

UDS

中华人民共和国国家标准



P

GB 50766 – 2012

水电水利工程压力钢管制作安装及 验收规范

Code for manufacture installation and acceptance of steel
penstocks in hydroelectric and hydraulic engineering

2012 – 05 – 28 发布

2012 – 12 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

水电水利工程压力钢管制作安装及
验收规范

Code for manufacture installation and acceptance of steel
penstocks in hydroelectric and hydraulic engineering

GB 50766 - 2012

主编部门:中国电力企业联合会

批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部

实行日期:2012年12月1日

中国计划出版社

2012 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1397 号

关于发布国家标准《水电水利工程 压力钢管制作安装及验收规范》的公告

现批准《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》为国家标准，编号为GB 50766—2012，自 2012 年 12 月 1 日起实施。其中，第 4.1.3、4.1.4 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一二年五月二十八日

前 言

本规范是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2009 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2009]88 号)的要求,由中国水利水电第七工程局有限公司会同有关单位编制完成的。

本规范在编制过程中,编制组经过了广泛调查研究工作,总结了国内外近年来大、中型工程施工的实践经验,考虑了新材料、新工艺和新技术的应用情况,加强了与现行国家标准和行业标准的协调,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本规范共分 10 章和 8 个附录,主要内容包括:总则,基本规定,制作,安装,焊接,焊后消应处理,防腐蚀,水压试验,包装、运输和验收等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国电力企业联合会负责日常管理,由中国水利水电第七工程局有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,并将意见和建议寄交中国水利水电第七工程局有限公司(地址:四川省彭山县迎宾路 94 号,邮政编码:620860, E-mail:wantianming666@qq.com)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位: 中国水利水电第七工程局有限公司

参 编 单 位: 华电郑州机械设计研究院有限公司

中国水电顾问集团水电水利规划设计总院
电力工业金属结构设备质量检测中心

主要起草人: 万天明 赵显忠 王富林 赵云德 徐绍波
龚建新 马耀芳 刘雪芳 雷清华 粟皓维

罗 陈

主要审查人：黄张豪 吴小宁 李红春 许松林 汪 毅
许义群 程 惠 张凤德 赵进平 刘项民
张曼曼 王志国 陈美娟 陈 霞 李伟忠
伍鹤皋 张为明 李丽丽 朱建文 常满祥
康学军 王生瓚 曾 辉 许景祥 赖德元
方旭光 刘 诚 裘学军 张伟平 丁小英
田国良

目 次

1	总 则	(1)
2	基本规定	(2)
3	制 作	(6)
3.1	直管、弯管和渐变管的制作	(6)
3.2	岔管制作	(12)
3.3	伸缩节制作	(14)
4	安 装	(16)
4.1	一般规定	(16)
4.2	埋管安装	(16)
4.3	明管安装	(18)
5	焊 接	(20)
5.1	一般规定	(20)
5.2	焊接工艺要求	(22)
5.3	焊接工艺评定	(26)
5.4	焊接接头检测	(34)
5.5	缺欠处理	(38)
6	焊后消应处理	(40)
7	防腐蚀	(42)
7.1	表面预处理	(42)
7.2	涂料涂装	(43)
7.3	涂料涂层质量检测	(44)
7.4	金属喷涂	(46)
7.5	金属涂层质量检测	(47)
7.6	牺牲阳极阴极保护系统施工	(47)
7.7	牺牲阳极阴极保护系统质量检测	(48)

8	水压试验	(49)
9	包装、运输	(51)
10	验收	(52)
10.1	过程验收	(52)
10.2	完工验收	(52)
附录 A	钢板性能标准和表面质量标准	(56)
附录 B	线膨胀量计算和大气露点换算表	(75)
附录 C	钢管焊接材料选用	(77)
附录 D	焊接工艺评定力学性能试验	(93)
附录 E	预焊接工艺规程和焊接工艺评定报告格式	(102)
附录 F	不锈钢复合钢板焊接工艺评定	(106)
附录 G	涂料配套性能及涂层厚度	(108)
附录 H	金属涂层厚度和结合性能的检测	(111)
	本规范用词说明	(114)
	引用标准名录	(115)
	附:条文说明	(119)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Basic rules	(2)
3	Manufacture	(6)
3.1	Manufacture of straight, elbow and transition of penstock	(6)
3.2	Manufacture of bifurcation	(12)
3.3	Manufacture of expansion joints	(14)
4	Installation	(16)
4.1	General requirement	(16)
4.2	Installation of embedded penstock	(16)
4.3	Installation of exposed penstock	(18)
5	Welding	(20)
5.1	General requirement	(20)
5.2	Technology requirement	(22)
5.3	Welding procedure qualification	(26)
5.4	Examination of welded joint	(34)
5.5	Treatment of defects	(38)
6	Postweld stress relieving	(40)
7	Anticorrosion	(42)
7.1	Surface pretreatment	(42)
7.2	Coating	(43)
7.3	Quality inspection of coating	(44)
7.4	Mellozing	(46)
7.5	Quality inspection of metal coating	(47)

7.6	Construction of sacrificial anode cathodic protection system	(47)
7.7	Quality inspection of sacrificial anode cathodic protection system	(48)
8	Hydrostatic test	(49)
9	Packing and transportation	(51)
10	Checking and acceptance	(52)
10.1	Process validation	(52)
10.2	Final acceptance	(52)
Appendix A	Property standard of steel plate and quality standard of surface	(56)
Appendix B	Calculation of linear expansion rate and conversion table of atmosphere dew point	(75)
Appendix C	Choice of welding material for steel penstock	(77)
Appendix D	Mechanical property test in welding procedure qualification	(93)
Appendix E	Recommended format of preliminary welding procedures specification and welding procedure qualification report	(102)
Appendix F	Welding procedure qualification of compound stainless steel plate	(106)
Appendix G	Paint matching performance and coating thickness	(108)
Appendix H	Inspection of metal coating thickness and bonding ability	(111)
	Explanation of wording in this code	(114)
	List of quoted standards	(115)
	Addition; Explanation of provisions	(119)

1 总 则

1.0.1 为了在水电水利工程压力钢管制作、安装中贯彻执行国家的技术经济政策,坚持因地制宜,就地取材的原则,合理选择制作、安装和焊接等施工方案,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水电水利工程压力钢管、冲沙孔钢衬和泄水孔(洞)钢衬的制作、安装及验收。

1.0.3 水电水利工程压力钢管制作、安装及验收,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 基本规定

2.0.1 压力钢管的制作、安装及验收应具备下列基本资料：

- 1 设计图样。
- 2 技术文件。
- 3 主要钢材、焊接材料、防腐材料等的质量证明书。
- 4 有关水工建筑物的布置图。

2.0.2 压力钢管使用的钢板应符合设计文件规定。钢板的性能和表面质量应符合本规范附录 A 及现行有关标准和设计文件中的有关规定，并应具有出厂质量证明书。当需复验，钢板性能试验取样位置及试样制备应符合现行国家标准《钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备》GB/T 2975 和《锅炉和压力容器用钢板》GB 713 的规定或《承压设备用不锈钢钢板及钢带》GB/T 24511 的规定。

2.0.3 压力钢管用钢板，当需用脉冲反射法超声检测(UT)时，应符合现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》JB/T 4730.3 的有关规定。低碳钢和低合金钢应符合Ⅲ级。高强钢应符合Ⅱ级。厚度方向受力的月牙肋或梁等所用的低碳钢、低合金钢和高强钢钢板均应符合Ⅰ级。高强钢和板厚大于 60mm 的低碳钢和低合金钢钢厂应逐张进行超声波检测。

注：高强钢即标准屈服强度下限值 R_{eL} (或 $R_{p0.2}$) $\geq 450\text{N/mm}^2$ ，且抗拉强度下限值 $R_m \geq 570\text{N/mm}^2$ 的低碳低合金钢。

2.0.4 岔管的月牙肋或梁的钢板应按现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的有关规定进行厚度方向拉力试验。

2.0.5 钢板存放应避免雨淋、锈蚀，钢板叠放与支撑垫条间隔设置应避免产生变形。

2.0.6 钢板的技术要求应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的

尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709、《锅炉和压力容器用钢板》GB 713、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270、《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189、《热轧钢板表面质量的一般要求》GB/T 14977、《承压设备用不锈钢钢板及钢带》GB/T 24511 和《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878 的有关规定。钢板厚度允许偏差和钢板不平度允许偏差应符合表 2.0.6-1 和表 2.0.6-2 的规定。

表 2.0.6-1 钢板厚度允许偏差(mm)

公称厚度	下列公称宽度的厚度允许偏差							
	≤1500		>1500~2500		>2500~4000		>4000~4800	
3.00~5.00	-0.30	+0.60	-0.30	+0.80	-0.30	+1.00	—	
>5.00~8.00		+0.70		+0.90		+1.20	—	
>5.00~15.00		+0.80		+1.00		+1.30	-0.30	+1.50
>15.00~25.00		+1.00		+1.20		+1.50		+1.90
>25.00~40.00		+1.10		+1.30		+1.70		+2.10
>40.00~60.00		+1.30		+1.50		+1.90		+2.30
>60.00~100		+1.50		+1.80		+2.30		+2.70
>100~150		+2.10		+2.50		+2.90		+3.30
>150~200		+2.50		+2.90		+3.30		+3.50
>200~250		+2.90		+3.30		+3.70		+4.10
>250~300		+3.30		+3.70		+4.10		+4.50
>300~400		+3.70		+4.10		+4.50		+4.90

注：表中厚度允许偏差是偏差类别为 B 类偏差钢板。

表 2.0.6-2 钢板不平度允许偏差 (mm)

公称厚度	钢类 L				钢类 H			
	下列公称宽度钢板的不平度,不大于							
	≤3000		>3000		≤3000		>3000	
	测量长度							
	1000	2000	1000	2000	1000	2000	1000	2000
3~5	9	14	15	24	12	17	19	29
>5~8	8	12	14	21	11	15	18	26
>8~15	7	11	11	17	10	14	16	22
>15~25	7	10	10	15	10	13	14	19
>25~40	6	9	9	13	9	12	12	17
>40~400	5	8	8	11	8	11	11	15

2.0.7 焊接材料应具有出厂质量证明书,其化学成分、力学性能、扩散氢含量等技术参数,应满足下列要求:

1 焊条应符合现行国家标准《不锈钢焊条》GB/T 983、《碳钢焊条》GB/T 5117 和《低合金钢焊条》GB/T 5118 的有关规定。

2 焊丝应符合现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470、《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护焊用钢丝》GB/T 14958、《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493、《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853、《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》GB/T 17854 和应符合现行行业标准《焊接用不锈钢丝》YB/T 5092 的有关规定。

3 焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 和《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》GB/T 17854 的有关规定。

2.0.8 碳弧气刨用碳棒应符合现行行业标准《炭弧气刨炭棒》JB/T 8154 的有关规定。

2.0.9 焊接、切割用气体应满足下列要求:

1 氩气应符合现行国家标准《氩》GB/T 4842 中的质量要求,纯度 Ar 不应小于 99.9%。

2 二氧化碳气体应符合现行国家标准《工业液体二氧化碳》GB/T 6052 中的质量要求,纯度 CO₂ 不应小于 99.5%。

3 氧气应符合现行国家标准《工业氧》GB/T 3863 中的质量要求,纯度 O₂ 不应小于 99.5%。

4 氩-二氧化碳混合气体(MAG)焊接,应符合现行行业标准《焊接用混合气体 氩-二氧化碳》HG/T 3728 中的质量要求。

5 乙炔气体应符合现行国家标准《溶解乙炔》GB 6819 中的质量要求,纯度 C₂H₂ 不应小于 98%。

6 燃气丙烯应符合现行行业标准《焊接切割用燃气丙烯》HG/T 3661.1 中的质量要求,纯度 C₃H₆ 不应小于 95.0%。

7 燃气丙烷应符合现行行业标准《焊接切割用燃气丙烷》HG/T 3661.2 中的质量要求,纯度 C₃H₈ 不应小于 95.0%。

2.0.10 计量器具应按规定进行检定校准,并在有效期限内使用。

2.0.11 钢管制作、安装及验收所用的测量器具,测量精度应满足下列要求:

1 钢卷尺的精度不低于 II 级。

2 超声波测厚仪的精度为 0.1mm 及以上。

3 经纬仪的精度为 DJ2 级及以上。

4 水准仪的精度为 DS3 级及以上。

5 测温仪的精度为 ±5℃ 及以上。

6 涂镀层测厚仪的精度为 ±(3%*H*+1)μm 及以上。

7 温湿度仪的测量精度为温度 0.5℃、湿度 2%RH 及以上。

8 焊接用气体流量计的精度为 ±2% 及以上。

2.0.12 用于测量高程、里程和安装轴线的基准点及安装用的控制点,均应明显、牢固和便于使用,应由测量部门在现场向安装单位和质量检测部门交清,并提供坐标点简图。

3 制 作

3.1 直管、弯管和渐变管的制作

3.1.1 钢板画线和下料应满足下列要求：

1 钢板画线的允许偏差应符合表 3.1.1-1 的规定；钢板下料的允许偏差应符合表 3.1.1-2 的规定。

表 3.1.1-1 钢板画线的允许偏差(mm)

序号	项 目	允 许 偏 差
1	宽度和长度	±1
2	对角线相对差	2
3	对应边相对差	1
4	矢高(曲线部分)	±0.5

表 3.1.1-2 钢板下料的允许偏差(mm)

序号	项 目	允 许 偏 差
1	宽度和长度	±3
2	对角线相对差	5
3	对应边相对差	3
4	矢高(曲线部分)	±2

2 管节纵缝不应设置在管节横断面的水平轴线和铅垂轴线上，与上述轴线圆心夹角应大于 10° ，且相应弧线距离应大于 300mm 及 10 倍管壁厚度。

3 相邻管节的纵缝距离应大于板厚的 5 倍且不应小于 300mm。

4 在同一管节上，相邻纵缝间距不应小于 500mm。

5 环缝间距，直管不宜小于 500mm，弯管、渐变管等不宜小

于下列各项之大值：

1)10 倍管壁厚度。

2)300mm。

3) $3.5\sqrt{r\delta}$, r 为钢管内半径, δ 为钢管壁厚。

3.1.2 钢板画线后应用钢印、油漆和冲眼标识,分别标识出炉批号、钢管分段、分节、分块的编号、水流方向、水平和垂直中心线、灌浆孔位置、坡口角度以及切割线等符号。所有标识和信息应具有可追溯性。

3.1.3 高强度钢板,不得用锯或凿子、钢印作标识。但在下列情况,深度不大于 0.5mm 的冲眼标识允许使用:

1 在卷板内弧面,用于校核画线准确性的冲眼。

2 卷板后的外弧面。

3.1.4 钢板和焊接坡口的切割应用自动、半自动切割或刨边机、铣边机加工。淬硬倾向大的高强度钢焊接坡口宜采用刨边机、铣边机加工,当采用热切割方法时应将割口表面淬硬层、过热组织等用砂轮磨掉。

3.1.5 切割质量和尺寸偏差应符合现行行业标准《热切割 气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3、《热切割 等离子弧切割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.4 或《火焰切割面质量技术要求》JB 3092 的有关规定。

3.1.6 切割面的熔渣、毛刺应用砂轮磨去。切割时造成的坡口沟槽深度不应大于 0.5mm;当在 0.5mm~2mm 时,应进行砂轮打磨;当大于 2mm 时应按要求进行焊补后磨平。当有可疑处应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测》JB/T 4730.4 或《承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测》JB/T 4730.5 规定进行磁粉检测(MT)或渗透检测(PT)表面无损检测。

3.1.7 焊接坡口尺寸允许偏差应符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1、《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2 或设计图样的规定。不对称 X 形坡

口的大坡口和 V 形坡口均宜开设在平焊(即向上)位置侧。除铅锤竖井段外,环缝采用与 X 水平轴为界(宜有 100mm 左右的变角过渡段)的翻转焊接坡口,始终使大坡口侧向上。铅锤竖井段环缝宜开设 K 形坡口。

3.1.8 钢板卷板应满足下列要求:

1 卷板方向应和钢板的压延方向一致。

2 卷板前或卷制过程中,应将钢板表面已剥离的氧化皮和其他杂物清除干净。

3 卷板后,将瓦片以自由状态立于平台上,用样板检测弧度,其间隙应符合表 3.1.8-1 的规定。

表 3.1.8-1 样板与瓦片的允许间隙

序号	钢管内径 D (m)	样板弦长(m)	样板与瓦片的允许间隙(mm)
1	$D \leq 2$	$0.5D$ (且不应小于 500mm)	1.5
2	$2 < D \leq 5$	1.0	2.0
3	$5 < D \leq 8$	1.5	2.5
4	$D > 8$	2.0	3.0

4 当钢管内径和壁厚关系符合表 3.1.8-2 的规定时,瓦片允许冷卷,否则应热卷或冷卷后进行热处理。

表 3.1.8-2 瓦片允许冷卷的最小径厚比

序号	屈服强度(N/mm ²)	钢管内径 D 与壁厚 δ 关系
1	$R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 350$	$D \geq 33\delta$
2	$350 < R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 450$	$D \geq 40\delta$
3	$450 < R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 540$	$D \geq 48\delta$
4	$540 < R_{eL}(R_{p0.2}) \leq 800$	$D \geq 57\delta$
5	$R_{eL}(R_{p0.2}) > 800$	由试验确定

注: $R_{eL}(R_{p0.2})$ ——所卷钢板实际的屈服强度。正常情况下,为钢板质保书上提供的屈服强度值。

5 卷板时,不得用金属锤直接锤击钢板。

6 高强调质钢和高强 TMCP 钢,不宜进行火焰矫形。当采用火焰矫正弧度时,加热矫形温度不应大于钢板回火温度或控轧终止温度。

7 拼焊后,不宜再在卷板机上卷制或矫形。

3.1.9 钢管对圆应在平台上进行,其管口平面度要求应符合表 3.1.9 的规定。

表 3.1.9 钢管管口平面度

序号	钢管内径 $D(\text{m})$	允许偏差 (mm)
1	$D \leq 5$	2
2	$D > 5$	3

3.1.10 钢管对圆后,其周长差应符合表 3.1.10 的规定,纵缝处的管口轴向错边量不大于 2mm。

表 3.1.10 钢管周长差 (mm)

序号	项 目	板厚 δ	允 许 偏 差
1	实测周长与设计周长差	任意板厚	$\pm 3D/1000$,且绝对值不应大于 24
2	相邻管节周长差	$\delta < 10$	6
3		$\delta \geq 10$	10

3.1.11 钢管纵缝、环缝对口径向错边量的允许偏差应符合表 3.1.11 的规定。

表 3.1.11 钢管纵缝、环缝对口径向错边量的允许偏差 (mm)

序号	焊缝类别	板厚 δ	允 许 偏 差
1	纵缝	任意板厚	$10\% \delta$,且不应大于 2
2	环缝	$\delta \leq 30$	$15\% \delta$,且不应大于 3
3		$30 < \delta \leq 60$	$10\% \delta$
4		$\delta > 60$	≤ 6
5	不锈钢复合钢板焊缝	任意板厚	$10\% \delta$,且不应大于 1.5

3.1.12 纵缝焊接后,用样板检测纵缝处弧度,其间隙应符合表 3.1.12 的规定。

表 3.1.12 钢管纵缝处弧度的允许间隙

序号	钢管内径 D (m)	样板弦长(mm)	样板与纵缝的允许间隙(mm)
1	$D \leq 5$	500	4
2	$5 < D \leq 8$	$D/10$	4
3	$D > 8$	1200	6

3.1.13 纵缝焊接完后,应测量两端管口的实际外周长,并在相应管口边缘部位作出实际外周长的数字标识。

3.1.14 钢管横截面的形状允许偏差应符合下列规定:

1 圆形截面的钢管,圆度不应大于 $3D/1000$,且不应大于 30mm,每端管口至少测两对直径。

2 椭圆形截面的钢管,长轴 a 和短轴 b 的长度允许偏差为 $\pm 3a$ (或 $3b$)/1000,且绝对值不应大于 6mm。

3 矩形截面的钢管,长边 A 和短边 B 的长度允许偏差为 $\pm 3A$ (或 $3B$)/1000,且绝对值不应大于 6mm,每对边至少测三对,对角线差不应大于 6mm。

4 正多边形截面的钢管,外接圆直径 D 允许偏差为 ± 6 mm,最大直径和最小直径之差不应大于 $3D/1000$,且不应大于 8mm。

5 非圆形截面的钢管局部平面度每米范围内不应大于 4mm。

3.1.15 单节钢管长度允许偏差为 ± 5 mm。

3.1.16 钢管安装的环缝,当采用带垫板的 V 形坡口时,垫板处的钢管周长、圆度和纵缝焊后弧度等的允许偏差应符合下列规定:

1 钢管对圆后,其周长差应符合表 3.1.16 的规定。

表 3.1.16 垫板处钢管周长差(mm)

序号	项 目	板厚 δ	允 许 偏 差
1	实测周长与设计周长差	任意板厚	$\pm 3D/1000$,且绝对值不应大于 12
2	相邻管节周长差	$\delta < 10$	6
3		$\delta \geq 10$	8

2 钢管安装加劲环时,同端管口最大和最小直径之差,不应大于 4mm,每端管口至少应测 4 对直径。

3 纵缝焊后,用本规范第 3.1.12 条规定的样板检测纵缝弧度,其间隙不应大于 2mm。

3.1.17 弯管、渐变管以及高强钢管不宜采用带垫板焊接接头。

3.1.18 加劲环、支承环、止推环和阻水环应符合下列规定:

1 与钢管环缝距离不宜小于 3 倍管壁厚度,且不应小于 100mm。

2 环板拼接焊缝应与钢管纵缝错开 200mm 以上。

3 内圈弧度应用样板检测,其间隙应符合本规范表 3.1.8-1 中的规定。

4 环板与钢管外壁的局部间隙,不宜大于 3mm。

3.1.19 加劲环、支承环和止推环组装的垂直度允许偏差应符合表 3.1.19 的规定。

表 3.1.19 钢管的加劲环、支承环和止推环组装的允许偏差 (mm)

序号	项 目	支承环的 允许偏差	加劲环或止推 环的允许偏差	简 图
1	加劲环、 支承环或止 推环与管壁 的垂直度	$a \leq 0.01H,$ 且 ≤ 3	$a \leq 0.02H,$ 且 ≤ 5	
2	加劲环、 支承环或止 推环所组成 的平面与 管轴线的 垂直度	$b \leq 2D/1000,$ 且 ≤ 6	$b \leq 4D/1000,$ 且 ≤ 12	
3	相邻两环 板的间距允 许偏差	± 10	± 30	

3.1.20 加劲环、支承环及止推环和钢管纵缝交叉处,应在内弧侧开半径为 25mm~80mm 的避缝孔。

3.1.21 加劲环、支承环及止推环上的避缝孔、串通孔与管壁连接处的焊缝端头应封闭焊接。

3.1.22 灌浆孔宜在卷板后制孔。当高强度钢管设有灌浆孔时,宜采用钻孔的方式制孔。

3.1.23 灌浆孔螺纹应设置空心螺纹护套,不得使螺纹锈蚀、坏死、滑丝等损伤;空心螺纹护套的空心内径应使后续工序的固结灌浆钻的钻头能通过,无卡阻现象发生。灌浆作业结束后在戴灌浆孔堵头时才能拆出空心螺纹护套。

3.1.24 多边形、方变圆等异形钢管,宜在制作场内进行整体或相邻管节预装配。

3.2 岔管制作

3.2.1 岔管的画线、切割、卷板的要求应符合本规范第 3.1 节中的有关规定。

3.2.2 球形岔管的球壳板尺寸应符合下列规定:

1 球壳板曲率的允许偏差应符合表 3.2.2-1 的规定。

表 3.2.2-1 球壳板曲率的允许偏差

序号	球壳板弦长 L (m)	样板弦长(m)	样板与球壳板的允许间隙(mm)
1	$L \leq 1.5$	1	3
2	$1.5 < L \leq 2$	1.5	
3	$L > 2$	2	

2 球壳板几何尺寸允许偏差应符合表 3.2.2-2 的规定。

表 3.2.2-2 球壳板几何尺寸允许偏差(mm)

序号	项 目	任何部位样板与球壳板的允许间隙
1	长度方向和宽度方向弦长	± 2.5
2	对角线相对差	4

3.2.3 岔管不宜采用带垫板的焊接接头。

3.2.4 肋梁系岔管和无梁岔管宜在制作场内进行整体预组装或组焊,预组装或组焊后岔管的各项尺寸应符合表 3.2.4 的规定。

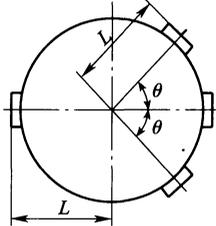
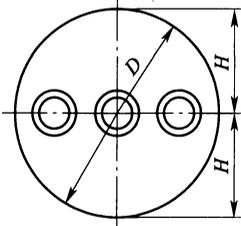
表 3.2.4 肋梁系岔管和无梁岔管的组装或组焊后的允许偏差(mm)

序号	项目名称	尺寸和板厚 δ	允许偏差	简图
1	管长 L_1, L_2	—	± 10	—
2	主、支管的管口圆度(D 为内径)	—	$3D/1000$, 且 ≤ 20	
3	主、支管口实测周长与设计周长差	—	$\pm 3D/1000$, 且允许偏差为 ± 20 ,相邻管节周长差 ≤ 10	
4	支管中心距离, S_1	—	± 10	
5	主、支管中心高差(D 为大管内径)	$D \leq 2m$	± 4	
		$2 < D \leq 5m$	± 6	
		$D > 5m$	± 8	
6	主、支管管口垂直度	$D \leq 5m$	2	
		$D > 5m$	3	
7	主、支管管口平面度	$D \leq 5m$	2	
		$D > 5m$	3	
8	纵缝对口错边量	任意厚度	$10\% \delta$ 且 ≤ 2	—
9	环缝对口错边量	$\delta \leq 30$	$15\% \delta$ 且 ≤ 3	—
		$30 < \delta \leq 60$	$10\% \delta$	—
		$\delta > 60$	≤ 6	—

3.2.5 月牙肋或梁的分段弦长方向应与钢板的压延方向一致。月牙肋或梁当需拼装对接时,拼装对接焊缝应避免其最大横截面位置 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 圆心角值,且不应小于 800mm 弧长,其余位置拼接段不应小于 500mm 弧长。当不满足本条前述规定时,可将其三段等分,且每段不应小于 500mm。

3.2.6 球形岔管预组装或组焊后球岔各项尺寸的允许偏差除应符合本规范表 3.2.4 的有关规定外,还应符合表 3.2.6 的规定。

表 3.2.6 球形岔管组装或组焊后的允许偏差

序号	项目	直径 $D(\text{m})$	允许偏差	简图
1	主、支管口至球岔中心距离 L	—	+10mm -5mm	
2	分岔角度	—	$\pm 30'$	
3	球壳圆度	$D \leq 2$ $2 < D \leq 5$ $D > 5$	$8D/1000\text{mm}$ $6D/1000\text{mm}$ $5D/1000\text{mm}$	
4	球岔顶、底至球岔中心距离 H	$D \leq 2$ $2 < D \leq 5$ $D > 5$	$\pm 4D/1000\text{mm}$ $\pm 3D/1000\text{mm}$ $\pm 2.5D/1000\text{mm}$	

3.2.7 岔管预组装后,应做好标识,应具有可追溯性。

3.3 伸缩节制作

3.3.1 伸缩节的画线、切割、卷板的要求应符合本规范第 3.1 节中的有关规定。

3.3.2 伸缩节的内、外套管和止水环焊接后的弧度,应用本规范表 3.1.8-1 规定的样板检测,其间隙在纵缝处不应大于 2mm。

其他部位不应大于 1mm。检测套管上、中、下三个断面。

3.3.3 伸缩节内、外套管和止水压环的直径允许偏差为 $\pm D/1000$ ，且绝对值不应大于 2.5mm。伸缩节内、外套管的周长允许偏差为 $\pm 3D/1000$ ，且绝对值不应大于 8mm。

3.3.4 伸缩节的内、外套管间的最大和最小间隙与平均间隙之差不应大于平均间隙的 10%。

3.3.5 波纹管伸缩节的制作应符合设计图样或现行国家标准《不锈钢波形膨胀节》GB/T 12522、《金属波纹管膨胀节通用技术条件》GB/T 12777 和《压力容器波形膨胀节》GB/T 16749 的有关规定。

3.3.6 波纹管伸缩节应进行 1.5 倍工作压力的水压试验或 1.1 倍工作压力的气密性试验。水头不大于 25m 时，可只做焊接接头煤油渗透试验。

3.3.7 伸缩节在装配、包装、运输等过程中，应妥善保护，防止损坏，且不得有焊渣等异物进入伸缩节的滑动副、波纹管处。

4 安 装

4.1 一 般 规 定

4.1.1 钢管安装前,应将钢管中心、高程和里程等控制点测放到附近的永久或半永久构筑物或牢固的岩石上,并作出明显标识。

4.1.2 凑合节现场安装时的余量宜采用半自动切割机切割。

4.1.3 钢管在安装过程中必须采取可靠措施,支撑的强度、刚度和稳定性必须经过设计计算,不得出现倾覆和垮塌。

4.1.4 钢管制作安装用高空操作平台应符合下列规定:

1 操作平台、钢丝绳及锁定装置等必须经设计计算确定。

2 必须有安全保护装置。

3 钢丝绳严禁经过尖锐部位。

4 电焊机等电气装置必须电气绝缘和可靠接地,严禁用操作平台作为接地电路。

5 必须采取可靠的防火和防坠落措施。

4.1.5 钢管壁上不宜焊接临时支撑或脚踏板等构件。

4.2 埋 管 安 装

4.2.1 埋管安装中心的允许偏差应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 钢管安装中心的允许偏差

序号	钢管内径 $D(\text{m})$	始装节管口 中心的允许 偏差(mm)	与蜗壳、伸缩节、蝴蝶阀、球阀、 岔管连接的管节及弯管起点 的管口中心允许偏差(mm)	其他部位管节的管口 中心允许偏差(mm)
1	$D \leq 2$	±5	±6	±15
2	$2 < D \leq 5$		±10	±20
3	$5 < D \leq 8$		±12	±25
4	$D > 8$		±12	±30

4.2.2 始装节的里程允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，弯管起点的里程允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。始装节两端管口垂直度为 3mm 。

4.2.3 钢管横截面的形状允许偏差应符合下列规定：

1 圆形截面的钢管，圆度的偏差不应大于 $5D/1000$ ，且不应大于 40mm ，每端管口至少测两对直径。

2 椭圆形截面的钢管，长轴 a 和短轴 b 的长度允许偏差为 $\pm 5a$ (或 $5b$)/ 1000 ，且绝对值不应大于 8mm 。

3 矩形截面的钢管，长边 A 和短边 B 的长度允许偏差为 $\pm 5A$ (或 $5B$)/ 1000 ，且绝对值不应大于 8mm ，每对边至少测三组数据，对角线差不应大于 6mm 。

4 正多边形截面的钢管，外接圆直径 D 的允许偏差为 $\pm 8\text{mm}$ ，最大直径和最小直径之差不应大于 $3D/1000$ ，且不应大于 10mm 。

5 非圆形截面的钢管局部平面度每米范围内不应大于 6mm 。

4.2.4 拆除钢管上的工卡具、吊耳、内支撑和其他临时构件时，不得使用锤击法，应用碳弧气刨或热切割在离管壁 3mm 以上切除，切除后钢管上残留的痕迹和焊疤应磨平，并检测确认无裂纹。对高强度应按现行行业标准《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》JB/T 4730.4和《承压设备无损检测 第5部分：渗透检测》JB/T 4730.5规定进行磁粉检测(MT)或渗透检测(PT)表面无损检测。如发现裂纹应按本规范第5.5节规定进行处理。对后续工序无妨碍的临时构件和埋管外壁的一些临时构件，可不拆除。

4.2.5 钢管内、外壁的局部凹坑深度不应大于板厚的 10% ，且不应大于 2mm 时，可用砂轮打磨，平滑过渡，否则应按本规范第5.5.6条规定进行焊补。

4.2.6 灌浆孔堵头采用熔化焊封堵时，灌浆孔堵头的坡口深度宜为 $7\text{mm}\sim 8\text{mm}$ 。对于有裂纹倾向的母材和潮湿环境，焊接时应进行预热和后热。高强度不宜开设灌浆孔，宜采用预埋管法或拔管

