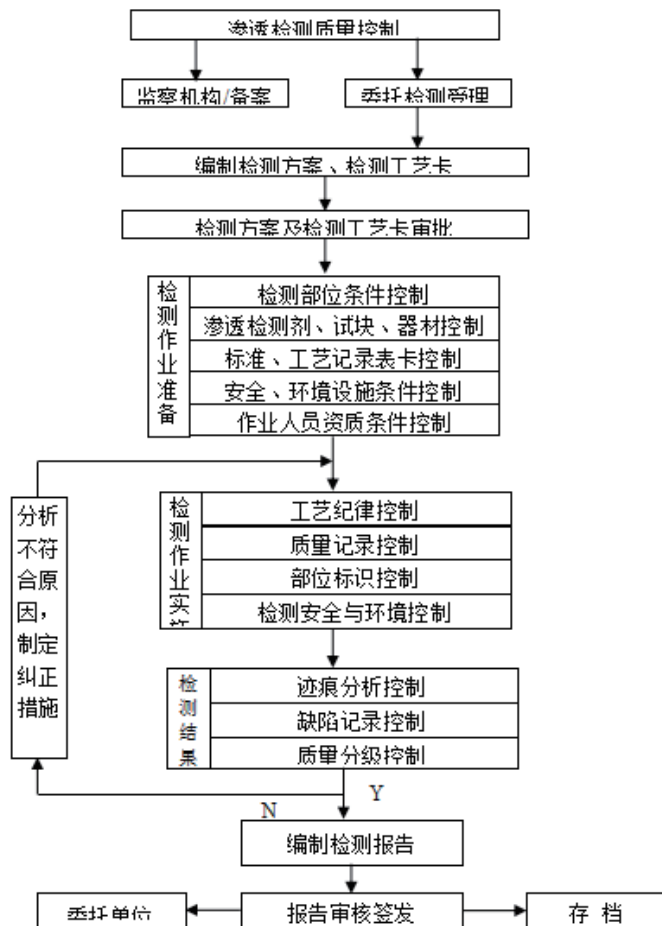
在试块和所有使用材料都降到预定温度后，将拟采用的低温检测方法用于 B 区。在 A 区用标

准方法进行检测，比较 A、B 两区的裂纹显示迹痕。如果显示迹痕基本上相同，则可以认为准备采用的方法经过鉴定是可行的。

5.2 温度高于 50℃ 条件下渗透检测方法的鉴定

如果拟采用的检测温度高于 50℃，则需将试块 B 加温并在整个检测过程中保持在这一温度，将拟采用的检测方法用于 B 区。在 A 区用标准方法进行检测，比较 A、B 两区的裂纹显示迹痕。如果显示迹痕基本上相同，则可以认为准备采用的方法是经过鉴定可行的。

(六) 渗透检测控制程序图



(七) 质量检查

1. 质量检查要求和方法

1.1 质量检查要求

检查系统灵敏度，缺陷评定准确性。

1.2 质量检查方法

1.2.1 复验

当出现下列情况之一时，需要复验。复验时，必须对被检表面进行彻底清洗，从预清洗开始重新做一次渗透检测操作。

1.2.1.1 检测结束时，用标准试片验证检测灵敏度不符合要求时。



1.2.1.2 发现检测过程中操作方法有误或技术条件改变时。

1.2.1.3 合同各方有争议或认为有必要时。

1.2.1.4 对检测结果有怀疑时。

1.2.1.5 检查缺陷记录，必要时进行复验。

2. 质量检验标准

2.1 试块人工缺陷显示清晰。

2.2 缺陷定量、定位及质量等级评定准确。

2.3 渗透检测报告字迹清晰、数据准确，无涂改现象，签字手续齐全。

第二节 理化试验

一、化学分析

(一) 化学分析的有关概念：

1. 化学分析：是研究物质的化学组成、含量、结构的分析方法及有关理论，可以分为定性分析和定量分析。

1.1 定性分析：是确定物质由哪些组分（元素、离子、基团和化合物）组成，也就是确定物质的组分“是什么”。

1.2 定量分析：是测定物质中有关部分的含量，也就是确定物质中被测组分“有多少”。

1.3 化学分析法一般有重量分析法（称重分析法）、滴定分析法（容量分析法）和分光光度法等。

1.4 重量分析法是将待测组分与试样中的其他组分分离，并转化为一定称量形式的化合物，再称出该化合物的重量，从而计算出待测组分的含量。重量分析是经典的定量分析方法之一。

1.5 滴定分析法是将已知浓度的标准滴定溶液滴加到待测物质溶液中，使两者定量完全反应，根据用去的标准滴定溶液的准确体积和浓度即可计算出待测组分的含量，又称容量分析法。

分光光度法是基于测量溶液中物质对光的选择性吸收程度而建立起来的分析方法，包括比色法、紫外及可见分光光度法及红外光谱法等。

2. 试样的采取、制备和分解

2.1 试样的采取

2.1.1 钢产品用钻、刨、割、切削等方法采取原始试样或分析试样可以按产品标准中规定的位置，从用于力学性能试验所选用的抽样产品中取得，含铅钢、测定氧和氢的钢产品的取样和制样要采取特别的措施。

2.1.2 型材从抽样产品上切取原始样品，其形状为片状。制备块状的分析试样，应按照分析方法需要的尺寸从原始样品上切取，制备屑状的分析试样，应在原始样品的整个横截面区域铣取，当样品不适合铣取时，可用钻取，但对沸腾钢不推荐采用钻取。

2.1.3 对称形状的型材，如方坯、圆坯和扁坯，在横截面上平行于纵向轴线方向制取，位置在

边缘到中心的中间部位。

2.1.4 板材或板坯可在板材或板坯的中心线与外部边缘的中间位置，切取原始样品来制备合适尺寸的块状分析试样或屑状分析试样。

2.1.5 管材按下列方法进行取样，a 焊管在与焊缝成 90° 的位置取得原始样品；b 横切管材可车铣横切面来制备屑状试样，当管材截面小时，铣切之前压扁管材；c 在管材圆周围的数个位置钻穿管壁来制取屑状分析试样。

2.1.6 有色金属试样的采取：a 铝及铝合金取样时应先去掉包覆层后制取，应用铣床在整个截面上加工，或沿径向或对角线上钻取试样，取点应不少于 4 点且呈等距离分布。

2.1.7 焊丝当其中夹有松香时，先应烧熔去除松香，然后锯成粉屑使用。

2.2 试样制备的一般规则

2.2.1 制样现场和工具设备（如钻、铣、刨、锯、车、磨床、砂轮机、破碎试样机、研磨试样机、钢钵、捣杆及筛网等）盛样器具应清洁油污或其他杂物，以确保试样的纯净。

2.2.2 试样表面如有油污，应在制备试样前用汽油、乙醚等溶剂洗净、风干，如有锈垢及其他附着物，应清除后再制样。

2.2.3 钢铁试样有缩孔及气泡（这种样品成分往往会有严重偏析）的，应及时与送检单位联系，最好重新送样。

2.2.4 捣碎试样用的钢钵、钢杆，宜选用高锰钢材料制成的，钢钵、钢杆用完后应将附着的残余试样清除干净。

2.2.5 钻取或车床制取试样（特别是有色金属时），转速不能太快，以避免材料表面发生氧化，如钢铁试样呈蓝黑色则应重新制取，一般金属制成的试样应为细屑，不得制取细粉或大块薄片、长卷屑。

2.2.6 制样工具必须专用，钻取各种有色金属的钻头要各自分开，不能混用，，制取试样时不得使用水、油或其他润滑剂进行润滑。

2.2.7 机器或人工粉碎、研磨、过筛或试样袋装时，应防止试样粉末漏失、粉碎、研磨时，用力不当溅出的颗粒必须回收，在粉碎、研磨一种试样的现场不应同时进行另一种试样的粉碎、研磨工作。

2.2.8 在过筛处理时，没有通过过筛的颗粒不能随意丢弃，而必须反复粉碎、研磨，使所有颗粒都能通过筛孔进入原样，以保证所得样品能真实反映出被测物料的平均组分。

2.2.9 样用的磨口玻璃瓶洗净后，应在 $105-110^\circ\text{C}$ 烘箱中烘干，如用纸袋盛样，则纸袋必须使用细密、光滑、不带绒毛的纸质制成。

2.2.10 除非标准有特别规定，供分析用的试样数量，一般要求是单项目或全分析所需用量的 6-8 倍。

2.2.11 装试样的袋或瓶的标记应在制样前填写清楚，在试样装入前应进行仔细核对。

2.2.12 母样和制备好的试样应按规定的期限予以妥善保管，以备复验所用。



2.3 试样的分解

除采用光电直读光谱仪、X-射线荧光光谱仪和气体分析仪外，分析用试样需经溶剂进行分解，试样分解是分析过程的重要步骤，分解试样的方法一般有两种：溶解和熔融。

2.3.1 溶解分解法

试样一般以溶解方式分解比较简单、快速，常用的分解物一般有：盐酸、硝酸、硫酸、氢氟酸、高氯酸、磷酸、混合溶剂（如混合酸：硫酸-磷酸、硫酸-硝酸、盐酸-硝酸、盐酸-高氯酸或盐酸-过氧化氢、盐酸-溴水、硫酸-氢氟酸、盐酸-过氧化氢-氢氟酸等）、氢氧化钠等。

2.3.2 熔融分解法

熔融分解法主要针对某些不被溶剂分解的金属或化合物，一般碱性物质选用酸性熔剂，酸性物质选用碱性熔剂，根据熔剂性质将熔融法分为酸熔法和碱熔法两种。

其他溶解法包括密闭溶解法和微波消解法

2.3.2.1 试样分解过程中引入的误差主要有以下几个方面组成：

- (1) 组分没有完全转化为分析状态；
- (2) 分解过程中被测成分成雾状损失；
- (3) 分解过程中挥发损失；
- (4) 分解过程中与容器反应造成损失；
- (5) 分解过程中由于粘污而引入误差。

3. 元素的分析

3.1 金属元素的分析

主要包括锰、铝、铁、镁、锡、铜、铅、锌、镍、钛、铬、钒、钴、钼、钨、铌、稀土元素等的测定，分析采用的方法可参照相应的标准规范。

3.2 非金属元素的分析

主要包括碳、硫、硅、磷、硼及氮、氧、氢的测定，分析采用的方法可参照相应的标准规范。

3.3 主要仪器及器皿

化学分析用仪器一般常用的有：碳硫分析仪、分光光度计、分析天平、酸度计、坩埚等，玻璃实验器皿主要有：滴定管、移液管、容量瓶、量杯、量筒，非玻璃器皿主要有：铂器皿、银器皿、热解石墨器皿、石英器皿、瓷器皿、刚玉器皿和聚四氟乙烯器皿等。

3.4 试剂、分析用水及溶液浓度

3.4.1 分析用试剂

3.4.1.1 化学试剂的分类和规格

化学试剂主要分为一般试剂、基准试剂、无机离子分析用有机试剂、色谱试剂、生物试剂、指示剂及 pH 试剂等。

分析试剂常见的规格有：基准试剂、优级纯、分析纯、化学纯、实验试剂，各类试剂的标识如表 33-23：

表 33-23 试剂等级

品名	一级品	二级品	三级品	四级品
纯度分类	优级纯	分析纯	化学纯	实验试剂
英文代号	CR	AR	CP	LR
标签颜色	绿	红	蓝	其他颜色

3.4.1.2 化学药品和试剂的储存于管理

化学药品的储存：根据化学药品有毒有害和易燃易爆的危险性等特点，应储存在药品

储藏室内，专人保管，储藏室应避免阳光照射，室内温度一般应保证在 15-20℃，最高不超过 25℃，室内相对湿度最好在 10%-70%，室内应通风良好，严禁明火，危险化学品应按国家公安部门的规定管理，一般化学药品按无机物、有机物和指示剂分类存放。贵重药品由专人保管，剧毒危险品应专柜专人保管（双人双锁），领用和消耗均应严格登记。

（1）直接用于实验的各种浓度的试剂应分类管理：

（2）有毒性的试剂，不管浓度大小，必须使用多少配制多少，剩余少量也应送危险品储藏室保管，如三氧化二砷等。

（3）见光易分解的试剂装入棕色瓶中，其他试剂溶液也要根据其性质装入带塞的试剂瓶中，碱类和盐类试剂溶液不能装在磨口试剂瓶中，应使用胶塞或木塞，需滴加的试剂及指示剂应装入滴瓶中，整齐的排列在试剂架上。

