

中华人民共和国化工行业标准

# 钢制化工设备焊接与 检验工程技术规范

Engineering technical code for  
welding and inspection of steel chemical processing equipment

HG/T 20593—2014

主编单位：惠生工程（中国）有限公司

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2 0 1 5 年 6 月 1 日

中国计划出版社

2015 北 京

## 前 言

根据工业和信息化部(工信厅科[2012]252号文)和中国石油和化学工业联合会(中石化联质发[2013]3号文)的要求,由中国石油和化工勘察设计协会委托全国化工设备设计技术中心站组织惠生工程(中国)有限公司等单位编制。

规范编制组经广泛调查研究,结合国内现行化工设备相关标准的执行情况,认真总结国内外钢制化工设备设计、制造、安装实践经验,在广泛征求意见的基础上编制完成了本规范,最后经审查定稿。

本规范的主要技术内容包括:总则、术语和定义、钢制承压化工设备的焊接结构设计、焊接、无损检测、耐压试验与泄漏试验技术要求等。

本规范由中国石油和化学工业联合会提出并归口。

本规范的技术内容由惠生工程(中国)有限公司负责解释。本规范在执行过程中如有需要修改补充的建议,请将有关资料寄送主编单位(地址:上海浦东张江中科路699号,邮政编码:201203,电话:021-20306169),以便今后修订时参考。

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:惠生工程(中国)有限公司

参 编 单 位:浙江省特种设备检验研究院

中石化上海工程有限公司

主要起草人:刘敬源 叶晓新 阮黎祥 孙忠亮 杨 芳 崔伟峰

主要审查人:张晓英 赵世平 刘吉祥 杨晓新 王新京 李建国 王 彬 王 巍

顾月章 逢金娥 万网胜 钱小燕 段新群 杨同莲 俞庆义 茅陆荣

郝文生 韩 冰 李 敏

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术 语 .....	( 2 )
3	焊接结构 .....	( 4 )
3.1	一般规定 .....	( 4 )
3.2	对接焊接结构 .....	( 5 )
3.3	角接焊接结构 .....	( 5 )
3.4	接管和凸缘与设备壳体焊接结构 .....	( 5 )
3.5	换热设备焊接结构 .....	( 6 )
3.6	异种钢焊接结构 .....	( 6 )
3.7	复合钢焊接结构 .....	( 7 )
3.8	堆焊焊接结构 .....	( 8 )
4	焊接通用技术规定 .....	( 9 )
4.1	一般规定 .....	( 9 )
4.2	焊接材料选用 .....	( 9 )
4.3	焊接工艺评定 .....	( 9 )
4.4	焊前准备 .....	( 10 )
4.5	施焊 .....	( 10 )
4.6	后热 .....	( 11 )
4.7	焊接返修 .....	( 11 )
4.8	焊后热处理 .....	( 12 )
5	典型材料焊接技术规定 .....	( 14 )
5.1	碳素钢焊接 .....	( 14 )
5.2	强度型低合金钢焊接 .....	( 16 )
5.3	耐热型低合金钢焊接 .....	( 19 )
5.4	低温型低合金钢焊接 .....	( 24 )
5.5	奥氏体不锈钢焊接 .....	( 26 )
5.6	奥氏体不锈钢复合钢焊接 .....	( 28 )
6	无损检测通用技术规定 .....	( 31 )
6.1	一般规定 .....	( 31 )
6.2	方法选择 .....	( 32 )
6.3	时机 .....	( 32 )
6.4	比例 .....	( 32 )
7	典型焊接结构无损检测技术规定 .....	( 35 )
7.1	角接焊接结构 .....	( 35 )
7.2	接管和凸缘与壳体焊接结构 .....	( 35 )

7.3	搭接焊接结构 .....	(35)
7.4	T形连接焊接结构 .....	(35)
7.5	套管式换热设备焊接结构 .....	(35)
7.6	夹套封闭件焊接结构 .....	(36)
7.7	异种钢焊接结构 .....	(36)
7.8	复合钢焊接结构 .....	(36)
7.9	堆焊焊接结构 .....	(36)
7.10	多层容器焊接结构 .....	(37)
8	耐压试验和泄漏试验 .....	(38)
8.1	一般规定 .....	(38)
8.2	耐压试验 .....	(38)
8.3	泄漏试验 .....	(38)
8.4	其他要求 .....	(39)
附录 A	钢制化工设备特殊焊接结构 .....	(41)
本规范用词说明	.....	(43)
引用标准名录	.....	(44)
附:条文说明	.....	(45)

## Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms .....	( 2 )
3	Welding structure .....	( 4 )
3.1	General specification .....	( 4 )
3.2	Butt welding structure .....	( 5 )
3.3	Fillet welding structure .....	( 5 )
3.4	Welding structure for nozzle and flange with shell .....	( 5 )
3.5	Welding structure for heat exchanger .....	( 6 )
3.6	Welding structure for dissimilar steel .....	( 6 )
3.7	Welding structure for clad steel .....	( 7 )
3.8	Welding structure for build-up welding .....	( 8 )
4	General specification for welding .....	( 9 )
4.1	General specification .....	( 9 )
4.2	Welding material selection .....	( 9 )
4.3	Welding procedure qualification .....	( 9 )
4.4	Welding preparation .....	(10)
4.5	Welding .....	(10)
4.6	Postheating .....	(11)
4.7	Welding repair .....	(11)
4.8	Postweld heat treatment .....	(12)
5	Specification for typical material welding .....	(14)
5.1	Welding for carbon steel .....	(14)
5.2	Welding for high-strength low-alloy steel .....	(16)
5.3	Welding for heat-resistance low-alloy steel .....	(19)
5.4	Welding for cryogenic low-alloy steel .....	(24)
5.5	Welding for austenitic stainless steel .....	(26)
5.6	Welding for stainless clad Steel .....	(28)
6	General specification for non-destructive testing .....	(31)
6.1	General specification .....	(31)
6.2	Method selection .....	(32)
6.3	Testing time .....	(32)
6.4	Testing ratio .....	(32)
7	Specification for typical welding structures non-destructive testing .....	(35)
7.1	Fillet welding structure .....	(35)
7.2	Welding structure for nozzle and flange with equipment shell .....	(35)

7.3	Overlap welding structure .....	(35)
7.4	T-type welding structure .....	(35)
7.5	Welding structure for double-pipe heat exchanger .....	(35)
7.6	Welding structure for jacket enclosed parts .....	(36)
7.7	Welding structure for dissimilar steel .....	(36)
7.8	Welding structure for clad steel .....	(36)
7.9	Welding structure for build-up welding .....	(36)
7.10	Welding structure for multilayer vessels .....	(37)
8	Pressure test and leak test .....	(38)
8.1	General specification .....	(38)
8.2	Pressure test .....	(38)
8.3	Leak test .....	(38)
8.4	Others .....	(39)
Appendix A Special welding structure for steel chemical equipment .....		(41)
Explanation of wording in this code .....		(43)
Normative standards .....		(44)
Addition; Explanation of the provisions .....		(45)



## 1 总 则

**1.0.1** 为了提高钢制化工设备焊接与检验技术水平,规范钢制化工设备焊接与检验技术要求,保证化工设备产品质量,特制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于钢制承压化工设备的设计、制造、检验与验收。

本规范不适用于下列设备:

- 1 受直接火焰加热的设备;
- 2 核能装置中存在中子辐射损伤失效风险的设备;
- 3 《移动式压力容器安全技术监察规程》管辖的设备。

**1.0.3** 钢制化工设备的焊接结构设计、焊接、无损检测、耐压试验与泄漏试验除应符合本规范中的规定外,尚应符合国家现行相关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 化工设备 chemical industry equipment