法进行回填灌浆和接触灌浆。

4.2.7 灌浆孔堵焊时应止水后再进行焊接。焊接接头外观检测合格后,应按现行行业标准《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》JB/T 4730.4和《承压设备无损检测 第5部分:渗透检测》JB/T 4730.5规定进行磁粉检测(MT)或渗透检测(PT)表面无损检测,合格等级为Ⅲ级。灌浆孔堵头抽查比例,低碳钢和低合金钢不应少于10%、高强度钢不应少于25%;当发现裂纹时,应进行100%检测。

4.2.8 钢管安装后,应与支墩和锚栓等焊接牢固。弹性垫层管的支撑不得与其管壁焊接。弹性垫层管段两端应设止水环,并在其下游端应设排水装置。

4.2.9 钢管宜采用活动内支撑。当采用固定支撑时,内、外支撑应通过与钢管材质相同或相容的连接板或杆件过渡焊接。

4.3 明管安装

4.3.1 鞍式支座的顶面弧度,用本规范表3.1.8-1规定的样板检测,其间隙不应大于2mm。

4.3.2 滚轮式、摇摆式和滑动式支座支墩垫板的纵向倾斜度和横向倾斜度均不应大于2mm,其高程、纵向中心和横向中心的允许偏差均为±5mm,与钢管设计轴线的平行度不应大于2/1000。

4.3.3 滚轮式、摇摆式和滑动式支座安装后,应灵活动作,无任何卡阻现象,各接触面应接触良好,局部间隙不应大于0.5mm。

4.3.4 明管安装中心允许偏差应符合本规范表4.2.1的规定,明管安装后,管口圆度或形状允许偏差应符合本规范第4.2.3条规定。

4.3.5 钢管的内支撑、工卡具、吊耳等的清除检测以及钢管内、外壁表面凹坑的处理、焊补应符合本规范第4.2节的有关规定。

4.3.6 伸缩节安装时,其伸缩量的调整应考虑环境温度的影响。受环境温度影响钢管伸缩量的计算应符合本规范第B.0.1条的

规定。

4.3.7 波纹管伸缩节焊接时不得将地线接于波纹管的管节上。

4.3.8 在焊接两镇墩之间的最后一道合拢焊缝时,应拆除伸缩节的临时紧固件。

5 焊 接

5.1 一 般 规 定

5.1.1 从事一、二类焊缝焊接的焊工应考试合格,并持有相应行业签发的焊工合格证。

5.1.2 焊工焊接的钢材种类、焊接方法和焊接位置等,均应与焊工本人考试所取得的合格项目相符。

5.1.3 无损检测人员应持有相应行业签发的与其工作相适应的技术资格证书。焊接接头质量评定和检测报告审核应由 2 级或 2 级以上的无损检测人员进行。

5.1.4 焊缝应按其受力性质、工况和重要性分为三类:

1 一类焊缝包括:

- 1) 钢管管壁纵缝,坝内弹性垫层管的环缝,厂房内明管环缝,预留环缝,凑合节合拢环缝。
- 2) 岔管管壁纵缝、环缝,岔管加强构件的对接焊缝,加强构件与管壁相接处的组合焊缝。
- 3) 伸缩节内外套管、压圈环的纵缝,外套管与端板、压圈环与端板的连接焊缝。
- 4) 闷头焊缝及闷头与管壁的连接焊缝。
- 5) 支承环对接焊缝。
- 6) 人孔颈管的对接焊缝,人孔颈管与颈口法兰盘和管壁的连接焊缝。

2 二类焊缝包括:

- 1) 不属于一类焊缝的钢管管壁环缝。
- 2) 加劲环、阻水环、止推环对接焊缝。
- 3) 泄水孔/洞钢衬和冲沙孔钢衬的纵向、横向或环向

焊缝。

3 三类焊缝:不属于一、二类焊缝的其他焊缝。

5.1.5 在压力钢管制作与安装前,应进行焊接工艺评定,并编制焊接工艺规程。

5.1.6 标准抗拉强度下限值大于 $540\text{N}/\text{mm}^2$ 的钢材,宜做生产性焊接试验。

5.1.7 焊条、焊丝、焊剂、保护气体等应与所施焊的钢种相匹配。低碳钢、低合金钢和高强钢焊材的选用应符合本规范表 C.0.1 的规定。不锈钢复合钢板焊材的选用应符合本规范表 C.0.2 和表 C.0.3 的规定。

5.1.8 低碳钢、低合金钢和高强钢同种钢材焊接,焊缝金属的力学性能应与母材相当,且焊缝金属的抗拉强度不宜大于母材标准抗拉强度上限值加 $30\text{N}/\text{mm}^2$;不锈钢焊缝抗拉强度不宜低于母材的标准抗拉强度下限值的 70% ,化学成分应与母材相当。

5.1.9 不锈钢复合钢板焊接,焊接材料的选用应符合下列规定:

1 基层焊缝金属应保证焊接接头的力学性能,其抗拉强度不宜大于母材标准规定的抗拉强度上限值加 $30\text{N}/\text{mm}^2$ 。

2 覆层焊缝金属应保证耐蚀性能,其主要合金元素含量不应低于母材标准的下限值。

3 覆层焊缝与基层焊缝之间,应选用铬镍含量较高的焊接材料焊接过渡层。

4 不锈钢复合钢板焊接的其他技术要求应符合现行国家标准《不锈钢复合钢板焊接技术条件》GB/T 13148 的有关规定。

5.1.10 低碳钢、低合金钢和高强钢等类型的异种钢焊接,焊接材料应按强度低的一侧钢板进行选择,焊接工艺应按强度高的一侧钢板进行选择。低碳钢、低合金钢、高强钢与不锈钢焊接时,应采

用不锈钢焊接材料。

5.2 焊接工艺要求

5.2.1 在下述环境条件下,焊接部位应有可靠的防护屏障和保温措施:

1 气体保护焊风速大于 2m/s,其他焊接方法风速大于 8m/s。

2 相对湿度大于 90%时。

3 雨雪环境。

4 低碳钢环境温度 -20°C 以下,低合金结构钢环境温度 -10°C 以下,高强钢及不锈钢环境温度 0°C 以下。

5.2.2 焊接材料应按下列要求进行烘焙和保管:

1 焊条、焊丝、焊剂应放置于通风、干燥和室温不低于 5°C 的专设库房内。设专人保管、烘焙和发放。并应及时做好实测温度和焊材发放记录。烘焙温度和时间应按焊接材料说明书的规定进行。

2 烘焙后的焊条、焊剂应保存在 $100^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱内,焊条药皮应无脱落和明显的裂纹。

3 现场使用的焊条应装入 $80^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的保温筒内,焊条在保温筒内的时间大于 4h 后,应重新烘焙,重复烘焙次数不宜大于二次。

4 当焊剂中有杂物混入时,应进行清理或全部更换。

5 焊丝在使用前应清除铁锈和油污。

6 药芯、金属粉芯焊丝启封后,宜及时用完。在送丝机上未用完的焊丝应采用防潮保护措施。当两天以上不用的焊丝时应密封包装回库储存或移存于干燥环境中。久置未用的药芯、金属粉芯焊丝使用前应剪去其端部 200mm \sim 300mm。

7 其他要求应符合现行行业标准《焊接材料质量管理规程》JB/T 3223 的有关规定。

5.2.3 工卡具、内支撑、外支撑、吊耳等临时构件与钢管焊接时应符合下列规定：

1 材质应与管壁材质相同或相容。

2 预热温度应比钢管焊缝预热温度提高 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，钢管焊缝不需要预热的情況除外。

3 与母材的连接焊缝应距离正式焊缝 30mm 以上。

4 引弧和熄弧点均应在工卡具等临时构件上。

5.2.4 定位焊缝焊接应符合下列规定：

1 一、二类焊缝的定位焊缝焊接工艺和对焊工要求与正式焊缝相同。

2 需要预热焊接的钢板定位焊时，应对定位焊缝周围宽 150mm 范围内进行预热，预热温度应比正式焊缝预热温度提高 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

3 定位焊缝应在后焊一侧的坡口内，距焊缝端部 30mm 以上，长度应在 50mm 以上。但对标准屈服强度 ($R_{p0.2}$) 大于或等于 $650\text{N}/\text{mm}^2$ 或标准抗拉强度 (R_m) 大于或等于 $800\text{N}/\text{mm}^2$ 的高强钢，至少焊两层，其长度应在 80mm 以上。定位焊缝间距宜为 100mm~400mm。厚度不宜大于正式焊缝厚度的 1/2，最厚不宜大于 8mm。

4 正式焊接时，定位焊缝不得保留在低碳钢和低合金钢的一类焊缝内以及高强钢的一、二类焊缝内。

5.2.5 施焊前，应将坡口及其两侧 10mm~20mm 范围内的铁锈、熔渣、油垢、水迹等清除干净。并应检测装配尺寸和坡口尺寸，定位焊缝上的裂纹、气孔和夹渣等缺欠均应清除。

5.2.6 焊缝预热温度应由焊接性试验确定，或按表 5.2.6 推荐的预热温度进行。

表 5.2.6 焊缝预热温度

序号	板厚 (mm)	Q235、 Q295、 Q245R、 L245、 L290(°C)	Q345、Q345R、 16MnDR、 15MnNiDR、 L320、L360(°C)	Q390、 Q370R、Q420、 15MnNiNbDR、 L415、18MnMoNbR、 13MnNiMoR(°C)	07MnCrMoVR、 07MnNiCrMoVDR、 Q460、L450、 L485、L555 (°C)	不锈钢 及不锈钢 复合钢板 (°C)
1	≤25	—	—	—	80~120	—
2	>25~ 30	—	—	60~80*		50~80
3	>30~ 38	—	60~80*	80~100		
4	>38	80~120	80~120	80~150	80~150	80~150

注:1 环境气温低于 5°C 应采用较高的预热温度。

2 对不需预热的焊缝,当环境相对湿度大于 90%或环境气温:低碳钢和低合金钢低于-5°C、非奥氏体型不锈钢低于 0°C 时,预热到 20°C 以上时才能施焊。

* 当拘束度低、坡口无水渍、环境湿度小且焊接中未发现裂纹时,可不预热。

5.2.7 加热装置的选择应符合下列规定:

- 1 满足工艺要求。
- 2 加热过程对被加热工件无有害影响。
- 3 能够均匀加热。
- 4 能够有效的控制温度。

5.2.8 预热区的宽度应为焊缝中心线两侧各 3 倍板厚且不应小于 100mm。应在距离焊缝中心各 50mm 处对称测量温度,而当板厚大于 70mm 时,应在距离焊缝中心各 70mm 处对称测量温度。每条焊缝测量点间距不应大于 2m,且不应少于 3 对。

5.2.9 焊接层间温度不应低于预热温度,低碳钢和低合金钢不应大于 230°C,不锈钢及高强钢不应大于 200°C。测量温度位置同本

规范第 5.2.8 条。而对低碳钢或标准抗拉强度的平均值不大于 $590\text{N}/\text{mm}^2$ 的低合金钢的封闭焊缝焊接时,亦可除打底焊和盖面焊外的中间层配合风铲锤击,锤头应磨成 $R2.5\text{mm} \sim R4\text{mm}$ 圆形。

5.2.10 焊接时,应在坡口内引弧、熄弧,熄弧时应将弧坑填满。多层焊的层间接头应错开。焊条电弧焊、半自动气体保护焊和自保护药芯焊丝焊等的焊道接头应错开 25mm 以上,埋弧焊、熔化极自动气体保护焊和自保护药芯焊丝自动焊应错开 100mm 以上。被焊件焊缝端头的引弧和熄弧处,应设与被焊件材质相同或相容的助焊板。

5.2.11 施焊时同一条焊缝的多名焊工宜保持速度一致。

5.2.12 高强钢和冷裂纹敏感性较大的低合金钢,可按下列规定采取后热措施:

1 高强钢和厚度大于 38mm 的低合金钢宜做后热。

2 后热温度:低合金钢为 $250^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$,高强钢为 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$,保温时间不少于 1h 。不锈钢为 $200^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$,保温时间不少于 4h 。后热应在焊后立即进行,焊后立即进行消除应力热处理者可不后热。测量温度位置应符合本规范第 5.2.8 条的规定。

5.2.13 双面焊缝单侧焊接后应进行背面清根,当用碳弧气刨清根时,应磨除渗碳层和刨槽表面缺欠。需要预热焊接的焊缝,碳弧气刨清根前应预热。

5.2.14 带垫板的 V 形坡口组装间隙应控制在 $6\text{mm} \sim 15\text{mm}$ 。不对称的 X 形坡口或 Y 形坡口组装间隙宜控制在 $0 \sim 3\text{mm}$,当局部间隙在 $6\text{mm} \sim 20\text{mm}$ 时,允许在坡口两侧或一侧做堆焊处理,但应符合下列规定:

1 不得在焊缝内留下填塞的金属材料。

2 堆焊后应用砂轮修整。

3 堆焊部位的焊缝,应进行表面无损检测。

5.2.15 坡口间隙大于本规范第 5.2.14 条中的局部间隙规定时,应经专门研究后再进行堆焊修整。

5.2.16 加劲环、止推环、止水环和支承环等与钢管管壁的组合焊缝,除设计规定外,管壁侧的焊脚为 $1/4$ 环板厚度,且不应大于 9mm,环板侧焊脚盖过坡口宽度 1mm~5mm。肋或梁与钢管构成组合焊缝,当管壁开设焊缝坡口时,焊缝在肋或梁侧的焊脚为 $1/4$ 环板厚度,且不应大于 9mm,在管壁侧焊脚盖过坡口宽度 2mm~5mm。

5.2.17 补强板或进人孔等无法进行内部无损检测的重要焊缝,应按一类焊缝焊接工艺施焊。

5.2.18 焊接的其他技术要求应符合现行行业标准《电站钢结构焊接通用技术条件》DL/T 678 的有关规定。

5.3 焊接工艺评定

5.3.1 焊接工艺评定力学性能试验的试件、样坯的制备,试样尺寸、试验方法和合格标准应符合本规范附录 D 的规定。预焊接工艺规程和焊接工艺评定格式应符合本规范附录 E 的规定。焊接工艺评定力学性能试验和化学成分分析报告应由具有相应资质的机构出具。

5.3.2 焊接工艺评定因素应按重要程度分为重要因素、补加因素和次要因素。

1 重要因素规定为影响焊接接头的抗拉强度和弯曲性能,不锈钢还应包括耐蚀性能的焊接工艺因素。

2 补加因素规定为影响焊接接头冲击吸收能量的焊接工艺因素,当规定进行冲击试验时,需要增加补加因素。

3 次要因素规定为对焊接接头力学性能和不锈钢的耐蚀性能无明显影响的焊接工艺因素。

5.3.3 钢材分类、分组应符合表 5.3.3 中的规定。

表 5.3.3 钢材分类、分组

钢种	类别号	组别号	钢号示例	执行相应标准
低碳钢	I	I-1	Q235、Q245R、L245	《碳素结构钢》GB/T 700、《优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 711、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带》GB/T 3274
		I-2	Q255	
		I-3	Q275	
低合金钢	II	II-1	Q295、Q345、Q345R、X46、L290、L320、L360、16MnDR、15MnNiDR	《压力容器》GB 150、《锅炉和压力容器用钢板》GB 713、《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带》GB/T 3274、《低温压力容器用低合金钢板》GB 3531
		II-2	Q370R、Q390、X52、15MnNiNbDR	
		III-1	Q420、X60、X65、L415	
高强度钢	III	III-2	Q460、L450、HQ60、X70、18MnMoNbR、14MnMoV	《压力容器》GB 150、《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711、《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270
		III-3	07MnNiCrMoVDR、WDB620、ADB610D、WDL610E、WSD610E、SG610CFD、B610CFHQJL2、B610CFHQJL4、07MnCrMoVR、CF62、B610CF、B610E、L485、WDL610D、WSD610C、WSD610D	

续表 5.3.3

钢种	类别号	组别号	钢号示例	执行相应标准
高强钢	III	III-4	Q500、Q550、X80、SG690CFD、L555	《压力容器》GB 150、《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711、《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270、《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189
		III-5	Q620、HQ70、HQ70R、14MnMoVN	
		III-6	Q690、HQ80C、DB685R、CF80、B780CF、SG780CFD、WSD790C、WSD790D、WSD790E、14MnMoNbB、14CrMnMoVB、12Ni3CrMoV、10Ni5CrMoV、X100、X120	
不锈钢	IV	III-7	Q960、SG960CFD、E960CF、WSD1000C、WSD1000D、WSD1000E	—
		IV-1	06Cr13 (S41008)、06Cr13Al (S11348)、12Cr13 (S41010)、20Cr13 (S42020)、04Cr13Ni5Mo (S41595)	
		IV-2	06Cr19Ni10 (S30408)、022Cr19Ni10 (S30403)、06Cr17Ni12Mo2Ti (S31608)、022Cr17Ni12Mo2 (S31603)、022Cr22Ni5Mo3N (S22253)	
	IV-3	10Cr17 (S11710)、10Cr17Mo (S11790)	《压力容器》GB 150、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878、《承压设备用不锈钢钢板及钢带》GB/T 24511	

<p>不锈钢 复合 钢板</p>	<p>V</p>	<p>V-1</p> <p>06Cr13Al+Q235(Q245R)、 06Cr13Al+Q345(Q345R)</p>	<p>《压力容器》GB 150、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165、《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878、《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板 第1部分：不锈钢—钢复合板》NB/T 4702</p>
	<p>V-2</p>	<p>06Cr19Ni10+Q235(Q245R)、 06Cr19Ni10+Q345(Q345R)、 022Cr19Ni10+Q235(Q245R)、 022Cr19Ni10+Q345(Q345R)</p>	
	<p>V-3</p>	<p>022Cr17Ni12Mo2+Q345(Q345R)、 06Cr17Ni12Mo2Ti+Q345(Q345R)、 022Cr22Ni5Mo3N+Q345(Q345R)、 022Cr22Ni5Mo3N+Q390(Q370R)</p>	

5.3.4 符合下列情况之一者,可不再作焊接工艺评定:

1 已评定合格的焊接工艺,能提供有效证明文件者。

2 按本规范第 5.3.3 条钢材分类,在同类别号中,当重要因素、补加因素不变时,高组别号的钢材评定适用于低组别号的钢材。

3 同组别号钢材的焊接工艺评定可互相代替。

5.3.5 不同类别号的钢材组成的焊接接头,即使两者分别进行过焊接工艺评定,仍应进行焊接工艺评定。但类别号Ⅲ内的组别号Ⅲ-4 及以下低组别号、类别号Ⅱ和类别号Ⅰ相互间组成的焊接接头,当母材高类别号或高组别号经焊接工艺评定合格时,可不再做焊接工艺评定,反之,不可以。

5.3.6 异种钢焊接工艺评定试件焊缝及两侧热影响区均应进行冲击试验,焊接工艺评定项目和数量应符合本规范第 5.3.18 条的规定。

5.3.7 焊接工艺评定中所采用的焊接位置,宜用平焊位置,有冲击吸收能量要求的,应采用立向上焊位置。

5.3.8 改变焊接方法,应重做焊接工艺评定。

5.3.9 已进行过焊接工艺评定,但改变下列重要因素之一者,应重新进行焊接工艺评定。

1 钢材类别改变,或厚度大于本规范表 5.3.17 中规定的适用范围。

2 焊条牌号中前两位数字、焊丝牌号、焊剂牌号改变。

3 预热温度比评定合格温度值降低 50℃ 以上时。

4 改变保护气体种类,混合保护气体比例,取消保护气体以及用混合气体代替单一气体时。

5 改变熔化极气体保护焊过渡模式从喷射弧、熔滴弧或脉冲弧变为短路弧或反之。

5.3.10 要求做冲击试验的试件,当与做过的某个焊接工艺评定的重要因素相同时,只是增加或改变下列一个或几个补加因素,可按增加或改变的补加因素,补充一个焊接工艺评定的试件,此试件仅做冲击试验:

- 1 改变焊后消除应力热处理温度范围和保温时间。
- 2 最高层间温度比所评定的层间温度高 50℃ 以上。
- 3 改变电流的种类或极性。
- 4 焊接热输入或单位长度焊道的熔敷金属体积超出已焊接工艺评定的范围。

- 5 埋弧焊或熔化极气体保护焊由单丝焊改为多丝焊或反之。
- 6 用非低氢型药皮焊条代替低氢型药皮焊条。
- 7 用酸性药芯焊丝代替碱性药芯焊丝。
- 8 埋弧焊、熔化极气体保护焊由多道焊改为单道焊。
- 9 从评定合格的位置改为立向上焊。

5.3.11 当与已做的焊接工艺评定中的重要因素和补加因素都相同时,仅改变下述次要因素时,只需修改焊接工艺规程,不必重新进行焊接工艺评定:

- 1 坡口形式。
- 2 坡口根部间隙。
- 3 取消或增加单面焊时的焊缝钢垫板。
- 4 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫。
- 5 焊条及焊丝直径。
- 6 除向上立焊外的所有焊接位置。
- 7 需做清根处理的根部焊道向上立焊或向下立焊。
- 8 施焊结束后至焊后热处理前,改变后热温度范围和保温时间。
- 9 电流值或电压值。
- 10 摆动焊或不摆动焊。
- 11 焊前清理和层间清理方法。
- 12 清根方法。
- 13 改变焊条、焊丝摆动幅度、频率和两端停留的时间。
- 14 导电嘴至工件的距离。
- 15 手工操作、半自动操作或自动操作。
- 16 有无锤击焊缝。

5.3.12 后热不应为焊接工艺评定因素,但应在焊接工艺规程里注明。

5.3.13 对接焊缝焊接工艺评定应采用对接焊缝试件。角焊缝焊接工艺评定应采用角焊缝试件或对接焊缝试件。组合焊缝焊接工艺评定应采用对接焊缝试件,当组合焊缝要求焊透时,应增加组合焊缝试件。

5.3.14 对接焊缝试件或角焊缝试件,经评定合格的工艺用于焊接角焊缝时,焊件厚度的有效范围不限。

5.3.15 当同一条焊缝使用两种或两种以上焊接方法或重要因素、补加因素不同的焊接工艺时,可按每种焊接方法和焊接工艺分别进行评定。亦可使用两种或两种以上焊接方法或焊接工艺进行组合评定。

5.3.16 不锈钢复合钢板的焊接工艺评定应符合本规范附录 F 有关规定。

5.3.17 经评定合格的对接接头试件的焊接工艺适用于焊件的母材厚度和焊缝金属厚度的有效范围应符合表 5.3.17 的规定。

表 5.3.17 焊接工艺适用于焊件的母材厚度和焊缝金属厚度的有效范围

序号	适用范围		试件母材厚度 δ 及试件焊缝金属厚度 $t^{\text{①}}$ (mm)	适用于焊件母材厚度范围 (mm)		适用于焊件焊缝金属厚度范围 (mm)	
				最小值	最大值	最小值	最大值
1	母材 强度 等级	标准抗拉强度下限值 $>540\text{N/mm}^2$	$1.5 \leq \delta(t) < 8$	1.5	2δ , 且不应大于 12	不限	$2t$, 且不应大于 12
2			$\delta(t) \geq 8$	0.75δ	1.5δ	不限	$1.5t$
3		标准抗拉强度下限值 $\leq 540\text{N/mm}^2$	$1.5 \leq \delta(t) \leq 10$	1.5	2δ	不限	$2t$
4			$10 < \delta < 38$	5	2δ	不限	$2t$
5			$\delta \geq 38$	5	$200^{\text{②}}$	不限	$2t (t < 20)$ $200^{\text{②}} (t \geq 20)$

注:① t 指一种焊接方法(或焊接工艺)在试件上所熔的焊缝金属厚度。

② 限于焊条电弧焊、钨极氩弧焊、等离子焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊的多道焊。

5.3.18 板材对接接头试件力学性能评定项目和试样数量应符合表 5.3.18 的规定。

表 5.3.18 板材对接接头试件力学性能评定项目和试样数量

接头型式	试件厚 δ (mm)	拉伸与弯曲试验				冲击试验	
		拉伸	面弯	背弯	侧弯	焊缝区	热影响区
对接	$\delta < 20$	2	2	2	—	3	3
	$\delta \geq 20$	2	—	—	4	3	3

注:1 当试件焊缝两侧的母材之间或焊缝金属和母材之间的弯曲性能有明显差别时,宜改用纵向弯曲试验代替横向弯曲试验,纵向弯曲只取面弯及背弯试样各 2 个。

2 要求做冲击吸收能量试验时,试样数量为热影响区和焊缝上各取 3 个,异种钢接头每侧热影响区分别取 3 个,焊缝取 3 个。采用组合焊接方法(工艺)时冲击试样中应包括每种方法(工艺)的焊缝金属和热影响区。

5.3.19 组合焊缝及角焊缝的试件应符合本规范附录 D 的规定。

5.3.20 当需要进行硬度试验时,同种钢焊接接头的硬度,应大于母材最低维氏硬度的 70%,不应大于母材维氏硬度值 HV_{100N} 加 100,且不应大于表 5.3.20 中的规定。异种钢焊接接头硬度值应大于硬度较低母材侧之值的 70%,且不应大于两侧母材硬度平均值的 130%。

表 5.3.20 同种钢焊接接头允许的最大硬度值 HV_{100N}

序号	钢种	单道焊对接接头和角接头		多道焊对接接头和角接头	
		不热处理	热处理	不热处理	热处理
1	最小屈服强度 $R_{eL} (R_{p0.2}) \leq 360 \text{N/mm}^2$ 和分析化学成分不大于: $C \leq 0.24\%$ 、 $Si \leq 0.6\%$ 、 $Mn \leq 1.7\%$ 、 $S \leq 0.045\%$ 、任何其他单个元素不大于 0.3%,所有其他元素的总和不大 于 0.8%	380	320	350	320
2	最小屈服强度 $R_{eL} (R_{p0.2}) > 360 \text{N/mm}^2$ 的正火钢或控轧细晶粒钢				

续表 5.3.20

序号	钢 种		单道焊对接接头和角接头		多道焊对接接头和角接头	
			不热处理	热处理	不热处理	热处理
3	不锈钢除外的调质钢和沉淀强化钢[最小屈服强度 $R_{eL} (R_{p0.2}) > 885\text{N/mm}^2$ 的钢需要特殊协议]		450	需专门协议	420	需专门协议
4	$\text{Cr} \leq 0.75\%$ 、 $\text{Mo} \leq 0.6\%$ 、 $\text{V} \leq 0.3\%$ 的钢		需专门协议	320	需专门协议	320
5	$\text{Cr} \leq 10\%$ 、 $\text{Mo} \leq 1.26\%$ 的钢					
6	$\text{Cr} \leq 12.2\%$ 、 $\text{Mo} \leq 1.2\%$ 、 $\text{V} \leq 0.5\%$ 的 Cr-Mo-V 钢		需专门协议	350	需专门协议	350
7	Ni $\leq 10\%$ 的镍合金钢	Ni $\leq 4\%$	需专门协议	300	320	300
8		Ni $> 4\%$		需专门协议	400	需专门协议
9	10.5% \leq Cr \leq 30% 的铁素体和马氏体钢		需专门协议			

注:抗拉强度 $R_m \leq 432\text{N/mm}^2$ 的铁素体钢、奥氏体钢可不作硬度评定试验。

5.3.21 焊接工艺评定后,应编写焊接工艺评定报告并做出综合评定,并应在此基础上编制焊接工艺规程。

5.4 焊接接头检测

5.4.1 所有焊接接头均应进行外观检测,外观质量应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 焊接接头外观检测 (mm)

序号	项目		焊缝类别		
			一	二	三
			允许缺欠尺寸		
1	裂纹		不允许		
2	表面夹渣		不允许	深度不应大于 0.1δ , 长度不应大于 0.3δ , 且不应大于 10	
3	咬边		深度不大于 0.5	深度不应大于 1	
4	未焊满		不允许	不应大于 $0.2 + 0.02\delta$ 且 不应大于 1, 每 100 焊缝内 缺欠总长不应大于 25	
5	表面气孔		不允许	直径小于 1.5 的气孔 每米范围内允许有 5 个, 间距不应小于 20	
6	焊瘤		不允许	—	
7	飞溅		不允许	—	
8	焊缝 余高 Δh	手工焊	$\delta \leq 25 \quad \Delta h = 0 \sim 2.5$ $25 < \delta \leq 50 \quad \Delta h = 0 \sim 3$ $\delta > 50 \quad \Delta h = 0 \sim 4$	—	
		自动焊	0~4	—	
9	对接接头 焊缝宽度	手工焊	盖过每边坡口宽度 1~2.5, 且平缓过渡		
		自动焊	盖过每边坡口宽度 2~7, 且平缓过渡		
10	角焊缝焊脚 K		$K \leq 12$ 时, $K_{\pm 1}^{\pm 2}$; $K > 12$ 时, $K_{\pm 1}^{\pm 3}$		

注:1 δ 是钢板厚度代号。

2 手工焊是指焊条电弧焊、 CO_2 半自动气保焊、自保护药芯半自动焊以及手工 TIG 焊等。而自动焊是指埋弧自动焊、MAG 自动焊、MIG 自动焊和自保护药芯自动等。

5.4.2 焊接接头内部质量检测选用超声波检测或射线检测(RT);焊接接头表面质量检测选用磁粉检测(MT)或渗透检测(PT),铁磁性材料应优选磁粉检测(MT)。当其中一种无损检测方法检测有疑问时,应采用另一种无损检测方法复查。超声检测包括脉冲反射法超声检测(UT)、相控阵超声检测(PA-UT)和衍射时差法超声检测(TOFD)。

5.4.3 T形接头或空间狭窄处可采用相控阵超声检测(PA-UT)。

5.4.4 焊接接头内部无损检测长度占焊缝全长的百分比不应少于表 5.4.4 中的规定。

表 5.4.4 无损检测长度占焊缝全长百分数

序号	钢种	脉冲反射法超声检测(UT)或相控阵超声检测(PA-UT)(%)		衍射时差法超声检测(TOFD)或射线检测(RT)(%)	
		一类焊缝	二类焊缝	一类焊缝	二类焊缝
1	低碳钢和 低合金钢	100	50	25	10
2	高强度 不锈钢 不锈钢 复合钢板	100	100	40	20

注:1 抽检时,应选择 T 字对接焊缝等易产生焊接缺欠的部位进行,每条焊缝抽检部位不少于 2 处,相邻抽检部位的间距不小于 300mm。

2 衍射时差法超声检测(TOFD)或射线检测(RT)抽检长度不应小于 150mm,应选择脉冲反射法检测(UT)或相控阵超声检测(PA-UT)发现缺欠较多的部位或需进一步判定缺欠性质的部位。

3 焊接接头用脉冲反射法检测(UT)或相控阵超声检测(PA-UT)有疑问时,可用衍射时差法超声检测(TOFD)或射线检测(RT)进行复验。

5.4.5 对有延迟裂纹倾向的钢材或焊缝,无损检测应在焊接完成

24h 以后进行。抗拉强度(R_m)大于或等于 $800\text{N}/\text{mm}^2$ 的高强钢,无损检测应在焊接完成 48h 后进行。

5.4.6 无损检测应符合下列规定:

1 射线检测(RT)应按现行国家标准《金属溶化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 的有关规定执行,检测技术等级为 B 级,一类焊缝不低于 II 级为合格,二类焊缝不低于 III 级为合格。

2 脉冲反射法超声检测(UT)和相控阵超声检测(PA-UT)应按现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345 的有关规定执行,检测技术等级为 B 级,一类焊缝 I 级为合格,二类焊缝不低于 II 级为合格。

3 衍射时差法超声检测(TOFD)应按现行行业标准《水电水利工程金属结构及设备焊接接头衍射时差法超声检测》DL/T 330 的有关规定执行,或应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 10 部分:衍射时差法超声检测》JB/T 4730.10 的有关规定执行,一类焊缝和二类焊缝均不低于 II 级为合格。

4 磁粉检测(MT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测》JB/T 4730.4 有关规定执行或渗透检测(PT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测》JB/T 4730.5 的有关规定执行,一类焊缝 II 级为合格,二类焊缝 III 级为合格。

5 同一焊接接头部位或同一焊接缺欠,使用两种及以上的无损检测方法进行检测时,应按各自标准分别评定合格。

5.4.7 焊接接头局部无损检测当发现有不允许缺欠时,应在缺欠的延伸方向或在可疑部位做补充无损检测,补充检测的长度不小于 250mm。当经补充无损检测仍发现有不允许缺欠时,则应对该焊工在该条焊接接头上所施焊的焊接部位或整条焊接接头进行 100%无损检测。

5.4.8 焊接接头缺欠返工后应按原无损检测工艺进行复检,复检

范围应向返工部位两端各延长至少 50mm。

5.5 缺欠处理

5.5.1 焊接接头发现有裂纹等危险性缺欠时,应进行分析,找出原因,制订措施后,再进行处理。焊接缺欠分类划分应符合《金属熔化焊接头缺欠分类及说明》GB/T 6417.1 的有关规定。