（4）配制好的试剂应立即贴上标签，标明名称、浓度、配制日期，贴在试剂瓶的中上部，废旧试剂不能直接倒入下水道，特别是易挥发、有毒的有机化学试剂更不能直接倒入下水道中，应倒在专用的废液缸中，定期妥善处理。

（5）装在自动滴定管中的试剂，如滴定管是敞口的，应用小烧杯或纸套盖上，防止灰尘落入。

3.4.2 分析用水

3.4.2.1 规格及技术指标

分析化学实验对水的质量要求较高，既不能直接使用自来水或其他天然水，也不应一律使用高纯水，而应根据所做实验对水的质量要求合理地选用适当规格的纯水，分析实验室用水的级别及主要技术指标如下表 33-24：

表 33-24 分析试验室用水的级别及主要技术指标

指标名称	一级	二级	三级
pH 范围（25℃）	—	—	5.0-7.0
电导率（25℃）ms/m	≤ 0.01	≤ 0.10	≤ 0.50
可氧化物质（以 O 计）mg/L	—	<0.08	<0.4
蒸发残渣（105 ± 2℃）mg/L	—	≤ 1.0	≤ 2.0
吸光度（254nm, 1cm 光程）	≤ 0.001	≤ 0.01	5.0-7.0
可溶性硅胶（以 SiO ₂ 计）mg/L	<0.01	<0.02	

3.4.2.2 制备方法

制备分析用实验用水的原水应当是饮用水或其他相对程度的水。

一级水：可用二级水经过石英设备蒸馏或离子交换混合床处理后，再经 0.2 μm 微孔膜过滤来



制取，一级水主要用于有严格要求的分析实验，如高效液相色谱分析用水。

二级水：可用离子交换或多次蒸馏等方法制取，二级水主要用于无机痕量分析实验，如原子吸收光谱分析、电化学分析实验等。

三级水：可用蒸馏、去离子（离子交换及电渗析法）或反渗透等方法制取，三级水用于一般化学分析实验。

4. 化学实验室安全知识

4.1 化学实验室危险分类

4.1.1 火灾爆炸危险性

4.1.2 有毒气体危险性

4.1.3 触电危险性

4.1.4 机械伤害危险性

4.1.5 放射性危险性

4.2 化验室安全守则

4.2.1 防止中毒

4.2.1.1 严禁在实验室进餐、吸烟。实验室一切器皿都不得用作食具使用，使用有毒物品进行工作后，离开实验室时必须仔细洗手、漱口。

4.2.1.2 所有配好的试剂都要有标签，剧毒试剂（包括已配制好的溶液）都要放在专用柜中双人、双锁保管，建立严格的使用登记制度，剧毒的物质撒落时，应立即全部收拾起来，并把落过毒品的桌子和地板洗净。

4.2.1.4 严禁试剂入口，用移液管吸取任何试剂溶液都必须用洗耳球操作，不得用嘴吸，如需用鼻鉴别试剂时，应将试剂瓶子远离鼻子，用手轻轻扇动，稍闻其味即可，严禁鼻子接近瓶口。

4.2.1.5 使用易挥发有毒试剂或反应中产生有毒气体的实验，如氮的氧化物、氯、溴、硫化氢、氢氰酸、氟化氢、四氟化硅等，必须在通风柜中进行。

4.2.1.6 采用有毒气体试样时必须站在上风头，采用球胆、塑料袋取样时，要事先进行试漏，用完后要放在室外排空放净。

4.2.2 防止燃烧和爆炸

4.2.2.1 挥发性有机液体试剂或样品应存放在通风良好处，如放入冰箱必须密封，不得漏气，易燃试剂如乙醚、二硫化碳、苯、汽油、石油醚等不可放在煤气灯、电炉或其他热源附近。

4.2.2.2 启开易挥发试剂瓶时，尤其在室温较高时，应先用水冷却，且不可把瓶口对着自己他人，以免有大量气液冲出，造成伤害事故。

4.2.2.3 实验过程中对于易挥发及易燃性有机溶剂如需要加热排除时，应在水浴内或密封的电热板上缓慢加热，严禁用火焰或一般电炉直接加热，也不准在烘箱中烘烤。

4.2.2.4 身上或手上粘有易燃物时，应立即清洗干净，不得靠近明火，以防着火，落有氧化剂液滴的衣服，稍微加热即能发火，应注意及时消除。

4.2.2.5 严禁把氧化剂和可燃物在一起研磨，不能再纸上称过氧化氢。

4.2.2.6 进行易发生爆炸的实验时，如用 Na_2O_2 熔融，用 HClO_4 进行湿法氧化时，要加强安全措施，使用防护挡板，戴防护眼镜。

4.2.2.7 爆炸性药品，加高氯酸或高氯酸盐，过氧化氢及高压气体等应放在低温处保管，不得与其他易燃物放在一起。

4.2.2.8 在分析中，有时需要对加热处理的溶液在隔绝 CO_2 （指空气中的 CO_2 ）情况下冷却，冷却时不能把容器塞紧，以防冷却时爆炸，可在瓶塞上装碱石灰管。

4.2.3 防止腐蚀、化学灼伤、烫伤和割伤

4.2.3.1 腐蚀类刺激性药品，如强酸、强碱、浓氨水、浓过氧化氢、氢氟酸、溴水等，取用时戴胶皮手套和防护眼镜。

4.2.3.2 稀释硫酸时必须在烧杯等耐热容器中进行，在不断搅拌下把浓酸加入水中，绝不能把水加入浓硫酸中，在溶解 NaOH 、 KOH 等能产生大量热量的物质时，也必须在耐热容器中，如需将浓酸、浓碱液中和，则必须先稀释后中和。

4.2.3.3 在压碎和研磨 NaOH 、 KOH 及其他危险物质时，要戴防护眼镜，注意防范小碎块飞溅，以免造成烧伤。

4.2.3.4 切割玻璃管及塞子钻孔时，必须戴防护手套，用玻璃管连接胶管时，必须正确选择它的直径，不要使用薄壁玻璃管，需把管口烧圆滑后才能插入胶管，把玻璃管插入塞内时，必须握住瓶子侧面，不要把塞子撑在手掌上。

4.2.3.5 装配或拆卸仪器，要防备玻璃管或其他部位破损，造成严重割伤，使用后的仪器上常有刺激伤口和使伤情复杂化的赃物，拆卸时更要小心。

4.2.4 其他安全事项

一切固体不溶物、浓酸和浓碱废液，严禁倒入下水道，以防堵塞和腐蚀下水管道，易燃、有毒有机物也不能倒入下水道，以免中毒和着火。

实验室工作人员应知晓实验室内煤气、水阀和电闸的位置，以便必要时加以控制。

分析实验结束后，应当进行安全检查，使用过的器皿都要洗涤干净，放回固定位置，

下班或离开时，关闭电源、热源和水源。

5. 化学分析的目的

通过化学分析确定物质的化学组成，得出的化学元素结果满足材料的标准要求，保证工程的质量。

（二）常用的化学分析标准

GB/T20066《钢和铁化学成分测定用试样的取样和制样方法》

GB/T222《钢的成品化学成分允许偏差》

GB/T223.69《钢铁及合金碳含量的测定管式炉内燃烧后气体容量法》

GB/T223.68《钢铁及合金化学分析方法管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定硫含量》



GB/T223.62《钢铁及合金化学分析方法乙酸丁酯萃取光度法测定磷量》

GB/T223.68《钢铁及合金化学分析方法管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定》GB/T223.5《钢铁酸溶硅和全硅含量的测定还原型硅钼酸盐分光光度法》

GB/T223.58《钢铁及合金化学分析方法亚砷酸钠—亚硝酸钠滴定法测定锰量》

GB/T223.11《钢铁及合金铬含量的测定可视滴定或电位滴定法》

GB/T223.26《钢铁及合金钼含量的测定硫氰酸盐分光光度法》

GB/T223.23《钢铁及合金镍含量的测定丁二酮肟分光光度法》

GB/T223.14《钢铁及合金化学分析方法钽试剂萃取光度法测定钒含量》

(三) 工作程序

1. 碳、硫含量的测定

1.1 碳、硫含量的测定符合 GB/T223.69《钢铁及合金碳含量的测定管式炉内硫含量》、HV-4B 微机碳硫自动分析仪说明书。

1.2 方法提要：试样置于高速引燃炉中加热并通氧燃烧，使 C、S 氧化成 CO₂、SO₂ 混合气体，CO₂ 收集于量气瓶中，然后以 KOH 溶液吸收其中的 CO₂，吸收前后体积差即为 CO₂ 体积；SO₂ 气体被酸性淀粉溶液吸收后，用碘酸钾标准溶液滴定至浅蓝色为终点。

1.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳钢、高温钢及精密合金。

1.2.2 测量范围：C：0.05 ~ 6.00%、S：0.005 ~ 0.200%

1.3 仪器

1.3.1 采用 HV-4B 微机碳硫自动分析仪与 HB-2H 型高速自动引燃炉配套使用。

电源：电压 220V ± 10%，50Hz 功率 < 40W。

分析时间：高速引燃炉 65s。

读数方法：标尺直读百分含量。

1.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

1.4 环境条件：室温 0 ~ 40℃，气压 (280 ~ 800) mmHg。

1.5. 试剂

1.5.1 KOH (40%)

1.5.2 酸性水溶液：取量 1ml 浓硫酸，加入 100ml 水，滴加 0.1% 甲基橙溶液呈橙红色。

1.5.3 淀粉溶液：取量 4g 淀粉，用少量水拌匀成糊状，溶于 300ml 沸水，再沸腾五分钟左右，然后再稀至 500ml，加浓盐酸 50ml 摇匀。

1.5.4 碘酸钾溶液 (0.05N)：称取 1.78g 碘酸钾，溶于水后稀至 1000ml (此为测·硫滴定母液)。

1.5.5 碘酸钾滴定液：分取 28ml 0.05N 碘酸钾母液，稀至 1000ml，加 1g 碘化钾摇匀，摇匀。

1.6 分析步骤

准确称取 1.0000g 已知 C、S 含量的标准钢样 2 ~ 3 个，再称取处理好的试样，均匀分量在坩锅内，加 0.5g 锡粉助熔剂，送入事先预热 30min 通氧的燃烧炉，然后依次按下“准备”及“分析”

键,仪器自动分析,待分析结束鸣叫声停止时,立即读取 C、S 的百分含量,逐一分析试样和标样。

1.7 注意事项

1.7.1 仪器在使用过程中,先打开电源开关,后打开 +24V 开关。

1.7.2 使用时氧气压力不能太大,以免气管液面上升速度过快,上部浮子被撞碎。

1.7.3 仪器在不工作时,可关闭 +24V 开关,可防止电源突变引起仪器的控制部分工作。

1.7.4 每次做试验之前应调试“0”点,仪器是否漏气,工作是否正常。

1.7.5 注意样品堆放形状和助熔剂用量。

1.7.6 注意处理粉尘时对 CO₂ 的吸收转化作用。

1.7.7 注意炉温自动控制。

1.7.8 试验后,再次对仪器进行检查是否处于正常状态,应经调试后重新试验。

2. 磷含量的测定

2.1 磷含量的测定符合 GB223.62《钢铁及合金化学分析方法乙酸丁酯萃取光度法测定磷量》。

2.2 方法提要:在 (0.65 ~ 1.63) mol/L 硝酸介质中,磷与钼酸铵生成磷钼杂多酸可被乙酸丁脂萃取,用氯化亚锡将磷钼杂多酸还原并反萃取至水相,于 680nm 处,测取吸光度。

2.2.1 适用范围:本法适用于生铁、铁粉、碳钢、合金钢、高温合金钢及精密合金。

2.2.2 测量范围:0.001 ~ 0.05%。

2.3 仪器:

2.3.1 TG328B 电光分析天平;721 型分光光度计

2.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

2.4 试剂

2.4.1 HClO₄ (d=1.67g/ml)

2.4.2 HNO₃ (1+2)

2.4.3 HCl (1+5)

2.4.4 钼酸铵 (10%)

2.4.5 亚硝酸钠 (10%)

2.4.6 硫酸亚铁 (5%):每 100ml 加 1ml 硫酸 (1+1)。

2.4.7 氯化亚锡 (1%):称取 1g 氯化亚锡溶于 8ml 盐酸 (d=1.19) 中,用水稀至 100ml,现配现用。

2.5 分析步骤

2.5.1 称取试样 0.2g 于三角烧瓶中,加 30ml 硝酸 (1+2) 加热溶解,滴加 4% 高锰酸钾溶液呈稳定红色,煮沸 1 ~ 2min,取下,滴加亚硝酸钠 (10%) 溶液至溶液溶解,煮沸 1min,驱除氮氧化物,冷却至室温,移入 100ml 容量瓶中,用水稀至刻度,摇匀。