5.5.2 焊接接头超标缺欠应用碳弧气刨或砂轮清除,用碳弧气刨时应用砂轮磨除渗碳层。当缺欠为裂纹时,则磁粉检测(MT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》JB/T 4730.4 或渗透检测(PT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第5部分:渗透检测》JB/T 4730.5 的有关规定进行检测。

5.5.3 焊补预热温度应比正式焊缝预热温度高出 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。焊补后按本规范第 5.2.12 条的规定进行后热。

5.5.4 低碳钢、低合金钢和不锈钢除盖面焊层外,其余焊层可采用逐层逐道锤击锻打来防止焊补产生的焊接裂纹和降低焊接收缩应力。高强钢焊接不得锤击锻打,应采取预热和后热或其他措施来防止焊接裂纹等缺欠。不锈钢焊接时宜采用多层多道焊接,不得横向摆动焊接。

5.5.5 返工后的焊接接头,应采用超声波检测或射线检测(RT)进行复查。同一部位的返工次数,低碳钢、低合金钢和不锈钢不宜超过 2 次,高强钢不宜超过 1 次。

5.5.6 不锈钢、高强钢钢板表面不得有电弧擦伤和硬物击痕。当有擦伤或击痕时应采用砂轮打磨将其清除。当打磨后的深度大于 2mm 时则应进行焊补,高强钢应进行预热焊补,焊补后立即后热缓冷。

5.5.7 管壁表面凹坑深度大于板厚的 10% 或大于 2mm 的,应用碳弧气刨或砂轮修磨成便于焊接的凹槽,再行焊补。焊补后应用

砂轮将焊补处磨平。对高强钢还用磁粉检测(MT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测》JB/T 4730.4或渗透检测(PT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第5部分:渗透检测》JB/T 4730.5的规定进行检测。

6 焊后消应处理

6.0.1 钢管和岔管焊后消应处理应按图样或设计技术文件规定执行。

6.0.2 高强钢不宜做焊后热处理消应。

6.0.3 低碳钢、低合金钢焊后消应热处理温度应按图样规定执行。图样对焊后消应热处理温度未作规定时,则可根据钢材特性、焊接性试验成果在 580℃~650℃ 区间选取热处理温度。对于有回火脆性的钢材,热处理应避免脆性温度区。

6.0.4 低碳钢、低合金钢的钢管或岔管在炉内做整体消应热处理时,工件入炉或出炉时,炉内温度应低于 300℃,其加热速度、恒温时间及冷却速度应按下列要求控制:

1 加热速度:升温至 300℃ 后,加热速度不应大于 $220 \times \frac{25}{\delta}$ °C/h,且不应大于 220°C/h。

2 恒温时间:每毫米壁厚需 2min~4min,且不应少于 30min,保温时各部温差不应大于 50℃。

3 冷却速度:恒温后的冷却速度不应大于 $275 \times \frac{25}{\delta}$ °C/h,且不应大于 275°C/h。300℃ 以下可自然冷却。

注: δ 为焊接接头的最大厚度,单位为 mm。

6.0.5 低碳钢、低合金钢的钢管或岔管做整体消应热处理确有困难时,允许采用局部消应热处理。加热宽度应为焊缝中心两侧各 6 倍以上最大板厚的区域。加温、保温、降温速度和时间与整体消应热处理相同,内外壁温度应均匀,在加热带以外部位应采取保温措施。

6.0.6 消应热处理后,应提供消应热处理曲线。局部消应热处理

后至少应提供一次消应效果和硬度测试数据,焊接接头硬度要求应符合本规范第 5.3.20 条的规定。

6.0.7 采用爆炸消应处理时,施工前应针对材质和结构型式,通过爆炸消应工艺试验确定合理的消应参数,焊接接头的力学性能及消应效果应满足设计或相关要求。

6.0.8 采用振动时效工艺时,施工前应选取合理的振动时效工艺参数,焊接接头的力学性能及消应效果应满足设计或相关要求。

7 防 腐 蚀

7.1 表面预处理

7.1.1 钢管表面预处理前应将铁锈、油污、积水、遗漏的焊渣和飞溅等附着污物清除干净。

7.1.2 表面预处理采用局部喷射或抛射除锈,所用的磨料应清洁、干燥,用金属磨料、氧化铝、石榴石、铜矿渣、碳化硅和金刚砂等磨料,金属磨料粒度范围宜为 0.5mm~1.5mm,人造矿物磨料和天然矿物磨料应根据表面粗糙度等级技术要求选择,粒度范围宜为 0.5mm~3.0mm。潮湿环境中不得使用钢质磨料。

7.1.3 局部喷射用的压缩空气应经过滤除去油和水。

7.1.4 钢管内壁经局部喷射或抛射除锈后,表面清洁度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2部分:已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级》GB/T 8923.2标准中规定的 PSa2.5 级。除锈后,厚浆型重防腐涂料及金属热喷涂表面粗糙度数值应达到 $R_z 60\mu\text{m} \sim R_z 100\mu\text{m}$,其他应达到 $R_z 40\mu\text{m} \sim R_z 70\mu\text{m}$ 。表面粗糙度用触针式的轮廓仪检测或比较样板目视评定。

7.1.5 钢管外壁经局部喷射或抛射除锈后,采用水泥浆或涂料防腐时,应达到表 7.1.5 中所规定的除锈后表面清洁度。

表 7.1.5 钢管外壁表面预处理质量要求

序号	部位	涂装配套	表面清洁度	表面粗糙度 R_z (μm)
1	明管外壁	喷涂涂料	PSa2.5	40~70
2	埋管外壁	改性水泥胶浆 或苛性钠水泥浆	PSa2	—

7.1.6 钢管除锈后,应用干燥的压缩空气或用吸尘器清除灰尘,涂装前当发现钢板表面污染或返锈时,应重新处理到原除锈等级。

7.1.7 当空气相对湿度大于 85%,环境温度低于 5℃和钢板表面温度低于大气露点以上 3℃时,不得进行除锈。大气露点换算表应符合本规范附录 B 的规定。

7.1.8 钢管防腐的其他技术要求应符合现行行业标准《水电水利工程金属结构设备防腐蚀技术规程》DL/T 5358 的有关规定。

7.2 涂料涂装

7.2.1 防腐蚀涂料涂层配套系统宜选由底漆、中间漆和面漆组成。底漆应具备良好的附着力和防锈性能,中间漆应具有屏蔽性能且与底漆、面漆结合性能良好,面漆应具有耐磨性能、耐候性能或耐水性能。

7.2.2 涂层配套系统的选择应根据所处环境按下列要求选用:

1 防腐蚀涂料各层配套性能,可按本规范表 G.0.1 的规定选用。

2 埋管外壁涂层通常为改性水泥胶浆或苛性钠水泥浆,明管外壁处于空气环境下时应选用耐候性能良好的涂层配套系统,可按本规范表 G.0.2 的规定选用。

3 钢管内壁应选用耐磨性能和耐水性能良好的涂层配套系统,可按本规范表 G.0.3 的规定选用。

4 输水工程钢管道内壁涂层除应具备耐磨性能和耐水性能外,还应符合卫生标准要求。其涂层配套系统,可按本规范表 G.0.4 的规定选用。

7.2.3 经除锈后的钢材表面宜在 4h 内涂装,晴天和正常大气条件下,最长不应大于 12h。

7.2.4 使用的涂料应符合图样规定,涂装层数、每层厚度、每层涂装间隔时间、涂料调配方法和涂装注意事项,应按设计文件或有关规定进行。

7.2.5 钢管管节应在安装环缝两侧各 200mm 范围内和灌浆孔及排水孔周边 100mm 范围内,涂装车间底漆,如无机富锌底漆。安装焊接完成后,按规定进行表面预处理,并进行涂装。

7.2.6 当空气中相对湿度大于 85%,钢板表面温度低于大气露点以上 3℃或高于 60℃以及环境温度低于 10℃时,均不得进行涂装。大气露点换算表按本规范附录 B 的规定。

7.3 涂料涂层质量检测

7.3.1 每层涂装前应对上一层涂层外观进行检测,当发现漏涂、流挂、皱皮等缺欠应及时处理。涂装后应用湿膜测厚仪测量湿膜厚度。

7.3.2 涂装后应进行外观检测。涂层表面应光滑、颜色均匀一致,无皱皮、起泡、流挂、针孔、裂纹、漏涂等缺欠。水泥浆涂层厚度应基本一致,粘着牢固,不起粉。

7.3.3 涂层内部质量应符合下列规定:

1 涂层厚度用涂镀层测厚仪检测。在 0.01m²的基准面上测量 3 次,每次测量的位置应相距 25mm~75mm,取 3 次测量值的算术平均值为该基准面的一个测点厚度测量值。对于涂装前表面粗糙度大于 $R_z100\mu\text{m}$ 的涂层进行测量时,应取 5 次测量值的算术平均值为测点厚度值。

2 单节钢管内表面积大于或等于 10m²时,每 10m²表面不应少于 3 个测点;单节钢管内表面积小于 10m²时,每 2m²表面不应少于 1 个测点。在单节钢管的两端和中间的圆周上每隔 1.5m 测一点。涂层厚度应满足 85%的测点厚度达到设计要求,达不到厚度的测点,其最小厚度值不应低于设计厚度的 85%。

3 不含导电元素涂料的涂层用针孔检测仪,侧重于安装环缝两侧的涂层检测。应符合表 7.3.3-1 规定的电压值检测针孔,发现针孔,用砂纸、弹性砂轮片打磨处理后补涂。

表 7.3.3-1 涂层厚度与检测电压关系

涂层厚度 (μm)	100	150	200	250	300	350	400	500	600	800	1000
电压 (kV)	≥ 1.0	≥ 1.2	≥ 1.5	≥ 1.7	≥ 2.0	≥ 2.2	≥ 2.4	≥ 2.9	≥ 3.3	≥ 4.0	≥ 4.7

4 涂层厚度不足或有针孔,返工固化后,应复查。

5 采用划格法进行附着力检测时:

- 1) 当涂层厚度大于 $120\mu\text{m}$ 时,在涂层上用硬质刀具划两条夹角为 60° 的切割相交线进行抽查,切割相交线应划透涂层至基材,用胶带粘牢划口部分,然后沿垂直方向快速撕起胶带,涂层无剥落为合格。
- 2) 当涂层厚度小于或等于 $120\mu\text{m}$ 时,可用专用刀具在涂层表面以 $3\text{mm} \sim 5\text{mm}$ 等距离划出相互垂直的两簇平行线,构成若干方格,应符合表 7.3.3-2 规定检测涂层附着力等级,0 级~2 级为合格涂层。

表 7.3.3-2 涂层划格法附着力检测

级别	检测结果
0	切割的边缘完全是平滑的,没有一个方格脱落
1	在切割交叉处涂层有少许薄片分离,划格区受影响明显不大于 5%
2	涂层沿切割边缘或切口交叉处脱落明显大于 5%,但受影响明显不大于 15%
3	涂层沿切割边缘,部分和全部以大碎片脱落或在格子的不同部位上部分和全部剥落,明显大于 15%,但划格区受影响明显不应大于 35%
4	涂层沿切割边缘大碎片剥落或者一些方格部分或全部出现脱落,明显大于 35%,但划格区受影响明显不大于 65%
5	甚至按第 4 类也识别不出其剥落程度

6 采用拉开法(亦称拉拔法)进行附着力定量检测时,附着力指标可按表 7.3.3-3 或由供需双方商定。拉开法可选用拉脱式涂

层附着力测试仪,检测方法按仪器说明书的规定进行。

表 7.3.3-3 涂层拉开法附着力检测(N/mm²)

涂 料 类 型	附着力
环氧类、聚氨酯类、氟碳涂料	≥5.0
氯化橡胶类、丙烯酸树脂、乙烯树脂类、无机富锌类、环氧沥青、醇酸树脂类	≥3.0
酚醛树脂、油性涂料	≥1.5

7 采用划格法或拉开法进行涂层附着力检测时,任选一种方法均可。

7.4 金属喷涂

7.4.1 金属喷涂用的金属丝应符合下列规定:

1 锌丝应符合现行国家标准《锌锭》GB/T 470 中的 Zn-1 的质量要求,且 $Zn \geq 99.99\%$ 。

2 铝丝应符合现行国家标准《变形铝及铝合金化学成分》GB 3190 中的 L2 质量要求,且 $Al \geq 99.5\%$ 。

3 锌铝合金丝的含铝量应为 $13\% \sim 35\%$,其余为锌。

4 铝镁合金丝的含镁量应为 $4.8\% \sim 5.5\%$,其余为铝。

5 金属丝应光洁、无锈、无油、无折痕,直径为 $\phi 3.0\text{mm}$ 。

7.4.2 喷涂宜采用电弧喷涂,电弧喷涂无法实施的部位可采用火焰喷涂。

7.4.3 金属喷涂可根据不同喷涂材料结合工作环境按下述厚度施工:

1 喷锌层或喷铝层厚度宜为 $120\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ 。

2 锌铝合金层、铝镁合金层、稀土铝合金层宜取 $100\mu\text{m} \sim 120\mu\text{m}$ 。

7.4.4 钢材表面预处理后,宜在 2h 内喷涂,在晴天和正常大气条件下最长不应大于 8h。

7.4.5 当空气相对湿度大于 85% ,钢板表面温度低于大气露点

以上 3℃ 以及环境温度低于 5℃ 时,均不得进行喷涂。大气露点换算表应符合本规范附录 B 的规定。

7.4.6 喷涂应均匀,分多次喷涂,每次喷涂层厚 25 μm ~60 μm 为宜,相邻两次喷涂的喷束应垂直交叉。

7.4.7 金属喷涂层经检测合格后,应及时用有机涂料进行封闭。涂装前将金属喷涂层表面灰尘清理干净,涂装宜在金属喷涂层尚有一定温度时进行。

7.5 金属涂层质量检测

7.5.1 金属喷涂层应进行外观检测。涂层表面应均匀,无杂物、起皮、鼓泡、孔洞、凹凸不平、附着不牢固的金属熔融粗颗粒、掉块、底材裸露的斑点及裂纹等现象。当喷涂时发现涂层外观有明显缺欠应停止喷涂,遇有少量夹杂可用刀具剔刮,当缺欠面积较大时,应铲除重喷。

7.5.2 金属涂层的厚度检测和结合性能检测方法应符合本规范附录 H 的规定。

7.6 牺牲阳极阴极保护系统施工

7.6.1 牺牲阳极阴极保护应与涂料保护联合作用。

7.6.2 牺牲阳极阴极保护的钢管应与水中其他金属结构电绝缘。

7.6.3 牺牲阳极阴极保护系统施工前应符合下列规定:

- 1 测量钢管的自然电位。
- 2 确认现场环境条件与设计文件一致。
- 3 确认保护系统使用的仪器和材料与设计文件一致。

7.6.4 牺牲阳极的布置和安装应符合下列规定:

1 牺牲阳极的工作表面不应粘有油漆和油污。

2 牺牲阳极的布置和安装方式不应影响钢管的正常运行,并能满足钢管各处的保护电位均应符合设计的要求。

- 3 牺牲阳极与钢管的连接位置应除去涂层并露出金属基底,

其面积宜为 0.01m^2 左右。

4 牺牲阳极应通过钢芯与钢管短路连接,宜优先采用焊接方法,亦可采用电缆连接或机械连接。

5 牺牲阳极应避免安装在钢管的高应力和高疲劳荷载区域。

6 采用焊接方法安装牺牲阳极时,焊接接头应无毛刺、锐边、虚焊。

7 牺牲阳极安装后应将安装区域表面处理干净,并按技术要求重新涂装,补涂时不得污染牺牲阳极表面。

8 其他技术要求应符合现行行业标准《水电水利工程金属结构设备防腐蚀技术规程》DL/T 5358 的有关规定。

7.7 牺牲阳极阴极保护系统质量检测

7.7.1 牺牲阳极阴极保护系统施工结束后,施工单位应提交牺牲阳极安装竣工图,应核查阳极的实际安装数量、位置分布和连接是否符合规定。

7.7.2 保护系统安装完成交付使用前,应测量钢管的保护电位,确认钢管各处的保护电位应符合设计规定。

7.7.3 牺牲阳极正常使用后,应定期对保护系统的设备和部件进行检测和维护,确保在使用年限内有效运行。

7.7.4 使用单位应至少每半年测量一次并记录钢管的保护电位,当测量结果不满足要求时,应及时查明原因,采取措施。

8 水压试验

8.0.1 钢管、岔管水压试验和试验压力值应按图样或设计技术文件规定执行。

8.0.2 钢管、岔管水压试验前,应制订安全措施和安全预案。

8.0.3 试验用闷头应通过设计计算确定。

8.0.4 试压时水温应在 5℃ 以上。

8.0.5 呼吸管的一端应安装在钢管、岔管内试验状态下的最高位置。

8.0.6 当高程差大于 100m 的钢管段做水压试验时,宜在钢管段上端顶部设置真空破坏阀。

8.0.7 水压试验应在钢管、岔管制作或安装完成及质量检测合格后进行。充水前,应对工卡具、临时支撑件、支托、起重设备等解除拘束处理,且应对结构上的焊疤、划痕等缺欠进行修补打磨处理。

8.0.8 钢管、岔管水压试压时,应分级加载,每级均应做检测。加载至额定工作压力,保持 30min 以上,检测压力表指针保持稳定,无指针颤动现象等异常情况,才允许继续加压。加压速度以不大于 0.3MPa/min 为宜,当压力大于 10MPa 以上时,加压速度不大于 0.2MPa/min 为宜。升至最大试验压力,保持 30min 以上,此时压力表指示的压力应无变动。然后下降至工作压力,保持 30min 以上。整个试验过程中应无渗水、混凝土裂缝、镇墩异常变位和其他异常情况。

8.0.9 钢管、岔管水压试验完成后,通过增压系统的溢流控制阀以不大于 0.5MPa/min 的速度分级卸至钢管内水的自重压力,再打开钢管段上端的呼吸管阀门后,进行排水作业。

8.0.10 试验系统在试验过程中出现问题需要处理时,应通过增

压系统的溢流控制阀将系统压力卸至自重压力后再根据具体情况进行。

8.0.11 需要焊接、热切割、碳弧气刨、热矫形等作业时,应先将管内水排空。

9 包装、运输

9.0.1 钢管瓦片应成节配套运输,并绑扎牢固,应防止倾倒和变形。支承环、加劲环、阻水环、止推环和连接板等附件应配套绑扎成捆运输,并用油漆标明名称、配套编号。

9.0.2 瓦片在运输过程中宜加临时支撑或框架,叠放瓦片时宜在片间填塞软垫。支撑不得直接焊于瓦片上,应通过工卡具和螺栓等连接件加以固定。

9.0.3 运输成型的管节时,视其刚度情况,可在管节内加设临时支撑,宜管外加设鞍形支架座或加垫木条。

9.0.4 钢索捆扎吊运管节或瓦片时,应在钢索与管节或瓦片相触部位加设软垫。在吊装、运输中应避免损坏涂层。

10 验 收

10.1 过 程 验 收

- 10.1.1 制作过程和安装过程应有《工序质量传递卡》。
- 10.1.2 制作过程应按本规范第2章、第3章、第5章~第9章的相关规定进行过程验收。
- 10.1.3 制作后或安装前应对钢管、伸缩节和岔管的各项尺寸进行复验,并应符合本规范和设计要求。
- 10.1.4 安装过程应按本规范第4章~第8章的相关规定进行过程验收。
- 10.1.5 钢管安装后应与支墩和锚栓等焊接牢固,不得在混凝土浇筑时发生钢管移位。
- 10.1.6 钢管制作安装用高空操作平台投入使用前应进行过程验收。
- 10.1.7 安装后的扫尾工作,当临时支撑的清除、管壁凹坑焊补、焊疤打磨、灌浆孔封堵等应符合本规范的规定。
- 10.1.8 充水试验前应将管道内的焊条头、电线电缆头、石块和泥沙等杂物清除干净。环境条件许可时,宜用流动水冲洗管道。
- 10.1.9 管道充水试验应根据水头分级充水,每级水头差宜不大于50m,每级稳压时间不应小于15min。
- 10.1.10 充水试验或(和)水压试验,应无渗水和其他异常现象。

10.2 完 工 验 收

- 10.2.1 钢管安装结束后,应进行完工验收。
- 10.2.2 完工验收应由建设、监理、施工和设计等参建单位组成的现场验收小组进行。

10.2.3 完工验收应依据设计图样、技术文件、材料质量证明书、焊接工艺评定试验或试验证明、焊接和探伤人员的资格证明、制作安装符合本规范的检测记录等进行。

10.2.4 制作完工验收时,应提供下列资料:

- 1 压力钢管制作图样。
- 2 主要材料出厂质量证明书。
- 3 设计修改通知单。
- 4 制作时最终检测和试验的检测记录。
- 5 焊接接头无损检测报告。
- 6 防腐检测资料。
- 7 重大缺欠处理记录和有关会议纪要。
- 8 其他相关的技术文件。

10.2.5 安装完工验收时,应提供下列资料:

- 1 压力钢管工程竣工图样。
- 2 主要材料出厂质量证明书。
- 3 设计修改通知单。
- 4 安装时最终检测和试验的检测记录。
- 5 焊接接头无损检测报告。
- 6 防腐检测资料。
- 7 重大缺欠处理记录和有关会议纪要。
- 8 其他相关的技术文件。

10.2.6 当钢管的制作安装为同一单位完成时,可只提供本规范第 10.2.5 条规定的资料。

10.2.7 钢管工程结算计量,当采用算法计量时按下列公式计算:

$$G=t \cdot B \cdot L \cdot \rho+g \quad (10.2.7)$$

式中: G ——钢管工程结算计量(t);

t ——钢板实际厚度,为钢板公称厚度和表 10.2.7 中的厚度附加值相加(m);

B ——管节公称长度(m)；

L ——管节公称中径展开弧长(m)；

ρ ——钢板密度(t/m^3)，低碳钢、低合金钢及高强钢取 $7.85t/m^3$ ，不锈钢和耐热钢的钢板密度应符合《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878 中的规定；

g ——焊缝计算重量(t)，焊缝重量通常为母材重量的 $1.5\% \sim 3\%$ 。

注：1 公称厚度、公称长度、公称中径等通常为设计图样标定。

2 公式(10.2.7)不含加劲环、止推环和阻水环等钢管附件重量。

表 10.2.7 钢板厚度附加值(mm)

厚 度	宽 度			
	≤ 1500	$>1500 \sim 2500$	$>2500 \sim 4000$	$>4000 \sim 4800$
	计算重量的厚度附加值			
3.00~5.00	0.15	0.25	0.35	—
$>5.00 \sim 8.00$	0.20	0.30	0.45	—
$>5.00 \sim 15.00$	0.25	0.35	0.50	0.60
$>15.00 \sim 25.00$	0.35	0.45	0.60	0.80
$>25.00 \sim 40.00$	0.40	0.50	0.70	0.90
$>40.00 \sim 60.00$	0.50	0.60	0.80	1.00
$>60.00 \sim 100$	0.60	0.75	1.00	1.20
$>100 \sim 150$	0.90	1.10	1.30	1.50
$>150 \sim 200$	1.10	1.30	1.50	1.60
$>200 \sim 250$	1.30	1.50	1.70	1.90
$>250 \sim 300$	1.50	1.70	1.90	2.10
$>300 \sim 400$	1.70	1.90	2.10	2.30

注：表中是B类偏差钢板的厚度附加值，为本规范表2.0.6-1中允许偏差的上偏差与下偏差之和的平均值。当为C类偏差钢板时，则按现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709规定的允许偏差的上偏差与下偏差之和的平均值即为C类偏差钢板的厚度附加值。

10.2.8 制作与安装的质量合格标准应符合设计图样和本规范的规定。

10.2.9 参建各方应按本规范第 10.2.6 条规定提供资料后,签署验收文件完成验收。

附录 A 钢板性能标准和表面质量标准

A.1 钢板性能

A.1.1 低碳钢和低合金钢的性能应符合表 A.1.1-1~表 A.1.1-4 的规定。

表 A.1.1-1 低碳钢的化学成分

牌号	等级	化学成分(%)					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.050	0.045	F、Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		0.045	0.045	F、Z
	C	≤0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17	0.35~0.80		0.035	0.035	TZ

注:1 牌号表示方法:钢的牌号由代表屈服强度的字母、屈服强度数值、质量等级的符号和脱氧方法的符号等四个部分按顺序组成,如 Q235A、F。

2 符号:Q—钢材屈服强度的“屈”字汉语拼音的首位字母。A、B、C、D 分别为质量等级的符号。F—沸腾钢。Z—镇静钢。TZ—特殊镇静钢。

3 在牌号组成表示方法中,“Z”与“TZ”代号予以省略。

A.1.2 压力容器用低碳钢和低合金钢厚钢板的化学成分和力学性能应符合表 A.1.2-1、表 A.1.2-2 的规定。

A.1.3 抗拉强度(R_m)大于或等于 $610\text{N}/\text{mm}^2$ 级高强度钢板性能应符合下列规定:

1 钢板的化学成分应符合表 A.1.3-1 和表 A.1.3-2 的规定。

2 钢板可根据需方要求,逐张进行力学性能和冷弯性能试验,其结果应符合表 A.1.3-3 和表 A.1.3-4 的规定。

3 钢板的其他技术要求应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709、《锅炉和压力容器用钢板》GB 713、《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270 和《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189 的有关规定执行。

A. 1. 4 不锈钢和不锈钢复合钢板性能应符合表 A. 1. 4-1～表 A. 1. 4-6 的规定。

表 A. 1. 1-2 低碳钢的力学性能

牌号	拉伸试验				冲击试验		冷弯试验 $B=2a, 180^\circ$								
	屈服强度 R_{eL} (N/mm ²)		抗拉强度		伸长率 A (%)		V形冲击吸收能量								
	钢板厚度 (mm)		钢板厚度 (mm)		钢板厚度 (mm)		吸收能量 KV_2 (J)								
	≤ 16	$> 16 \sim 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$	≤ 16	$> 16 \sim 40$	$> 40 \sim 60$	$> 60 \sim 100$							
	不小于				不小于		不小于								
A								弯心直径 d							
B	235	225	215	205	375~460	26	25	24	23	20	27	纵	a	$2a$	$2.5a$
C										0		横	$1.5a$	$2.5a$	$3a$
D										-20					

注: 1 冷弯试验中 B 为宽度, a 为板厚。

2 进行拉伸和弯曲试验等, 钢板应取横向试样。

3 夏比冲击吸收能量按一组三个试样单值的算术平均值计算。允许其中一个试样单值低于规定值, 但不得低于规定值的 70%。

4 钢材一般以热轧状态交货, 根据需方要求, 经双方协议, 也可用控轧控冷 (TMCP)、正火状态或调质态交货 (A 级钢除外)。

5 其他技术要求应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定。

表 A. 1. 1-3 低合金钢的化学成分

序号	牌号	化学成分(%)						
		C	Mn	Si	V	Ti	S	P
							不大于	
1	Q295B	≤0.16	0.80~1.50	≤0.55	0.02~0.15	0.02~0.20	0.045	0.045
2	Q345B	0.12~0.20	1.00~1.60	0.20~0.55	0.02~0.15	0.02~0.20	0.045	0.045
	Q345C							
	Q345D							
	Q345E							
3	Q390B	≤0.20	1.00~1.60	≤0.55	0.02~0.20	0.02~0.20	0.045	0.045
	Q390C							
	Q390D							
	Q390E							
4	Q420B	≤0.20	1.00~1.70	≤0.55	0.02~0.20	0.02~0.20	0.045	0.045
	Q420C							
	Q420D							
	Q420E							
5	Q460C	≤0.20	1.00~1.70	≤0.55	0.02~0.20	0.02~0.20	0.035	0.035
	Q460D							
	Q460E							

表 A. 1. 1-4 低合金钢的力学性能

序号	牌号	钢材板厚或直径(mm)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	屈服强度 $R_{eL}(R_{p0.2})$ (N/mm ²)	伸长率 A (%)	180°弯曲 试验; d为弯 心直径, a为试样 厚度	冲击试验	
							温度 (°C)	V形冲击 吸收能量 KV ₂ (J)
				不小于				不小于
1	Q295B	≤16	390~570	295	23	d=2a	20	34
		>16~25	390~570	275	23	d=3a		
		>25~36	390~570	275	23	d=3a		
		>36~50	390~570	255	23	d=3a		
		>50~100	390~570	235	23	d=3a		

续表 A. 1. 1-4

序号	牌号	钢材板厚或直径(mm)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	屈服强度	伸长率	180°弯曲 试验; d 为弯 心直径, a 为试样 厚度	冲击试验	
				$R_{eL}(R_{p0.2})$ (N/mm ²)	A (%)		温度 (°C)	V形冲击 吸收能量 KV ₂ (J)
				不小于		不小于		
2	Q345B	≤16	510~660	345	22	$d=2a$	20	34
	Q345C	>16~25	490~640	325	21	$d=3a$	0	34
	Q345D	>25~36	470~620	315	21	$d=3a$	-20	34
	Q345E	>36~50	470~620	295	21	$d=3a$	-40	27
		>50~100	470~620	275	20	$d=3a$		
3	Q390B	≤16	490~650	390	20	$d=2a$	20	34
	Q390C	>16~25	490~650	370	20	$d=3a$	0	34
	Q390D	>25~36	490~650	370	20	$d=3a$	-20	34
	Q390E	>36~50	490~650	350	20	$d=3a$	-40	27
		>50~100	490~650	330	20	$d=3a$		
4	Q420B	≤16	520~680	420	19	$d=2a$	20	34
	Q420C	>16~25	520~680	400	19	$d=3a$	0	34
	Q420D	>25~36	520~680	400	19	$d=3a$	-20	34
	Q420E	>36~50	520~680	380	19	$d=3a$	-40	27
		>50~100	520~680	360	19	$d=3a$		
5	Q460C	≤16	550~720	460	17	$d=2a$	0	34
	Q460D	>16~25	550~720	440	17	$d=3a$	-20	34
	Q460E	>25~36	550~720	440	17	$d=3a$	-40	27
		>36~50	550~720	420	17	$d=3a$		
		>50~100	550~720	400	17	$d=3a$		

注:1 根据需方要求,并在合同中注明,钢材应进行20℃夏比冲击试验,冲击吸收能量应符合表的规定。

- 2 根据需方要求,并经双方协议,钢材可进行0℃、-20℃、-40℃夏比冲击试验,横向试样冲击吸收能量应符合表中规定。当进行-20℃或-40℃冲击试验时钢中硫、磷含量各不大于0.035%,并应为细晶粒钢。
- 3 夏比冲击试验,按一组三个试样算术平均值计算。允许其中一个试样单值低于规定值,但不得低于规定值的70%。
- 4 进行拉伸和冷弯试验时,钢板应取横向试样。
- 5 钢材一般以热轧状态交货。根据需方要求,经供需双方协议,也可按控轧控冷(TMCP)、正火、正火+回火或调质状态交货。
- 6 其他技术要求应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的有关规定。

表 A. 1. 2-1 压力容器用低碳钢和合金钢的化学成分

序号	牌号	化学成分(%)											
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	其他	P	S		
		≤0.20	≤0.35	0.50~1.00	—	—	—	—	Alt≥0.020	0.025	≤		
1	Q245R	≤0.20	≤0.35	0.50~1.00	—	—	—	—	—	—	Alt≥0.020	0.025	0.035
2	Q345R	≤0.20	≤0.55	1.20~1.60	—	—	—	—	—	—	Alt≥0.020	0.025	0.015
3	Q370R	≤0.18	≤0.55	1.20~1.60	—	—	—	—	—	0.015~0.050	—	0.025	0.015
4	18MnMoNbR	≤0.22	0.15~0.50	1.20~1.60	—	—	—	—	—	0.45~0.65	—	0.020	0.015
5	13MnNiMoR	≤0.15	0.15~0.50	1.20~1.60	0.20~0.40	0.60~1.00	0.20~0.40	0.005~0.020	—	0.20~0.40	—	0.020	0.010
6	15CrMoR	0.12~0.18	0.15~0.40	0.40~0.70	0.80~1.20	—	—	—	—	0.45~0.60	—	0.025	0.010
7	14Cr1MoR	0.05~0.17	0.50~0.80	0.40~0.65	1.15~1.50	—	—	—	—	0.45~0.65	—	0.020	0.010
8	12Cr2Mo1R	0.05~0.15	≤0.50	0.30~0.60	2.00~2.50	—	—	—	—	0.90~1.10	—	0.020	0.010
9	12Cr1MoVR	0.08~0.15	0.15~0.40	0.40~0.70	0.90~1.20	—	—	—	—	0.25~0.35	V0.15~0.30	0.025	0.010