2.5.2 移取 10ml 试液,于 60ml 分液漏斗中,加 2 ~ 3 滴硫酸亚铁溶液,15ml 乙酸丁脂,5ml 钼酸铵 (10%) 溶液,剧烈振荡 40 ~ 60s,静止分层后,弃去下层水相,加 10ml HCl (1+5) 振荡 15s,静止分层后,弃去下层水相,加 15ml 氯化亚锡 (1%) 溶液,振荡 20 ~ 30s,静止分层后,



将水相移入 3cm 比色器中，以水为参比，于波长 680nm 处，测其吸光度，减去试剂空白的吸光度，从工作曲线上查出相应的磷量。

2.5.3 工作曲线的绘制：称取不同磷含量的标准钢样，按分析步骤进行，根据分析步骤进行，根据测试的消光绘制曲线。

2.6 注意事项

2.6.1 用 HNO_3 (1+2) 不能溶解的试样可多加 10 ~ 15ml 盐酸助溶，加入高氯酸加热蒸发冒烟至锥形瓶内透明至回流 5 ~ 6min。

2.6.2 如试样中含锰超过 2% 时多加 7 ~ 8ml 高氯酸，蒸发冒高氯酸烟，至锥形瓶内透明并回流 20 ~ 25min。

2.6.3 如室温低于 15℃，使反应速度慢，萃取回收率低，因此须在 15℃ 以上操作，工作曲线亦在同样条件下绘制。

2.6.4 测试前后对分光光度计进行调试，以确保仪器的准确。

3. 硅含量的测定

3.1 硅含量的测定符合 GB223.5《钢铁及合金化学分析方法 草酸—硫酸亚铁硅钼蓝光度法测定硅量》。

3.2 方法提要：试样用稀酸溶解，在微酸性溶液中，硅酸与钼酸铵生成硅钼杂多酸，在草酸存在下，用硫酸亚铁铵还原成硅钼蓝，测其吸光度。

3.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳钢、低合金钢。

3.2.2 测量范围：0.030 ~ 1.000%

3.3 仪器

3.3.1 TG328B 电光分析天平；721 型分光光度计

3.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

3.4 试剂

3.4.1 硫酸 (1+17)

3.4.2 钼酸铵 (5%)：处于塑料瓶中。

3.4.3 草酸 (5%)

3.4.4 硫酸亚铁铵 (6%)：称取 6g 硫酸亚铁铵用 1ml 硫酸 (1+1) 润湿，加约 60ml 水溶解，用水稀至 100ml，摇匀。

3.4.5 高锰酸钾 (4%)

3.4.6 亚硝酸钠 (10%)

3.5 分析步骤

3.5.1 称取 0.1000 ~ 0.4000g (控制硅量为 100 ~ 200 微克) 试样，置于 150ml 锥形瓶中，加 30ml 硫酸 (1+17)，低温缓慢加热 (不要煮沸) 至试样完全溶解 (不断补充蒸发失去的水分)。煮沸，滴加 4% 高锰酸钾溶液至析出二氧化锰水合物沉淀，再煮沸约 1min，滴加亚硝酸钠 (10%)

溶液至试样清亮，继续煮沸 1 ~ 2min。冷却将溶液移入 50ml 容量瓶中，按下法处理：

3.5.2 移取 10ml 试液两份，分别置于 50ml 容量瓶中：显色溶液：加 5ml 钼酸铵（5%）溶液，摇匀，于沸水浴中加热 30s，加 10ml 草酸（5%）溶液摇匀，待沉淀溶解后半分钟内，加 5ml 硫酸亚铁铵（6%）溶液，用水稀释至刻度，混匀。参比溶液：加 10ml 草酸（5%）溶液，5ml 钼酸铵（5%）溶液，加 5ml 硫酸亚铁铵（6%）溶液，用水稀释至刻度，混匀。

3.5.3 将上述溶液移入 1 ~ 3cm 比色器，在分光光度计上，以参比溶液为参比，于波长 810nm 处测其吸光度，从曲线上查出相应的硅量。

3.5.4 称取不同含量硅的标准钢样，按分析步骤进行，根据测试的消光绘制出曲线。

3.6 注意事项

3.6.1 试样溶解时温度不能过高，随时添加热水，防止硅酸析出。

3.6.2 可在常温放置 15min 再加草酸溶液。

3.6.3 钼酸铵加入时要防止沾附于瓶壁，在硅含量较低铁量较高时，可适当的增高钼酸铵与草酸的用量。

3.6.4 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

4. 锰含量的测定

4.1 锰含量的测定符合 GB223.58《亚砷酸钠 - 亚硝酸钠滴定法测定锰量》。

4.2 方法提要：试样经酸溶解，在硫酸、磷酸介质中，以硝酸银为催化剂，用过硫酸铵将锰氧化成七价，用亚砷酸钠 - 亚硝酸钠标准溶液滴定，将其还原成二价锰，根据标准溶液的消耗量来计算锰的百分含量。

4.2.1 适用范围：本法适用于生铁、碳钢、合金钢和铁粉。

4.2.2 测量范围：0.10 ~ 2.50%

4.3 仪器

4.3.1 TG328B 电光分析天平；滴定装置

4.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

4.4 试剂

4.4.1 混酸：水 700ml；磷酸（ $d=1.7$ ）150ml；硫酸（ $d=1.84$ ）150ml

4.4.2 硝酸银（0.5%）

4.4.3 过硫酸铵（20%）

4.4.4 氯化钠（0.4%）

4.4.5 亚砷酸钠 - 亚硝酸钠标准溶液及配制方法：称三氧化二砷 1.25 ~ 1.30g 置于 600ml 烧杯中，加 25ml 氢氧化钠（15%），温热溶解后加蒸馏水至 200ml 左右，加硫酸（2+3）至溶液呈酸性再过量 2 ~ 3ml，用碳酸钠（15%）中和至 PH6 ~ 7，加亚硝酸钠 0.86g，过滤，用蒸馏水稀释至 1000ml，摇匀。

4.5 分析步骤



4.5.1 称取 2 ~ 3 个不同含量的标准样，以及处理好的试样 1g 左右（各 2 个），加混酸 30ml，于调温电炉上加热溶解，待试样溶解后加热煮沸，驱尽氮的氧化物，加水 50ml，加 10ml 硝酸银（0.5%），10ml 过硫酸铵（20%）低温煮沸 45s，取下静置 1 ~ 2min。用流水冷却至室温，加 10ml 氯化钠（0.4%），立即用亚砷酸钠 - 亚硝酸钠标准溶液以不变的速度进行滴定（每分钟不超过 6ml）当溶液呈微红色时，以更慢的速度滴定至粉红色消失为终点。

4.5.2 锰的百分含量按下式计算：

$$TMn = (XG) / (100V)$$

$$XMn = 100TMnV/G1$$

式中：TMn—锰的滴定度；

X——标准钢样中锰的含量（%）；

G——标准钢样称重（g）；

V——滴定所消耗亚砷酸钠 - 亚硝酸钠标准溶液的体积（ml）；

G1——试样的称重（g）；

XMn——试样中锰的百分含量（%）。

4.6 注意事项

4.6.1 如有不溶碳化物，应将溶液蒸发至硫磷混酸近冒烟时，再滴加硝酸破坏，如分析生铁，应在剧烈作用以后，加水 25ml 过滤，用硝酸（2+98）溶液洗涤 2 ~ 3 次。

4.6.2 溶液按规定稀释，过量的稀释使终点不明显。

4.6.3 指示剂具有还原性不宜多加（加氯化钠溶液后应立即滴定，以免破坏高价锰，影响试验结果）。

4.6.4 当滴定接近终点时速度应慢，否则容易过量。

4.6.5 如在试验过程中遇到停水、停电情况，应及时停止试验，待来水、来电时重新取样进行试验。

4.6.6 在试验过程中应做好防火工作。

5. 铬含量的测定

5.1 铬含量的测定符合 GB/T223.11《钢铁及合金铬含量的测定可视滴定或电位滴定法》。

5.2 方法提要：试样用酸溶解后，在硫酸、磷酸介质中，以硝酸银为催化剂，用过硫酸将铬氧化至铬（VI），用硫酸亚铁铵标准溶液滴定。

5.2.1 适用范围：本法适用于生铁、碳素钢、合金钢、高温合金和精密合金。（可视滴定法）质量分数为个含量的测定。

5.2.2 测量范围：0.10%~35.00%

5.3 仪器

5.3.1 TG328B 电光分析天平，滴定装置

5.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

5.4 试剂

5.4.1 混酸：水 600ml；磷酸（ $d=1.7$ ）80ml；硫酸（ $d=1.84$ ）320ml，混匀。

5.4.2 硝酸银（10g/L）

5.4.3 过硫酸铵（300g/L）

5.4.4 氯化钠（50g/L）

5.4.5 硫酸亚铁铵标准溶液及配制方法：称 6g、12g、24g 硫酸亚铁铵分别溶于硫酸（5+95），并用硫酸（5+95）稀释到 1000ml 烧杯中混匀。

5.6 分析步骤

称样量见下表 33-25，精确至 0.0001g。

铬含量（质量含量）/%	称样量（g）
0.10~2.00	2.00
>2.00~10.00	2.00~0.50
>10.00~35.00	0.50~0.15

5.6.1 称取 2 ~ 3 个不同含量的标准样，以及处理好的试样（各 2 个），加混酸 50ml，于调温电炉上加热溶解，待试样溶解后加热煮沸，驱尽氮的氧化物，加水 50ml，加 5ml 硝酸银溶液，20ml 过硫酸铵溶液，低温煮沸至试液呈现紫红色，继续煮沸 5min。加 5ml 氯化钠溶液，煮沸至红色消失。取下静置 1 ~ 2min。用流水冷却至室温，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定至溶液呈淡黄色，加三滴苯代邻氨基苯甲酸溶液继续滴定至由玫瑰色转变为亮绿色为终点。

5.6.2 铬的百分含量按下式计算：

$$TCr = (XG) / (100V)$$

$$XCr = 100TCrV/G1$$

式中：TCr—铬的滴定度；

X——标准钢样中铬的含量（%）；

G——标准钢样称重（g）；

V——滴定所消耗亚砷酸钠—亚硝酸钠标准溶液的体积（ml）；

G1——试样的称重（g）；

XCr——试样中锰的百分含量（%）。

5.7 注意事项

5.7.1 如遇试样不易溶于硫磷混酸，可先用王水溶解，然后加硫磷酸冒烟。4.3.7.2 含 W 高试样，可补加浓磷酸，防止 W 成钨酸析出影响铬的测定。

5.7.2 含 W 高试样，可补加浓磷酸，防止 W 成钨酸析出影响铬的测定。

5.7.3 氧化时，过剩的过硫酸铵一定要煮沸分解除去，否则使分析结果偏高。

5.7.4 当滴定接近终点时速度应慢，否则容易过量。

5.7.5 如在试验过程中遇到停水、停电情况，应及时停止试验，待来水、来电时重新取样进行试验。

5.7.6 在试验过程中应做好防火工作。

6. 钼含量的测定



6.1 钼含量的测定符合 GB/T223.26《钢铁及合金钼含量的测定硫氰酸盐分光光度法》。

6.2 方法提要：在硫酸－高氯酸介质中，用氯化亚锡还原铁和钼，钼和硫氰酸钠生成橙红色络合物，测量其吸光度。（硫氰酸盐直接光度法）

6.2.1 适用范围：本法适用于中低合金钢、高温合金钢和精密合金。（方法一）

6.2.2 测量范围：0.10% ~ 2.00%

6.3 仪器

6.3.1 TG328B 电光分析天平；721 型分光光度计。

6.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

6.4 试剂

6.4.1 水 700ml；磷酸（ $d=1.70$ ）150ml；硫酸（ $d=1.84$ ）150ml，混匀。

6.4.2 H_2SO_4 ml(1+1)

6.4.3 高氯酸（1+5）

6.4.4 氯化亚锡（100g/L）：用前配制。

6.4.5 硫氰酸钠溶液（100g/L）

6.5 分析步骤

根据钼含量（质量分数）按表 33-26 称取试样，精确至 0.1mg。

钼含量（质量含量）/%	称样量（g）
0.10~0.50	0.25
>0.50~1.00	0.20
>1.00~2.00	0.10

6.5.1 称取试样，置于 250ml 锥形瓶中，加 40ml 硫磷混酸低滴加硝酸破坏碳化物，加入 40ml 硫磷混酸冒烟。冒烟 2~3min 取下稍冷，加 20ml 水溶解盐类。冷却后移入 100ml 容量瓶，用水稀释到刻度。