注:1 如果钢中加入 Nb、Ti、V 等微量元素, Al 含量的下限不适用。

2 经供需双方协议,并在合同中注明 C 含量下限可不作要求。

3 厚度大于 60mm 的钢板, Mn 含量上限可至 1.20%。

4 其他技术要求应符合现行国家标准《锅炉和压力容器用钢板》GB 713 的有关规定。

表 A. 1. 2-2 压力容器用低碳钢和合金钢的力学性能

序号	牌号	交货状态	钢材板厚 或直径 (mm)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	屈服强度 R_{eL} ($R_{p0.2}$) (N/mm ²)		伸长率 A (%)	温度 (°C)	V形冲击 吸收能量 KV_2 (横向) (J)		冷弯试验 $B=2a$ 180°
					不小于				不小于		
1	Q245R		3~16	400~520	245	25	0	$d=1.5a$	31		
			>16~36		235						
			>36~60		225						
			>60~100		205						
			>100~150		185						
2	Q345R	热轧、 控轧 或正火	3~16	390~510	345	24	0	$d=2a$	34		
			>16~36		325						
			>36~60		315						
			>60~100		305						
			>100~150		285						
3	Q370R	正火	10~16	530~630	370	20	-20	$d=2a$	34		$d=3a$
			>16~36		360						
			>36~60		340						

4	18MnMoNbR	正火 加回火	30~60	570~720	400	17	0	41	d=3a
			>60~100		390				
5	13MnNiMoNbR	正火 加回火	30~100	570~720	390	18	0	41	d=3a
			>100~150		380				
6	15Cr1MoR	正火 加回火	6~60	450~590	295	19	20	31	d=3a
			>60~100		275				
			>100~150		255				
7	14Cr1MoR		6~100	520~680	310	19	20	34	d=3a
			>100~150		300				
8	12Cr2Mo1R		6~100	520~680	310	19	20	34	d=3a
			>100~150		300				
9	12Cr1MoVR		6~60	440~590	245	19	20	34	d=3a
			>60~100		235				

注:1 根据需方要求,经供需双方协议,Q245R、Q345R和13MnNiMoNbR可进行-20℃的V形冲击试验,其冲击吸收能量不大于表中规定。

2 常温夏比V形冲击吸收能量,按三个试样的算术平均值计算,允许其中一个试样比规定值低,但不得低于规定值的70%。

3 钢板尺寸应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709的有关规定。

4 根据需方要求,钢板可进行超声波检测。超声波检测方法和保证级别由供需双方协商,并在合同中注明。

5 根据需方要求,厚度大于16mm的钢板可逐张检测。

表 A.1.3-1 抗拉强度 (R_m) 大于或等于 610N/mm² 级容器用高强度化学成分

序号	牌号	化学成分 (%)											
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	其他		
1	B610CF												
	ADB610D												
	SG610CFD												
	WDB620												
	CF62												
	WDL610D	≤0.09	0.15~0.40	1.00~1.60	≤0.025	≤0.010	≤0.30	≤0.40	≤0.30	0.02~0.08	B≤0.003		
	WDL610D2												
	WSD610C												
	WSD610D												
	07MnCrMoVR												
2	B610CFHQL2												
	B610CFHQL4												
	SG610CFE1												
	SG610CFE2	≤0.09	0.15~0.40	1.00~1.60	≤0.025	≤0.010	≤0.30	≤0.50	≤0.30	0.02~0.08	B≤0.003		
	WDL610E												
	WSD610E												
07MnCrNiMoVDR													

表 A. 1. 3-2 抗拉强度 (R_m) 大于或等于 610N/mm² 级容器用高强钢力学性能

序号	牌号	交货状态	取样方向及部位	拉伸试验			冲击试验		冷弯试验 180°	
				R_m (N/mm ²)	R_{eL} ($R_{p0.2}$) (N/mm ²)	A (%)	试验温度 (°C)	V形冲击吸收能量 KV ₂ (J)		
								平均值		单个值
1	B610CF			610~730	≥490	≥17	0	≥47	—	$d=3a$
	ADB610D							≥47		
	SG610CFD							≥47		
	WDB620							≥47		
	CF62							≥47		
	WDL610D							≥47		
WDL610D2	≥47									
WSD610C	≥47									
WSD610D	≥47									
07MnCrMoVR	≥47									

2	B610CFHQ2 B610CFHQ4 SG610CFE1 SG610CFE2 WDL610E WSD610E 07MnNiCrMoVDR	TMCP+ 回火或 调质	横向, 1/4 厚度处	610~730	≥ 490	≥ 17	-20	≥ 47	—	$d = 3a$
							-40	≥ 47		
3	CF80 B780CF SG780CFD WSD790C WSD790D			785~930	≥ 685	≥ 15	0	≥ 31	—	$d = 3a$
							-20	≥ 33		
							-40	≥ 33		
4	SG960CFD B960CF WSD1000C WSD1000D WSD1000E			930~1130	≥ 790	≥ 12	—	—	—	—
							—	—		
							—	—		
							—	—		

表 A.1.3-3 部分焊接容器用高强度化学成分

序号	牌号	化学成分(%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	其他
1	14MnMoVN	0.14	0.30	1.41	0.012	0.025	—	—	0.47	0.13	N0.015
2	14MnMoNBB	0.12~0.18	0.15~0.35	1.30~1.80	≤0.030	≤0.030	—	—	0.45~0.70	—	Nb~0.04 B~0.001
3	15MnMoVNRE	≤0.18	≤0.60	≤1.70	≤0.035	≤0.030	—	—	0.35~0.60	0.03~0.08	RE0.10~0.20
4	HQ60	0.09~0.16	0.20~0.60	0.90~1.50	≤0.030	≤0.025	≤0.30	0.30~0.60	0.08~0.20	0.03~0.08	—
5	HQ70	0.09~0.16	0.15~0.40	0.60~1.20	≤0.030	≤0.030	0.30~0.60	0.30~1.00	0.20~0.40	V+Ni≤0.10	B0.0005~0.0030
6	HQ80C	0.10~0.16	0.15~0.35	0.60~1.20	≤0.025	≤0.015	0.60~1.20	C≤0.15~0.50	0.20~0.40	0.03~0.08	B0.0005~0.0050
7	HQ100	0.10~0.18	0.15~0.35	0.80~1.40	≤0.030	≤0.030	0.40~0.80	0.70~1.50	0.30~0.60	0.03~0.08	—
8	HQ130	0.18	0.29	1.21	0.025	0.006	0.61	0.03	0.28	—	B0.0012
9	12Ni3CrMoV	0.105	0.27	0.45	0.010	0.005	1.04	2.78	0.21	0.08	—
10	10Ni5CrMoV	0.10	0.20	0.50	0.010	0.005	0.50	4.50	0.50	0.07	—

注:1 使用温度低于-20℃的钢板,含Ni量下限为0.20%。

2 冷裂敏感指数 $P_{em} = C + Si/30 + Mn/20 + Cr/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$ (%)。

表 A. 1. 3-4 部分焊接容器用高强度力学性能

序号	牌号	交货状态	拉伸试验			冲击试验		
			R_m (N/mm ²)	$R_{eL}(R_{p0.2})$ (N/mm ²)	A (%)	试验温度 (°C)	V形冲击吸收能量 KV ₂ (J)	
1	14MnMoVN	控轧 (TMCP) +回火 或调质	≥690	≥590	≥15	-40	≥27	
2	14MnMoNbB		≥755	≥686	≥14	-40	≥31	
3	15MnMoVNRE		—	≥666	—	-40	≥27	
4	HQ60		—	≥590	≥450	≥16	-10	≥47
							-40	≥29
5	HQ70		—	≥680	≥590	≥17	-10	≥39
							-40	≥29
6	HQ80C		—	≥785	≥685	≥16	-10	≥47
							-40	≥29
7	HQ100		—	≥950	≥880	≥10	-25	≥27
8	HQ130	—	1370	1313	10	20	≥64	
9	12Ni3CrMoV	—	745~870	688~799	≥17	-25	≥41	
						-84	≥16	
10	10Ni5CrMoV	—	925~945	825~840	≥21	-20	195~240	

注:1 HQ60、HQ70、HQ80C的热处理条件是:920℃淬火+680℃回火。

2 HQ100、HQ130的热处理条件分别是:920℃淬火+620℃回火(回火索氏体)、920℃淬火+250℃回火(回火板条马氏体)。

3 高强度高韧性钢 12Ni3CrMoV的热处理制度可任选:910℃正火、910℃正火+660℃回火、910℃水淬+660℃回火、910℃水淬+690℃回火。

4 在弯芯直径 $D=3a$ (a 为钢板厚度)时,均要求冷弯 180°后试样完好。

表 A. 1. 4-1 不锈钢的化学成分

牌 号	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	其他元素		
06Cr19Ni10(S30408)	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00~10.50	18.00~20.00	N≤0.10		
022Cr19Ni10(S30403)	≤0.03	≤0.75	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00~12.00	18.00~20.00	N≤0.10		
06Cr17Ni12Mo2(S31608)	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.045	≤0.030	10.00~14.00	16.00~18.00	Mo 2.00~3.00; N ≤0.10		
022Cr17Ni12Mo2(S31603)	≤0.03	≤0.75	≤2.00	≤0.045	≤0.030	10.00~14.00	16.00~18.00	Mo 2.00~3.00; N ≥0.10		
022Cr22Ni5Mo3N(S22253)	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.020	4.50~6.50	21.00~23.00	Mo 2.50~3.50; N 0.08~0.20		
06Cr13Al(S11348)	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.60	11.50~14.50	Al 0.10~0.30		
06Cr13(S41008)	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.60	11.50~13.50	—		
12Cr13(S41010)	≤0.15	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.60	11.50~13.50	—		
20Cr13(S42020)	0.16~0.25	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.60	12.00~14.00	—		
04Cr13Ni5Mo(S41595)	≤0.05	≤0.60	0.50~1.00	≤0.030	≤0.030	3.50~5.50	11.50~14.00	Mo 0.50~1.00		

表 A. 1. 4-2 不锈钢的力学性能

牌 号	热处理 状态	厚度 (mm)	拉力试验			硬度试验		
			屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	伸长率 A(%)	HBW	HRB 或 HRC	HV
06Cr19Ni10(S30408)			≥205	≥515	≥40	≤201	HRB≤92	≤210
022Cr19Ni10(S30403)			≥170	≥485	≥40	≤201	HRB≤92	≤210
06Cr17Ni12Mo2(S31608)	经固熔 处理	1.5~80	≥205	≥515	≥40	≤217	HRB≤95	≤220
022Cr17Ni12Mo2(S31603)			≥170	≥485	≥40	≤217	HRB≤95	≤220
022Cr22Ni5Mo3N(S22253)			≥450	≥680	≥25	≤293	HRC≤31	≤260
06Cr13Al(S11348)		1.5~25	≥170	≥415	≥20	≤179	HRB≤88	≤200
06Cr13(S41008)	经退火 处理	—	≥205	≥415	≥20	≤183	HRB≤89	≤200
12Cr13(S41010)		—	≥205	≥450	≥20	≤217	HRB≤96	≤210
20Cr13(S42020)		—	≥225	≥520	≥18	≤223	HRB≤97	≤234
04Cr13Ni5Mo(S41595)		—	≥620	≥795	≥15	≤302	HRC≤32	—

表 A. 1. 4-3 不锈钢复合钢板覆层、基层材料标准

覆层材料		基层材料	
执行 相应标准	《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878、《承压设备用不锈钢板及钢带》GB/T 24511	执行 相应标准	《碳素结构钢》GB/T 700、《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709、《锅炉和压力容器用钢板》GB 713、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带》GB/T 3274、《低温压力容器用低合金钢板》GB 3531
典型钢号	06Cr19Ni10(S30408) 022Cr19Ni10(S30403) 06Cr17Ni12Mo2(S31608) 022Cr17Ni12Mo2(S31603) 022Cr22Ni5Mo3N(S22253) 06Cr13Al(S11348) 06Cr13(S41008) 04Cr13Ni5Mo(S41595)*	典型钢号	Q235B(Q235C、Q235D) Q345B(Q345C、Q345D) Q390B(Q390C、Q390D) Q245R Q345R Q370R 14Cr1MoR 12Cr2Mo1R 15CrMoR 16MnDR 15MnNiDR

注：* 不得用于水中氯离子含量大于 25mg/L 的水质。

表 A. 1. 4-4 不锈钢复合钢板面积结合率

界面结合级别	类别	结合率(%)	未复合状态
I 级	B I BR I R I	100	不允许有未结合区存在
II 级	B II BR II R II	≥99	单个未结合区长度不大于 50mm, 面积不大于 2000mm ²

续表 A. 1. 4-4

界面结合级别	类别	结合率(%)	未复合状态
Ⅲ级	BⅢ	≥95	单个未结合区长度不大于75mm, 面积不大于4500mm ²
	BRⅢ		
	RⅢ		

注:1 不锈钢复合钢板的结合率达不到表中规定, 允许对复合缺欠的覆层进行熔焊修补, 这种修补应满足以下注2要求。

2 按未结合面积与总面积的比率, 以及单个未结合面积的大小和个数将复合钢板分为I级、II级和Ⅲ级, I级复合钢板适用于不允许有未结合区存在的、加工时要求严格的结构件, II级复合钢板适用于可允许有少量未结合区存在的结构件。Ⅲ级复合钢板适用于覆层材料只作为抗腐蚀层来使用的一般结构件。

3 代号B为爆炸法、R为轧制法、BR为爆炸和轧制。

4 其他应符合现行国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165的有关规定。

表 A. 1. 4-5 不锈钢复合钢板力学性能

性能级别	界面抗剪切强度 J_b (N/mm ²)	屈服强度 R_{eL} (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	伸长率 A (%)	冲击吸收能量 KV ₂ (J)
I级	≥210	不应小于基层钢板标准值	不应小于基层钢板标准下限值, 且不应大于上限值加35N/mm	不应小于基层钢板标准值	应符合基层钢板的规定
II级					
Ⅲ级	≥200				

注:1 不锈钢复合钢板的屈服强度下限值亦可按下列公式计算:

$$R_{eL} = \frac{t_1 R_{eL1} + t_2 R_{eL2}}{t_1 + t_2} \quad (\text{A. 1. 4-1})$$

式中: R_{eL1} ——覆层钢板的屈服强度下限值(N/mm²);

R_{eL2} ——基层钢板的屈服强度下限值(N/mm²);

t_1 ——覆层钢板的厚度(mm);

t_2 ——基层钢板的厚度(mm)。

2 不锈钢复合钢板的抗拉强度下限值亦可按下列公式计算:

$$R_m = \frac{t_1 R_{m1} + t_2 R_{m2}}{t_1 + t_2} \quad (\text{A. 1. 4-2})$$

式中: R_{m1} ——覆层钢板的抗拉强度下限值(N/mm²);

R_{m2} ——基层钢板的抗拉强度下限(N/mm²);

t_1 ——覆层钢板的厚度(mm);

t_2 ——基层钢板的厚度(mm)。

3 当覆层伸长率标准值小于基层标准值、复合钢板伸长率小于基层, 但不小于覆层标准值时, 允许割去覆层仅对基层进行拉伸试验, 其伸长率不应小于基层标准值。

4 不锈钢复合钢板的覆层不做冲击吸收能量试验。

表 A. 1. 4-6 不锈钢复合钢板弯曲性能

厚度 (mm)	试样宽度 (mm)	弯曲角度 (°)	弯芯直径 d		试验结果	
			内弯	外弯	内弯	外弯
≤ 25	$b=2a$	180	$a < 20\text{mm}$ 时, $d=2a$; $a \geq 20\text{mm}$ 时, $d=3a$		在弯曲部分的外侧不得产生裂纹。复合界面不允许分层	
> 25	$b=2a$	180	加工基层厚度至 25mm 时,弯芯直径按基层钢板标准确定			

注: a 为复合钢板厚度。

A. 2 钢板表面质量

A. 2. 1 钢板表面质量应符合下列规定:

1 钢板表面不得有气泡、结疤、拉裂、裂纹、折叠、夹杂和压入的氧化铁皮。钢板不得有分层。

2 钢板表面允许有不妨碍检测表面缺欠的薄层氧化铁皮、铁锈,由于压入氧化铁皮脱落所引起的不显著的粗糙、划痕,轧辊造成的网纹及其他局部缺欠,但凹凸度不得大于钢板厚度公差之半,且保证不应大于允许的最小厚度。

3 钢板表面的缺欠不允许焊补和堵塞,应用凿子或砂轮清理。清理处应平缓无棱角,清理深度不得大于钢板厚度负偏差的范围,并保证不应大于钢板允许的最小厚度。

4 切边钢板的边缘不得有锯齿形凹凸,但允许有深度不大于 2mm、长度不大于 25mm 的个别发纹。不切边钢板,因轧制而产生的边缘裂口及其他缺欠,其横向深度不得大于钢板宽度偏差之半,并且不得使钢板局部宽度小于公称宽度。

5 钢板表面质量其他规定应符合现行国家标准《热轧钢板表面质量的一般要求》GB/T 14977 的有关规定。

附录 B 线膨胀量计算和大气露点换算表

B. 0. 1 受环境温度影响的钢管伸缩量按下式计算：

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_0 \quad (\text{B. 0. 1})$$

式中： ΔL ——受环境温度影响的钢管伸缩量；

α ——钢管线膨胀系数，取 $1.2 \times 10^{-5} [1/(m \cdot ^\circ\text{C})]$ ；

Δt ——钢管环境温差 ($^\circ\text{C}$)，安装时的气温减去所处环境的多年平均水温；

L_0 ——多年平均水温下的钢管长度 (m)，可以用设计图样长度近似代替。

B. 0. 2 钢管管壁温度按下式计算：

$$T = 4 + \frac{27}{19} t \quad (\text{B. 0. 2})$$

式中： T ——钢管放空时受日光照射时的管壁温度 ($^\circ\text{C}$)；

t ——空气温度，简称气温 ($^\circ\text{C}$)。

B. 0. 3 相对湿度按下式计算：

$$RH = \frac{M_a}{M_g} \times 100\% \quad (\text{B. 0. 3})$$

式中： RH ——相对湿度；

M_a ——空气中水的含量 (%)；

M_g ——该空气可含水的最大容量 (%)。

注：1 湿度就是指空气中湿气的含量，物理定义：空气湿度是用来表示空气中的水汽含量多少或空气潮湿程度的物理量。

2 相对湿度是指实际空气的湿度与在同一温度下达到饱和状况时的湿度之比 (%)。

B. 0. 4 在不同空气温度 t 和相对湿度 RH 下的露点 t_d 可按下式计算：

$$t_d = 234.175 \times \frac{(234.175 + t)(\ln 0.01 + \ln RH) + 17.08085t}{234.175 \times 17.08085 - (234.175 + t)(\ln 0.01 + \ln RH)}$$

(B. 0. 4)

B. 0. 5 大气露点换算表应符合表 B. 0. 5 的规定。

表 B. 0. 5 大气露点换算表

相对湿度 RH (%)	大气温度(°C)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	大气露点(°C)									
95	-0.7	4.3	9.2	14.2	19.2	24.1	29.1	34.1	39.0	44.0
90	-1.4	3.5	8.4	13.4	18.3	23.2	28.2	33.1	38.0	43.0
85	-2.2	2.7	7.6	12.5	17.4	22.3	27.2	32.1	37.0	41.9
80	-3.0	1.9	6.7	11.6	16.4	21.3	26.2	31.0	35.9	40.7
75	-3.9	1.0	5.8	10.6	15.4	20.3	25.1	29.9	34.7	39.5
70	-4.8	0.0	4.8	9.6	14.4	19.1	23.9	28.7	33.5	38.2
65	-5.8	-1.0	3.7	8.5	13.2	18.0	22.7	27.4	32.1	36.9
60	-6.8	-2.1	2.6	7.3	12.0	16.7	21.4	26.1	30.7	35.4
55	-7.9	-3.3	1.4	6.1	10.7	15.3	20.0	24.6	29.2	33.8
50	-9.1	-4.5	0.1	4.7	9.3	13.9	18.4	23.0	27.6	32.1
45	-10.5	-5.9	-1.3	3.2	7.7	12.3	16.8	21.3	25.8	30.3
40	-11.9	-7.4	-2.9	1.5	6.0	10.5	14.9	19.4	23.8	28.2
35	-13.6	-9.1	-4.7	-0.3	4.1	8.5	12.9	17.2	21.6	25.9

附录 C 钢管焊接材料选用

C.0.1 钢管焊接材料的选用应符合表 C.0.1-1、表 C.0.1-2 的规定。

表 C.0.1-1 钢管焊接材料的选用方法之一

序号	钢种	焊条电弧焊			埋弧焊				
		牌号	焊条牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	焊丝/焊剂组合 牌号示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	
1	低 碳 钢	Q235	CHE422R	E4303		CHW - Si/CHF431	F4A2 - H08A	F6A0 - EL12	
		Q245R	J422	E4316	E6016	CHW - Si/CHF301			
			CHE426R						
			TL - 46		E6015				
			J426	E4315					
			CHE427R						
			TL - 427						
			J427						
			Q295	CHE506R	E5016	E7016	CHW - Si/CHF431	F4A2 - H08A	F6A0 - EL12
			Q345	CHE507R	E5015	E7015	CHW - S4/CHF431	F4A4 - H08MnA	F6A0 - EL12
	Q345R	J507			CHW - S2/CHF103	F5A2 - H08MnA	F6A4 - EM12		
	X42	TL - 507			CHW - S2/CHF302		F7A0 - EM12		
	X46	CHE507RH	E5015 - G	E7015 - G	CHW - S3/CHF101	F5A2 - H10Mn2	F7A2 - EM12K		
	L360	CHE507N1H			TSW - 12KM×TF - 565		F7A4 - EM12K		
	16MnDR	R			CHW - S12/CHF101		F7A0 - EN12K		

低合金钢	15MnNiDR	TL - 507Ni J507RH J507R			CHW - S12/CHF301	F7A0 - EM13K F7A0 - EH14
	Q370R	CHE506R	E5016	E7016	CHW - S3/CHF101	F5A2 - H10Mn2
	Q390	CHE507R	E5015	E7015	TSW - 50G×TF - 565	
	X52	CHE507RH	E5015 - G	E7015 - G	CHW - S3/CHF331	F5A2 - H10Mn2G
	X60	CHE556H	E5516 - G	E8016 - G	CHW - S4/CHF303	
	X65	J556RH			CHW - S9/CHF101	F8A4 - EG - G
	15MnNiNbDR	CHE557R	E5515 - G	E8015 - G	CHW - S9/CHF105	F7A2 - EH14
	Q420	J557 TL - 65Z				F5A2 - H10MnSi CHW - S9 焊丝: H08MnMoA
		CHE507GX	E5015	E7015		F55A3 - EA4 - A2
		CHE555GX	E5510 - G	E8010 - P1	CHW - SG/CHF101GX	CHW - S9 焊丝: Ea2
		CHE557GX	E5515 - G	E8015 - G		

续表 C.0.1-1

序号	钢种	牌号	焊条电弧焊			埋弧焊		
			焊条牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	焊丝/焊剂组合 牌号示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号
		B610CF	CHE662CFLHR	E6015 - G	E9015 - G	CHW - S7/CHF101	F62P2 - H08Mn2MoA	F62P2 - EA3 - A3
		ADB610D	J607RH	E6016 - G	E9016 - G	CHW - S9/CHF101	F55P2 - H08Mn2MoA	F55P2 - EA4 - A4
		SG610CFD	CHE607RH			CHW - S9/CHF105	F55A3 - H08Mn2MoA	F55A3 - EA4 - A2
		WDB620	CHE607NiR			TSW - 60G×TF - 600		
		CF62	TL - 80			TSW - 60G×TF - 585		
		WDL610D	J606RH					
		WDL610D2						
		WSD610C						
		WSD610D						
		07MnCrMoVR						
		B610CFHQL2						
		B610CFHQL4						
		SG610CFE1						
		SG610CFE2						
		WDL610E						
		WSD610E						
		07MnNiCrMoVDR						

高强度钢

Q460									
Q500									
Q550									
HQ60									
X70									
X80									
18MnMoNbR									
14MnMoV									
B800CF	CHE557MoV	E6015 - G	E9. 15 - G	CHW - S7/CHF113	F62P4 - H08Mn2MoA	F62P4 - EA3 - A3			
SG800CFD	CHE707	E7015 - D2	E10015 - D2	CHW - S7/CHF115	F69P2 - H08Mn2MoA	F69P2 - EA3 - A3			
Q620	J707	E7015 - G	E10015 - G	CHW - S10/CHF102	CHW - S10 焊丝;	CHW - S10 焊丝;E13			
HQ70	CHE707Ni	E7515 - G	E11015 - G	CHW - S10/CHF104	H10Mn2NiMoA	CHW - S10 焊丝;E13			
HQ70R	CHE757	E7518 - G	E11018 - G	CHW - S10/CHF105	CHW - S10 焊丝;	CHW - S10 焊丝;E13			
14MnMoVN	CHE757Ni	E7518 - M	E11018 - M	CHW - S10/CHF102	H10Mn2NiMoA				
Q690	J757Ni	E7515 - G		CHW - S10/CHF104					
HQ80C	CHE758	E8015 - G		CHW - S10/CHF105					
DB685R	TL - 118M								
CF80	CHE80C								
WSD790C	CHE807								
	CHE807RH								
	J807								

续表 C. 0. 1-1

序号	钢种	焊条电弧焊			埋弧焊			
		牌号	焊条牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	焊丝/焊剂组合 牌号示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号
3	高 强 钢	WSD790D						
		WSD790E						
		14MnMoNbB						
		14CrMnMoVB						
		12Ni3CrMoV						
		10Ni5CrMoV						
		X100						
		X120						
		SG960CFD	CHE857	E8515 - G	E12015 - G			
		B960CF	CHE857Cr	E9015 - G				
		WSD1000C	CHE857CrNi	E10015 - G				
		WSD1000D	J857	E8518 - G	E12018 - G			
		WSD1000E	J857Cr					
		HQ100	J907Cr					
HQ130	J107							
30CrMo	J107Cr							
35CrMo	CHE858							

06Cr19Ni10	CHS102R	E308 - 16	E308 - 16
022Cr19Ni10	CHS107R	E308 - 15	E308 - 15
06Cr17Ni12Mo2	CHS132R	E347 - 16	E347 - 16
022Cr17Ni12Mo2	CHS137R	E347 - 15	E347 - 15
022Cr22Ni5Mo3N	CHS002R	E308L - 16	E308L - 16
	CHS202R	E316 - 16	E316 - 16
	CHS207R	E316 - 15	E316 - 15
	CHS212R	E318 - 16	E318 - 16
	CHS307	E309 - 15	E309 - 15
	CHS312	E309Mo - 16	E309Mo - 16
	CHS2209	E2209 - 16	E2209 - 16
	CHS232	E318V - 16	
	CHS237	E318V - 15	
06Cr13Al	CHK202	E410 - 16	E410 - 16
06Cr13	CHK207	E410 - 15	E410 - 15
12Cr13	CHS107	E308 - 15	E308 - 15
20Cr13	CHS207	E316 - 15	E316 - 15
04Cr13Ni5Mo	CHS312	E309Mo - 16	E309Mo - 16
10Cr17	CHK307	E430 - 15	E430 - 15
10Cr17Mo	CHS107	E308 - 15	E308 - 15
	CHS207	E316 - 15	E316 - 15

4
不
锈
钢

焊剂 CHF260 和 CHF601 均符合国标 F308 - H0Cr21Ni10、
CHW-2209 不锈钢焊丝

表 C.0.1-2 钢管焊接材料

序号	钢种	牌号	MAG/MIG 焊			CO ₂ 气体	
			焊丝牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	药芯(金属粉芯)	
						焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号
1	低碳钢	Q235	CHW-50C2	ER50-2	ER70S-2	TWE-611	E431T-G
		Q245R	CHW-50C3	ER50-3	ER70S-3	CHT711	E501T-1
			TM-54	ER50-4	ER70S-4	TWE-711	E500T-5
			JQ.MG50-4	ER50-6	ER70S-6	JQ.Y501-1	E501T-1L
			CHW-50C6	ER50-G	ER70S-G	JQ.Y507-1	E551T-Ni1
			TM-56			JQ.YJ507Ni-1	
				JQ.MG50-6		TWE-711Ni	
				CHW-50C8		JQ.YJ501Ni-1	
				TM-58			
				JQ.MG50-Ti			
2	低合金钢	Q295					
		Q345					
		Q345R					
		X42					
		X46					
		L360					
		16MnDR					
		15MnNiDR					
		Q370R					
		Q390					
		X52					
		X60					
X65							
15MnNiNbDR							
Q420							
3	高强度钢	B610CF	CHW-65A	ER55-G	ER80S-G	JQ.Y601-1	E551Ti-Ni1
		ADB610D	CHW-60C			JQ.YJ601Ni-1	E81T-K1
		SG610CFD	CHW-65C			TWE-911Ni2	E91T1-NI2
		WDB620	TM-60				
		CF62	JQ.MG55-B				

的选用方法之二

保护焊				自保护药芯(金属粉芯)焊丝		
焊丝	实心焊丝					
相当于 AWS 型号	焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号
E61T-G	CHW-50C2	ER50-2	ER70S-2	JC-28(仅用于加劲环焊接) TWE-707-0 JC-29 JC-29X JC-29Ni1	E501T-8	E71T-8
E71T-1	CHW-50C6	ER50-6	ER70S-6		E500T-7	E70T-7
E70T-5	TM-56	ER50-G	ER70S-G		E501T8-K6	E71T-K6
E71T-1J	JQ.MG50-6	ER55-G	ER80S-G		E501T8-Ni1	E71T8-Ni1
E71T-Ni1	CHW-50C8					
	TM-58 JQ.MG50-Ti CHW-65C JQ.MG55-B					
E81T1-Ni1				JC-29Ni1	E501T8-Ni1E	E71T8-Ni1
E81T-K1				JC-29Ni2	501T8-Ni2	E71T8-Ni2
E91T1-Ni2						

续表

序号	钢种	牌号	MAG/MIG 焊			CO ₂ 气体	
			焊丝牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	药芯(金属粉芯)	
						焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号
3	高 强 钢	WDL610D					
		WDL610D2					
		WSD610C					
		WSD610D					
		07MnCrMoVR					
		B610CFHQL2					
		B610CFHQL4					
		SG610CFE1					
		SG610CFE2					
		WDL610F					
		WSD610E					
		07MnNiCrMoVDR					
		Q460					
		Q500					
		Q550					
		HQ60					
		X70					
		X80					
		18MnMoNbR					
		14MnMoV					
Q620	CHW-70C	ER69-G	ER100S-G	JQ.Y707Ni-1			
HQ70							
HQ70R							
14MnMoVN							
Q690							
HQ80C							
DB685R							
CF80							
B780CF							

C. 0. 1-2

保护焊				自保护药芯(金属粉芯)焊丝		
焊丝	实心焊丝					
相当于 AWS 型号	焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号
E90T-5						

续表

序号	钢种	牌号	MAG/MIG 焊			CO ₂ 气体		
			焊丝牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	药芯(金属粉芯)		
						焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	
3	高强度钢	SG780CFD						
		WSD790C						
		WSD790D						
		WSD790E						
		14MnMoNbB						
		14CrMnMoVB						
		12Ni3CrMoV						
		10Ni5CrMoV						
		X100						
		X120						
4	不锈钢	06Cr19Ni10	CHM - 308	H06Cr21Ni10	ER308	TFW - 308L	E308LT1 - 1	
		022Cr19Ni10	CHM - 308	H022Cr21Ni10	ER308L	TFW - 309L	E309LT1 - 1	
		06Cr17Ni12Mo2	CHM - 309	H06Cr24Ni13	ER309	TFW - 309MoL	E309LMoT1-1	
		022Cr17Ni12Mo2	CHM - 309L	H06Cr19Ni12Mo2	ER309L	TFW - 316L	E316LT1 - 1	
		022Cr22Ni5Mo3N	CHM - 316	H022Cr19Ni12Mo2	ER316	TFW - 317L	E-317LT1-1	
			ERM - 316L	H022Cr20Ni14Mo3	ER316L	TFW - 347L	E-347LT1-1	
			CHM - 317	H06Cr20Ni10Nb	ER317			
			CHM - 347		ER347			
			MIG - 2209		ER2209			
			06Cr13A1					
			06Cr13					
			12Cr13	CHM - 410	H12Cr13	ER410		
			20Cr13					
			04Cr13Ni5Mo					
			10Cr17					
	10Cr17Mo	MIG - 430		ER430				