6.5.2 移取 10ml 试液两份，分别置于 50ml 容量瓶中：

显色溶液：加 4ml H_2SO_4 ml(1+1), 10ml 高氯酸（1+5），混匀。加入 10ml 硫氰酸钠溶液充分混匀后，摇动加入 10ml 氯化亚锡溶液，用硫酸（5+95）稀释到刻度，混匀。

参比溶液：除不加硫氰酸钠溶液外，其他同显色液操作。

6.5.3 在室温下放置 10min~15min，将部分溶液移入 1cm~2cm 吸收器中，以参比液为参比，于分光光度计波长 470nm 处测其吸光度，减去随同试料所做空白溶液的吸光度。

6.6 注意事项

6.6.1 试样溶解时温度不能过高，随时添加热水，防止硅酸析出。

6.6.2 显色的温度对硫氰酸钼的生成及铁的还原速度有关，一般在 15~32℃ 下显色较稳。

6.6.3 钼钨含量较高，用 500~540nm 测量消光可减少误差。

6.6.4 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

7. 镍含量的测定

7.1 镍含量的测定符合 GB/T223.23《钢铁及合金镍含量的测定丁二酮肟分光光度法》

7.2 方法提要：试样经溶解，高氯酸冒烟氧化铬至六价，以酒石酸钠掩蔽铁，在强碱性介质中，以过硫酸铵为氧化剂，镍与丁二酮肟生成红色络合物，测量其吸光度。（丁二酮肟直接光度法）

7.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳素钢、合金钢。（丁二酮肟直接光度法）

7.2.2 测量范围：0.030% ~ 2.00%

7.3 仪器

7.3.1 TG328B 电光分析天平；721 型分光光度计。

7.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

7.4 试剂

7.4.1 盐酸（ $d=1.19$ ）150ml+ 硝酸（ $d=1.42$ ）+ 水 =1+1+2, 混匀。

7.4.2 酒石酸钠（300g/L）

7.4.3 氢氧化钠溶液（100g/L）

7.4.4 丁二酮肟溶液（10g/L, 用乙醇配制）

7.4.5 过硫酸铵溶液（40g/L）

7.5 分析步骤

根据镍含量（质量分数）按表 33-27 称取试样，精确至 0.0001g。

镍含量（质量含量）/%	称样量（g）
0.03~0.10	0.50
>0.10~0.50	0.20
>0.50~2.00	0.10

7.5.1 称取试样，置于 150ml 锥形瓶中，加 5ml~10ml 硝酸或盐酸 - 硝酸混酸加热溶解后，加 3ml~5ml 高氯酸蒸发至冒高氯酸烟氧化铬呈六价，稍冷。加少量水溶解盐类。冷却后移入 100ml 容量瓶，用水稀释到刻度。

7.5.2 移取 10ml 试液两份，分别置于 50ml 容量瓶中：

显色溶液：加 10ml 酒石酸钠溶液，10ml 氢氧化钠溶液，2ml 丁二酮肟溶液和 5ml 过硫酸铵溶液，每加一种试剂后均要混匀，用水稀释到刻度，混匀。

参比溶液：加 10ml 酒石酸钠溶液，10ml 氢氧化钠溶液，2ml 乙醇溶液和 5ml 过硫酸铵溶液，用水稀释至刻度，摇匀。

7.5.3 在室温下放置 10min~20min 后将部分溶液移入 2cm~3cm 吸收器中，以参比液为参比，于分光光度计波长 530nm 处测其吸光度，减去随同试料所做空白溶液的吸光度。

7.6 注意事项

7.6.1 含铬较高的试样，改用硫酸（1+4）5~10ml 溶解，并滴加硝酸氧化，显色后需放置 20min 才能测消光。

7.6.2 镍含量较高时，可缩减试样称量或在 100ml 容量瓶中显色。

7.6.2 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。



8. 钒含量的测定

8.1 钒含量的测定符合 GB/T223.14《钢铁及合金化学分析方法钽试剂萃取光度法测定钒含量》。

8.2 方法提要：试样用酸溶解后，在硫酸－磷酸介质中，于室温用高锰酸钾将钒氧化至五价，加钽试剂－三氯甲烷溶液，将钒的络合物萃取至三氯甲烷中，于波长 530nm 处测量其吸光度。

8.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳素钢、合金钢。（丁二酮肟直接光度法）

8.2.2 测量范围：0.0050% ~ 0.50%

8.3 仪器

8.3.1 TG328B 电光分析天平；721 型分光光度计。

8.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

8.4 试剂

8.4.1 盐酸（1+1）

8.4.2 硫酸（1+1）

8.4.3 高锰酸钾溶液（3g/L）

8.4.4 尿素溶液（400g/L）

8.4.5 亚硝酸钠溶液（5g/L）

8.4.6 5N- 苯甲酰-N- 苯胺（钽试剂）- 三氯甲烷溶液：称取 0.10g 钽试剂溶于 100ml 三氯甲烷中，贮于棕色瓶中或现配现用。

8.5 分析步骤

根据钒含量（质量分数）按表 33-28 称取试样，精确至 0.0001g。

钒含量 /%	称样量 (g)
0.005-0.10	0.50
>0.10-0.50	0.10

8.5.1 称取试样，置于 150ml 锥形瓶中，加 15ml 盐酸（1+1），分次滴加硝酸（ $\rho=1.42\text{g/ml}$ ），加热至试料全部溶解，稍冷加 8ml 硫酸（ $\rho=1.84\text{g/ml}$ ），8ml 磷酸（ $\rho=1.69\text{g/ml}$ ），继续加热蒸发至冒烟。稍冷，加 50ml 水溶解盐类。冷却至室温后移入 100ml 容量瓶，用水稀释到刻度。

8.5.2 一般试料：加 10ml 钽试剂－三氯甲烷溶液，加 15ml 盐酸（1+1），立即振荡 1min，静置分层。

8.5.3 测量吸光度：下层有机相溶液用滤纸或脱脂棉干过滤于 1cm 吸收器中，以三氯甲烷为参比，于分光光度计波长 530nm 处，测量吸光度。测得的吸光度减去随同试料空白溶液的吸光度，从工作曲线上查出显色液中相应钒量。

8.6 注意事项

8.6.1 可在盐酸介质中进行萃取。

8.6.2 高铬的试样最好将大部分铬预先挥发，残存的高价铬用亚铁还原。

8.6.3 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

二、物理检验

（一）化学分析的有关概念：

1. 化学分析：是研究物质的化学组成、含量、结构的分析方法及有关理论，可以分为定性分析和定量分析。

1.1 定性分析：是确定物质由哪些组分（元素、离子、基团和化合物）组成，也就是确定物质的组分“是什么”。

1.2 定量分析：是测定物质中有关部分的含量，也就是确定物质中被测组分“有多少”。

1.3 化学分析法一般有重量分析法（称重分析法）、滴定分析法（容量分析法）和分光光度法等。

1.4 重量分析法是将待测组分与试样中的其他组分分离，并转化为一定称量形式的化合物，再称出该化合物的重量，从而计算出待测组分的含量。重量分析是经典的定量分析方法之一。

1.5 滴定分析法是将已知浓度的标准滴定溶液滴加到待测物质溶液中，使两者定量完全反应，根据用去的标准滴定溶液的准确体积和浓度即可计算出待测组分的含量，又称容量分析法。

分光光度法是基于测量溶液中物质对光的选择性吸收程度而建立起来的分析方法，包括比色法、紫外及可见分光光度法及红外光谱法等。

2. 试样的采取、制备和分解

2.1 试样的采取

2.1.1 钢产品用钻、刨、割、切削等方法采取原始试样或分析试样可以按产品标准中规定的位置，从用于力学性能试验所选用的抽样产品中取得，含铅钢、测定氧和氢的钢产品的取样和制样要采取特别的措施。

2.1.2 型材从抽样产品上切取原始样品，其形状为片状。制备块状的分析试样，应按照分析方法需要的尺寸从原始样品上切取，制备屑状的分析试样，应在原始样品的整个横截面区域铣取，当样品不适合铣取时，可用钻取，但对沸腾钢不推荐采用钻取。

2.1.3 对称形状的型材，如方坯、圆坯和扁坯，在横截面上平行于纵向轴线方向制取，位置在边缘到中心的中间部位。

2.1.4 板材或板坯可在板材或板坯的中心线与外部边缘的中间位置，切取原始样品来制备合适尺寸的块状分析试样或屑状分析试样。

2.1.5 管材按下列方法进行取样，a 焊管在与焊缝成 90° 的位置取得原始样品；b 横切管材可车铣横切面来制备屑状试样，当管材截面小时，铣切之前压扁管材；c 在管材圆周围的数个位置钻穿管壁来制取屑状分析试样。

2.1.6 有色金属试样的采取：a 铝及铝合金取样时应先去掉包覆层后制取，应用铣床在整个截面上加工，或沿径向或对角线上钻取试样，取点应不少于 4 点且呈等距离分布。

2.1.7 焊丝当其中夹有松香时，应先烧熔去除松香，然后锯成粉屑使用。

2.2 试样制备的一般规则

2.2.1 制样现场和工具设备（如钻、铣、刨、锯、车、磨床、砂轮机、破碎试样机、研磨试样机、钢钵、捣杆及筛网等）盛样器具应清洁油污或其他杂物，以确保试样的纯净。

2.2.2 试样表面如有油污，应在制备试样前用汽油、乙醚等溶剂洗净、风干，如有锈垢及其他



附着物，应清除后再制样。

2.2.3 钢铁试样有缩孔及气泡（这种样品成分往往会有严重偏析）的，应及时与送检单位联系，最好重新送样。

2.2.4 捣碎试样用的钢钵、钢杆，宜选用高锰钢材料制成的，钢钵、钢杆用完后应将附着的残余试样清除干净。

2.2.5 钻取或车床制取试样（特别是有色金属时），转速不能太快，以避免材料表面发生氧化，如钢铁试样呈蓝黑色则应重新制取，一般金属制成的试样应为细屑，不得制取细粉或大块薄片、长卷屑。

2.2.6 制样工具必须专用，钻取各种有色金属的钻头要各自分开，不能混用，，制取试样时不得使用水、油或其他润滑剂进行润滑。

2.2.7 机器或人工粉碎、研磨、过筛或试样袋装时，应防止试样粉末漏失、粉碎、研磨时，用力不当溅出的颗粒必须回收，在粉碎、研磨一种试样的现场不应同时进行另一种试样的粉碎、研磨工作。

2.2.8 在过筛处理时，没有通过过筛的颗粒不能随意丢弃，而必须反复粉碎、研磨，使所有颗粒都能通过筛孔进入原样，以保证所得样品能真实反映出被测物料的平均组分。

2.2.9 样用的磨口玻璃瓶洗净后，应在 105–110℃烘箱中烘干，如用纸袋盛样，则纸袋必须使用细密、光滑、不带绒毛的纸质制成。

2.2.10 除非标准有特别规定，供分析用的试样数量，一般要求是单项目或全分析所需用量的 6–8 倍。

2.2.11 装试样的袋或瓶的标记应在制样前填写清楚，在试样装入前应进行仔细核对。

2.2.12 母样和制备好的试样应按规定的期限予以妥善保管，以备复验所用。

2.3 试样的分解

除采用光电直读光谱仪、X-射线荧光光谱仪和气体分析仪外，分析用试样需经溶剂进行分解，试样分解是分析过程的重要步骤，分解试样的方法一般有两种：溶解和熔融。

溶解分解法

试样一般以溶解方式分解比较简单、快速，常用的分解物一般有：盐酸、硝酸、硫酸、

氢氟酸、高氯酸、磷酸、混合溶剂（如混合酸：硫酸–磷酸、硫酸–硝酸、盐酸–硝酸、盐酸–高氯酸或盐酸–过氧化氢、盐酸–溴水、硫酸–氢氟酸、盐酸–过氧化氢–氢氟酸等）、氢氧化钠等。

熔融分解法

熔融分解法主要针对某些不被溶剂分解的金属或化合物，一般碱性物质选用酸性熔剂，酸性物质选用碱性熔剂，根据熔剂性质将熔融法分为酸熔法和碱熔法两种。

其他溶解法

包括密闭溶解法和微波消解法

试样分解过程中引入的误差主要有以下几个方面组成：

- 2.3.1 组分没有完全转化为分析状态；
- 2.3.2 分解过程中被测成分成雾状损失；
- 2.3.3 分解过程中挥发损失；
- 2.3.4 分解过程中与容器反应造成损失；
- 2.3.5 分解过程中由于粘污而引入误差。

3. 元素的分析

3.1 金属元素的分析

主要包括锰、铝、铁、镁、锡、铜、铅、锌、镍、钛、铬、钒、钴、钼、钨、铌、稀土元素等的测定，分析采用的方法可参照相应的标准规范。

3.2 非金属元素的分析

主要包括碳、硫、硅、磷、硼及氮、氧、氢的测定，分析采用的方法可参照相应的标准规范。

3.3 主要仪器及器皿

化学分析用仪器一般常用的有：碳硫分析仪、分光光度计、分析天平、酸度计、坩埚等，玻璃实验器皿主要有：滴定管、移液管、容量瓶、量杯、量筒，非玻璃器皿主要有：铂器皿、银器皿、热解石墨器皿、石英器皿、瓷器皿、刚玉器皿和聚四氟乙烯器皿等。

3.4 试剂、分析用水及溶液浓度

3.4.1 分析用试剂

3.4.1.1 化学试剂的分类和规格

化学试剂主要分为一般试剂、基准试剂、无机离子分析用有机试剂、色谱试剂、生物试剂、指示剂及 pH 试剂等。

分析试剂常见的规格有：基准试剂、优级纯、分析纯、化学纯、实验试剂，各类试剂的标识如表 33-29：

表 33-29 试剂等级

品名	一级品	二级品	三级品	四级品
纯度分类	优级纯	分析纯	化学纯	实验试剂
英文代号	CR	AR	CP	LR
标签颜色	绿	红	蓝	其他颜色

3.4.1.2 化学药品和试剂的储存于管理

化学药品的储存：根据化学药品有毒有害和易燃易爆的危险性等特点，应储存在药品储藏室内，专人保管，储藏室应避免阳光照射，室内温度一般应保证在 15~20℃，最高不超过 25℃，室内相对湿度最好在 10%~70%，室内应通风良好，严禁明火，危险化学品应按国家公安部门的规定管理，一般化学药品按无机物、有机物和指示剂分类存放。贵重药品由专人保管，剧毒危险品应专柜专人保管（双人双锁），领用和消耗均应严格登记。

（1）直接用于实验的各种浓度的试剂应分类管理：

（2）有毒性的试剂，不管浓度大小，必须使用多少配制多少，剩余少量也应送危险品储藏室



保管，如三氧化二砷等。

(3) 见光易分解的试剂装入棕色瓶中，其他试剂溶液也要根据其性质装入带塞的试剂瓶中，碱类和盐类试剂溶液不能装在磨口试剂瓶中，应使用胶塞或木塞，需滴加的试剂及指示剂应装入滴瓶中，整齐的排列在试剂架上。

(4) 配制好的试剂应立即贴上标签，标明名称、浓度、配制日期，贴在试剂瓶的中上部，废旧试剂不能直接倒入下水道，特别是易挥发、有毒的有机化学试剂更不能直接倒入下水道中，应倒在专用的废液缸中，定期妥善处理。

(5) 装在自动滴定管中的试剂，如滴定管是敞口的，应用小烧杯或纸套盖上，防止灰尘落入。

3.4.2 分析用水

3.4.2.1 规格及技术指标

分析化学实验对水的质量要求较高，既不能直接使用自来水或其他天然水，也不应一律使用高纯水，而应根据所做实验对水的质量要求合理地选用适当规格的纯水，分析实验室用水的级别及主要技术指标如下表 33-30：

表 33-30 分析实验室用水的级别及主要技术指标

指标名称	一级	二级	三级
pH 范围 (25℃)	—	—	5.0-7.0
电导率 (25℃) ms/m	≤ 0.01	≤ 0.10	≤ 0.50
可氧化物质 (以 O 计) mg/L	—	<0.08	<0.4
蒸发残渣 (105 ± 2℃) mg/L	—	≤ 1.0	≤ 2.0
吸光度 (254nm, 1cm 光程)	≤ 0.001	≤ 0.01	5.0-7.0
可溶性硅胶 (以 SiO ₂ 计) mg/L	<0.01	<0.02	

3.4.2.2 制备方法

制备分析用实验用水的原水应当是饮用水或其他相对程度的水。

一级水：可用二级水经过石英设备蒸馏或离子交换混合床处理后，再经 0.2 μm 微孔膜过滤来制取，一级水主要用于有严格要求的分析实验，如高效液相色谱分析用水。

二级水：可用离子交换或多次蒸馏等方法制取，二级水主要用于无机痕量分析实验，如原子吸收光谱分析、电化学分析实验等。

三级水：可用蒸馏、去离子（离子交换及电渗析法）或反渗透等方法制取，三级水用于一般化学分析实验。

4. 化学实验室安全知识

4.1 化学实验室危险分类

4.1.1 火灾爆炸危险性

4.1.2 有毒气体危险性

4.1.3 触电危险性

4.1.4 机械伤害危险性

4.1.5 放射性危险性

4.2 化验室安全守则

4.2.1 防止中毒

4.2.1.1 严禁在实验室进餐、吸烟。实验室一切器皿都不得用作食具使用，使用有毒物品进行工作后，离开实验室时必须仔细洗手、漱口。

4.2.1.2 所有配好的试剂都要有标签，剧毒试剂（包括已配制好的溶液）都要放在专用柜中双人、双锁保管，建立严格的使用登记制度，剧毒的物质撒落时，应立即全部收拾起来，并把落过毒品的桌子和地板洗净。

4.2.1.3 严禁试剂入口，用移液管吸取任何试剂溶液都必须用洗耳球操作，不得用嘴吸，如需用鼻鉴别试剂时，应将试剂瓶子远离鼻子，用手轻轻扇动，稍闻其味即可，严禁鼻子接近瓶口。

4.2.1.4 使用易挥发有毒试剂或反应中产生有毒气体的实验，如氮的氧化物、氯、溴、硫化氢、氢氰酸、氟化氢、四氯化硅等，必须在通风柜中进行。

4.2.1.5 采用有毒气体试样时必须站在上风头，采用球胆、塑料袋取样时，要事先进行试漏，用完后要放在室外放空放净。

4.2.2 防止燃烧和爆炸

4.2.2.1 挥发性有机液体试剂或样品应存放在通风良好处，如放入冰箱必须密封，不得漏气，易燃试剂如乙醚、二硫化碳、苯、汽油、石油醚等不可放在煤气灯、电炉或其他热源附近。

4.2.2.2 启开易挥发试剂瓶时，尤其在室温较高时，应先用水冷却，且不可把瓶口对着自己他人，以免有大量气液冲出，造成伤害事故。

4.2.2.3 实验过程中对于易挥发及易燃性有机溶剂如需要加热排除时，应在水浴内或密封的电热板上缓慢加热，严禁用火焰或一般电炉直接加热，也不准在烘箱中烘烤。

4.2.2.4 身上或手上粘有易燃物时，应立即清洗干净，不得靠近明火，以防着火，落有氧化剂液滴的衣服，稍微加热即能发火，应注意及时消除。

4.2.2.5 严禁把氧化剂和可燃物在一起研磨，不能再纸上称过氧化氢。

4.2.2.6 进行易发生爆炸的实验时，如用 Na_2O_2 熔融，用 HClO_4 进行湿法氧化时，要加强安全措施，使用防护挡板，戴防护眼镜。

4.2.2.7 爆炸性药品，加高氯酸或高氯酸盐，过氧化氢及高压气体等应放在低温处保管，不得与其他易燃物放在一起。

4.2.2.8 在分析中，有时需要对加热处理的溶液在隔绝 CO_2 （指空气中的 CO_2 ）情况下冷却，冷却时不能把容器塞紧，以防冷却时爆炸，可在瓶塞上装碱石灰管。

4.2.3 防止腐蚀、化学灼伤、烫伤和割伤

4.2.3.1 腐蚀类刺激性药品，如强酸、强碱、浓氨水、浓过氧化氢、氢氟酸、溴水等，取用时戴胶皮手套和防护眼镜。

4.2.3.2 稀释硫酸时必须在烧杯等耐热容器中进行，在不断搅拌下把浓酸加入水中，绝不能把水加入浓硫酸中，在溶解 NaOH 、 KOH 等能产生大量热量的物质时，也必须在耐热容器中，如需



将浓酸、浓碱液中和，则必须先稀释后中和。

4.2.3.3 在压碎和研磨 NaOH、KOH 及其他危险物质时，要戴防护眼镜，注意防范小碎块飞溅，以免造成烧伤。

4.2.3.4 切割玻璃管及塞子钻孔时，必须戴防护手套，用玻璃管连接胶管时，必须正确选择它的直径，不要使用薄壁玻璃管，需把管口烧圆滑后才能插入胶管，把玻璃管插入塞内时，必须握住瓶子侧面，不要把塞子撑在手掌上。

4.2.3.5 装配或拆卸仪器，要防备玻璃管或其他部位破损，造成严重割伤，使用后的仪器上常有刺激伤口和使伤情复杂化的赃物，拆卸时更要小心。

4.2.4 其他安全事项

一切固体不溶物、浓酸和浓碱废液，严禁倒入下水道，以防堵塞和腐蚀下水管道，易燃、有毒有机物也不能倒入下水道，以免中毒和着火。

实验室工作人员应知晓实验室内煤气、水阀和电闸的位置，以便必要时加以控制。

分析实验结束后，应当进行安全检查，使用过的器皿都要洗涤干净，放回固定位置，下班或离开时，关闭电源、热源和水源。

5. 化学分析的目的

通过化学分析确定物质的化学组成，得出的化学元素结果满足材料的标准要求，保证工程的质量。

(二) 常用的化学分析标准

GB/T20066《钢和铁化学成分测定用试样的取样和制样方法》

GB/T222《钢的成品化学成分允许偏差》

GB/T223.69《钢铁及合金碳含量的测定管式炉内燃烧后气体容量法》

GB/T223.68《钢铁及合金化学分析方法管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定硫含量》

GB/T223.62《钢铁及合金化学分析方法乙酸丁酯萃取光度法测定磷量》

GB/T223.5《钢铁酸溶硅和全硅含量的测定还原型硅钼酸盐分光光度法》

GB/T223.58《钢铁及合金化学分析方法亚砷酸钠—亚硝酸钠滴定法测定锰量》

GB/T223.11《钢铁及合金铬含量的测定可视滴定或电位滴定法》

GB/T223.26《钢铁及合金钼含量的测定硫氰酸盐分光光度法》

GB/T223.23《钢铁及合金镍含量的测定丁二酮肟分光光度法》

GB/T223.14《钢铁及合金化学分析方法钽试剂萃取光度法测定钒含量》

(三) 工作程序

1. 碳、硫含量的测定

1.1 碳、硫含量的测定符合 GB/T223.69《钢铁及合金碳含量的测定管式炉内燃烧后气体容量法》、GB/T223.68《钢铁及合金化学分析方法管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定硫含量》、HV-4B 微机碳硫自动分析仪说明书。

1.2 方法提要：试样置于高速引燃炉中加热并通氧燃烧，使 C、S 氧化成 CO₂、SO₂ 混合气体，CO₂ 收集于量气瓶中，然后以 KOH 溶液吸收其中的 CO₂，吸收前后体积差即为 CO₂ 体积；SO₂ 气体被酸性淀粉溶液吸收后，用碘酸钾标准溶液滴定至浅蓝色为终点。

1.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳钢、高温钢及精密合金。

1.2.2 测量范围：C：0.05 ~ 6.00%、S：0.005 ~ 0.200%

1.3 仪器

1.3.1 采用 HV-4B 微机碳硫自动分析仪与 HB-2H 型高速自动引燃炉配套使用。

电源：电压 220V ± 10%，50Hz 功率 < 40W。

分析时间：高速引燃炉 65s。

读数方法：标尺直读百分含量。

1.3.2 分析误差符合 GB/T222。

1.4 环境条件：室温 0 ~ 40℃，气压（280 ~ 800）mmHg。

1.5. 试剂

1.5.1 KOH（40%）

1.5.2 酸性水溶液：取量 1ml 浓硫酸，加入 100ml 水，滴加 0.1% 甲基橙溶液呈橙红色。

1.5.3 淀粉溶液：取量 4g 淀粉，用少量水拌匀成糊状，溶于 300ml 沸水，再沸腾五分钟左右，然后再稀至 500ml，加浓盐酸 50ml 摇匀。

1.5.4 碘酸钾溶液（0.05N）：称取 1.78g 碘酸钾，溶于水后稀至 1000ml（此为测·硫滴定母液）。

1.5.5 碘酸钾滴定液：分取 28ml 0.05N 碘酸钾母液，稀至 1000ml，加 1g 碘化钾摇匀，摇匀。

1.6. 分析步骤

准确称取 1.0000g 已知 C、S 含量的标准钢样 2 ~ 3 个，再称取处理好的试样，均匀分量在坩锅内，加 0.5g 锡粉助熔剂，送入事先预热 30min 通氧的燃烧炉，然后依次按下“准备”及“分析”键，仪器自动分析，待分析结束鸣叫声停止时，立即读取 C、S 的百分含量，逐一分析试样和标样。