注: 马氏体型不锈钢、铁素体型不锈钢, 焊接时受加热条件所限, 不能预热焊接或不能进行焊接

C. 0. 1-2

保护焊				自保护药芯(金属粉芯)焊丝		
焊丝	实心焊丝					
相当于 AWS 型号	焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号	焊丝 牌号 示例	符合 GB 型号	相当于 AWS 型号
E308LT1 - 1 E309LT1 - 1 E309LMoT1 - 1 E316LT1 - 1 E - 317LT1 - 1 E - 347LT1 - 1						

后热处理时,亦可选用奥氏体型不锈钢焊接材料焊接。

C.0.2 不锈钢复合钢板焊条电弧焊时焊条的选用应符合表 C.0.2 的规定。

表 C.0.2 不锈钢复合钢板焊条电弧焊时焊条的选用

复合钢的组合示例	基层	过渡区	覆层
Q235(Q245R)+06Cr13Al	E4303 E4315		E410-16 E410-15
Q345(Q345R)+06Cr13Al Q390(Q370R)+06Cr13Al	E5015 E5515-G		
Q235(Q245R)+06Cr19Ni10 Q235(Q245R)+022Cr19Ni10	E4303 E4315	E309-16 E309-15	E347-15 E347-16
Q345(Q345R)+06Cr19Ni10 Q345(Q345R)+022Cr19Ni10 Q390(Q370R)+022Cr19Ni10	E5015 E5515-G		
Q235(Q245R)+06Cr17Ni12Mo2 Q235(Q245R)+022Cr17Ni12Mo2	E4315	E309Mo-16	E318-16
Q345(Q345R)+06Cr17Ni12Mo2 Q345(Q345R)+022Cr17Ni12Mo2	E5015 E5515-G		
Q345(Q345R)+022Cr22Ni5Mo3N Q390(Q370R)+022Cr22Ni5Mo3N	E5015 E5515-G	E2209-16	E2209-16

C.0.3 不锈钢复合钢板焊条电弧焊和埋弧焊时焊接材料的选用应符合表 C.0.3 的规定。

表 C. 0.3 不锈钢复合钢板焊条电弧焊和埋弧焊时焊接材料的选择

母材示例	焊条电弧焊		埋弧焊	
	牌号示例	符合 GB 型号	焊丝/焊剂组合牌号	符合 GB 型号
Q235 Q245R	CHE422R、CHE426R、 CHE427R J422、J426、J427 TL - 46、TL - 427	E4303, E4315	CHW - S1/CHF431 CHW - S1/CHF301	F4A2 - H08A
Q295 Q345 Q345R Q370R Q390 16MnDR 15MnNiDR 15MnNiNbDR	CHE506R、CHE507R、 CHE507RH、 CHE507NiLHR J507、J507RH、J507R TL - 507、TL - 507Ni CHE556H、CHE557R J556RH、J557 TL - 65Z	E5015 E5515 - G	CHW - S1/CHF431 CHW - S1/CHF301 CHW - S2/CHF103 CHW - S2/CHF301 TSW - 12KM×TF - 565 CHW - S12/CHF101 CHW - S12/CHF301	F4A2 - H08A F4A4 - H08MnA F5A2 - H08MnA
过渡层	CHS302、CHS307、 CHS312、CHS2209 A302、A307、A312	E309 - 1 E309 - 15 E309Mo - 16 E2209 - 16	H00Cr29Ni12TiAl/CHF601 H00Cr29Ni12TiAl/CHF260	F308 - H0Cr21Ni10

续表 C. 0. 3

母材示例	焊条电弧焊		埋弧焊	
	牌号示例	符合 GB 型号	焊丝/焊剂组合牌号	符合 GB 型号
06Cr19Ni10 022Cr19Ni10	CHS102、CHS107 A102、A107	E308 - 16 E308 - 15	H0Cr19Ni9Ti/(CHF601 或 CHF260) H00Cr21Ni10(CHF601 或 CHF260) H00Cr29Ni12TiAl/(CHF601 或 CHF260)	F308 - H0Cr21Ni10
	CHS132、CHS137 A132、A137	E347 - 16 E347 - 15		
	CHS202、CHS207 A202、A207	E316 - 16 E316 - 15		
06Cr13Al 06Cr13 12Cr13 覆层	CHK202	E410 - 16		
	CHK207	E410 - 15		
	CHK232	E410NiMo - 16		
06Cr17Ni12Mo2 022Cr17Ni12Mo2	CHS202、CHS207 A202、A207	E316 - 16 E316 - 15	H0Cr18Ni12Mo2Ti/(CHF601 或 CHF260) H0Cr18Ni12Mo3Ti/(CHF601 或 CHF260) H00Cr21Ni10/(CHF601 或 CHF260) H00Cr29Ni12TiAl/(CHF601 或 CHF260)	F308 - H0Cr21Ni10
	CHS212	E318 - 16		
	A212			
022Cr22Ni5Mo3N	CHS2209	E2209 - 16	CHW - 2209/CHF601	—

附录 D 焊接工艺评定力学性能试验

D.1 对接接头试件制备

D.1.1 板状对接接头试件尺寸应满足切取所需试件,试样切取部位应符合图 D.1.1 的规定。

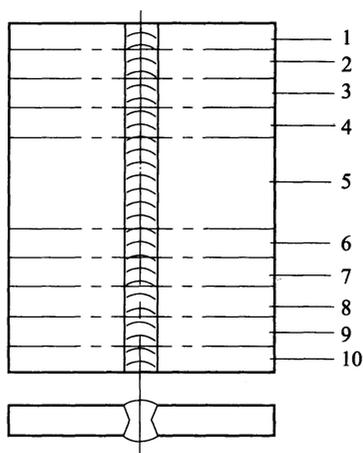


图 D.1.1 试验切取部位

- 1—舍弃试样;2—背弯或侧弯试样;3—拉伸试样;
4—面弯或侧弯试样;5—备用试样;6—背弯或侧弯试样;
7—拉伸试样;8—面弯或侧弯试样;
9—冲击试样;10—试件两端丢弃长度;手工焊每端 30mm,
自动焊每端 50mm(指未焊助焊板的试件)

D.1.2 试件焊完后应做外观检测、超声波检测或射线检测(RT),合格后再做力学性能试验。

D.1.3 焊接接头外观检测应符合本规范表 5.4.1 的有关规定。

D.1.4 试件的射线检测(RT)应符合现行国家标准《金属溶化焊接接头射线照相》GB/T 3323 的有关规定、射线照相的质量不应低于 B 级,焊接接头质量不低于 II 级。试件的超声波检测应符合国家现行标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345 的有关规定,检测等级为 B 级,焊接接头质量不低于 I 级。

D.1.5 硬度试样和试验应符合下列规定:

1 硬度检测应符合图 D.1.5 的规定位置进行检测。

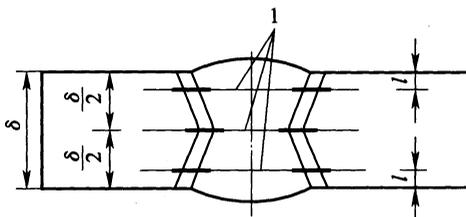


图 D.1.5 硬度检测位置

1—测定线

——细实线处两相邻压痕中心距:1.0mm;

——粗实线处两相邻压痕中心距:0.5mm

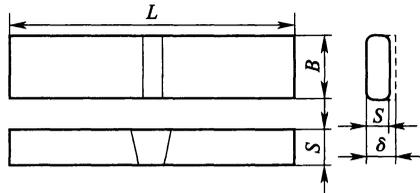
2 其他技术要求和有关试验方法,应符合现行国家标准《金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法》GB/T 231.1、《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654 和《金属材料 维氏硬度试验 第1部分:试验方法》GB/T 4340.1 的有关规定。

3 焊接接头的硬度应符合本规范第 5.3.20 条的规定。

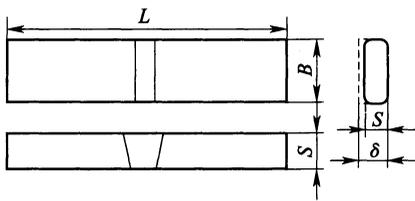
D.2 对接接头力学性能试样的形状和尺寸

D.2.1 拉伸试样应符合下列规定:

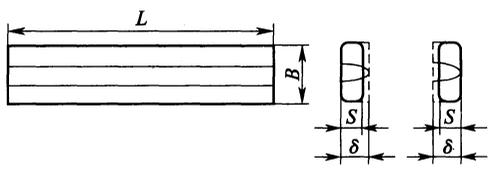
- 1 对接接头的试样可选用带肩板状试样。
- 2 带肩板状试样应符合图 D.2.1 的规定。



(a) 板材横向面弯试验



(b) 板材横向背弯试验



(c) 板材纵向面弯和背弯试验

图 D. 2. 2-1 板材纵、横向面弯及背弯试样

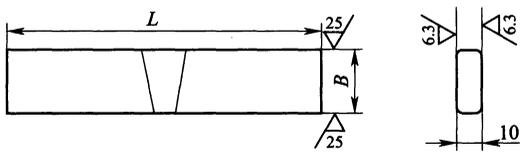


图 D. 2. 2-2 板材横向侧弯试样

2 纵、横向面弯、背弯试样长度应按下式计算：

$$L = D + 2.5S + 100 \quad (D. 2. 2-1)$$

式中： D ——弯心直径(mm)；

S ——试样厚度(mm)。

横向侧弯试样长度应按下式计算：

$$L = D + 105$$

(D. 2. 2-2)

式中: L 值应不小于 150mm。

3 纵、横向面弯、背弯试样宽度(B)为 38mm,侧弯试样厚度(S)为 10mm,横向侧弯试样宽度(B)此时为试件厚度(δ)方向。

4 试样拉伸面棱角(R)不应大于 2。

D. 2. 3 冲击试样应符合下列规定:

1 以 10mm×10mm×55mm 带有 V 形缺口的试样为标准试样,试样的尺寸及偏差应符合图 D. 2. 3-1 的规定,试样缺口底部应光滑,不得有与轴线平行的明显划痕。

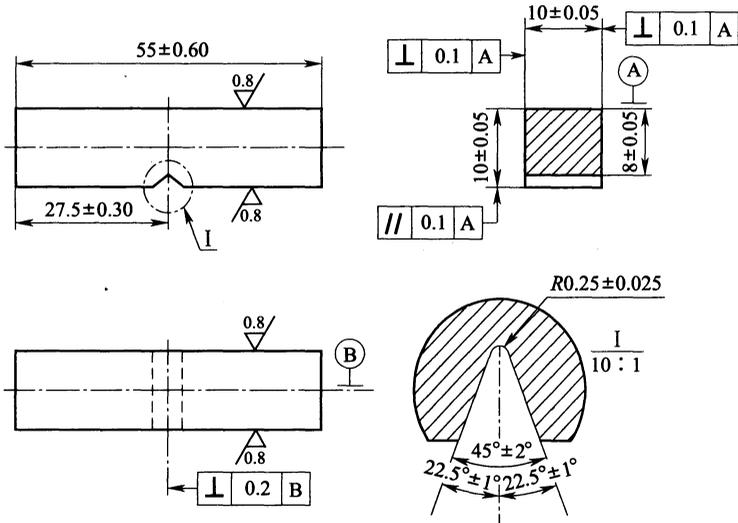
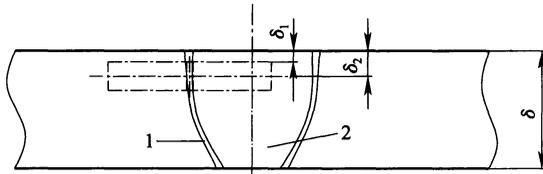


图 D. 2. 3-1 V 形缺口冲击试样

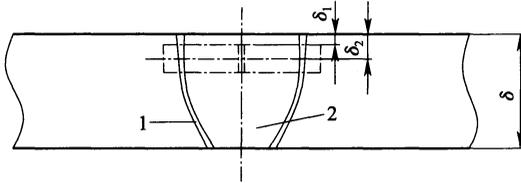
注:图中其余表面粗糙度 $R_a 12.5 \mu\text{m}$ 。

2 试样应采用机械加工或磨削方法制备,应防止加工表面的应变硬化或材料过热。

3 试样缺口按试验要求可分别在焊缝及热影响区,试样的缺口轴线应当垂直焊缝表面、取样位置应符合图 D. 2. 3-2 所示。



(a) 热影响区 (HAZ) 冲击试样位置



(b) 热影响区 (HAZ) 冲击试样位置

图 D. 2. 3-2 焊接接头冲击试样位置

当 $\delta \leq 40\text{mm}$ 时, $\delta_1 = 1\text{mm} \sim 2\text{mm}$; 当 $\delta > 40\text{mm}$ 时, $\delta_2 = \delta/4$ 。

双面焊时, δ_2 从后焊面的钢材表面测量。

1—热影响区; 2—焊缝区

4 试样缺口处当发现有肉眼可见的气孔、夹渣等缺欠时, 则不能用该试样进行试验。

D. 3 力学性能试验方法和合格标准

D. 3. 1 拉伸试验应符合下列规定:

1 试验所涉及的试验仪器、试样尺寸检测、试验条件和性能检测等均应符合现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法》GB/T 228. 1、《焊接接头拉伸试验方法》GB/T 2651、《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652 的有关规定。

2 试样母材为同种钢号时, 每个试样的抗拉强度和伸长率均不应小于母材钢号标准规定值的下限。

3 试样母材为两种钢号时, 每个试样的抗拉强度和伸长率均不应小于两种钢号标准规定值下限的较低值。

D. 3. 2 弯曲试验应符合下列规定:

1 试验所涉及的试验仪器、试样尺寸检测、试验条件和性能检测等均应符合现行国家标准《金属材料 弯曲试验方法》GB/T 232、《焊接接头弯曲试验方法》GB/T 2653 的有关规定。

2 试样的焊缝中心应对准弯心轴线。侧弯试验时,当试样表面存在缺欠时,则以缺欠较严重一侧作为拉伸面。

3 弯曲试样按表 D. 3. 2 规定的角度进行弯曲,其拉伸面上沿任何方向不得有单条长度大于 3mm 的裂纹或缺欠,试样的棱角开裂一般不计,但由夹渣或其他焊接缺欠引起的棱角开裂长度应计入。

表 D. 3. 2 弯曲试验尺寸的规定

母材类别	试件厚度 S (mm)	弯心直径 D (mm)	支座距离 (mm)	弯曲角度 (°)
伸长率标准规定的 下限值 $A \geq 20\%$ 的母材	10	40	63	180
	$S < 10$	4S	6S+3	
伸长率标准规定的 下限值 $A < 20\%$ 的母材	10	$\frac{1000 - 5A}{A}$	$D + 2S + 1.5$	
	$S < 10$	$\frac{S(200 - A)}{2A}$		

注:1 衬垫焊接接头弯曲角度应按双面焊的规定。

2 异种钢焊接接头弯曲角度按低塑性一侧钢种的规定。

D. 3. 3 冲击试验应符合下列规定:

1 试验机、试验要求应符合现行国家标准《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229、《焊接接头冲击试验方法》GB/T 2650 有关规定。

2 冲击试验温度和冲击吸收能量合格值应符合图样或相关技术文件规定。每个区 3 个试样为一组的冲击吸收能量平均值不应小于母材钢号标准规定值的下限,且至多允许有一个试样的冲击吸收能量小于标准规定值下限,但不得小于标准规定值下限的 70%。常温冲击吸收能量不得小于 27J。

D. 4 角焊缝试件

D. 4. 1 角焊缝试件尺寸及试样应符合图 D. 4. 1 及表 D. 4. 1 的规定。

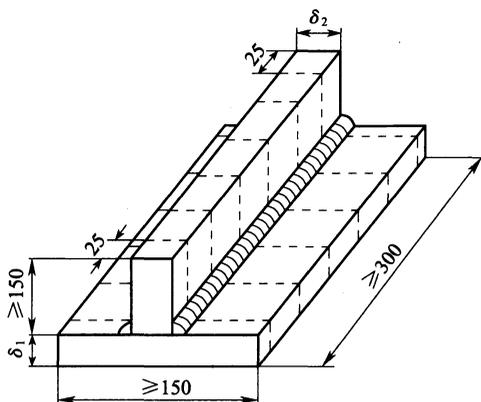


图 D. 4. 1 角焊缝试件及试样(mm)

表 D. 4. 1 角焊缝试件厚度组成(mm)

翼板厚度 δ_1	腹板厚度 δ_2
≤ 3	$\leq \delta_1$
> 3	$\leq \delta_1$, 但不小于 3

D. 4. 2 板材组合焊缝试件尺寸及试样应符合图 D. 4. 2 及表 D. 4. 2 的规定。

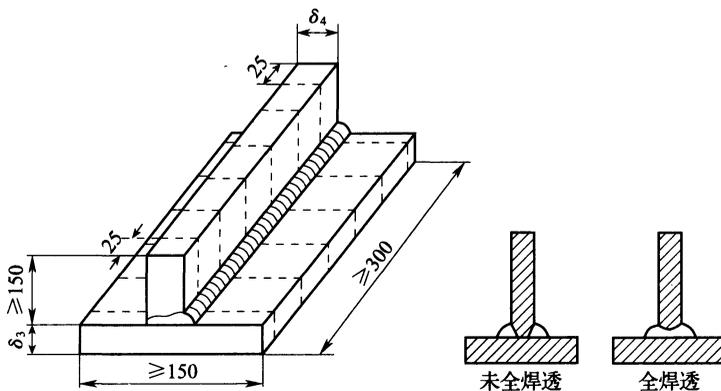


图 D. 4. 2 板件组合焊缝试件及试样(mm)

表 D. 4. 2 板材组合焊缝试件厚度组成 (mm)

翼板厚度 δ_3	腹板厚度 δ_4	适用于焊件母材厚度的有效范围
<20	$\leq\delta_3$	翼板和腹板厚度均小于 20
≥ 20	$\leq\delta_3$, 且 ≥ 20	翼板和腹板厚度中任一或全部不小于 20

D. 4. 3 角焊缝及板材组合焊缝的评定试件焊完后,需经外观检测和磁粉检测(MT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测》JB/T 4730.4 或渗透检测(PT)应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测》JB/T 4730.5 的规定进行检测,合格等级 II 级。合格后,将试件两端各弃去 25mm 后五等分切开,应符合本规范图 D. 4. 1、图 D. 4. 2 的规定。

D. 4. 4 角接头合格标准:焊缝金属和热影响区不得有裂纹、未熔合。

D. 4. 5 板材组合焊缝的焊缝金属和热影响区不得有裂纹、未熔合,焊缝根部焊透程度符合设计规定。

续表 E. 0. 2

操作技术：							
外观检测结论：							
试样编号	外观发现缺欠情况					评定结果	
检测单位				检测报告编号			
无损检测结论：							
试样编号	无损检测方法	焊接缺欠	评定等级	评定结果	金相宏观检测	接头硬度	
						母材	焊缝
检测单位					检测报告编号		
拉伸试验：				试验报告编号：			
试样编号	试样宽度 (mm)	试样厚度 (mm)	横截面积 (mm ²)	断裂负荷 (kN)	抗拉强度 (N/mm ²)	断裂部位和特征	
弯曲试验：				试验报告编号：			
试样编号	试样类型	试样厚度 (mm)	弯心直径 (mm)	弯曲角度 (°)	试验结果		
冲击试验：				试验报告编号：			
试样编号	试样尺寸	缺口类型	缺口位置	试验温度 (°C)	冲击吸收能量 KV ₂ (J)	备注	
硬度试验结果(HV)：				试验报告编号：			
焊缝		热影响区			母材		
金相检测结果：				试验报告编号：			
宏观		微观			其他检测		
其他检测项目结论：							
结论：本评定按 规定焊接试件，检测试样、检测性能，确认试验记录正确。 评定结果：(合格、不合格)							
焊工姓名		焊工代号		施焊日期			
编制	日期	审核	日期	批准	日期		
第三方检测：							

附录 F 不锈钢复合钢板焊接工艺评定

F.1 一般规定

F.1.1 本工艺评定规定适用于轧制法、爆炸轧制法、爆炸法和堆焊法生产的不锈钢制品。

F.1.2 不锈钢复合钢板的焊接工艺评定除应符合本规定外,尚应符合本规范第 5.3 节焊接工艺评定条件中有关规定。

F.2 焊接工艺评定规则

F.2.1 试件应以不锈钢复合钢板制备。

F.2.2 经评定合格的焊接工艺适用于焊件厚度有效范围,应按试件的覆层和基层厚度分别计算。

F.2.3 经评定合格的焊接工艺适用于焊件覆层焊缝金属厚度有效范围的最小值,为试件覆层焊缝金属厚度。

F.2.4 试样进行拉伸和弯曲试验时,不锈钢复合钢板焊接接头,包括基层、过渡焊缝和覆层都应得到检测,冲击试验只检测基层部分的焊接接头。

1 拉伸试样应包括覆层和基层的全厚度。

2 当过渡焊缝和覆层焊缝焊接工艺评定重要因素不同时取 4 个侧弯试样。当过渡焊缝和覆层焊缝焊接工艺评定重要因素相同时尽量取侧弯试样,也可以取 2 个背弯试样和 2 个面弯试样。背弯试验时基层焊缝金属受拉伸。弯曲试验尺寸应符合表 F.2.4 的规定。

表 F.2.4 弯曲试验尺寸

弯曲试样类别	试样厚度 S(mm)	弯心直径(mm)	支座面距离(mm)	弯曲角度(°)
侧弯试样	10	40	63	180
面弯、背弯试样	S	4S	6S+3	

3 只在基层焊缝区及热影响区做冲击试验。

F.2.5 力学性能试验的合格指标应符合下列规定：

1 拉伸试验：每个试样的抗拉强度 R_m 应符合本规范表 A.1.4-5 复合钢板力学性能表脚注中公式(A.1.4-2)的计算结果。

2 弯曲试验：试样弯曲到规定的角度后，拉伸面上任何方向不得有长度大于 3mm 的任一裂纹或缺欠，试样的棱角开裂不计。对轧制法、爆炸轧制法、爆炸法生产的不锈钢复合钢板侧弯试样复合界面未结合缺欠的分层、裂纹，允许重新取样试验。

3 冲击试验：每个区 3 个试样为一组的常温冲击吸收能量平均值应符合图样或相关技术文件规定，且不应小于 27J，允许有 1 个试样的冲击吸收能量低于规定值，但不应低于规定值的 70%。

附录 G 涂料配套性能及涂层厚度

G.0.1 涂层涂料配套性能,可按表 G.0.1 选用。

表 G.0.1 涂料配套性能

涂于 下层的 涂料	涂于上层的涂料												
	磷化 底漆	无机 富锌	环氧 富锌	环氧 云铁	油性 防锈	醇酸 树脂	酚醛 树脂	氯化 橡胶	乙烯 树脂	环氧 树脂	环氧 沥青	聚氨 酯	氟碳
磷化底漆	×	×	×	△	○	○	○	○	○	△	△	△	×
无机富锌	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×
环氧富锌	○	×	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○
环氧云铁	×	×	×	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○
油性防锈	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
醇酸树脂	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
酚醛树脂	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×
氯化橡胶	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×
乙烯树脂	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
环氧树脂	×	×	×	△	×	△	△	△	○	○	△	○	○
环氧沥青	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	○	△	×
聚氨酯	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×
氟碳	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○

注:○—可以;△—要根据条件而定(注意涂覆间隔时间);×—不可以。

G.0.2 明管外壁处于空气环境下的涂层配套系统,可按表 G.0.2 选用。

表 G.0.2 明管外壁处于空气环境下的涂层

设计年限 (a)	序号	涂层配套系统	涂料种类	涂层推荐厚度 (μm)
<5	1	底层	醇酸树脂底漆	70
		面层	醇酸树脂面漆	80
	2	底层	环氧树脂底漆	60
		面层	丙烯酸树脂面漆或乙烯树脂面漆	80
5~10	3	底层	环氧富锌底漆或无机富锌底漆	60
		中间层	环氧云铁中间漆	80
		面层	氯化橡胶面漆	70
>10	4	底层	环氧富锌底漆或无机富锌底漆	60
		中间层	环氧云铁中间漆	80
		面层	丙烯酸脂肪族聚氨酯面漆	80
	5	底层	环氧富锌底漆或无机富锌底漆	60
		中间层	环氧云铁中间漆	80
		面层	氟碳面漆	60

G.0.3 钢管内壁涂层配套系统,可按表 G.0.3 选用。

表 G.0.3 钢管内壁选用的涂层

设计年限 (a)	序号	涂层配套系统	涂料种类	涂层推荐厚度 (μm)
10~15	1	底层	厚浆型环氧沥青防锈底漆	125
		面层	厚浆型环氧沥青面漆	125
15~20	2	底层	超厚浆型环氧沥青防锈底漆	250
		面层	超厚浆型环氧沥青面漆	250
	3	底层	厚浆型环氧沥青防锈底漆	125
		面层	厚浆型环氧沥青玻璃鳞片涂料(或不锈钢鳞片)	400
>20	4	底层	超厚浆型无溶剂耐磨环氧	400
		面层	超厚浆型无溶剂耐磨环氧	400

G.0.4 输水工程钢管道内壁涂层配套系统,可按表 G.0.4 选用。

表 G.0.4 输水工程钢管道内壁涂层

设计年限 (a)	序号	涂层配套 系统	涂 料 种 类	涂层推荐厚度 (μm)
10~20	1	底层	环氧富锌底漆或水性无机富锌底漆	60
		中间层	环氧云铁中间漆	80
		面层	环氧面漆	120
	2	底层	环氧防锈底漆	80
		面层	厚浆型无溶剂环氧树脂涂料	400
>20	3	底层	超厚浆型无溶剂耐磨环氧	400
		面层	超厚浆型无溶剂耐磨环氧	400
	4	单层	水泥砂浆	8000~18000

注:表中所有涂料应具有卫生部门颁发的卫生许可证。

附录 H 金属涂层厚度和结合性能的检测

H.1 金属涂层厚度检测

H.1.1 金属涂层厚度检测方法应符合下列规定：

1 当有效表面的面积在 1m^2 以上时，用涂镀层测厚仪，在一个面积为 0.01m^2 的基准面上测量 10 点涂层厚度，取实测 10 个值的算术平均值。测点分布应符合图 H.1.1-1 的规定。当有效面积在 1m^2 以下时，在一个面积为 100mm^2 的基准面上测量 3 点、4 点、5 点涂层厚度，取实测点数值的算术平均值，测点分布见图 H.1.1-2。

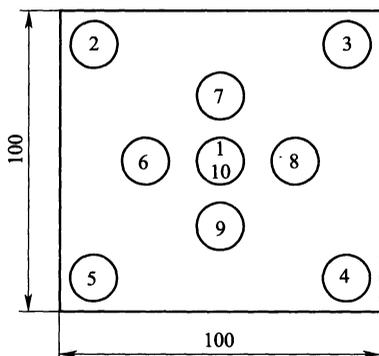


图 H.1.1-1 十点法测点位置图

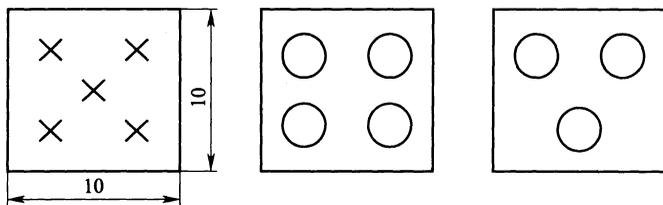


图 H.1.1-2 三点、四点、五点测点布置图

2 根据钢管管径大小和管节长度不同,每节钢管表面可布置 3 个~12 个基准面。

3 实测的涂层厚度小于设计值的 80%时,应予补喷涂。

4 其他规定应符合现行国家标准《金属和其他无机覆盖层热喷涂锌、铝及其合金》GB/T 9793 的有关规定。

H. 2 金属涂层结合性能检测

H. 2. 1 金属涂层结合性能检测方法应符合下列规定:

1 用图 H. 2. 1-1 所示硬质刃口刀具,将涂层切割成方形格子,格子尺寸应符合表 H. 2. 1 的规定。

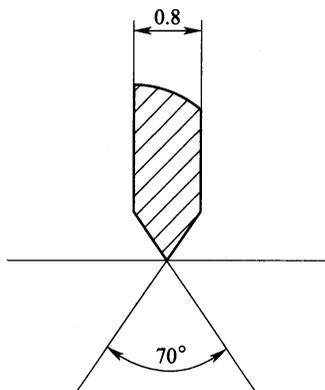


图 H. 2. 1-1 切割刃口的形状

表 H. 2. 1 涂层切格尺寸表

检测的涂层厚度 (mm)	切格区的近似面积 (mm×mm)	切痕间的距离 (mm)
<200	15×15	3
>200	25×25	5

2 切割时刀具的刃口与涂层表面约保持 90°,应符合图 H. 2. 1-2 的规定。切割后,涂层至基体表表面应完全切断。

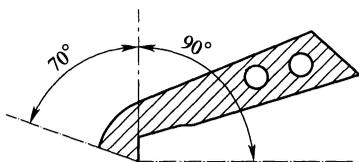


图 H. 2. 1-2 刀具切割角度

3 在格子状涂层表面贴上粘胶带,用 500g 负荷的辊子或用手指压紧,然后按图 H. 2. 1-3 所示的规定方法,以手持粘胶带的一端,按与涂层表面垂直的方向,以迅速而又突然的方式将粘胶带拉开,检测涂层是否被胶带粘起而剥离。

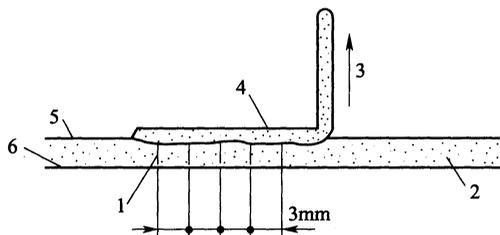


图 H. 2. 1-3 粘胶带拉开方式

- 1—将涂层切断成格状尺寸;2—涂层;
- 3—将粘胶带的一端从垂直方向拉开;
- 4—涂层切断后用手指压紧粘胶带;
- 5—涂层表面;6—基体表面

4 涂层的任何部位都未与基体金属剥离为合格,如果胶带上 有破断的涂层黏附,但破断部分发生在涂层间,而不是涂层与基体的界面上,基体未裸露,亦认为合格。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

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,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《压力容器》GB 150
- 《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》GB/T 228.1
- 《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229
- 《金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法》GB/T 231.1
- 《金属材料 弯曲试验方法》GB/T 232
- 《锌锭》GB/T 470
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709
- 《优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 711
- 《锅炉和压力容器用钢板》GB 713
- 《不锈钢焊条》GB/T 983
- 《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》
GB/T 985.1
- 《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《焊接接头冲击试验方法》GB/T 2650
- 《焊接接头拉伸试验方法》GB/T 2651
- 《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652
- 《焊接接头弯曲试验方法》GB/T 2653
- 《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654
- 《钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备》GB/T 2975
- 《变形铝及铝合金化学成分》GB 3190
- 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带》GB/T 3274
- 《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280

《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323
《低温压力容器用低合金钢钢板》GB 3531
《工业氧》GB/T 3863
《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237
《金属材料 维氏硬度试验 第1部分:试验方法》GB/T 4340.1
《氩》GB/T 4842
《碳钢焊条》GB/T 5117
《低合金钢焊条》GB/T 5118
《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293
《厚度方向性能钢板》GB/T 5313
《工业液体二氧化碳》GB/T 6052
《金属熔化焊接头缺欠分类及说明》GB/T 6417.1
《溶解乙炔》GB 6819
《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165
《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第2部分:已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级》GB/T 8923.2
《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711
《金属和其他无机覆盖层热喷涂锌、铝及其合金》GB/T 9793
《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045
《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345
《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470
《不锈钢波形膨胀节》GB/T 12522
《金属波纹管膨胀节通用技术条件》GB/T 12777
《不锈钢复合钢板焊接技术条件》GB/T 13148
《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
《热轧钢板表面质量的一般要求》GB/T 14977
《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270

- 《压力容器波形膨胀节》GB/T 16749
- 《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493
- 《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853
- 《埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂》GB/T 17854
- 《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189
- 《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》GB/T 20878
- 《承压设备用不锈钢钢板及钢带》GB/T 24511
- 《水电水利工程金属结构及设备焊接接头衍射时差法超声检测》
DL/T 330
- 《电站钢结构焊接通用技术条件》DL/T 678
- 《水电水利工程金属结构设备防腐蚀技术规程》DL/T 5358
- 《焊接切割用燃气丙烯》HG/T 3661.1
- 《焊接切割用燃气丙烷》HG/T 3661.2
- 《焊接用混合气体 氩—二氧化碳》HG/T 3728
- 《火焰切割面质量技术要求》JB 3092
- 《焊接材料质量管理规程》JB/T 3223
- 《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》JB/T 4730.3
- 《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》JB/T 4730.4
- 《承压设备无损检测 第5部分：渗透检测》JB/T 4730.5
- 《承压设备无损检测 第10部分：衍射时差法超声检测》
JB/T 4730.10
- 《炭弧气刨炭棒》JB/T 8154
- 《热切割 气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3
- 《热切割 等离子弧切割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.4
- 《压力容器用爆炸焊接复合板 第1部分：不锈钢—钢复合板》
NB/T 47002.1
- 《焊接用不锈钢丝》YB/T 5092