1.7 注意事项

1.7.1 仪器在使用过程中，先打开电源开关，后打开 +24V 开关。

1.7.2 使用时氧气压力不能太大，以免气管液面上升速度过快，上部浮子被撞碎。

1.7.3 仪器在不工作时，可关闭 +24V 开关，可防止电源突变引起仪器的控制部分工作。

1.7.4 每次做试验之前应调试“0”点，仪器是否漏气，工作是否正常。

1.7.5 注意样品堆放形状和助熔剂用量。

1.7.6 注意处理粉尘时对 CO₂ 的吸收转化作用。

1.7.7 注意炉温自动控制。

1.7.8 试验后，再次对仪器进行检查是否处于正常状态，应经调试后重新试验。

2. 磷含量的测定

2.1 磷含量的测定符合 GB223.62《钢铁及合金化学分析方法乙酸丁酯萃取光度法测



定磷量》。

2.2 方法提要：在（0.65 ~ 1.63）mol/L 硝酸介质中，磷与钼酸铵生成磷钼杂多酸可被乙酸丁脂萃取，用氯化亚锡将磷钼杂多酸还原并反萃取至水相，于 680nm 处，测取吸光度。

2.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳钢、合金钢、高温合金钢及精密合金。

2.2.2 测量范围：0.001 ~ 0.05%。

2.3 仪器：

2.3.1 TG328B 电光分析天平；721 型分光光度计

2.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

2.4 试剂

2.4.1 HClO_4 （ $d=1.67\text{g/ml}$ ）

2.4.2 HNO_3 （1+2）

2.4.3 HCl （1+5）

2.4.4 钼酸铵（10%）

2.4.5 亚硝酸钠（10%）

2.4.6 硫酸亚铁（5%）：每 100ml 加 1ml 硫酸（1+1）。

2.4.7 氯化亚锡（1%）：称取 1g 氯化亚锡溶于 8ml 盐酸（ $d=1.19$ ）中，用水稀至 100ml，现配现用。

2.5 分析步骤

2.5.1 称取试样 0.2g 于三角烧瓶中，加 30ml 硝酸（1+2）加热溶解，滴加 4% 高锰酸钾溶液呈稳定红色，煮沸 1 ~ 2min，取下，滴加亚硝酸钠（10%）溶液至溶液溶解，煮沸 1min，驱除氮氧化物，冷却至室温，移入 100ml 容量瓶中，用水稀至刻度，摇匀。

2.5.2 移取 10ml 试液，于 60ml 分液漏斗中，加 2 ~ 3 滴硫酸亚铁溶液，15ml 乙酸丁脂，5ml 钼酸铵（10%）溶液，剧烈振荡 40 ~ 60s，静止分层后，弃去下层水相，加 10ml HCl （1+5）振荡 15s，静止分层后，弃去下层水相，加 15ml 氯化亚锡（1%）溶液，振荡 20 ~ 30s，静止分层后，将水相移入 3cm 比色器中，以水为参比，于波长 680nm 处，测其吸光度，减去试剂空白的吸光度，从工作曲线上查出相应的磷量。

2.5.3 工作曲线的绘制：称取不同磷含量的标准钢样，按分析步骤进行，根据分析步骤进行，根据测试的消光绘制曲线。

2.6 注意事项

2.6.1 用 HNO_3 （1+2）不能溶解的试样可多加 10 ~ 15ml 盐酸助溶，加入高氯酸加热蒸发冒烟至锥形瓶内透明至回流 5 ~ 6min。

2.6.2 如试样中含锰超过 2% 时多加 7 ~ 8ml 高氯酸，蒸发冒高氯酸烟，至锥形瓶内透明并回流 20 ~ 25min。

2.6.3 如室温低于 15℃，使反应速度慢，萃取回收率低，因此须在 15℃ 以上操作，工作曲线亦在同样条件下绘制。

2.6.4 测试前后对分光光度计进行调试,以确保仪器的准确。

3. 硅含量的测定

3.1 硅含量的测定符合 GB223.5《钢铁及合金化学分析方法 草酸-硫酸亚铁硅钼蓝光度法测定硅量》。

3.2 方法提要:试样用稀酸溶解,在微酸性溶液中,硅酸与钼酸铵生成硅钼杂多酸,在草酸存在下,用硫酸亚铁铵还原成硅钼蓝,测其吸光度。

3.2.1 适用范围:本法适用于生铁、铁粉、碳钢、低合金钢。

3.2.2 测量范围:0.030 ~ 1.000%

3.3 仪器

3.3.1 TG328B 电光分析天平;721 型分光光度计

3.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

3.4 试剂

3.4.1 硫酸(1+17)

3.4.2 钼酸铵(5%):处于塑料瓶中。

3.4.3 草酸(5%)

3.4.4 硫酸亚铁铵(6%):称取 6g 硫酸亚铁铵用 1ml 硫酸(1+1)润湿,加约 60ml 水溶解,用水稀至 100ml,摇匀。

3.4.5 高锰酸钾(4%)

3.4.6 亚硝酸钠(10%)

3.5 分析步骤

3.5.1 称取 0.1000 ~ 0.4000g(控制硅量为 100 ~ 200 微克)试样,置于 150ml 锥形瓶中,加 30ml 硫酸(1+17),低温缓慢加热(不要煮沸)至试样完全溶解(不断补充蒸发失去的水分)。煮沸,滴加 4% 高锰酸钾溶液至析出二氧化锰水合物沉淀,再煮沸约 1min,滴加亚硝酸钠(10%)溶液至试样清亮,继续煮沸 1 ~ 2min。冷却将溶液移入 50ml 容量瓶中,按下法处理:

3.5.2 移取 10ml 试液两份,分别置于 50ml 容量瓶中:

显色溶液:加 5ml 钼酸铵(5%)溶液,摇匀,于沸水浴中加热 30s,加 10ml 草酸(5%)溶液摇匀,待沉淀溶解后半分钟内,加 5ml 硫酸亚铁铵(6%)溶液,用水稀释至刻度,混匀。

参比溶液:加 10ml 草酸(5%)溶液,5ml 钼酸铵(5%)溶液,加 5ml 硫酸亚铁铵(6%)溶液,用水稀释至刻度,混匀。

3.5.3 将上述溶液移入 1 ~ 3cm 比色器,在分光光度计上,以参比溶液为参比,于波长 810nm 处测其吸光度,从曲线上查出相应的硅量。

3.5.4 称取不同含量硅的标准钢样,按分析步骤进行,根据测试的消光绘制出曲线。

3.6 注意事项

3.6.1 试样溶解时温度不能过高,随时添加热水,防止硅酸析出。



3.6.2 可在常温放置 15min 再加草酸溶液。

3.6.3 钼酸铵加入时要防止沾附于瓶壁，在硅含量较低铁量较高时，可适当的增高钼酸铵与草酸的用量。

3.6.4 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

4. 锰含量的测定

4.1 锰含量的测定符合 GB223.58《亚砷酸钠 – 亚硝酸钠滴定法测定锰量》。

4.2 方法提要：试样经酸溶解，在硫酸、磷酸介质中，以硝酸银为催化剂，用过硫酸铵将锰氧化成七价，用亚砷酸钠 – 亚硝酸钠标准溶液滴定，将其还原成二价锰，根据标准溶液的消耗量来计算锰的百分含量。

4.2.1 适用范围：本法适用于生铁、碳钢、合金钢和铁粉。

4.2.2 测量范围：0.10 ~ 2.50%

4.3 仪器

4.3.1 TG328B 电光分析天平；滴定装置

4.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

4.4 试剂

4.4.1 混酸：水 700ml；磷酸（d=1.7）150ml；硫酸（d=1.84）150ml

4.4.2 硝酸银（0.5%）

4.4.3 过硫酸铵（20%）

4.4.4 氯化钠（0.4%）

4.4.5 亚砷酸钠 – 亚硝酸钠标准溶液及配制方法：称三氧化二砷 1.25 ~ 1.30g 置于 600ml 烧杯中，加 25ml 氢氧化钠（15%），温热溶解后加蒸馏水至 200ml 左右，加硫酸（2+3）至溶液呈酸性再过量 2 ~ 3ml，用碳酸钠（15%）中和至 PH6 ~ 7，加亚硝酸钠 0.86g，过滤，用蒸馏水稀释至 1000ml，摇匀。

4.5 分析步骤

4.5.1 称取 2 ~ 3 个不同含量的标准样，以及处理好的试样 1g 左右（各 2 个），加混酸 30ml，于调温电炉上加热溶解，待试样溶解后加热煮沸，驱尽氮的氧化物，加水 50ml，加 10ml 硝酸银（0.5%），10ml 过硫酸铵（20%）低温煮沸 45s，取下静置 1 ~ 2min。用流水冷却至室温，加 10ml 氯化钠（0.4%），立即用亚砷酸钠 – 亚硝酸钠标准溶液以不变的速度进行滴定（每分钟不超过 6ml）当溶液呈微红色时，以更慢的速度滴定至粉红色消失为终点。

4.5.2 锰的百分含量按下式计算：

$$TMn = (XG) / (100V)$$

$$XMn = 100TMnV/G1$$

式中：TMn—锰的滴定度；

X——标准钢样中锰的含量（%）；

G——标准钢样称重 (g)；

V——滴定所消耗亚砷酸钠 - 亚硝酸钠标准溶液的体积 (ml)；

G1——试样的称重 (g)；

XMn——试样中锰的百分含量 (%)。

4.6 注意事项

4.6.1 如有不溶碳化物，应将溶液蒸发至硫磷混酸近冒烟时，再滴加硝酸破坏，如分析生铁，应在剧烈作用以后，加水 25ml 过滤，用硝酸 (2+98) 溶液洗涤 2 ~ 3 次。

4.6.2 溶液按规定稀释，过量的稀释使终点不明显。

4.6.3 指示剂具有还原性不宜多加 (加氯化钠溶液后应立即滴定，以免破坏高价锰，影响试验结果)。

4.6.4 当滴定接近终点时速度应慢，否则容易过量。

4.6.5 如在试验过程中遇到停水、停电情况，应及时停止试验，待来水、来电时重新取样进行试验。

4.6.6 在试验过程中应做好防火工作。

5. 铬含量的测定

5.1 铬含量的测定符合 GB/T223.11-2008《钢铁及合金铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法》。

5.2 方法提要：试样用酸溶解后，在硫酸、磷酸介质中，以硝酸银为催化剂，用过硫酸将铬氧化至铬 (VI)，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定。

5.2.1 适用范围：本法适用于生铁、碳素钢、合金钢、高温合金和精密合金。(可视滴定法) 质量分数为个含量的测定。

5.2.2 测量范围：0.10%~35.00%

5.3 仪器

5.3.1 TG328B 电光分析天平滴定装置

5.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

5.4 试剂

5.4.1 混酸：水 600ml；磷酸 (d=1.7) 80ml；硫酸 (d=1.84) 320ml，混匀。

5.4.2 硝酸银 (10g/L)

5.4.3 过硫酸铵 (300g/L)

5.4.4 氯化钠 (50g/L)

5.4.5 硫酸亚铁铵标准溶液及配制方法：称 6g、12g、24g 硫酸亚铁铵分别溶于硫酸 (5+95)，并用硫酸 (5+95) 稀释到 1000ml 烧杯中混匀。

5.6 分析步骤

称样量见下表 33-31，精确至 0.0001g。

铬含量 (质量含量) /%	称样量 (g)
0.10~2.00	2.00



铬含量 (质量含量) /%	称样量 (g)
>2.00~10.00	2.00~0.50
>10.00~35.00	0.50~0.15

5.6.1 称取 2 ~ 3 个不同含量的标准样, 以及处理好的试样 (各 2 个), 加混酸 50ml, 于调温电炉上加热溶解, 待试样溶解后加热煮沸, 驱尽氮的氧化物, 加水 50ml, 加 5ml 硝酸银溶液, 20ml 过硫酸铵溶液, 低温煮沸至试液呈现紫红色, 继续煮沸 5min。加 5ml 氯化钠溶液, 煮沸至红色消失。取下静置 1 ~ 2min。用流水冷却至室温, 用硫酸亚铁铵标准溶液滴定至溶液呈淡黄色, 加三滴苯代邻氨基苯甲酸溶液继续滴定至由玫瑰色转变为亮绿色为终点。

5.6.2 铬的百分含量按下式计算:

$$TCr = (XG) / (100V)$$

$$XCr = 100TCrV/G1$$

式中: TCr—铬的滴定度;

X——标准钢样中铬的含量 (%);

G——标准钢样称重 (g);

V——滴定所消耗亚砷酸钠 - 亚硝酸钠标准溶液的体积 (ml);

G1——试样的称重 (g);

XCr——试样中锰的百分含量 (%)。

5.7 注意事项

5.7.1 如遇试样不易溶于硫磷混酸, 可先用王水溶解, 然后加硫磷酸冒烟。4.3.7.2 含 W 高试样, 可补加浓磷酸, 防止 W 成钨酸析出影响铬的测定。

5.7.2 含 W 高试样, 可补加浓磷酸, 防止 W 成钨酸析出影响铬的测定。

5.7.3 氧化时, 过剩的过硫酸铵一定要煮沸分解除去, 否则使分析结果偏高。

5.7.4 当滴定接近终点时速度应慢, 否则容易过量。

5.7.5 如在试验过程中遇到停水、停电情况, 应及时停止试验, 待来水、来电时重新取样进行试验。

5.7.6 在试验过程中应做好防火工作。

6. 钼含量的测定

6.1 钼含量的测定符合 GB/T223.26《钢铁及合金钼含量的测定硫氰酸盐分光光度法》。

6.2 方法提要: 在硫酸 - 高氯酸介质中, 用氯化亚锡还原铁和钼, 钼和硫氰酸钠生成橙红色络合物, 测量其吸光度。(硫氰酸盐直接光度法)

6.2.1 适用范围: 本法适用于中低合金钢、高温合金钢和精密合金。(方法一)

6.2.2 测量范围: 0.10% ~ 2.00%

6.3 仪器

6.3.1 TG328B 电光分析天平; 721 型分光光度计。

6.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

6.4 试剂

6.4.1 水 700ml；磷酸（ $d=1.70$ ）150ml；硫酸（ $d=1.84$ ）150ml，混匀。

6.4.2 H_2SO_4 1ml(1+1)

6.4.3 高氯酸（1+5）

6.4.4 氯化亚锡（100g/L）：用前配制。

6.4.5 硫氰酸钠溶液（100g/L）

6.5 分析步骤

根据钼含量（质量分数）按表 33-32 称取试样，精确至 0.1mg。

钼含量（质量分数）/%	称样量（g）
0.10~0.50	0.25
>0.50~1.00	0.20
>1.00~2.00	0.10

6.5.1 称取试样，置于 250ml 锥形瓶中，加 40ml 硫磷混酸低滴加硝酸破坏碳化物，加入 40ml 硫磷混酸冒烟。冒烟 2~3min 取下稍冷，加 20ml 水溶解盐类。冷却后移入 100ml 容量瓶，用水稀释到刻度。

6.5.2 移取 10ml 试液两份，分别置于 50ml 容量瓶中：

显色溶液：加 4ml H_2SO_4 1ml(1+1), 10ml 高氯酸（1+5），混匀。加入 10ml 硫氰酸钠溶液充分混匀后，摇动加入 10ml 氯化亚锡溶液，用硫酸（5+95）稀释到刻度，混匀。

参比溶液：除不加硫氰酸钠溶液外，其他同显色液操作。

6.5.3 在室温下放置 10min~15min，将部分溶液移入 1cm~2cm 吸收器中，以参比液为参比，于分光光度计波长 470nm 处测其吸光度，减去随同试料所做空白溶液的吸光度。

6.6 注意事项

6.6.1 试样溶解时温度不能过高，随时添加热水，防止硅酸析出。

6.6.2 显色的温度对硫氰酸钼的生成及铁的还原速度有关，一般在 15~32℃ 下显色较稳。

6.6.3 钼钨含量较高，用 500~540nm 测量消光可减少误差。

6.6.4 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

7. 镍含量的测定

7.1 镍含量的测定符合 GB/T223.23《钢铁及合金镍含量的测定丁二酮肟分光光度法》。

7.2 方法提要：试样经溶解，高氯酸冒烟氧化铬至六价，以酒石酸钠掩蔽铁，在强碱性介质中，以过硫酸铵为氧化剂，镍与丁二酮肟生成红色络合物，测量其吸光度。（丁二酮肟直接光度法）

7.2.1 适用范围：本法适用于生铁、铁粉、碳素钢、合金钢。（丁二酮肟直接光度法）

7.2.2 测量范围：0.030% ~ 2.00%

7.3 仪器

7.3.1 TG328B 电光分析天平；721 型分光光度计。

7.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。



7.4 试剂

7.4.1 盐酸 ($d=1.19$) 150ml+ 硝酸 ($d=1.42$) + 水 =1+1+2, 混匀。

7.4.2 酒石酸钠 (300g/L)

7.4.3 氢氧化钠溶液 (100g/L)

7.4.4 丁二酮肟溶液 (10g/L, 用乙醇配制)

7.4.5 过硫酸铵溶液 (40g/L)

7.5 分析步骤

根据镍含量 (质量分数) 按表 33-33 称取试样, 精确至 0.0001g。

镍含量 (质量含量) /%	称样量 (g)
0.03~0.10	0.50
>0.10~0.50	0.20
>0.50~2.00	0.10

7.5.1 称取试样, 置于 150ml 锥形瓶中, 加 5ml~10ml 硝酸或盐酸 - 硝酸混酸加热溶解后, 加 3ml~5ml 高氯酸蒸发至冒高氯酸烟氧化铬呈六价, 稍冷。加少量水溶解盐类。冷却后移入 100ml 容量瓶, 用水稀释到刻度。

7.5.2 移取 10ml 试液两份, 分别置于 50ml 容量瓶中:

显色溶液: 加 10ml 酒石酸钠溶液, 10ml 氢氧化钠溶液, 2ml 丁二酮肟溶液和 5ml 过硫酸铵溶液, 每加一种试剂后均要混匀, 用水稀释到刻度, 混匀。

参比溶液: 加 10ml 酒石酸钠溶液, 10ml 氢氧化钠溶液, 2ml 乙醇溶液和 5ml 过硫酸铵溶液, 用水稀释至刻度, 摇匀。

7.5.3 在室温下放置 10min~20min 后将部分溶液移入 2cm~3cm 吸收器中, 以参比液为参比, 于分光光度计波长 530nm 处测其吸光度, 减去随同试料所做空白溶液的吸光度。

7.6 注意事项

7.6.1 含铬较高的试样, 改用硫酸 (1+4) 5~10ml 溶解, 并滴加硝酸氧化, 显色后需放置 20min 才能测消光。

7.6.2 镍含量较高时, 可缩减试样称量或在 100ml 容量瓶中显色。

7.6.2 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

8. 钒含量的测定

8.1 钒含量的测定符合 GB/T223.14《钢铁及合金化学分析方法钽试剂萃取光度法测定钒含量》。

8.2 方法提要: 试样用酸溶解后, 在硫酸 - 磷酸介质中, 于室温用高锰酸钾将钒氧化至五价, 加钽试剂 - 三氯甲烷溶液, 将钒的络合物萃取至三氯甲烷中, 于波长 530nm 处测量其吸光度。

8.2.1 适用范围: 本法适用于生铁、铁粉、碳素钢、合金钢。(丁二酮肟直接光度法)

8.2.2 测量范围: 0.0050% ~ 0.50%

8.3 仪器

8.3.1 TG328B 电光分析天平; 721 型分光光度计。

8.3.2 分析误差符合 GB/T222 的规定。

8.4 试剂

8.4.1 盐酸 (1+1)

8.4.2 硫酸 (1+1)

8.4.3 高锰酸钾溶液 (3g/L)

8.4.4 尿素溶液 (400g/L)

8.4.5 亚硝酸钠溶液 (5g/L)

8.4.6.5N- 苯甲酰 -N- 苯胺 (钼试剂) - 三氯甲烷溶液: 称取 0.10g 钼试剂溶于 100ml 三氯甲烷中, 贮于棕色瓶中或现配现用。

8.5 分析步骤

根据钒含量 (质量分数) 按表 33-34 称取试样, 精确至 0.0001g。

钒含量 /%	称样量 (g)
0.005~0.10	0.50
>0.10~0.50	0.10

8.5.1 称取试样, 置于 150ml 锥形瓶中, 加 15ml 盐酸 (1+1), 分次滴加硝酸 ($\rho=1.42\text{g/ml}$), 加热至试料全部溶解, 稍冷加 8ml 硫酸 ($\rho=1.84\text{g/ml}$), 8ml 磷酸 ($\rho=1.69\text{g/ml}$), 继续加热蒸发至冒烟。稍冷加 50ml 水溶解盐类。冷却至室温后移入 100ml 容量瓶, 用水稀释到刻度。

8.5.2 一般试剂: 加 10ml 钼试剂 - 三氯甲烷溶液, 加 15ml 盐酸 (1+1), 立即振荡 1min, 静置分层。

8.5.3 测量吸光度: 下层有机相溶液用滤纸或脱脂棉干过滤于 1cm 吸收器中, 以三氯甲烷为参比, 于分光光度计波长 530nm 处, 测量吸光度。测得的吸光度减去随同试料空白溶液的吸光度, 从工作曲线上查出显色液中相应钒量。

8.6 注意事项

8.6.1 可在盐酸介质中进行萃取。

8.6.2 高铬的试样最好将大部分铬预先挥发, 残存的高价铬用亚铁还原。

8.6.3 测试前后对光度计进行调试以保证准确度。

三、金相检验

(一) 金相检验的有关概念:

金属和合金在固态下, 通常都是晶体。晶体就是原子在三维空间中有规律作周期重复排列的物质。低合金钢是在碳素钢基础上加入一些合金元素, 提高钢的强度、韧性、塑性、耐磨性等性能要求。碳素钢和低合金钢属于亚共析钢, 随着处理工艺不同, 出现不同的组织。

1. 铁素体: 又称纯铁体, 属体心立方结构, 用 F 表示, 在碳钢中它是碳固溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的固溶体, 在合金钢中则是碳和合金元素固溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的固溶体, 在光学显微镜下铁素体呈白亮色多边形, 也可呈块状、月牙形、网络状等。

奥氏体: 在碳钢中它是碳固溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 中的固溶体, 在合金钢中则是碳和合金元素固溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的固溶体, 属面心立方结构。奥氏体是高温相, 在高温时才稳定存在, 在室温时转变成其他组织,



在光学显微镜下呈白色。

2. 渗碳体：渗碳体是一种化合物，在碳钢中，渗碳体由铁和碳化合而成，分子式为 Fe_3C ，在合金钢中形成合金渗碳体，结构式 $(\text{Fe}, \text{M})_3\text{C}$ ，渗碳体性硬而脆，呈白色的片状（针状）、粒状、网络状、半网络状等。一次渗碳体为块状，角不尖锐；共晶渗碳体呈骨络状；二次渗碳体呈网状；共析渗碳体呈片状。

珠光体：是铁素体和渗碳体的机械混合物，按碳化物的分布形态分为片状珠光体和球状珠光体。

①片状珠光体是钢从奥氏体过冷到 Ar_1 线以下的温度，在 C 曲线上部发生共析转变的产物。奥氏体的过冷度越大，形成的片状珠光体就越细，用受溶液侵蚀显示层状组织。

②球状珠光体是钢在球化退火处理后的到的显微组织。球状珠光体中的渗碳体呈球粒状，分布在铁素体的基体上。

魏氏体：亚共析钢在铸造、锻造，轧制、焊接和热处理时，由于高温过热形成粗晶奥氏体，冷却时游离铁素体除延晶界呈网状析出外，还有部分形成铁素体从晶界并排向晶粒内部生长，或在晶粒内部独自析出，这种针片状铁素体分布在珠光体基体上的组织成为魏氏组织。

3. 贝氏体：贝氏体是铁素体和渗碳体两相组织的机械混合物，大致分为羽毛状、针状和粒状。羽毛状为上贝氏体，针状为下贝氏体，粒状为粒状贝氏体。

4. 马氏体：在碳钢中它是碳固溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体，在合金钢中则是碳和合金元素固溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体，马氏体可分为低碳的板条马氏体和高碳的针状马氏体。

5. 回火马氏体：是淬火钢经低温回火后的产物，特征是具有马氏体针状特征，经侵蚀后显示的颜色比淬火马氏体要深，形貌与贝氏体相似。马氏体内析出 $\epsilon\text{-}$ 碳化物，呈无规则分布。