中华人民共和国国家标准

水电水利工程压力钢管制作安装及
验收规范

条文说明

制定说明

《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》GB 50766—2012,经住房和城乡建设部 2012 年 5 月 28 日以第 1397 号公告发布。

本规范制定过程中,编制组对我国火炸药行业进行了广泛的调查研究,认真总结了实践经验,参考了国内相关法规和技术标准,通过实测取得了重要的技术数据。

为便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	(125)
2	基本规定	(127)
3	制 作	(129)
3.1	直管、弯管和渐变管的制作	(129)
3.2	岔管制作	(134)
3.3	伸缩节制作	(135)
4	安 装	(136)
4.1	一般规定	(136)
4.2	埋管安装	(137)
4.3	明管安装	(140)
5	焊 接	(142)
5.1	一般规定	(142)
5.2	焊接工艺要求	(145)
5.3	焊接工艺评定	(149)
5.4	焊接接头检测	(154)
5.5	缺欠处理	(159)
6	焊后消应处理	(161)
7	防腐蚀	(163)
7.1	表面预处理	(163)
7.2	涂料涂装	(165)
7.3	涂料涂层质量检测	(166)
7.4	金属喷涂	(166)
7.5	金属涂层质量检测	(167)
7.6	牺牲阳极阴极保护系统施工	(167)

7.7 牺牲阳极阴极保护系统质量检测	(168)
8 水压试验	(169)
9 包装、运输	(172)
10 验收	(173)
10.1 过程验收	(173)
10.2 完工验收	(173)

1 总 则

1.0.1 本条明确了制定本规范的目的。

为了做好水电水利工程压力钢管制作、安装及验收工作,客观如实地反映现阶段压力钢管的制作、安装特点,为工程施工提供可靠的质量检测与验收依据,特制定本规范。

在水电水利工程压力钢管制作、安装及验收施工领域,截至目前还没有一本国家标准作为统一的工作依据,这与我国规模庞大的水电水利事业是极不相称的。尤其是,近年来我国大型、超大型水电站不断增多,水工金属结构趋于大型化。同时,水电站的引水压力钢管的直径和水电金属结构埋件尺寸亦趋于大型化(向家坝钢管直径达 14.4m),水头建得越来越高(四川省凉山州苏巴姑水电站水头达到 1200m),管壁厚度也变得越来越厚(在建的白鹤滩水电站钢管和蜗壳采用材质 800MPa 级高强钢,其最大管壁厚度 100mm),岔管月牙肋为材质 610MPa 级高强钢的厚度已达 150mm(如我国融资援建的马来西亚姆若水电站岔管月牙肋),常用的一些钢牌号国家也进行了更新,新的钢材、焊材及其牌号也在不断涌现,出现了 $800\text{N}/\text{mm}^2$ 和 $1000\text{N}/\text{mm}^2$ 的高强钢,还出现了许多新的焊接方法、新的无损检测方法(如 TOFD 探伤与相共阵探伤)和新型防腐材料(如厚浆型环氧玻璃鳞片漆)等。为了使水电水利工程压力钢管的制作、安装及验收工作有更加可靠统一的指导和依据,特编制本规范。

1.0.2 目前在水电水利工程中,冲沙孔钢衬和泄水孔(洞)钢衬迄今还没有统一的国家规范可依据。虽然水电水利工程压力钢管与冲沙孔钢衬和泄水孔(洞)钢衬的流体动力学条件等设计原理不同——压力钢管是抗内压力和(或)外压力要求;冲沙孔钢衬和

泄水孔(洞)钢衬主要是抗高速水流的泥沙冲刷、耐磨性和耐蚀性要求,但是它们在制作、安装等的施工要求上是类似的。因为之前在不同水电站中要求是千差万别——有的工程不要求无损检测而有的却把其纵、环缝都定为一类焊缝来处理。基于以上原因,为了保证质量、节省成本的原则,予以统一规范。为此,把冲沙孔钢衬和泄水孔(洞)钢衬等也纳入本规范适用范围。

2 基本规定

2.0.1 条文中第2款,当是发包单位提供钢板等原材料时,则由发包单位提供材料证明书。当是承建单位购置钢板等原材料时,则由承建单位提供材料证明书。

2.0.3 厚度方向受力的肋或梁所用钢板做脉冲反射法检测(UT),检测时合格标准应符合Ⅰ级,对这个级别要求目前我国大多数钢厂都是很容易达到Ⅰ级标准的。当要求偏低时,一旦施工中肋或梁产生层状撕裂或开裂,不仅影响施工进度,还会使其施工成本增高;电站运行中一旦出现层状撕裂或开裂,将会导致机组停机才能进行岔管的处理,给电站造成停止发电的重大损失。

由于受到冶炼技术和轧钢机轧制能力的影响,为此,为了防止材料质量波动,高强钢尤其是厚钢板应进行逐张超声波检测。

为了与国际接轨,且根据《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》GB/T 228.1,屈服强度符号 σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 分别改为 R_{eL} 、 $R_{p0.2}$,抗拉强度符号 σ_b 改为 R_m ,伸长率 δ_5 改为 A , δ_{10} 改为 $A_{11.3}$,断面收缩率 ψ 改为 Z 等。屈服点、屈服应力、屈服极限、非比例延伸强度等规定统称为屈服强度。

这次编写将应力和强度单位“MPa”改为“N/mm²”。这是由于近几年来大多数国外标准都已经将“MPa”改为“N/mm²”。而“MPa”多作为流体的压力单位。

2.0.4 由于月牙肋岔管的月牙肋板、三梁(或四梁)岔管的梁等在其厚度方向要承受拉应力,同时作为这些构件所用的钢板厚度较大,要求具有抗层状撕裂性能的能力,为了防止焊接和运行中出现层状撕裂或开裂,因此,用于这些部位的钢板应做厚度方向的拉力性能试验。做厚度方向的拉力试验也是间接检验钢中的硫磷等有害杂质含量、成分偏析情况和钢板轧制后金相组织的致密程度。

2.0.5 由于水电施工大多在深山峡谷,钢管加工厂现场条件较为

简陋,此条对钢板的保管、存放等注意事项给予强调。

2.0.6 本规范表 2.0.6-1 中规定的允许偏差是 B 类偏差钢板,也是水电工程常用的这类偏差钢板。当采购时,不允许钢板有负偏差即下偏差为零,可以选用 C 类偏差钢板,这样钢板就得按《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 中的相关条款规定进行采购和工程计算计量。

2.0.7 近年来焊接材料国产化取得了较大的发展。除部分气体保护药芯(金属粉芯)焊丝、自保护药芯焊丝尚需从国外进口外,其余焊接材料都逐步形成了产品系列。随着焊接材料产品系列的建立,与其相应的焊接材料标准有的已经取消,或者将类似标准进行了合并。为此,本条对各种焊接材料应遵循的相关标准给予列出。

2.0.9 由于气体保护焊在水工金属结构领域应用越来越广泛,并且大多数钢管的焊接坡口制备是靠气体切割来完成的,所以本条作出了焊接或切割气体的纯度应符合的标准规定,防止焊接或切割时导致不必要的质量问题发生。

2.0.11 为了提高水电站压力钢管建设的测量效率和精度,本条推荐了部分常用的测量仪器,并对精度作了规定。

规定钢卷尺为 II 级精度,这是由于实际施工时,钢卷尺要进行检定校准,计量单位要出示计量修正值表,其使用时应配合修正表进行测量修正,能满足钢管实际测量的需要。

超声波测厚仪可对任何超声波良导体材料厚度进行测量,即用于测量硬质材料的厚度,如:钢铁、不锈钢、铝、铜等金属材料,以及塑料、橡胶、陶瓷、玻璃等非金属;由于材料边缘可能存在卷边、倒角或圆角等缺欠,当用直尺或游标卡尺测量材料厚度有疑问时,可以采用超声波测厚仪进行厚度测量。

正文中未规定列出全站仪、天顶仪、天底仪等的精度。全站仪可测角度和距离,天顶仪往上测垂直度、天底仪往下测垂直度等,因为这三种仪器精度都非常高,所以,在钢管安装中主要是用来放基准控制点,天顶仪和天底仪很适合狭小的空间。

3 制 作

3.1 直管、弯管和渐变管的制作

3.1.1 本条对钢板画线和下料作出了规定。

2 因为在钢管的这些部位往往要安装进人孔等附件,这款规定是防止焊缝交叉、密集布置,从而影响钢管的强韧性。而安装在水平或倾斜位置的钢管的这些部位又往往是所受应力的最大区域。当是埋管时,则其水平段在铅垂轴线方向的顶部即 12 点位置附近和底部即 6 点位置附近可能要开设灌浆孔进行接触灌浆,势必出现十字焊缝或焊缝距离相邻位置太近,从而影响钢管质量。而在这些部位当接触灌浆质量不好时,混凝土与钢管外管壁接触间隙过大使其局部管壁分担受力升高,当在这些部位再设置钢管纵缝时,可能会导致钢管壁开裂的几率增大。而钢管管轴线处于铅垂方向时,同时在其横断面 X 轴线和 Y 轴线上没有设置附件时,此条不受限制。

5 本款规定环缝最小间距,是为了避免焊缝及管壁转折影响叠加,主要针对弯管及岔管内侧。在《水电站压力钢管设计规范》DL/T 5141—2001 第 11.1.3 条里对环缝最小间距提出三个限制规定:其一,“10 倍板厚”是根据焊接应力分布范围提出的。其二,“300mm”是施工焊接要求,当经与论证后可适当减短。其三,“ $3.5\sqrt{r\delta}$ ”的要求是引用 2001 年出版的美国机械工程师协会标准 ASME《锅炉及压力容器规范》Ⅶ第二分篇。近年来我国水电站管径和壁厚均有所增大,难以满足上述全部要求,尤其是第 5 款中的第 3)项要求,所以,一些工程不得已而突破其限制,如鲁布革水电站按其第 3)项要求计算为 910mm,实际采用 522mm。十三陵抽水蓄能电站其要求为 1100mm,实际采用 522mm。为此,编写本

规范规定第 5 款时为“不宜小于下列各项之大值”，而不是规定为“不应”。

3.1.3 冲眼太浅，防腐后不易看到，过深将可能导致冲眼处微裂纹等缺欠的发生。根据水工金属结构的一、二类焊缝的咬边深度不大于 0.5mm，本条对冲眼深度给予不大于 0.5mm 的量化规定。

1 冲眼打在卷板的内弧面，是因为内弧面在卷板时通常不受到拉伸变形，不易出现卷板裂纹。

2 “卷板后的外弧面”，是因为这时卷板时拉伸变形已经发生过了，再打冲眼通常不会再受到拉伸变形导致冲眼出现裂纹的影响。

3.1.4 尤其是钢板表面即焊缝盖面两侧熔合线上的淬硬层应用砂轮磨除，因为盖面时往往焊接电流、焊接热输入较小，使淬硬层不易退火和重熔掉。有些钢板还得进行预热切割，预热切割是防止切割时，割口及其附近出现裂纹，尤其是含碳和合金元素高的高强钢一定要注意这一因素。

3.1.5 由于水电水利施工的特殊性，钢管在工地现场，焊接坡口制备大多是采用热切割成型，所以对切割质量要求应比较高，此条对热切割的质量要求应遵循的标准给予列出。

3.1.6 为了实际施工操作查依据简便，钢管钢材切割时，对割口表面质量的处理方法给予了规定。

3.1.8 本条对钢板卷板制作要求作出了规定。

2 本款规定是为了防止在实际生产中因忽略此款，导致卷板时剥落的氧化皮等硬物划伤瓦片，使其出现“麻坑”，同时防止损伤卷板机轧辊表面降低轧辊使用寿命，甚至是轧辊疲劳断裂的直接原因。

3 表 3.1.8-1 中按照圆度精度等级原理，结合实际施工方法统计得出的数据偏差，给予规定的，实践证明能满足施工质量要求。

4 小直径厚壁钢管的径厚比往往接近或小于本规范表 3.1.8-2 中的规定值，当卷板时钢板塑性应变量大，卷制后使瓦片

或管节时效脆性增加。加之各个炼钢厂的冶炼技术水平和设备能力参差不齐,炼钢时清除气体元素等不到位,这样的钢板在大的塑性应变条件下卷制成型,往往在常温条件下就出现显著的应变时效脆性现象。卷制或滚压后的这类瓦片放置一定时间后,冲击吸收能量值明显下降。据有关资料显示规定,低碳钢和低合金钢的应变时效敏感系数 C 分别不大于 50%、40% (按《钢的应变时效敏感性试验方法》GB 4160 标准做钢的应变时效敏感性)。为此,由应变时效敏感系数知,小直径厚壁钢管,采用的钢板最低冲击吸收能量值不应小于《锅炉和压力容器用钢板》GB 713、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270 和《压力容器用调质高强度钢板》GB 19189 等标准规定材质的最低冲击吸收能量值的 2 倍,是符合常用钢板卷板后韧性下降也不会低于标准规定值。大量工程事故案例和实验数据显示钢材冲击吸收能量在大于 20J 部位就止住裂纹的扩展了。亦可采用热卷或冷卷后做热处理(严格讲是去应力热处理)来消除冷加工导致的钢板塑性、韧性降低,热处理还可降低残余应力。

热卷或冷卷后做去应力热处理是很费工的,一般应设法避免。由于高强钢、不锈钢钢板金相组织比较复杂,对温度比较敏感,加热操作不当会导致金相组织的恶化,而不锈钢复合钢板由于基层和覆层的热膨胀系数不一样,加热时可能会导致基层和覆层剥离分层。所以对此类钢种宜采用冷卷方式卷板。

5 主要是防止在钢板上出现锤击伤痕。当要锤击时可采用隔一块垫板的方式进行锤击。垫板可焊接一根半柔性的钢筋,作为把手——防止锤击垫板时,垫板跳动或随机移动。

6 对高强钢,当火焰加热矫形温度大于其材质的回火温度或控轧的终止温度时,由铁碳相图和 CCT 曲线知道,将会导致材料金相组织的转变从而使其性能恶化。

7 “拼焊后,不宜再在卷板机上卷制或矫形”的工艺流程。因为焊接接头与母材比较,往往晶粒度均匀性差、残余应力高和应力

集中、强度硬度高而不均匀、塑性韧性差、厚度有余高或不匀、焊趾咬边等。当这样时,拼焊后再卷板滚圆会使焊接接头及其附近有劣化力学性能的倾向,产生新的缺欠甚至出现裂纹。当有必要时,可进行“对比试验”——拼焊后原封不动的焊接接头和拼焊后卷板的焊接接头做力学性能对比。

3.1.10 与第 3.1.9 条结合比较,既规定了管口平面度又规定了瓦片的轴向错边量。其主要是由于近年来大直径的钢管很多,一个管节是由若干瓦片构成,而测平面度往往是拉十字线测量,看两线的交点的吻合度来测管口平面度,这样虽然管口平面度保证了,不一定能保证瓦片间的轴向错边量。为此,对相邻瓦片组对的错边量作了规定。当管口错边量过大时,将会导致焊接坡口钝边错位和对装间隙不易保证,影响装配和焊接质量。

3.1.11 因为不锈钢复合钢板不锈钢覆层比较薄,一般覆层厚度都在 4mm 左右,所以在本规范表 3.1.11 序号 5 中规定不锈钢复合钢板的对口错边量不应大于 1.5mm。目前施工资源装备容易达到这一规定,同时又不影响运行使用性能。

3.1.13 根据两管节管口的周长差来进行装配对口压缝。防止管口周长差导致的环缝错边,在这里提出以引起施工人员注意。

3.1.14 根据钢管的使用情况、热切割下料的尺寸偏差以及焊接和热矫形导致的收缩量等因素综合考虑来确定圆形和异形钢管形状允许偏差。

3.1.17 对非直管段的钢管,当采用焊缝垫板接头时往往垫板与管壁贴合不严实,所以不应采用焊缝垫板接头。另外,由于带有垫板的焊接接头根焊时,焊接拘束度大,而高强钢的屈强比大多大于 $R_{eL}/R_m > 0.75$,这说明塑性较差,焊接时在根焊与垫板结合处易产生龟裂。加之垫板往往是用 5mm~8mm 厚度的扁钢来制作,而扁钢与高强钢的化学成分差异很大,焊接时势必会引起扁钢对钢管内的含碳量和合金元素含量改变、杂质元素增加,往往会稀释管壁内的合金元素,从而导致高强钢钢管的力学性能下降。同时

超声波检测时在其结合界面处位于盲区,对裂纹等焊接缺欠不易检测出来,诸如此类原因不应采用垫板焊接接头。

3.1.18 当该两种类型的焊缝相距近了时,易导致焊接缺欠发生的几率。一旦一条焊缝出现开裂很快传递给另一条焊缝,止裂性差,从而酿成更大质量事故发生的可能性。

3.1.19 组对焊接时,垂直度超差,将会使这些环类附件受力不好,并会产生应力集中,甚至受力后开裂。

3.1.20 在装配环类附件(除止水环)时,当遇到管壁纵缝处应开半径为25mm~80mm的避缝孔,避缝孔形状可以是半圆孔,也可以是方圆孔。主要是避免出现焊缝十字接头,因为焊缝十字接头处不利的焊接应力场分布将会出现三向拉应力,且在交汇点上容易出现焊接缺欠,从而使焊接接头的力学性能下降。串通孔在环类附件上的分布、尺寸、形状、数量等宜由设计单位确定。

3.1.21 避缝孔、串通孔等端头当不封闭焊时,会在端部拐角处引起锈蚀、应力集中甚至裂纹的产生。

3.1.22 灌浆孔应根据其管径、管节长(钢板宽)、壁厚、钢种、数量和设备等因素确定开孔的时机——卷板前或卷板后和开孔方法,但应尽量在卷板后制孔。这是因为从实际施工情况来看,灌浆孔通常都大于 $\phi 50\text{mm}$,卷制后当上摇臂钻将无法进行时(当开孔直径不大时,可选用磁力钻钻孔)。而高强度钢宜用钻孔的方式开孔,因为高强度钢受热后冷却时容易出现淬硬组织和裂纹,由于孔径比较小,这些缺欠通常使用角向磨光机无法打磨,而用直磨机打磨比较费工费事。高强度钢的缺口裂纹敏感性比较高,当采用熔化焊焊接工艺封堵灌浆孔时,措施不当很容易在灌浆孔上产生裂纹等焊接缺欠,这点应当引起注意。因此建议,高强度钢不宜设置灌浆孔,宜采用预埋“专用可重复灌浆管”或拔管的方式进行灌浆比较合适。当采用在管壁上开设灌浆孔的方式进行灌浆时,一旦灌浆孔开裂导致水的渗漏,势必引起电站停机,停止发电才能进行灌浆孔的质量处理,这样会给电站运行发电导致不必要的经济损失和不

良的社会影响。

3.1.23 灌浆孔之所以要设置空心螺纹护套的目的是在涂装时防止涂料腻死螺纹丝扣,存放时防止螺纹锈蚀,在进行固结灌浆钻孔和灌浆作业时防止螺纹被损坏。灌浆作业结束后在戴灌浆孔堵头时才能拆出空心螺纹护套,拆除空心螺纹套前可在其上焊接临时圆钢或钢筋把手,易于拆除。

高强钢,宜采用预埋管——“预埋管法或拔管法”造孔灌浆,不宜采用在管壁上开设灌浆孔的方式灌浆。如可用接触回填灌浆管(即 FUKO 管),外径 38mm,内径 22mm,长度 100m/箱,即采用预埋管法进行接触灌浆和回填灌浆。预埋管法或拔管法尤其适用于围岩破碎情况较少的,或可不用钢管灌浆孔作为“戴盖固结灌浆”的情况。

当采用粘接法或缠胶带法封堵(主要是针对高强钢而言),欧美国家使用这种方式已有 20 余年的历史。日本不得在 $R_m(R_{0.2}) \geq 780\text{N/mm}^2$ 级钢上开设灌浆孔,而欧美国家则允许,这可能是钢种不同的原因。

3.1.24 多边形、方变圆等异形钢管,结构形状和尺寸都比较复杂,对装配质量要求较高。而钢管制作场内施工设备等加工手段比较好,所以应在制作场内进行预装配,以便发现问题及时给予处理。

3.2 岔管制作

3.2.4 肋梁系岔管和无梁岔管的施工,要考虑到施工运输、吊装、地质地貌、运输线路、运输桥涵等条件,才能采用是在制作场整体组焊,或在制作场预组装后解体成运输单元体或瓦片,再运输进入岔管安装位置进行安装。在本规范表 3.2.4 序号 2 和序号 3 中的允许偏差,考虑到岔管通常都是在制作场施工条件比较好的情况下制作,几何尺寸比较容易保证,为了防止岔管安装时对装难度加大,为此,将岔管相对于直管而言,允许偏差带进行了缩窄处理。

3.2.5 月牙肋或梁的分段弦长方向应与钢板的压延方向一致,主要是防止钢板的各向异性,下料时其弦长顺钢板的压延方向一致,这样受力性能会更加得以可靠保证。之所以要求避开月牙肋或梁系最大横截面 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 圆心角值而进行焊缝对装拼接,是由于在其最大横截面处受力最大。而焊接接头又是其性能的薄弱部位,所以应该避开最大受力处。

3.3 伸缩节制作

3.3.6 波纹管伸缩节在安装前应做水压试验或气密试验,防止在安装后充水时,导致伸缩节渗漏水,处理起来麻烦。工作压力的倍数是按照机械、液压行业对常用流体的水压试验或气密性试验的压力值规定而引用的。当水头 $H\leq 25\text{m}$ 时,可只做焊接接头煤油渗透试验。煤油试验检测是在焊缝和热影响区涂刷较稠的石灰水溶液,晾干发白后,在再焊缝的另一面涂上煤油,约 5min 后检测石灰白粉上是否有黑色斑纹——说明焊接接头是否有贯穿型焊接缺欠,当发现有焊接缺欠时应给予焊补。其目的是防止伸缩节充水时渗水。

3.3.7 此条规定主要是防止伸缩节滑动副和波纹管本体遭到损坏。

4 安 装

4.1 一 般 规 定

4.1.1 本条指明将钢管中心线和中心高程、里程(桩号)的测量点标识在附近的构筑物或牢固的岩石上,再以此为基准对钢管安装进行调节找正。测量点之所以标识在“牢固物”上是为了防止标识脱落或遭到破坏。

4.1.2 主要是为了保证凑合节焊接坡口的装配质量,规定了凑合节余量切割的优先选择方法。当采用手工切割时,当切割操作人员要求较高,当切割操作人员水平不高时,将会使焊接坡口成形不好,增大焊接缺欠和焊接应力升高的发生几率,影响焊接接头的质量。

4.1.3 当不经设计计算支撑的强度、刚度和稳定性来确定支撑大小、间距和受力点等时,只单凭经验设置支撑、不该节省的支撑和支撑受力点位置不对等,这些均可能会导致钢管段的突然滑动或扭动、倾覆或垮塌,甚至导致正在施工的人员伤亡事故发生。本条为强制性条文,必须严格执行。

4.1.4 本条对钢管制作安装所用高空操作平台作出了规定。

1 操作平台当不经过设计计算确定时,只凭经验搭设或制作,要不就是耗费大量制作材料,要不就是强度、刚度安全裕度不足,这些都会存在安全隐患。

2 安全保护装置的操作平台当设在钢管道的斜坡段时,其上应设置操作平台防坠落挡块装置、锁定钢丝绳等。在操作平台上的施工人员,要戴好安全帽、系好安全带、有的部位要设置安全网等。

3 钢丝绳在经过尖锐部位时,应设置平滑过渡装置:半圆管皮、木板条等,不然,钢丝绳安全系数再怎么高,也有被尖锐部位切

断或磨断的情况发生,从而导致操作平台坠落,危及人身安全。

4 采取这些绝缘或接地措施,就是防止操作平台上的人员触电或引起钢丝绳电弧打火断丝的可能。

5 因为操作平台上,不仅有电焊机或焊材烘干箱等,同时其上可能有氧气瓶、燃气瓶等易燃易爆器材,一旦气瓶爆炸或其引起燃烧,操作平台上的人员将会无路可逃。所以其上要配置灭火器,易燃易爆物资要防止电焊、电器火花,可用阻燃布等加以隔离保护,防止火花引燃爆炸等。防高空坠落物击打施工人员,所以在其上部应设置安全阻挡装置。当围岩周围有渗漏水、雨水时,还应设置防水防雨装置,防止焊接时出现焊接接头缺欠、受热部件淬火断裂等。

4.1.5 当在钢管壁上随意焊接临时支撑或脚踏板等临时构件时,而不注意临时构件与钢管壁材质的相同性或相容性,在焊接时,而又不采用与管壁材质相同性或相容性的焊接材料,进行堆焊过渡层处理或采用焊接节点板的方式,或该预热焊而不进行预热焊时,势必使钢管壁焊接部位产生局部残余应力、破坏钢管壁的化学成分,甚至产生裂纹等焊接缺欠。

在此值得一提的是,在山区、高纬度、高寒地带和沙漠等气温比较极端恶劣的地区,以及日温差大的地区,明管应采取隔热保温措施。因为钢管壁温度小于 0°C 时,会使管内水存在有结冰的倾向,水头低、管内水流速度慢,尤其是冬季停机检修时的明管更有可能发生结冰现象。再则,当沿钢管壁圆周温差过大时,可能会引起太阳光照射、大气温度影响导致的管道弯曲,尤其是明管放空由水介质变为空气介质时,此时因空管道热容量大大减少,这种弯曲移位现象更加明显。从而使支座发生侧向移位、支墩和镇墩混凝土开裂,甚至引起伸缩节被破坏、钢管爆裂的可能。

4.2 埋管安装

4.2.4 对后续工序无妨碍的临时构件,可以不拆除,目的是减少

损伤母材的几率。采用“热切割”这一术语是因为现在不仅用碳弧气刨或“燃气乙炔”切割,也在用“燃气丙烷”、“燃气丙烯”以及“等离子切割焰”等方法切割钢材。

4.2.6 进行灌浆孔堵头的焊接坡口深度以 7mm~8mm 深为宜,灌浆孔封堵焊系封闭连接焊缝,不必焊透,当擅自加大坡口深度时,焊接时收缩应力增大易产生裂纹。而有些人员不很了解其功能,总试图加深其焊接坡口。深度之所以为 7mm~8mm,系考虑用直径为 $\phi 3.2\text{mm} \sim \phi 4\text{mm}$ 的焊条焊 2 层~3 层,不得单层焊。由于灌浆孔焊缝是封闭焊缝,焊接时拘束度比较大,加之,当采用塑性比较差的钢作堵头和采用高匹配的焊接接头时,将会导致灌浆孔出现裂纹的几率增大。

对于有裂纹倾向的灌浆孔堵头焊接接头,应在焊前采用火焰预热,焊后用火焰立即进行“紧急后热”。加热温度可用便携式红外测温仪随时监测。实践证明,采用这种施焊方法效果很好。

高强钢灌浆孔堵头当采用熔化焊封堵时势必要进行预热和后热,以减少焊接裂纹的出现。由于灌浆孔尺寸很小,不便贴合可控制加热温度的远红外电加热片,而是采用人工控制温度的火焰加热法,从而导致各个部位加热冷却不均匀,因冷却收缩不均匀,将会导致焊接接头开裂。

由于灌浆孔尺寸很小即拘束度很大,采用封堵熔化焊时往往导致焊接残余应力很高,甚至产生焊接接头和灌浆孔堵头开裂,而漏水。高强钢的合金元素多,成分复杂,金相组织为低碳板条马氏体或粒状下贝氏体等组织,缺口裂纹敏感性比较高,由于其强度高,相应的塑性、韧性相对较低,当采用熔化焊焊接工艺封堵灌浆孔堵头时,很容易在灌浆孔上产生裂纹等焊接缺欠。

灌浆孔内不易清除的浮锈、泥浆、油漆、油污以及有时围岩渗水或灌浆凝固水渗出,都将会对焊接接头内的扩散氢含量增加。从而为产生氢致裂纹埋下隐患。堵头也许今天不开裂,一周不开裂,也许一年后就开裂,即产生了延迟裂纹——这就是为什么有些

水电站运行时没有发现内水外渗,而运行几个月或一两年之后才出现了钢管漏水现象发生之原因所在,“千里之堤,溃于蚁穴”甚至导致山体滑坡冲毁电站的严重事故发生。由于其结构特征所决定无法进行脉冲反射法检测(UT)或射线检测(RT)内部检测,只能做表面渗透检测(PT)或近表面磁粉检测(MT)。堵头的焊接残余应力通常也是无法进行检测的。

灌浆孔堵头上不应开设 I 型槽,这样往往导致旋拧操作不便,也不易涂料防腐蚀处理,旋拧结束后焊接人员常常用焊接方法想把 I 型槽“焊补”上,由于槽口不大,焊接中在焊补槽口的同时把整个堵头端部全部熔敷填充焊上,由于该部位孔径尺寸较小势必增加焊接应力,甚至导致该处裂纹或延迟裂纹的产生,运行中灌浆孔堵头渗水质量事故的发生可能性增大。比较正确的方式是,在灌浆孔堵头上焊接临时圆钢把手,灌浆孔堵头拧紧后,用碳弧气刨或氧-燃气火焰割除,再用砂轮打磨光滑平整。

而灌浆孔堵头采用密封胶粘接法、O 形橡胶密封圈法或缠聚四氟乙烯胶带法并结合奥氏体型不锈钢板厚 3mm~4mm 圆片焊接封堵时,应进行充分论证和试验。

4.2.7 当灌浆孔渗水时,应采取止水措施,如补充继续灌浆进行止水,当灌浆孔有少量渗水时,可采用厚度为 1mm~4mm 锌皮圆平垫或厚度为 2mm~4mm 铅皮圆平垫进行灌浆孔堵头密封止水,直至无渗漏水为止,燃气-氧火焰烘干焊缝坡口后才能进行焊接。否则,进行“带水焊接”势必会在焊接接头内产生气孔和裂纹,甚至导致整个焊接堵头开裂。而其焊接接头受结构形式决定又不能进行内部无损检测,这样会给将来电站运行埋下事故隐患。

从灌浆孔的直径和结构形状来看,不适宜于进行脉冲反射法检测(UT)。在采用磁粉检测(MT)或渗透检测(PT),按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测》JB/T 4730.4 或《承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测》JB/T 4730.5 有关规定进行表面无损检测时,对铁磁体材料优先选用磁粉检测(MT)表

面无损检测,因为它不仅可以检测表面露头缺欠,还可检测非露头的近表面缺欠。

随着钢管直径的增加,钢管本身的刚度将会减少,而弹性和柔性会增加。在钢管和回填混凝土的接触间隙尺寸相同情况下,大直径钢管柔性要好些,围岩承担的受力程度高些。而接触灌浆间隙厚度大小,目前没有可测量的方法,当有必要量度时,只能通过开一定尺寸的孔来进行解剖测量,属于破坏性试验。据相关资料介绍,可以采用“中子探伤”方法进行接触间隙大小的测量,不过目前在我国水电站钢管中还未使用。

4.2.8 弹性垫层管支撑不得与其管壁焊接,这是因为它要受到径向剪切应力的作用。支撑点固焊接时,很容易在该处产生微裂纹等焊接缺欠,从而在径向剪切应力作用下从该处引起开裂的可能。

4.2.9 本条规定主要是防止高强度钢、不锈钢等焊接裂纹的产生。当采用预热点固焊方法费工费事时,因此采用活动内支撑比较符合实际施工情况。而采用“过渡连接板法”,其材质应和钢管连接部位的材质相同或相容,所谓“相容”是指金相组织类型相同,而化学成分差别不大的钢种。例如,Q235和Q345均为珠光体类型的钢种,两者可以直接焊接。否则,采用化学成分差别较大、硫磷含量不同的材质作连接板将会改变钢管钢材的化学成分等,会影响钢管的力学性能、耐蚀性能。由于过渡连接板既属于工艺用件,也和结构用件沾边,因此,往往在选材和订货时被遗漏,可用的边角余料也有限。为此,以引起大家注意。在用与钢管壁不同材质做焊接支撑时亦可在焊接部位堆焊一层与钢管壁材质相同的焊接材料,堆焊层达到4mm~6mm厚度后再进行焊接支撑。

4.3 明管安装

4.3.2 在测量安装偏差时,应在常态环境气温下进行测量。当钢管存在有阳光不均匀照射时,宜进行遮蔽后才能测量。减小气温、阳光产生的测量偏差。

4.3.4 对于很长的明管,在安装后,如果气温变化比较大,钢管可能会发生较大的轴向和(或)径向的位移,这点应引起注意。

4.3.6 当安装不考虑环境温度(或管壁温度)以及管床沉陷趋势对伸缩量的影响时,势必导致(波纹管或套筒式)伸缩节“伸”或“缩”的位移量的不足,而渗水甚至使伸缩节遭到滑脱、挤压等破坏。

4.3.7 当将焊接地线接在波纹管上时,很容易使波纹管受电弧击伤,损坏滑动面及其内部金相组织。

4.3.8 拆除伸缩节运输临时紧固件的目的,是在焊接合拢焊缝时引起的变形能使伸缩节自由收缩,从而减小焊接应力,防止焊接裂纹的产生。

5 焊 接

5.1 一 般 规 定

5.1.1 从事一、二类焊缝焊接的焊工应持有相应行业部门颁发的资格证书。相应行业部门主要是指通过现行行业标准《焊工技术考核规程》DL/T 679、《水工金属结构焊工考试规则》SL35 或《特种设备焊接操作人员考核细则》TSG Z6002 等考规考试并颁证的相关国家部门,或获得 ASME、劳埃德船级社等焊接考规国际认可的权威性部门。焊工、焊接操作工相应取得这些部门签发的焊工合格证和焊接操作工合格证。

第一次参加接触的高强钢、新类型钢种以及不锈钢复合钢板焊接的焊工,要进行专门的培训与考试。高强钢金相组织通常都含有低碳贝氏体、低碳马氏体和低碳索氏体等组织,而不锈钢有耐腐蚀性能要求,不锈钢复合钢板还有过渡层焊接性要求等。因此,这类钢种有焊接热输入的限制,水电行业传统的单道多层横向大摆动运条的焊接手法显然已经不能适应。为此要结合焊接热输入量的限制采用多道多层,运条时焊条横向摆幅不大于焊芯直径的 5 倍即可,且要进行专门的培训与考试,合格后,再从事高强钢、不锈钢以及不锈钢复合钢板等的焊接工作。

碳弧气刨不是一个简单的工种,什么工种的人员都可以干的。实际碳弧气刨也是一项挺复杂的工作,特别对于高强钢、不锈钢以及不锈钢复合钢板碳弧气刨清根更是一项十分严肃的工作,一旦碳弧气刨操作不良造成严重渗碳或凹凸不平,将直接影响焊接接头的性能质量,所以碳弧气刨工也是要通过培训考试,这一点国外也有规定,他们强调的也是由熟练的焊工担任。

5.1.3 为了明确无损检测人员的认证资格,便于可操作性,说明

要通过我国电力、水利行业、质量技术监督部门及无损检测学会等的无损检测人员资格认证或 ASME、EN、BS 等国际标准认可的资格认证,才能从事钢管焊接接头的无损检测工作。

5.1.4 对钢管焊缝分类的划分规定,是按受力状态和重要性等进行的,同时也考虑了和其他相关标准的协调性。其中所说的“预留环缝”是指钢管环缝外侧设置有套环或围带的焊缝,是为了防止焊接时异常移位,加固后如浇筑混凝土后于管内才焊接的环缝。本条将冲孔管道钢衬和泄水孔(洞)钢衬的纵缝、环缝给予规定,是因为在以往不同电站中要求是千差万别的,有的工程不要求无损检测,而有的却将其纵、环缝都定为一类焊缝来处理,然而从工况和受力情况来看,其主要是抗泥沙冲刷、耐磨性和耐蚀性要求,为此可归为二类焊缝是可行的。

5.1.6 对标准抗拉强度下限值大于 $540\text{N}/\text{mm}^2$ 的钢材,推荐进行生产性焊接试板试验。这主要是验证具体的实际施焊条件,如高湿度、严寒低温等环境条件对焊接接头性能质量的影响。这是因为一般焊接工艺评定都是在试验室条件下进行的,产品焊接试板生产性试验是对经评定合格的焊接工艺的实践检验。

5.1.7 随着焊接技术的发展,对钢管焊接不断涌现出新的焊接方法。除了传统的焊条电弧焊和单丝埋弧焊外,还不断产生了多丝埋弧焊、各种气体保护焊、自保护药芯焊和 STT(表面张力过渡)焊接技术等。由于我国焊材厂家很多,焊材品种也纷繁复杂,除部分焊材型号国家有统一规定外,焊材牌号编写却未有统一规定,当一一列出太多时,也是没有必要的,为了说明问题,仅列出了几个厂家的焊材牌号。当采用其他厂家的焊材时可按此原则选取,应符合附录 C 的规定。

焊接材料选用的一般原则:

1 等强匹配的原则。即所选用焊材,熔敷金属的抗拉强度相等或相于被焊母材金属的抗拉强度,此法主要适用于对低碳钢和低合金钢焊材的选用,是其最常用最基本的原则。理论上认为:

焊缝强度不宜高于母材的强度,否则往往由于焊缝抗裂性差或应力集中等原因而使焊接接头质量下降。

2 等韧性匹配的原则。即所选用焊材熔敷金属的韧性相等或相近于被焊母材金属的韧性,此法主要适用于对高强钢焊材的选用。这样,当母材结构刚性大,受力复杂时,不至于因接头的塑性或韧性不足而引起接头受力破坏。在焊接高强钢时,从实际使用情况来看,这种结构的破坏往往不是强度不够,而是韧性不足,导致产生裂纹或脆断。

3 等成分匹配的原则。即所选用焊材熔敷金属的化学成分符合或接近被焊母材。此法主要适用对不锈钢、耐候钢、耐热钢焊材的选用,这样就能保证焊缝金属具有同母材一样的抗腐蚀性,热强性等性能以及与母材有良好的熔合与匹配。

需要注意,由于药芯(金属粉芯)焊的熔深比较浅,所以在我国“西气东输”天然气管道的焊接中,就曾采用 STT 打底焊再用自保护药芯焊其余焊道焊层的方法,以发挥这两种焊接方法的各自特点。

5.1.8 对低碳钢、低合金钢和高强钢,当焊缝的强度过低时,在承受外载荷时变形会集中在焊缝处,因此在达不到设计所要求的力学性能时,就会在焊缝上导致首先破坏。但是焊缝强度过高,由于焊接接头的非均质性、残余应力等作用,将会增大产生裂纹的几率。而不锈钢焊接所选焊接材料不和母材化学成分相当,将会导致焊接接头的耐蚀性能降低。

5.1.9 为了防止基层对覆层 Cr、Ni 合金元素的稀释作用,避免焊缝金属产生马氏体组织,提高抗裂性能。为此在其过渡层上应选用含 Cr、Ni 合金元素高的焊接材料,如不锈钢焊条在焊奥氏体型不锈钢与含碳钢间的过渡层时应选 25-13 型奥氏体加 δ 铁素体双相不锈钢焊接材料类型。而覆层与介质接触部分的表层,为了提高耐蚀性,应选与覆层化学成分相当的焊接材料。

5.1.10 除不锈钢类钢种外的异种钢焊接选材应按强度低侧的母

材选焊接材料,焊接工艺按强度高的一侧母材选用,这样焊接接头强度分布才可以平缓过渡。而非不锈钢钢板和不锈钢焊接时应采用不锈钢焊接材料,为此可以减少对焊接接头的铬、镍合金元素的稀释作用、防止在焊接接头中熔合线附近产生马氏体脆性层,从而防止焊接接头裂纹等焊接缺欠的产生几率。

5.2 焊接工艺要求

5.2.1 气体保护焊在水电、水利施工中得到了普遍应用,气体保护焊的风速不得大于 2m/s,否则应做防风设施。当风速过大时,焊接时将会把保护气体卷走,使焊接熔池失去保护作用,而出现焊接气孔、合金元素被氧化烧损等焊缝缺欠。

5.2.2 焊接材料烘焙、保温和密封的目的主要是去除焊接材料里的水分或防止吸潮,避免使焊接接头产生氢气孔和产生延迟裂纹。焊剂中当混有杂物时将会导致焊接接头出现焊接缺欠等影响焊接性能。

6 众所周知,药芯、金属粉芯内的粉末比表面积很大,当工作结束后不对其密封很容易吸潮,采用这些措施,主要是防止焊缝中含氢量增加,减少延迟裂缝发生的几率。

5.2.3 本条对临时构件与钢管焊接要求作出了规定。

1 当材质不相同或相容,或不做堆焊过渡处理时,必然会影响钢管壁的化学成分,改变钢管壁的力学性能和耐蚀性能。

2 当不预热焊接的钢管纵缝、环缝时,则点固焊临时构件时也不需要预热焊接。例如,中等厚度及以下的低碳钢 Q235 或低合金钢 Q345R 等钢管纵缝、环缝焊接时可不预热。

3 临时构件距离钢管的纵缝、环缝 30mm 以上,主要是便于焊接钢管的纵缝、环缝,拆除临时构件时避免损伤钢管的纵缝、环缝并防止应力集中和防止产生焊接缺欠。

4 引弧和熄弧点均应在工卡具等临时构件上,主要是避免在钢管母材上引弧或熄弧,防止对钢管壁产生自激淬火、出现微裂纹

等缺欠。

5.2.4 在第3款中“对屈服强度 $R_{p0.2} \geq 650\text{N/mm}^2$ 或抗拉强度 $R_m \geq 800\text{N/mm}^2$ 的高强钢,至少焊两层,其长度应在80mm以上”,其根据是日本钢闸门压力钢管技术规范,实际上也是按此实施的。不仅定位焊缝,当表面或内部缺欠焊补时,只要一引弧,焊缝长度就得80mm以上,且至少焊两层。鲁布格水电站岔管制作时正值高温高湿季节,为“连续定位焊缝”。定位焊缝的长度和间隔的选取还要考虑吊装时的安全性。某水电站在钢管制作时,就发生了待焊的钢管从几米高的埋弧焊作业台上“一分为二”的坠落事故。

在第4款中规定,根据不同钢种裂纹敏感性的大小和焊缝的重要程度对定位焊缝是否清除给予了规定,保证焊缝质量。

5.2.5 铁锈、熔渣、油垢、油漆、水渍等当不清除时,将会导致焊缝出现气孔等焊接缺欠,并使焊缝含氢量增加,出现延迟裂纹的几率加大,焊缝力学性能劣化。低碳钢、低合金钢的一类焊缝,高强钢的一、二类焊缝的定位焊缝在正式焊接前应清理干净,其余类别焊缝的定位焊缝在正式焊接时,应检查定位焊不得有裂纹、气孔、夹渣,否则应清除,不然将会在焊缝内留下焊接缺欠,待正式焊接完后再用无损检测,势必给挖补处理造成较大麻烦,费工费时。

5.2.6 预热的主要目的是防止焊接时出现裂纹和保证焊接接头的力学性能。常用钢号可由本规范推荐表5.2.6确定,新钢号可根据钢材的化学成分、焊缝扩散氢含量、厚度、焊接接头的拘束程度、焊接方法和焊接环境等相应公式估算预热温度,综合这些因素考虑是否需要预热。预热温度最终可通过《对接接头刚性拘束焊接裂纹试验方法》GB/T 13817规定的焊接试验确定。随着板厚的增加拘束度增大预热温度也要相应增加。

5.2.7 本条强调了预热工具的选用要求,是根据现行行业标准《碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法》JB/T 6046引入的。

5.2.8 当板厚大于70mm时,预热测量点距离焊缝由50mm变

为 70mm,其实是提高了预热温度,因为板厚增加,其热容量增加了,目的为了防止出现焊接裂纹。

5.2.9 焊接时,保持层间温度范围的目的是改善焊接接头的金相组织、焊接内应力,防止出现焊接裂纹。

5.2.10 本条规定只能在焊接坡口或焊道内引弧、熄弧。当在其外的母材上引弧、熄弧时,将会导致母材淬火产生局部拘束应力、母材的金相组织遭到破坏和出现裂纹等缺欠。焊接引弧、熄弧时宜设置被焊件部位材质相同或相近的助焊板,其目的就是防止改变母材化学成分和出现焊接缺欠,提高焊接接头的焊接质量。

5.2.11 主要是防止焊接不同步时,导致钢管失圆、偏斜和歪扭移位。

5.2.12 强调在高强钢和冷裂纹敏感性较大的低合金钢,且立即焊后消除应力热处理的才做后热。对同一种钢而言消氢是钢板厚度、温度和时间函数。随着加热温度的提高,消氢作用过程中扩散氢在钢中的扩散速度才会越来越快,消氢作用才显著。真正的消氢热处理温度在铁碳相图靠近 A1 线下面附近,比焊接后热的温度高很多,后热主要不是为了消氢还有别的作用,可以减缓焊接接头冷却速度,在拘束度大的焊接接头,通过后热可以降低焊接收缩应力,从而防止焊接热应力裂纹的产生。所以在编写本条时将行业习惯用语“后热消氢”中的“消氢”二字去掉,而称为“后热”或“后热处理”。

5.2.13 此条规定焊缝采用碳弧气刨清根后一定要磨除渗碳层。否则,残留的渗碳层将会在随后的焊接中,在焊接接头的熔合线上可能会形成脆硬的高碳马氏体组织,甚至导致焊接接头熔合线开裂。

5.2.14 带垫板的 V 形焊缝坡口、不对称 X 形焊缝坡口和 Y 形焊缝坡口的对装间隙是引用现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1 和《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2 的规定,此类坡口是钢管焊缝的常用坡口型

式,此次规范列出是为了便于施工。其他类型的焊缝坡口可查阅 GB/T 985.1 和 GB/T 985.2 的规定。设计图样有规定的优先采用设计图样规定。坡口间隙随着母材板厚的增加而增大,而坡口角度变小,从而便于施焊同时也使填充金属和熔化比在一个合理的范围内,防止焊缝缺欠的产生和焊接内应力过大。焊接坡口垫板宜采用横截面尺寸 $5\text{mm}\times(60\sim 80)\text{mm}$ (热轧扁钢)。预留焊缝的垫板宜采用横截面尺寸 $(8\sim 16)\text{mm}\times(150\sim 200)\text{mm}$ 。垫板厚度过薄容易被焊漏,过厚与钢管装配不易贴合密实。垫板厚度大小还应考虑钢管的曲率,钢管曲率小、直径大,则垫板厚度可选得厚一些,反之,垫板厚度选薄一些。

美国焊接学会标准《钢结构焊接规范》AWS D1.1/D1.1M:2010 第 5.22.4.3 纠正条是这样规定的“焊缝组装坡口根部间隙大于允许宽度但不大于较薄板厚的 2 倍或 $3/4\text{ in}(20\text{mm})$ (取两者中的小值),可在部件焊接连接之前用焊接的方法予以纠正,达到合适的尺寸”。我们认为本条对这一坡口间隙范围的规定在钢管安装中是可以接受的,特别是水电站大型压力钢管凑合节的焊接是比较符合实际施工的。

5.2.15 当焊缝坡口间隙大于本规范第 5.2.14 条的规定时,可以选取贴工艺垫板或塞入填塞块的方式进行焊接。因为贴工艺垫板或塞入填塞块的焊缝往往焊接坡口间隙较大,在其背缝贴工艺垫板或在焊缝内塞入填塞块是为了便于焊接。但工艺垫板或填塞块的焊缝注意与管壁材质的相同性或相容性。焊接正面焊缝后,再清除工艺垫板或填塞块时应将其对焊缝的熔合污染区域同时清除,保证焊缝的力学性能不受影响。这类焊缝的表面往往较宽,为了便于超声波检测,应将焊缝表面打磨平整,甚至应清除掉焊缝余高。

5.2.16 此条焊脚的规定是引用了美国焊接学会 AWS 标准。

5.2.17 因为这类焊缝往往是在钢管上开孔焊接,其平面展开往往是椭圆形焊缝,由于该类焊缝位置的特征采用超声波检测很难甚至无法实施。

5.3 焊接工艺评定

本节参考了现行国家标准《焊接工艺规程及评定的一般原则》GB/T 19866 和现行行业标准《钢制压力容器焊接工艺评定》JB/T 4708对于编制焊接工艺的指导要求。本规范的焊接工艺评定过程与国内外其他行业的焊接工艺评定过程是一致的。目的都是为了验证施焊单位已拟订的焊接工艺指导书,其代号为 PWPS 的正确性及评定施焊单位所作的焊接接头的使用性能是否符合设计要求,并使焊接工艺评定全过程更加完整,也更加易于操作。焊接工艺规程的通用代号为 WPS。

焊接工艺评定是产生焊接工艺规程过程的一个程序性文件。它的主要作用在于验证所拟订的焊接工艺指导书的正确性和合理性,焊接工艺规程是为焊工和焊接操作工提供指导的焊接文件之一。

焊接工艺评定中的钢材和焊接材料应符合相应的国家标准及行业标准,这样才能代表钢管焊接接头的真实性,并强调焊接工艺评定应在施焊单位内进行,不能请其他施焊单位代做或引用其他施焊单位的焊接工艺评定结果,以保证本施焊单位真实地验证焊接工艺的可靠性。

焊接工艺评定是由施焊单位的熟练焊工按照拟订的焊接工艺指导书的规定焊接工艺试件,然后对工艺试件进行外观、无损检测、力学性能和金相等项检测,同时将焊接时的实际工艺参数和各项检测结果记录在焊接工艺评定报告上,焊接工艺评定报告的通用代号为 PQR。施焊单位的技术负责人应对该报告进行审批。

为了保证焊接接头和母材的力学性能和其他性能相匹配——低碳钢、低合金钢要求遵循等强度原则,高强钢根据不同的使用条件、力学性能要求遵循等强度原则,同时考虑等韧性、等塑性原则。不锈钢和不锈钢复合钢板的覆层要求遵循等强度原则,同时考虑等耐腐蚀性原则。为此,在施焊前应由施焊单位编制拟订完整的

焊接工艺指导书。为了保证焊接工艺规程的正确性,施焊单位应根据焊接性试验资料,按照本规范规定的焊接工艺评定规则对钢管的重要焊缝进行焊接工艺评定。

施焊单位不得将焊接工艺评定的关键工作——例如,拟订焊接工艺指导书、试板焊接与无损检测等工作委托其他单位完成。但因本施焊单位设备不够,可将试件加工、力学性能试验或其他试验委托有资质的单位完成。拟订焊接工艺指导书,要以钢板的焊接性试验为依据。焊接性试验的主要内容:

- 1 基础试验(母材理化试验)。
- 2 主要焊接性试验(包括裂纹敏感性、焊缝塑性及缺口韧性)。
- 3 焊接接头试验(包括无损检测和力学性能试验,不锈钢的耐腐蚀试验)。

焊接性试验是焊接技术基础,除了自身的技术积累之外,也可由科研单位或供货钢厂提供有效的钢板焊接性资料。

5.3.1 按本规范附录 D 检测焊接工艺评定“试验方法和合格标准”而提出报告。焊接工艺指导书,亦称预焊接工艺评定和焊接工艺评定报告的格式应符合本规范的附录 E 的规定,这个格式是多年以来针对水工金属结构生产实践不断修正完善的。

5.3.2 为了简化施焊单位分析施工条件变化而对焊接接头影响程度——将焊接的工艺因素划分为重要因素、补加因素及次要因素。现在影响焊接接头质量的条件日益增多,以往钢管建造主要是焊条电弧焊和单丝埋弧自动焊方法,但随着焊接技术的迅速发展,目前在管道建造时出现了多丝埋弧焊、气体保护焊和自保护药芯焊等。为了指导施焊单位更好地掌握哪些工艺因素变化将会影响焊接接头质量,这次规范编写将焊接的三类因素的影响分别给予列出。这些因素是参考了现行行业标准《钢制压力容器焊接工艺评定》JB/T 4708 中“各种焊接方法的焊接工艺评定因素”来划分的。

5.3.3 随着我国高水头、大直径或小直径厚壁的压力钢管的不断

出现,高强钢的应用日益广泛,过去高强钢主要是靠国外进口钢材,现在国产高强钢不断涌现,因此在本规范表 5.3.3 中列出了一些钢号示例。同时也是为了与现行国家标准《压力容器》GB 150、《焊接工艺规程及评定的一般原则》GB/T 19866 和现行行业标准《钢制压力容器焊接工艺评定》JB/T 4708 规范相协调,互通使用。

5.3.5 因为类别号Ⅲ内的组别号Ⅲ-4 及其以下低组别号、类别号Ⅱ低合金钢和类别号Ⅰ低碳钢,都属于低碳、低裂纹敏感指数的焊接钢材,只是钢材的比强度比后者高而已。多年的实践证明,材质为低碳钢、低合金钢的灌浆孔堵头或加劲环等与钢管材质为本规范表 5.3.3 类别号Ⅲ内的组别号Ⅲ-4 及其以下低组别号的高强钢焊接,未发现焊接质量问题,本条这样规定是符合实际施工需要的,减少不必要的成本和时间浪费。根据熔焊原理,前者的焊接工艺评定可以代替后者,但后者不能代替前者。

5.3.6 因为异种钢焊接接头两侧母材和焊缝本身的金相组织、亚结构组织和性能均存在一定差异。冲击试验主要是检验异种钢焊接相应部位的韧性。

5.3.7 对焊接工艺评定时焊接位置的选取。埋弧焊只能在水平位置焊接和滚动焊接,所以只能在平焊位置选取焊接试样。其余能进行全位置焊接的焊接方法,应选取立向上焊的焊接试样,因为该位置与其他所有焊接位置比较,是焊接热输入最大、冲击吸收能量低的焊接位置。

5.3.9 本条对重新进行焊接工艺评定的条件作出了规定。

2 因为焊条牌号尾数代表焊条的药皮类型,尾数的变化主要是影响焊接接头的冲击吸收能量。

5 现在钢管焊接施工不断出现新的焊接方法,而熔化极气体保护焊接过程中,不同的焊丝熔滴过渡形式将直接影响焊缝结晶组织的力学性能,所以焊丝熔滴过渡类型是影响焊缝质量的重要因素。

5.3.10 本条对试件做冲击试验作出规定。

4 除增加“焊接热输入”外,再规定了单位长度焊道熔敷金属体积,便于更加直观的评定焊接热输入的增加,这说明了焊接工艺评定具有一定的局限性,它仅仅是一种对拟订焊接工艺的验证,因此焊接工艺评定采用的焊接热输入或确定的单位长度焊道熔敷金属体积都应严格控制在焊接工艺规程或有关技术文件规定的焊接热输入范围以内。

9 结合本规范第 5.3.11 第 6 款,焊接位置变更对大多数焊接工作者存有疑义,由于焊接工艺评定都在平焊位置进行,其他位置除向上立焊由于熔池受重力影响会降低焊接速度,而焊接电流又比仰焊位大,因此向上立焊位置的焊接热输入是所有焊接位置中最大的,所以有冲击吸收能量要求的焊接接头应在向上立焊位置(埋弧焊为平焊位)施焊作焊接工艺评定。至于其他位置的变化以及取消单面焊的钢垫板只能由焊工的焊接技能来给予保证。

5.3.11 本条主要说明在什么焊接条件下属于次要因素。以往的一些规程、规范和标准对影响焊接接头力学性能的重要因素和补加因素都已比较熟悉,对钢管的建造质量起到了很好的作用。然而实际焊接施工中影响焊接质量的因素很多,有些因素介于两种因素的边缘,导致施焊单位焊接人员较难判断。为此在编写本规范时将焊接时属于次要因素的焊接条件也在此条中详细列出,以便于执行。

焊接坡口型式对各种焊接方法都为次要因素,它的变更对焊接接头力学性能和弯曲性能以及耐腐蚀性无明显影响。焊条、焊丝直径的变化可由焊接热输入控制,所以也不会影响焊接接头的性能。

9 在电特性变更中,单独的变更电流值或电压值只是次要因素,当将电流与电压结合后再考虑焊接速度就是焊接热输入,这样成了补加因素。

11、12 这两款都属于施焊前的准备工作,对焊接接头的影响较小,所以也属于次要因素。

15 都是在同一种已经评定的焊接方法下改变施焊操作方式,与焊接工艺评定与否无关。

明确了焊接条件变更属于次要因素的范畴时,仅仅是为了说明不需要重复作焊接工艺评定,而不是说不需要作焊接工艺评定,但需要重新编制或修改已进行过的焊接工艺评定的焊接工艺规程,见本规范第 5.3.14 条中规定,在重要因素、补加因素没有改变时对接焊缝试件评定合格的焊接工艺用于角焊缝,即可理解为对接焊缝试件的焊接工艺评定报告需重新编制角焊缝的焊接工艺规程,也可理解为角焊缝试件的焊接工艺已经由对接焊缝试件评定过了不需要重复进行焊接工艺评定,但不能理解为不需要焊接工艺评定。这点应引起广大施焊人员对焊接工艺评定的重视。

5.3.12 随着炼钢技术和焊接材料生产技术的不断发展,材料性能的提高,焊材扩散氢含量的降低,采用后热方法来对焊接接头消氢已不是主要手段,国外一些标准甚至不强调。后热现在主要是用来对淬硬倾向大的部分高强度、拘束度大的焊接接头减缓其冷却速度,降低焊接热应力,防止焊接接头出现热应力裂纹,因此不属于焊接工艺评定范畴。

5.3.15 本条说明当采用两种或两种以上的组合焊接方法或重要因素、补加因素不同的焊接工艺时,可以分别评定或组合评定。组合评定合格后可以采用其中一种或几种焊接方法或焊接工艺,但应保持每种焊接方法或焊接工艺所评定的试件厚度和熔敷金属的厚度都在已评定合格的各自有效范围内。

5.3.16 鉴于有些水质泥沙含量比较大或水质污染严重,有的冲沙孔道钢衬和泄水孔(洞)钢衬内的流速甚至高达 50m/s,且水流紊乱,对此要求抗冲刷、抗腐蚀的部位就凸现出来了,采用不锈钢的部件越来越多,为了降低成本,采用不锈钢复合钢板的也在不断涌现。因此在本规范内也给予规定。

5.3.17 随着我国大直径、高水头的压力钢管不断增加,钢管制作材料强度越来越高。因此按美国机械工程师协会标准 ASME《锅

炉及压力容器规范》中“焊接及钎焊评定表”QW-45“坡口焊缝拉伸试验和横向弯曲试验”及我国现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014的规定将低碳钢、低合金钢与高强钢分开处理。经焊接工艺评定后的试件对母材及焊件熔敷金属有更大的适应范围。

5.3.20 对焊接接头焊缝及热影响区硬度值的规定,是为了更加便于做焊接工艺评定——也就是说硬度测试作为辅助测试合格后,再去做力学性能试验,可以节省试验成本。此条引用了《钢电弧焊焊接工艺评定》BS EN288-3 硬度值规定。维氏硬度值 $HV_{100N} \geq 450$ 时说明有淬硬组织产生,易产生冷裂纹;而维氏硬度小于母材 70% 的部位,往往发生在焊接接头的热影响区(代号为 HAZ),即说明 HAZ 出现了软化现象,尤其是高强钢和本质粗晶粒钢焊接热输入偏大时这种软化区出现的几率较大,这主要是焊接热输入偏大之原因或主要是母材本身化学成分有问题不适合这种焊接热输入或焊接方法。当焊缝熔敷金属为不锈钢奥氏体型组织,在焊态下的硬度都比较低,最大不会超过 $HV_{100N} 300$,且焊缝的塑性、韧性均较好,所以不必做硬度检测。

5.4 焊接接头检测

5.4.1 本条文表 5.4.1 说明如下:

1 为了在表中便于表述,现将“埋弧焊”称为“自动焊”。因为目前埋弧焊也有手工埋弧焊,而自动焊是指:埋弧自动焊、MAG 自动焊和 MIG 自动焊等自动焊接方法。

2 咬边:一类焊缝的咬边为 $\leq 0.5\text{mm}$,咬边长度的不作限制规定。这是因为美国机械工程协会标准及国内压力容器安全监察规程也是这么规定的。咬边对构件的影响主要表现在脆性破坏和疲劳破坏,所以有的规范规定,当重要受力焊缝的咬边与主应力方向垂直时,咬边深度不得大于 0.25mm ,更严格的标准(如航空航天标准)就不允许咬边,如存在咬边,应修成平滑过渡。既然允许咬边

存在,长度的限制也就意义不大了。所以本规范编写时,也突破了国内水电水利系统多年来的传统规定。实际上原来的规定主要是沿用国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

3 焊缝余高尺寸的规定,是通过不同的板厚和不同的焊接方法经过大量的实践统计在保证焊接接头质量性能的条件下得出的。

4 对接焊缝宽度手工焊一般不会超出坡口太多,大多数情况是 1mm~2.5mm 范围。

5 角焊缝焊脚 K,它是根据等强度设计产生的,所以应当有负偏差。

5.4.2 衍射时差法超声检测(TOFD)检测的由来:

衍射时差法超声检测(TOFD)是衍射波时差法超声检测技术的英文 Time-of-Flight-Diffraction Technique 缩写。

衍射时差法超声检测(TOFD)是在 1977 年由 Silk 根据超声波衍射现象提出来,意大利 AEA sonovation 公司在衍射时差法超声检测(TOFD)应用方面已经有 20 多年历史,此技术首先是应用于核工业设备在役检测,目前在核电、建筑、化工、石化、水电、长输管道等工业的厚壁容器和管道方面多有应用,衍射时差法超声检测(TOFD)技术的成本是脉冲反射法检测(UT)技术的 1/10。

衍射时差法超声检测(TOFD)的技术特点及原理:

衍射时差法超声检测(TOFD)技术作为一种较新的超声波检测技术,不同于以往的超声脉冲反射法和声波穿透法等技术,它利用固体中声速最快的纵波在缺欠端角和端点产生的衍射来进行检测。在焊缝两侧,将一对频率、尺寸和角度相同的纵波斜探头相相对称放置,一个作为发射探头,另一个作为接受探头。发射探头发射的纵波从侧面入射被检焊缝断面。部分波束沿近表面传播被接受探头接受,部分波束经底面反射后被接受探头接受,通过各个声波信号之间到达的时间差并形成特殊的衍射时差法超声检测(TOFD)图像,显示缺欠位置、高度、形状等信息。特点是成像直观、检测速度快,能全程记录检测过程并可实现数据回放。在无缺

欠部位,接收探头会接收到沿试件表面传播的侧向波和底面反射波。而有缺欠存在时,在上述两波之间,接收探头会接收到缺欠上端部和下端部的衍射波。

衍射时差法超声检测(TOFD)技术作为超声检测是可行的,其可靠性和精度要高于常规的脉冲反射法检测(UT)技术。相比常规的脉冲反射法检测(UT)技术,现时的衍射时差法超声检测(TOFD)技术有几个最明显的不同,一是很高的定量精度,绝对偏差为 $\pm 1\text{mm}$,而裂纹监测的偏差为 $\pm 0.3\text{mm}$ 。二是对缺欠的方向和角度不敏感。三是对缺欠的定量不是基于信号的波幅,而是基于缺欠尖端衍射信号的声程和时间。

衍射时差法超声检测(TOFD)检测的优缺点:

衍射时差法超声检测(TOFD)可以应用于壁厚达到350mm以上厚壁容器的检测。衍射时差法超声检测(TOFD)技术缺欠检出能力强、缺欠定位精度高、节省施工工期、安全,检测数据可以用数字型式永久保存。衍射时差法超声检测(TOFD)检测具有如下优点:

1 与常规的脉冲反射法检测(UT)技术相比,衍射时差法超声检测(TOFD)在缺欠检测方面,与缺欠的方向无关。检测数据可以进行自动的数字记录并作永久保存,可以为企业以后的检测提供准确的资料。

2 同射线相比,衍射时差法超声检测(TOFD)可以检测出与检测表面不相垂直的缺欠和裂纹。

3 可以精确确定缺欠的高度。

4 在安全上同射线相比,无辐射、无环境污染,不需要一个安全的、独立的操作空间,不需要现场周围其他单位停工和人员撤离,因此,可以在不中断施工条件的情况下进行检测,可以有效地保证工程进度,节约施工工期。

5 可以在线得到检测结果,并且可以将结果用数字信号型式永久保存在光盘中,以便于以后在役检测进行对比分析。

6 可以在线应用相关的工程评定标准对缺欠进行评定,仅将

按标准评定的缺欠进行挖补修复,避免了无用的破坏焊缝整体性的修补现象。

7 因为检测速度快,对于板厚超过 25mm 的钢板,成本比射线检测(RT)少得多。

8 可以在 200℃ 以上的表面进行检测(已经有在 400℃ 检测的实例)。

9 衍射时差法超声检测(TOFD)检测系统易于搬运,可以在方便的任何地方进行检测。

10 由于可以在不间断施工条件和运行状况下进行检测,由此可以节约大量的时间和修复成本。

11 检测率高于常规的脉冲反射法检测(UT)和射线检测(RT)。

衍射时差法超声检测(TOFD)的缺点:

1 焊缝的两边应有能够安放用于衍射时差法超声检测(TOFD)的发射和接收探头(扫描架)的位置。

2 在检测表面下,存在一个检测不到的盲区。根据各公司的技术条件,此盲区在 2mm~10mm 不等[表面露头缺欠衍射时差法超声检测(TOFD)是可以检测到的——近表面未露头缺欠可以用磁粉表面无损检测弥补]。

3 检测人员应经过专门的训练,并积累相应的经验。

衍射时差法超声检测(TOFD)检测的优越性:

因为射线方法需要拍片,不仅提高了经济成本,延长了检测周期,而且增加了环境污染物排放,更重要的是,射线方法具有电离辐射危险,可造成对人体和环境危害。射线检测(RT)的检测厚度受设备能力限制,对缺欠检出率有方向性限制。就焊缝缺欠测高方法而言,衍射时差法超声检测(TOFD)是当前超声波检测领域的前沿技术之一,较传统的方法测试精确得多。衍射时差法超声检测(TOFD)方法具有无污染、速度快、灵敏度高、定位精确高、重复性好等优点。

与传统的常规检测相比,衍射时差法超声检测(TOFD)具有

以下的优势：

1 检测速度快，检测周期短，现场检测时只需沿焊缝进行一次简单的线性扫查而无需来回移动即可完成全焊缝的检测。

2 能正确的缺欠定性，精确任何朝向的缺欠定量。

3 缺欠定位准确，检测灵敏度高。

4 检测结果直观，在扫查的同时可对焊缝进行分析、评判。可实现实时显示，实现检测结果的永久性保存。

5 可检测射线无法穿透的壁厚。对管道和蜗壳的纵环焊缝、球罐、储罐等对接焊缝的检测，效率高、效果好。

6 作业强度小，环保，对环境无污染。

衍射时差法超声检测(TOFD)无损检测技术，在我国正在步向成熟和广泛应用，近几年已经在我国引水压力钢管、蜗壳等板厚比较大的无损检测上得以使用。从一定程度而言可代替射线检测，也弥补了射线的诸多不足。采用衍射时差法超声检测(TOFD)无损检查技术减小了人为误判、漏判缺欠的影响。

5.4.3 相控阵超声(PA - UT)检测技术较常规超声波检测具有高速、高效、适合复杂构件以及能实时成像等优点。相控阵技术具有的优势：声束角度、聚焦范围和焦点尺寸的软件控制，仅用一个小型电子控制的多晶片探头即可实现多角度扫查。对几何形状复杂的构件检测具有更大的灵活性。

当 T 形接头等采用常规的脉冲反射法检测(UT)不便甚至无法扫查的狭窄空间位置时，可采用相控阵超声检测(PA - UT)来进行检测。因其具有不移动探头就可以电子控制的自动变角度扫查功能。

自动超声波相控阵检测就是采用相控阵技术中的扇形扫描与衍射时差法超声检测(TOFD)组合技术。能同时将扇形扫查结果和衍射时差法超声检测(TOFD)结果显示在一个视图上。该组合技术优于单独采用衍射时差法超声检测(TOFD)技术或相控阵技术。该组合技术不仅能检测焊接接头，还能解决横向缺欠、母材检

测及耦合的问题。该组合方式用于检测壁厚为 6mm~200mm 的环缝和纵缝,主要用于检测锅炉、压力容器及管道等的环缝和纵缝。

5.4.4 表 5.4.4 中注 3,衍射时差法超声检测(TOFD)检测技术比其他常规无损检测对缺欠的灵敏度高,所以应配合脉冲反射法检测(UT)或相控阵超声检测(PA-UT)进行检测。

5.4.5 这主要是针对有延迟裂纹倾向的钢材或焊缝而言的。因为导致延迟裂纹的三要素是:淬硬组织、拘束应力和扩散氢,而氢在母材或焊缝的组织中向其缺欠扩散聚集是需要一定时间的,从而导致裂纹的产生。所以“对有延迟裂纹倾向的钢材或焊缝”作出本条规定。

5.5 缺欠处理

5.5.2 焊接接头缺欠的清除可直接用砂轮磨除或碳弧气刨刨除,再用砂轮磨除掉熔渣和渗碳层。刨槽内没清理干净而残留的渗碳层将会在随后的焊接中,在焊接接头内形成脆硬的高碳马氏体组织,甚至再次出现裂纹。

5.5.3 焊补时往往其周围的拘束度较大,属于封闭焊缝,因此预热温度比正常施焊的预热温度高。焊补时比正常施焊存在有较大的焊接应力甚至焊补不当再次出现焊接裂纹等缺欠。预热和后热的目的就是为降低焊接残余应力和防止再次出现焊接裂纹。

5.5.4 低碳钢、低合金钢和不锈钢等塑性较好的钢种,焊补时采用锤击法主要是降低焊接冷却产生的收缩应力,防止裂纹的产生。而高强钢塑性比较低,并且当屈服强度达到一定数值(一般大于 550N/mm^2)时,就不会产生屈服现象了。当用锤击锻打焊缝时,通过屈服塑性变形来使焊缝延展,降低焊缝收缩应力效果不是很明显,反而很容易导致焊缝本身及其两侧母材热影响区内产生微裂纹,而随后焊接又不易全部重熔掉这些微裂纹而残留下来,从而使焊接接头质量下降;当在焊缝红热状态下锤击锻打焊缝,又会干扰施焊焊接,在实际施工中受施工条件限制,

往往又做不到。

不锈钢导热性比较差,当采用横向摆动焊接时,焊接速度较慢,这样在 $T_{8/5}$ 高温停留时间较长,从而使焊接接头晶粒长大的倾向增大,晶粒变粗,塑性韧性降低。

5.5.5 对于低碳钢、低合金钢和不锈钢,返工次数限制为 2 次,2 次以上的返工要制定可靠的措施。甚至要提出用熟练的、技能较高的焊工来进行。对于高强度调质钢和高强度控轧钢,因为涉及焊缝过热区组织的反复加热会造成晶粒组织粗大或产生不良组织如粗大的岛状马氏体,降低焊接接头的韧性和强度,至于影响有多大?会不会出现过热区的反复过热?虽然国内尚无成熟的试验结果。但是日本专家对压力钢管制作有此要求,日本水闸钢管协会 1993 年修编的《日本焊接技术标准》第 6 节第 5 款也提到“同一部位焊缝返工原则上仅限 1 次,当大于 1 次时,找出原因后采取适当措施”。所以本规范对高强钢也提出了 1 次返工的限制。

返工焊补通常是在拘束度较大的条件下进行焊接,所以易于产生焊接裂纹,此外,多次返工会增大焊接残余应力,使该处遭受热疲劳,从而导致该处的力学性能、耐蚀性能等下降。而做冲击试验时,在取试样时,试样应力已经被释放,所以做冲击试验是反映不出焊接残余应力影响的,金相检测也检测不出残余应力。据调查,在我国以往所发生的压力容器重大质量事故中,究其原因,有相当一部分与多次返工焊补使局部残余拘束应力增大有关。故本条提出,是为了引起广大焊接人员加以关注。

5.5.6 不锈钢不得有电弧或硬物击痕。前者会导致不锈钢金相组织改变,后者会引起冷加工硬化,两者都会使击伤处的腐蚀电位降低,使该处腐蚀加速,耐蚀性能降低。高强钢不得有电弧擦伤和硬物击痕,因为高强钢的屈强比较高、塑性比较低、合金元素多,所以电弧擦伤使钢材激冷易产生残余拘束应力和微裂纹等缺欠,硬物击痕会使该处冷加工硬化,导致该处塑性降低和裂纹的发生。一旦出现了这两类击痕,需要将其用砂轮清除。

6 焊后消应处理

6.0.1 因为不仅有传统的焊后热处理消应方法,而且近年来在压力钢管上引入了对焊缝进行爆炸消应、振动时效消应等消除或降低焊接接头残余应力的施工方法。这些消除焊接残余应力的方法,统称为焊后消应处理。

6.0.2 高强钢当做焊后热处理消应时,温度控制不好,很容易超过钢的调质回火温度或控轧终了温度,改变其金相组织,从而恶化其性能。

6.0.3 焊后热处理可以松弛焊接残余应力、软化淬硬组织、改善组织、减少焊缝扩散氢的含量、提高耐腐蚀性,尤其是提高一些钢种的冲击吸收能量、改善力学性能和蠕变性能,在加工后稳定几何尺寸和减小对接焊缝的焊接残余应力效果比较显著。但是对结构复杂的构件,例如,某些类型的岔管,在做焊后热处理消应时由于构件各处厚薄不一,存在热处理常见的两个效应——体积效应和形状效应,将会导致构件各个部位的加热速度和冷却速度不一致,加之措施不当从而未达到消应的预想目的,反而在新的部位出现应力增大现象。对有些钢种在焊后消应热处理后,还会产生焊后热处理裂纹,即再热裂纹。加之水工金属结构体积庞大,对其做焊后消应热处理是很难保证消应效果的,甚至适得其反。

6.0.6 焊后消应热处理的硬度检测规定主要是防止焊后消应热处理时,由于冷却速度增大引起焊接接头产生淬硬组织使硬度升高。必要时,消应热处理后,用超声波检测或射线检测(RT)焊接接头是否产生了再热裂纹。

6.0.7 爆炸消除焊接残余应力是近年来发展的新技术,用适当的炸药以适当的方式在焊接接头上引爆,利用爆炸冲击波的能量使

残余应力峰值处发生应力叠加,从而使该处发生屈服塑性变形,以达到消除和降低焊接残余应力的目的。

6.0.8 振动时效消应的实质,是基于谐波共振原理,采用合适的激振设备刚性的固定在被振工件适当位置,通过激振力和频率的调整,迫使工件在一定周期外力作用下与共振频率范围内产生振动,在工件的低频亚共振点,稳定地亚共振约 15min~30min,使共振峰出现变化,内部发生微观塑性变形,从而造成残余应力的歪曲,晶格被渐渐地恢复平衡状态,晶粒内部的位错逐渐滑移并重新缠绕钉扎,使得残余应力得以消除和均化。

振动时效消应的噪声比较大。对振动时效消应的操作人员要求很高,要有丰富的工艺理论和娴熟的操作技术,这样才能保证数据的科学性和真实性。对屈强比(R_{eL}/R_m)大于 0.8 的钢种做振动时效消应处理时应慎重。

振动时效消应,在四川省甘孜藏族自治州九龙县沙坪水电站的材质为 610N/mm² 级高强钢斜 Y 形岔管(2 个)、偏桥水电站的材质为 Q345R 斜 Y 形岔管(2 个),四川省阿坝藏族羌族自治州毛尔盖水电站的材质为 610N/mm² 级高强钢斜 Y 形岔管(2 个)实施过。据资料介绍,在新疆维吾尔自治区恰甫其海水电站的材质为 610N/mm² 级高强钢斜 Y 形岔管(3 个)、浙江汤浦水库的材质为 Q235A 卜形岔管上使用过。

但不论采用何种消应方法,均应在实施前会同相关单位进行消应工艺评定,确定实施方案后再进行,以达到较好的消应效果。

7 防 腐 蚀

7.1 表面预处理

7.1.1 焊渣、飞溅的存在是个别的,应在上一道工序中处理,所以本条称为“遗漏的焊渣和飞溅”。

7.1.2 表面粗糙度的大小取决于磨料的粒度、形状、材质和喷射速度等因素。其中磨料的粒度对粗糙度影响较大。为使最大粗糙度不大于 $120\mu\text{m}$,喷砂用金属磨料的平均粒度应为 $0.5\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ (即 17 目 \sim 51 目),人造矿物磨料和天然矿物磨料的平均粒度应为 $0.5\text{mm}\sim 3.0\text{mm}$ (即 8 目 \sim 51 目)。在环境气候湿度大的地区,慎用金属磨料,因为环境中的水分会使金属磨料锈蚀而板结,使金属磨料除锈功能失效。

7.1.4 可用表面清洁度标准照片目视对照评定。其文字描述应符合表 1 的规定。

表 1 钢材表面清洁度

除锈方法	表面清洁度	表面清洁度的要求内容
局部喷射除锈	PSa2	彻底的局部喷射清理。 牢固附着的涂层应完好无损。表面的其他部分,在不放大的情况下观察时,应无可见的油、脂和污物,无疏松涂层,几乎没有氧化皮、铁锈和外来杂质。任何残留污染物应牢固附着。参见标准表面清洁度照片 CSa2 和 D Sa2。选择哪一个,取决于腐蚀凹坑的程度
	PSa2.5	非常彻底的局部喷射清理。 牢固附着的涂层应完好无损。表面的其他部分,在不放大的情况下观察时,应无可见的油、脂和污物,无疏松涂层、氧化皮、铁锈和外来杂质。任何污染物的残留痕迹应仅呈现为点状或条状的轻微污斑。参见标准表面清洁度照片 CSa2.5 和 DSa2.5。选择哪一个,取决于腐蚀凹坑的程度

续表 1

除锈方法	表面清洁度	表面清洁度的要求内容
局部喷射除锈	PSa3	局部喷射清理到目视清洁钢材。 牢固附着的涂层应完好无损。表面的其他部分,在不放大的情况下观察时,应无可见的油、脂和污物,无疏松涂层、氧化皮、铁锈和外来杂质。应具有均匀的金属光泽。参见标准表面清洁度照片 CSa3 和 DSa3。选择哪一个,取决于腐蚀凹坑的程度

本规范第 7.1.4 条和第 7.1.5 条,不包括表面清洁度 PSa1,因为这个等级的表面不适合于涂覆涂料。

R_z 为微观不平度十点高度——即量取在取样($R_z > 10.0\mu\text{m} \sim 50.0\mu\text{m}$ 时, $L = 2.5\text{mm}$; $R_z > 50\mu\text{m} \sim 320\mu\text{m}$ 时, $L = 8\text{mm}$)长度内 5 个最大的轮廓峰峰高的平均值和 5 个最大的轮廓谷深的平均值之和。随着对钢管防腐要求的不断提高,在许多电站对钢管出现了采用厚浆型重防腐涂料或金属热喷涂。这样结合表面粗糙度定义 R_z ,对一般性防腐——例如明管的外表面或附件的防护采用 $R_z 40\mu\text{m} \sim R_z 70\mu\text{m}$ 。对要求重要的、防腐寿命要求高的表面和钢管内表面宜做厚浆型重防腐涂料或金属热喷涂,表面粗糙度要求应达到 $R_z 60\mu\text{m} \sim R_z 100\mu\text{m}$ 。这样对不同涂料给予区别对待进行表面粗糙度处理。

喷砂除锈钢材表面要形成一定的粗糙度,这样可以提高涂层的附着力。一般最大粗糙度不希望大于 $120\mu\text{m}$,如果表面粗糙度太大,不仅要消耗过多的油漆,而且还有可能在涂层下面截留住气泡,或者发生没有被涂层覆盖住的波峰。表面清洁度可以用其标准照片进行目视评定。表面粗糙度可以用触针式的轮廓仪或标准比较样板目视评定。

7.1.5 对埋管外表面传统习惯采用涂刷苛性钠水泥浆(3%~5%苛性钠),但苛性钠水泥浆保持时间不长。近年来涌现出了不少种类的改性水泥胶浆,其性能比传统的苛性钠水泥浆结合性能更高,

保持时间长。然而考虑到水电施工的具体特性,这两种类型的涂料将会并用一定时期,今后可根据设计规定和合同要求进行选用。

7.1.6 当钢板表面水渍、油污、返锈和粉尘等不清除干净时将会影响涂料的附着力。

7.1.7 大气露点(或霜点)温度是指空气在水汽含量和气压都不改变的条件下,冷却到饱和时的温度。形象地说,就是空气中的水蒸气变为露珠时候的温度叫露点温度。露点温度本是个温度值,可为什么用它来表示湿度呢?这是因为当空气中水汽已达到饱和时,气温与露点温度相同;当水汽未达到饱和时,气温一定高于露点温度。所以露点与气温的差值可以表示空气中的水汽距离饱和的程度。

温、湿度露点温度测试仪有很多种类型,其中冷镜式露点仪不仅适用于低湿度环境,也适合中、高湿度环境。比较其他露点测量仪,它是最准确、最可靠、最基本的测量方法。但其价格比较昂贵,需要有经验的人操作及保养。

冷镜式露点仪的测量原理:使一个镜面处在样品湿空气中降温,直到镜面上隐现露滴(或冰晶)的瞬间,测出镜面平均温度,即为露(霜)点温度。它测湿精度高,但需光洁度很高的镜面,精度很高的温控系统,以及灵敏度很高的露滴(冰晶)的光学探测系统。使用时必须使吸入样本空气的管道保持清洁,否则管道内的杂质将吸收或放出水分造成测量误差。

7.2 涂料涂装

7.2.2 本条对涂层配套系统的选择要求作出了规定。

4 输水工程钢管道通常为水利灌溉或人畜饮用水管道,所以涂料应具有环保和卫生安全许可的要求。

7.2.3 由于水电、水利施工大多靠近河畔或深山峡谷之中,对钢材表面预处理好的表面,放置时间长了受潮率会增大。钢材表面预处理之后与喷涂时间间隔越短越好,预处理和喷涂作用场地的

环境气候湿度低、钢材表面温度在 $5^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 间比较适宜,超出这个表面温度范围不得进行喷涂。考虑到水电、水利施工的特殊性,预处理后与开始喷涂的间隔时间不得超过 12h。

7.2.5 安装焊缝不立即施焊时,应按本规范规定在其附近表面立即涂装一道车间底漆,如无机富锌底漆,以防在储存、装配和涂装过程中钢板生锈,并为安装补涂保护好钢板的表面。预留 100mm ~ 200mm 不涂装,主要是防止焊接时在焊道内“卷入”涂料,使焊缝内产生气孔等焊接缺欠,同时防止焊接时产生的热量烧毁涂层。

7.3 涂料涂层质量检测

7.3.1 为了保证各层涂膜厚度,同一物性的涂料,每一涂层可采用不同的颜色,这样可以直观的监测到每层涂膜厚度是否喷涂到要求的厚度。当上一层对下一层的颜色未覆盖时说明该区域被漏涂。

7.3.3 本条对涂层内部质量作出了规定。

1 过去检测涂层厚度常用“磁性测厚仪”。因为目前出现了很多类型的测厚仪都可以检测涂层,不过检测被涂材料是铁磁性材料时仍可用磁性测厚仪。所以称为涂镀层测厚仪或漆膜测厚仪比较适应现在的测量方法。

3 不含导电元素涂料是指不含铁、锌、铝等金属导电元素以及游离碳元素、碳纤维的涂料。不含导电元素涂料的涂层采用针孔检测仪时,“侧重在安装环缝两侧的涂层检测”,因为从以往的施工经验来看,钢管运行一段时间后,往往在安装环缝及其临近表面先发生锈蚀。

5 由于重防腐技术在钢管中的推广应用,规定了涂层厚度的界限为 $120\mu\text{m}$,而以此为界按不同的涂层厚度差异分别采用不同的划格法方式进行检测更能准确的检测涂层的附着力情况。

7.4 金属喷涂

7.4.1 目前金属热喷涂技术的不断发展,除了传统的锌或铝作为

喷涂金属材料外,近年来又出现了混合金属丝喷涂。但从防腐寿命试验来看,喷锌的耐腐蚀寿命要长于铝、锌铝合金等。这是因为锌不仅有机械隔离防腐,还具有阴极保护的作用,而铝只有机械隔离防腐作用,几乎无阴极保护性能。但铝层比锌层的硬度高,具有一定的耐磨性能。

7.4.2 电弧喷涂同火焰喷涂相比,由于采用了电能代替气体燃烧,大大提高了工作效率和工作安全性,特别是电弧喷涂机械化设备的出现,电弧喷涂技术已完全可以满足钢管制作安装工期的需要,且电弧温度远高于火焰,涂层结合力也远大于火焰喷涂,因此涂层质量也完全可以满足长效防腐的需要。

7.4.4 表面预处理除锈后,当不及时进行喷涂时,将会在钢材吸附水分和尘埃。随着时间的延长,钢材表面吸附的水分和尘埃会越来越多,将会影响涂料的附着力。

7.4.6 采取适当厚度多层喷涂,可以提高附着力。逐层相互垂直交叉喷涂,可以使涂层内的微观空隙率减少,提高涂层的封闭程度。

7.4.7 由于金属涂料存在有一定的空隙,当不及时用有机涂料进行封闭时,将会使空隙不断吸收水汽,甚至翻出黄锈。金属涂层尚有一定余温进行有机涂料的喷涂,可以提高有机涂料的渗透浸润性,提高涂层的封闭功能。

7.5 金属涂层质量检测

7.5.1 当这些缺欠不按本规定进行处理时,将会使涂层的防腐寿命降低。

7.6 牺牲阳极阴极保护系统施工

7.6.1 阴极保护技术包括外加电流和牺牲阳极两种方法,其原理是通过外加电流或牺牲阳极的溶解使被保护的金属(阴极)电位降到腐蚀电位以下,从而避免被保护金属发生腐蚀。

外加电流阴极保护受到的干扰因素多,运行维护管理较为复

杂,其应用受到很大限制;牺牲阴极保护在海水、淡海水和电阻率低于 $6000\Omega \cdot \text{mm}$ 的淡水环境中都可以应用,施工和维护也较为容易。本规范只推荐牺牲阳极阴极保护方法。牺牲阳极阴极保护的阳极块通常有镁基、铝基和锌基三种合金阳极。锌阳极适合于低温环境及海水、淡海水和海泥环境,因为锌阳极的驱动电位随温度的升高而降低,并在 54°C 时可能会发生极性逆转。铝阳极适合于海水、淡海水及油污环境,因为铝阳极发电量大、电流效率高等特点,即使发生液位改变或其表面被污染也会自动脱落而不会影响电流的输出。镁阳极适合于淡水和淡海水环境,因为镁阳极在电阻率低于 $1000\Omega \cdot \text{mm}$ 的水中时镁阳极块消耗非常快。

牺牲阳极和涂料保护配合应用时可降低所需的保护电流,延长牺牲阳极的使用寿命。牺牲阳极安装时要注意保护涂层质量的完好,另外要避免保护电位过负,防止局部出现过保护而破坏涂层。

牺牲阳极阴极保护系统较为适合于钢管的埋管中的回填管段,当为明管时,应采用引出线的方法形成电流回路。

7.6.4 第7款要求不得污染牺牲阳极表面,如果粘有油漆和油污时,则阳极溶解速度降低,无法提供足够的保护电流,保护电流也就无法满足要求。

7.7 牺牲阳极阴极保护系统质量检测

7.7.2 采用牺牲阳极阴极保护时形成的电流回路是很重要的,当不能保证和其他金属结构电绝缘时,则保护电位达不到设计要求,保护效率就较低。无法电绝缘时应考虑其他金属结构设备对牺牲阳极阴极保护系统的影响,应避免保护系统对邻近结构物的干扰。

8 水压试验

8.0.1 水压试验分为工作压力试验、超压试验两种。水压试验的主要目的是为了检验钢管、钢岔管的设计、制作及安装等的强度,以及制作安装的严密性。同时对塑性好、有屈服现象的低碳钢和低合金钢即含有铁素体类型的钢可消除一定的焊接残余应力。水压试验不仅是检查焊缝、进入孔、伸缩节及其各类阀门是否渗漏水,检查混凝土有无裂纹、镇墩有无异常变位等,而且也是验证勘测、设计、施工等是否符合安全质量要求。水压试验过程中应做好安全防范工作,避免发生突发事件,造成人员伤亡和财产的重大损失。

8.0.2 水压试验安全措施和安全预案,是一个涉及技术和安全很重要的一个程序环节。至于由哪个单位来制订(业主制订或设计单位制订或施工单位制订),这个在条文中未作规定,因为这属于管理范畴,而不属于技术范畴。当由施工单位制订时,则应由业主持,会同设计、监理对其进行审核后,才能进行实施。

8.0.3 当钢管管口直径大、压力载荷大时,应采用椭球形闷头或碟形闷头。因为椭球形闷头或碟形闷头是一种比较能适应各种直径及较大工作压力的闷头。它与平板闷头、圆锥形闷头比较用料节省。过去由于制作椭圆形闷头或碟形闷头是采用模压或锻打的办法加工,受设备的限制,制作困难。近年来采用旋压法、爆炸法成形,使得椭圆形闷头或碟形闷头的加工在某些意义上来说,比平板闷头、圆锥形闷头的加工更为方便和经济了。

当制作大型椭球形闷头和碟形闷头受设备条件限制时,可采用圆锥形闷头。圆锥形闷头大头端应设置加劲环,以抵抗锥形管体产生的分压拉应力,防止钢管压瘪。小头端部可为平盖闷头,亦可为椭球形闷头。闷头材质宜选择低碳钢和低合金钢制作,这样

制作工艺较为简便。因为椭球形和碟形闷头在制作时要进行热加工,而高强度材质的闷头在热加工时将会导致金相组织的改变,从而改变其力学性能。而采用热处理方法来恢复高强度钢的原状态的力学性能,很为繁琐麻烦,且受到设备等的条件限制。当椭球形闷头或碟形闷头受到外协工期不可控时,可自制平盖闷头。只是后者比前者需要的钢板量要大一些。

由于小直径的钢管或岔管做水压试验比较容易,打压闷头也便于制作,所需投资也不是很大,所以便于实施。然而随着钢管直径的增大做水压试验变得越加困难。而大直径的钢管往往是资质比较高的设计和施工单位设计和制作安装,技术力量强,施工和检验设备齐全,选材慎重,施工严谨,经验丰富,钢管质量得到保证。大直径的钢管要做水压试验不仅技术上存在一定难度,同时耗资比较大,工期较长,当确实有一定困难时,应经各方论证后确定是否可以免做水压试验。

8.0.4 不锈钢或不锈钢复合钢板制作的钢管、岔管等,当采用自来水(含氯)做水压试验时,水压试验后又无法立即清除干净水渍时,应控制水中氯离子含量不得大于 25mg/L,这主要是氯离子 Cl^- 与铬 Cr 容易发生反应,导致某些不锈钢产生贫铬区而出现晶界腐蚀和点蚀。尤其是采用氯化处理的自来水进行水压试验时,对这点尤为注意。

8.0.5 呼吸管又叫排(补)气管。由于结构和场地原因,使得呼吸管不便安装在钢管或岔管顶部位置时,可在便于安装、观察位置穿过钢管或岔管壁,再焊接一根小钢管在钢管或岔管内部将呼吸管口引到最高顶部位置进行排气和补气。

当压力表的精度等级偏低、压力表量程过大时,将会导致读数不准。当压力表和百分表使用前不进行检定校准时,读数可能就不是真实数据。

8.0.6 在水压试验钢管段上端顶部设置真空破坏阀的目的,是防止误操作或下端突然漏水时,钢管段上端顶部的呼吸管未打开或

来不及打开而使钢管上段没有即时得到空气补充而形成真空汽化导致蒸汽爆炸,从而酿成质量安全事故的发生。

8.0.8 水压试验应在钢管、岔管制作或安装完成,并按规定进行几何尺寸及焊接接头质量检验合格后进行。水压试验管内充水前,应对工卡具、临时支撑件、支托、起重设备等可能改变结构本身拘束边界条件的设施,进行解除拘束处理,且应对结构上的焊疤、划痕等缺欠进行修补打磨,并进行全面检查。充水速度不宜过快,高水头的管道宜采用分级充水的方式进行,以便及时发现钢管因充水而产生的质量问题。充水速度过快可能会使旁通管出口流速过高而使管内防腐涂层遭受破坏,充水速度过快也可能使呼吸管排气时卷出水来,产生空气排净的假象。当充水操作不当、管内空气尚未排尽时,在随后的加压中将会导致压力表指针的颤动、读数不准,打压结束后打开排气阀排水时,将会排出的不是水,而排出的是发出尖啸的压缩空气导致管道的振动甚至发生安全事故。同时,充水结束后,打压之前应对钢管重要部位进行一次有无渗漏水检测。

水压试验时外加压力的加压速度以不大于 $0.3\text{MPa}/\text{min}$ 为宜,而在 10MPa 压力以上,加压速度以不大于 $0.2\text{MPa}/\text{min}$ 为宜。如果加压速度过快,将使钢管的某些变形会在某一定压力的过程中出现突变,使钢管引起冲击或振动,也使压力不能平稳。当压力高的时候,如果升压速度快,产生的动压比较大,容易对钢管及其附属设备产生危害,降低寿命,所以应避免压力波动。但是,加压速度太慢,会因钢管的某些细小的渗漏而使压力加不上去。管内容积大时,加压速度太慢,还会使水压试验工期不必要的延长。

8.0.9 本条主要规定了打压结束后怎样放空管内水。当不将钢管道上端的呼吸管上的呼吸阀打开补气时,而直接就排水,这样将会造成管内真空导致管道失稳,甚至发生真空汽化爆裂的危险。

8.0.11 管内水排空、水汽干燥后才能进行焊接、热切割等作业,以免焊接时产生焊缝气孔等焊接缺欠。

9 包装、运输

9.0.1 本条主要规定了瓦片及其附件包装应配套绑扎牢固。随着我国水电水利的国际工程不断增加,运输路途比较遥远,为此对钢管的包装要求应做到包装配套牢固且精美。当不配套包装时,可能会使运输到安装现场后,不便于查找而影响安装的顺利进行。

9.0.2 本条规定主要是在防止运输过程防止瓦片的损坏,影响瓦片质量。

9.0.3 本条主要是对钢管成型的管节在运输吊装过程中,防止管节变形、倾覆以及其他质量安全事故等的发生。

9.0.4 本条主要是对管节或瓦片采用钢索捆扎固定或吊运时防止出现质量和安全事故的发生。

10 验 收

10.1 过 程 验 收

10.1.1 制作过程和安装过程应有《工序质量传递卡》，主要是控制上道工序的质量不合格不能传到下道工序，使制作安装质量可控。具有《工序质量传递卡》使质量问题具有可追溯性。

10.1.2 制作时主要是对钢板的表面质量、质量保证文件等进行验收，焊接材料质量参数指标、质量保证文件等进行验收，钢板下料、钢管组圆、伸缩节制作、异型管和岔管预组装或预组焊、焊接、焊接消应、防腐除锈和涂料涂装、水压试验以及瓦片或管节到工地包装情况等进行检测验收。

10.1.3 制作后或安装前应对钢管、伸缩节和岔管的各项尺寸进行复验，主要是保证后续的安装不出质量问题和事故。

10.1.4 安装时主要是对钢管首装节安装、凑合节安装、弯管或岔管安装、支座安装、伸缩节安装、焊接、灌浆孔封堵、除锈涂装、管道充水试验和(或)水压试验等进行检测验收。

10.1.5 当钢管与支墩和锚栓等焊接不牢固时，在混凝土浇筑时可能会使钢管移位。移位后，返工费工时，影响钢管的安装质量。

10.1.6 钢管制作安装用高空操作平台，直接关系到平台上的操作人员的生命安全。因此在投入使用前应进行安全技术验收。

10.2 完 工 验 收

10.2.3 “焊接工艺评定试验或试验证明”中的“试验证明”是指当在本工程未做焊接工艺评定试验时，在此之前的其他工程做了相同焊接工艺评定试验的档案材料应予以提供证明。

10.2.6 由于钢管制作、安装根据不同工程,有时是一家施工单位完成,有时制作作为一家、安装却是另一家。如制作安装为一家就按本规范第10.2.5条提供完工验收资料。当制作和安装分别为两家单位进行时,则分别按本规范第10.2.4条、第10.2.5条各自提供完工验收资料。

10.2.7 钢管完工验收时,通常用计算法对钢管工程计量。不同电站的计量方式差异较大,为此,为了更好地反映钢管的实际重量,在计算厚度时,除了考虑钢板公称厚度外还应考虑钢板厚度偏差,即钢板厚度附加值对重量的影响,以及钢板公称宽度和实际宽度的差异。钢板实际宽度往往都是正偏差,但钢板实际宽度偏差:当进行逐张测量和计算计量很繁琐时,在实际施工中往往计算焊缝填充量来代替钢板偏差产生的重量增加。焊缝重量还包括焊缝坡口间隙、焊缝余高、焊接坡口两侧的过渡焊宽度。计算焊缝填充量时通常按焊接坡口几何尺寸来计算,亦可用焊缝重量占钢管母材重量的百分比来计算。通常焊缝重量所占钢管母材重量为1.5%~3%。这样计算是符合钢管实际工程量的。