6. 回火索氏体：淬火钢经高温回火后的产物，由于回火温度较高，碳化物进一步聚集长大，特征：铁素体 + 细小颗粒状碳化物。

回火托氏体：淬火钢经中温回火后的产物，特征：马氏体针状形态逐步消失，但仍隐约可见，在电子显微镜可见碳化物的颗粒。

（二）常用的标准

GB/T226《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》

GB/T1979《结构钢低倍组织缺陷评级图》

GB/T4334《金属和合金的腐蚀奥氏体及铁素体 - 奥氏体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法》

GB/T13298《金属显微组织检验方法》

GB/T13299《钢的显微组织评定方法》

GB/T1954《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》

（三）工作程序

1. 钢的宏观检验

酸蚀试验是显示钢材低倍组织的试验方法，这种方法设备简单，操作方便，能清楚地显示钢材中存在的各种缺陷。GB226 规定了检验钢的低倍组织及缺陷的热酸侵蚀法、冷酸侵蚀法和电解

腐蚀法，用于钢的低倍组织及缺陷的检验。仲裁检验以热酸侵蚀法为准。

1.1 试样的选取：必须取自最易发生各种缺陷的部位，选取的部位应能代表全体。

1.2 试样的制备：取样可用剪、锯、切割等方法，试样加工时，必须除去由取样造成的变形和热影响区以及裂缝等加工缺陷。

1.2.1 横向试样的厚度一般为 20mm，试面应垂直钢材的延伸方向，纵向试样的长度一般为边长和直径的 1.5 倍。

1.2.2 检验钢材表面缺陷应取钢材的毛面，无需进行任何机械加工。

1.3 热酸蚀试验：

热酸蚀试剂见表 33-35

分类	钢种	酸蚀时间 /min	酸液成分	温度 /°C
1	易切削钢	5-10	1:1 工业盐酸水溶液	60-80
2	碳素结构钢，碳素工具钢，硅锰弹簧钢，铁素体型，马氏体型，复相不锈钢、耐热钢	5-20		
3	合金结构钢，合金工具钢，轴承钢，高速工具钢	15-20		
4	奥氏体不锈钢，耐热钢	20-40		
		5-25	盐酸 10 份，硝酸 1 份，水 10 份	60-70
5	碳素结构钢、合金钢、高速工具钢	15-25	盐酸 38 份，硫酸 12 份，水 50 份	60-80

操作过程：首先将配置好的酸液放入酸蚀槽内，并在加热炉上加热，将已加工好的试样用蘸油四氯化碳和酒精的棉花擦干净，然后用塑料导线将试样绑好，并将试样的腐蚀面朝上，置于酸蚀槽内热蚀。达到温度后开始计算浸蚀时间，到达规定的时间后将试样从酸液中取出，冲洗。用尼龙刷刷掉表面的腐蚀物，吹干试样，放大镜观测。

1.4 冷酸蚀试验：显示钢的低倍组织和宏观缺陷的简便方法。适用于不能切割的大型锻件和不能破坏的大型机器零件，分为侵蚀和擦试两种方法。侵蚀的时间以显示出钢的低倍组织及宏观缺陷为准。

1.4.1 冷酸侵蚀法：用蘸油四氯化碳和酒精的棉花清洗试样，然后将试样置于冷蚀液，试样面朝上。侵蚀时不断用玻璃棒搅拌溶液，试样取出，用清水清洗，用软毛刷洗测试面的腐蚀产物，直至显示清晰的低倍组织和宏观缺陷。

1.4.2 冷酸擦试法：试样表面清洗如上，用棉花蘸吸冷蚀液，直至显示清晰的低倍组织和宏观缺陷。随后用稀碱液中和试样面的酸液，用清水冲洗。最后用酒精喷淋试样面，使之迅速干燥，可对试样进行检验和评定。

1.5 电解腐蚀试验

1.5.1 电解腐蚀的原理：钢在电解液中的腐蚀过程，实际上是一种电化学反应，由于钢材在结晶是产生的偏析，夹杂、气孔、组织上的变化及析出第三相等，使金属表面的各部分电极、电位不同，试样在外加电压的条件下，试样面上各部位的电极电位有了改变，试样面上的电流密度也随之改变，加快了腐蚀速度，达到电解腐蚀的目的。



1.5.2 电解腐蚀的装置：由变压器、电极钢板、电解液槽、耐酸增压泵等组成。

1.5.3 电解腐蚀的操作过程

1.5.3.1 将试样放在两阴极板中间，沿阴极板可排成数行，试样的腐蚀面要平行于阴极板，试样面间距不于 20 毫米。

1.5.3.2 试样放置完毕，酸液经增压泵进入电解槽，酸液要完全没过试样，试样通电即可腐蚀，切断电源，反应停止。经电腐蚀后的试样放在清水中冲洗，并用软刷子清除试样表面的腐蚀产物，用酒精喷淋试样面，用电吹风吹干进行检验和评定。

1.6 低倍组织缺陷的评定和标准贯彻

1.6.1 钢的低倍组织和缺陷评定范围及评定规则可参照国家标准 GB/T1979《结构钢低倍组织缺陷评级图》，该标准适用于碳素结构钢合金结构、合金结构钢、弹簧钢钢材横截面试样缺陷评定。该评定图有六套，分别适用于规定不同尺寸钢材的低倍组织和缺陷。

1.6.2 评级图一：适用于直径或边长小于 40 毫米的钢材

评级图二：适用于直径或边长为 40–150 毫米的钢材

评级图三：适用于直径或边长为 150–200 毫米的钢材

评定图四：适用于直径或边长大于 250 毫米钢材。

评级图五：适用于连铸圆、方钢材。

评级图六：适用于所用规格尺寸的钢材。

2. 钢的微观检验

2.1 金相试样的选取

纵向取样是指沿着钢材的锻轧方向取样，横向取样是指垂直于钢材锻轧方法取样，截取缺陷分析的试样，应包括零件的缺陷部分。

2.2 金相试样的镶嵌

机械镶嵌法和树脂镶嵌法

2.3 金相试样的磨制

金相试样经切割或镶嵌后，需进行研磨工作，包括粗磨，细磨，抛光。

粗磨：一般在砂轮机进行，粗磨要蘸水冷却，防止组织变化。

细磨：砂纸放在玻璃板上，依次用金相砂纸由粗到细磨制，每换一道砂纸试样应转动 90° ，并使前一道磨痕去除。

抛光：抛光的目的在于去除金相磨面细磨留下的细微磨痕及表面变形层，使磨面为无划痕的光滑镜面，分为机械抛光和电解抛光。

2.4 金相试样的侵蚀

显微组织需经过不同方向的侵蚀，以显示出各种组织，分为化学侵蚀法和电解侵蚀法。

2.4.1 化学侵蚀法

化学侵蚀法原理：利用化学试剂的溶液，借助于化学或电化学反应显示金属的组织。

单相合金的侵蚀是化学溶解过程，磨面表层的原子被溶入侵蚀剂中，在溶解过程中晶粒之间的溶解度不同，显示出组织。

两相合金的侵蚀是电化学溶解过程。合金中的两个相有不同的电位，具有较高负电位的一相成为局部电池的阳极，呈现凹沟，具有较高正电位的另一相成为阴极，保持原有的光滑平面。

多相合金的侵蚀也是电化学溶解过程。合金中负电位较高的各相都产生溶解，只有正电位较高的一组未被侵蚀，因此要用多种侵蚀剂进行侵蚀。

化学侵蚀法要点：磨面侵蚀前必须冲洗清洁，去除污垢，侵蚀的方法有侵入法和擦试法。

2.4.2 电解侵蚀法

电解侵蚀法原理：同电解抛光相同，电解侵蚀法在电解抛光开始试样“侵蚀”现象，由于各相之间与晶粒之间的析出电位不一致，在微弱电流的作用下各相的侵蚀深浅不同，显示出组织。

3. 现场金相检验

3.1 试验原理

现场金相检验主要是指通过现场进行照相观察工件的常规组织形态，判定工件的老化程度，以保证工件能够在设备的正常工作中能够正常使用。

3.2 试验设备见表 33-36

序号	仪器名称	型号	数量	备注
1	大型金相显微仪	XKF-2	1 台	-
2	砂轮机	-	1 台	-
3	现场显微镜	XH500	1 台	-
4	照相机	佳能 G11	1 台	-

3.3 健康与安全要求

制作过程中涉及磨光、化学制品使用和经常在高处受到限制的部位工作时，应注意保证操作人员的安全。

3.3.1 实用的化学制品（溶液和侵蚀液）都应有安全使用说明。

3.3.2 全部操作过程应在通风良好的工作区域进行。

3.3.3 磨光时，应采用适当的眼睛、耳朵和呼吸保护措施。

3.4 试验检验工作程序

3.4.1 试验的准备

3.4.1.1 由委托方指定检测部位，数量。

3.4.1.2 磨光与抛光：用砂轮机打磨，再用不同的金相砂纸对被检部位进行细磨以达到要求；用呢子布蘸上金刚石抛光膏进行抛光。

3.4.1.3 浸蚀：抛光好的样品应进行浸蚀，针对不同的材质选择不同的化学浸蚀试剂。浸蚀时间视金属材料的性质、浸蚀剂的浓度、温度、检验目的及放大倍数而定。浸蚀完毕后，用无水酒精擦洗，热风吹干，若有污染可视情况选择再次浸蚀或重新磨制，抛光后再浸蚀的方法。

3.4.2 试验的操作



3.4.2.1 观察照相：用现场显微镜对制备好的金相试样进行观察，放大，照相机进行拍照。

3.4.2.2 照片在大型金相显微镜下观察，对金相组织进行分析并出具报告。

3.5. 检测结果

3.5.1 根据检测结果与施工规范、材料标准进行对照，进行判定。

3.5.2 检测结果由初级人员评定，中级人员审核。

3.5.3 报告发放及时，试验报告须有评定和审核人员签字、加盖检测专用。

4. 铁素体含量检测

4.1 试验原理

采用磁导原理，铁素体含量是通过磁导率确定。主要性能参数是通过在著名实验室里大量试验样件的基础上得到，并存储在仪器内。通过正确校准标准试块测量铁素体含量。

4.2 试验设备

4.2.1 仪器：铁素体含量测定仪

4.2.2 主要参数：精度：测量精确度是全刻度偏转角的 $-3-+5\%$

工作量程：铁素体含量 $0-1\%FG$ 铁素体含量 $0-3\%FG$

铁素体含量 $0-12\%FG$ 铁素体含量 $0-50\%FG$

4.3 试验检验工作程序

4.3.1 操作前准备

4.3.1.1 待测试工件表面应清除油漆层、氧化层、油污等及其它污物。

4.3.1.2 测试表面应用手把砂轮机进行打磨，露出金属光泽，必要时应用金相砂纸进行抛磨，保证表面平整、光滑。

4.3.2 试验测试

4.3.2.1 测试仪的启用

在打开开关之前必须要校核和调整机械零点，校核电池组的供电情况，指针应达到或大于刻度表上绿色的界限，如在其他位置则电池需要更换（8 节 1.5V 电池）。

4.3.2.2 调整电势零位

电势零位点的调整要和机械零位点相一致，使用前必须精确地测定电势零位点和机械零点，正确调整后确保零位点在长时间内保持稳定。

4.3.2.3 调整

把接通波段开关放在“Messen”的位置，量程（范围）选择开关放在 $1\%FG$ 的位置，把探头置于空气中，用微调旋钮、粗调旋钮将测定仪指针调整到零刻度。

4.3.2.4 校正

将量程（范围）选择开关放在 $12\%FG$ 的位置，同时将探头竖直放在测定仪盖内的校正试样的中心，将测定仪指针校核到试样上的已知值。

4.3.2.5 测定

将测定仪按照上述步骤调整好轻轻地将探头放到试样材料上，就能获得一个准确的读数，这个值就是试样的铁素体的实际含量，它表达了半径为 1.5mm 的测点区的铁素体含量。

4.4. 健康与安全要求

4.4.1 进入施工现场的试验人员必须经过安全教育，遵守检测中心及建设单位的安全管理规定，方可上岗操作。

4.4.2 进入施工现场的作业人员必须戴好安全帽，穿好工作服，佩戴好劳动保护用具，2m 以上作业必须系好安全带。

4.4.3 进入容器内部作业应有通风设备，照明用电必须用安全电压，并有专人监护。

4.5 检测结果

4.5.1 根据检测结果与施工规范、材料标准进行对照，进行判定，符合要求者为合格，反之不合格。

4.5.2 检测结果由初级人员评定，中级人员审核。

4.5.3 报告发放及时，试验报告须有评定和审核人员签字、加盖检测专用章方为有效。