系指化工、石油化工及其他类似装置中的钢制承压设备。

### 2.0.2 强度型低合金钢 high-strength low-alloy steel

系指以提高钢材强度和改善综合性能为主要目的,在碳素钢基础上加入少量锰及微量铌、硅、钒等合金元素的低碳合金钢。

### 2.0.3 耐热型低合金钢 heat-resistance low-alloy steel

系指以改善钢材耐热和抗氢性能为主要目的,在碳素钢基础上加入铬、钼合金元素或辅之以少量的矾、钛等元素形成的低碳珠光体耐热钢。

### 2.0.4 低温型低合金钢 cryogenic low-alloy steel

系指以改善钢材耐低温性能为主要目的,在碳素钢基础上加入锰、镍等合金元素的低碳铁素体耐低温钢。

### 2.0.5 堆焊 build-up welding

系指以满足清洁、耐腐蚀、耐磨蚀性能为主要目的,使元件表面获得具有特殊性能的熔敷金属而进行的焊接。

### 2.0.6 焊接接头 welding joint

系指两个或两个以上元件用焊接方法连接的接头,通常包括焊缝、熔合区、热影响区和相邻的母材等四部分,如图 2.0.6 所示。



图 2.0.6 焊接接头示意图

### 2.0.7 预热 preheat

系指焊接开始前对元件的全部(或局部)进行加热的工艺措施。

### 2.0.8 预热温度 preheating temperature

系指焊接开始前焊接区域内元件的瞬时温度。

### 2.0.9 道间温度 interpass temperature

系指多道焊焊缝及相邻母材在施焊下一焊道之前的瞬时温度。

### 2.0.10 焊接线能量 weld heat input

系指焊接时由焊接能源输入给单位长度焊缝上的热量。

### 2.0.11 后热 postheat



系指焊后立即对元件的全部(或局部)进行加热或保温,使其缓冷的工艺措施。

**2.0.12 焊后热处理 postweld heat treatment(PWHT)**

系指为降低焊接残余应力或改善焊接接头的组织和性能,将焊制的化工设备或其元件均匀加热到金属的相变点以下足够高的温度并保持一定时间,然后均匀冷却的一种工艺措施。

**2.0.13 最大模拟焊后热处理 max. simulated postweld heat treatment**

系指试样模拟制造过程中的全部焊后热处理,包括奥氏体化及回火、所有温度高于 490℃ 的中间热处理、最终焊后热处理、一次工厂返修焊后热处理以及一次用户进行的焊后热处理。

**2.0.14 最小模拟焊后热处理 min. simulated postweld heat treatment**

系指试样模拟制造过程中的最小焊后热处理,包括奥氏体化及回火、一个焊后热处理循环以及温度高于 490℃ 的中间热处理。

**2.0.15 焊后热处理循环 postweld heat treatment cycle**

系指通过加热、保温、冷却,完成一种焊后热处理的工艺过程。

**2.0.16 加热区 heating area**

系指局部焊后热处理时,为保证元件获得规定范围内的均温区而设定的区域。

**2.0.17 均温区 identical temperature area**

系指局部焊后热处理时,化工设备或其元件达到某一规定温度的区域。

**2.0.18 步冷试验 step cooling test**

系指为了验证钢材的实物水平是否满足回火脆化要求,采用分步冷却冲击试验(也称阶梯冷却冲击试验)进行验证的试验方法。

**2.0.19 稳定化处理 steadiness treatment**

系指将奥氏体不锈钢加热到适当温度并保温,然后快速冷却至室温,从而防止奥氏体不锈钢抗晶间腐蚀能力降低的热处理方法。

## 3 焊接结构

### 3.1 一般规定

3.1.1 化工设备焊接结构设计应遵循下列原则：

- 1 避免产生过大的应力集中和焊接变形；
- 2 便于无损检测；
- 3 便于焊接施工，有利于焊接保护。

3.1.2 化工设备焊接坡口型式和尺寸应根据下列因素确定：

- 1 焊接接头型式及位置；
- 2 两相焊件的厚度；
- 3 焊接接头的质量要求；
- 4 选用的焊接方法；
- 5 被焊材料的焊接性能；
- 6 焊接坡口加工方法及施焊条件；
- 7 焊缝填充金属尽量少；
- 8 减少焊接变形；
- 9 降低异种金属焊缝稀释率。

3.1.3 化工设备焊接宜选用双面焊焊接结构。当其焊接接头系数  $\varphi=1.0$ ，确因化工设备结构原因采用单面焊时，应采用能达到全焊透目的的焊接结构。

3.1.4 凡符合下列条件之一的化工设备，承压焊接接头应采用全焊透结构：

- 1 盛装毒性为极度、高度危害介质的化工设备；
- 2 存在应力腐蚀工况的化工设备；
- 3 承受疲劳载荷的化工设备；
- 4 设计温度低于  $-20^{\circ}\text{C}$  的低合金钢化工设备；
- 5 耐热型低合金钢化工设备；
- 6 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的低合金钢化工设备；
- 7 采用气压试验或气液组合耐压试验的化工设备；
- 8 焊接接头系数取 1.0 的化工设备；
- 9 使用后需要但无法进行内部检验的化工设备；
- 10 设计压力大于或等于  $1.6\text{MPa}$  的Ⅲ类压力容器；
- 11 设计文件及相关标准要求时。

3.1.5 凡符合本规范第 3.1.4 条第 3 款～第 6 款条件之一的化工设备，对接焊接接头以及接管（凸缘）与壳体连接部位应圆滑过渡，接管端部内壁处应倒圆，角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

3.1.6 存在孔蚀、间(缝)隙腐蚀工况的化工设备,接触介质一侧应采用圆滑过渡全焊透结构,且不留流体死区。

3.1.7 当非标准法兰与接管焊接时,应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制法兰与接管焊接节点详图;标准法兰与接管焊接结构应符合相应法兰标准的规定。

3.1.8 焊接结构设计除应符合本规范的规定外,还应符合现行相应设备标准以及现行行业标准《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583 的规定。

### 3.2 对接焊接结构

3.2.1 对接焊接结构可采用齐边坡口、带钝边的 V 形坡口、带钝边的 U 形坡口、带钝边的 X 形坡口、带钝边的双 U 形坡口以及上述坡口的组合型式。

3.2.2 对接焊接接头型式与尺寸应结合选用的焊接方法在设计文件中规定,并应符合下列规定:

1 当选用焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊焊接方法时,可选用现行行业标准《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583 第 18 章规定的焊接接头型式,并在设计文件中注明;

2 当选用其他焊接方法或无适合的焊接接头型式可选用时,应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制焊接节点详图。

3.2.3 当两不等厚度的元件对接焊接时,应按现行国家标准《压力容器 第 3 部分:设计》GB 150.3 “焊接接头结构”的规定,在设计文件中绘制焊接节点详图。

### 3.3 角接焊接结构

3.3.1 角接焊接结构可采用带钝边的 V 形坡口、带钝边的 U 形坡口、带钝边的 K 形坡口、带钝边的双 U 形坡口以及上述坡口的组合型式。

3.3.2 角接焊接接头型式与尺寸应结合选用的焊接方法在设计文件中规定,并应符合下列规定:

1 当选用焊条电弧焊、气体保护焊焊接方法时,可选用现行行业标准《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583 第 18 章规定的焊接接头型式,并在设计文件中注明;

2 当选用其他焊接方法或无适合的焊接接头型式可选时,应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制焊接节点详图。

### 3.4 接管和凸缘与设备壳体焊接结构

3.4.1 接管、凸缘与壳体焊接结构可采用带钝边的 V 形坡口、带钝边的 U 形坡口、带钝边的 K 形坡口、带钝边的 X 形坡口、带钝边的双 U 形坡口以及上述坡口的组合型式。

3.4.2 接管、凸缘与壳体焊接接头型式及尺寸应结合选用的焊接方法在设计文件中规定,并应符合下列规定:

1 当选用焊条电弧焊、气体保护焊焊接方法且接管、凸缘轴线与壳体经线相垂直时,可选用现行行业标准《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583 第 18 章规定的焊接接头型式,并在设计文件中注明;

2 当符合下列条件之一时,应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制接管、凸缘与壳体焊接节点详图:



- 1) 选用除焊条电弧焊、气体保护焊之外的焊接方法；
- 2) 现行行业标准《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583 无适合的焊接接头型式可选；
- 3) 接管、凸缘轴线与壳体经线不相垂直。

#### 3.4.3 接管、凸缘与壳体焊接结构设计还应符合下列要求：

- 1 应选择降低壳体开孔处的应力集中的焊接结构；
- 2 当设备壳体厚度  $\delta \geq 20\text{mm}$  时，接管、凸缘与壳体焊接接头型式宜选用双面焊结构；
- 3 当设备内施焊条件受限时，接管、凸缘与设备壳体焊接接头型式宜选用从设备外侧施焊结构；
- 4 当接管、凸缘与壳体焊接接头质量要求苛刻时，宜选用嵌入式或安放式焊接结构；
- 5 接管、凸缘与壳体焊接接头宜避开壳体焊接接头。当接管、凸缘与壳体焊接接头通过或邻近壳体焊接接头时，应保证壳体上开孔直径两倍范围内的焊接接头不存在任何超标缺陷；
- 6 对于熔敷金属量大的接管与壳体焊接结构，接管壁厚不宜过薄。

### 3.5 换热设备焊接结构

#### 3.5.1 换热设备焊接结构设计除应符合本规范第 3.1 节～第 3.4 节的规定外，还应符合下列规定：

1 管壳式换热设备的管板与壳体圆筒、管箱圆筒的连接结构设计应符合现行国家标准《管壳式换热器》GB 151 中“管板与圆筒、管箱的连接”的规定。

2 管壳式换热设备的换热管与管板的连接结构设计应符合下列规定：

1) 换热管与管板强度焊连接、胀焊并用连接结构设计应符合现行国家标准《管壳式换热器》GB 151“换热管与管板的连接”的规定，换热管与管板焊接接头角焊缝厚度应在设计文件的规定；

2) 换热管与管板内孔焊连接结构设计，可参照附录 A.0.2 条推荐的焊接结构。

3 套管式换热设备外管与内管焊接结构设计，可参照现行国家标准《压力容器 第 3 部分：设计》GB 150.3 附录 D 中“夹套封闭件结构”的规定。

3.5.2 对于本规范第 3.1 节～第 3.4 节未规定的换热设备焊接结构，应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制焊接节点详图。

### 3.6 异种钢焊接结构

3.6.1 异种钢焊接结构设计除应符合本规范第 3.1 节～第 3.5 节的规定外，还应符合本节的相关规定。

3.6.2 异种钢焊接宜采用对接焊接结构，两相焊件的相焊接部位宜等厚度。

3.6.3 异种钢焊接宜采用易吸收变形的焊接结构。

3.6.4 异种钢焊接可采用隔离层，如图 3.6.4 所示。隔离层焊材选择应考虑其熔点、线膨胀系数、热导率、比热容和化学成分与两侧母材相兼顾。

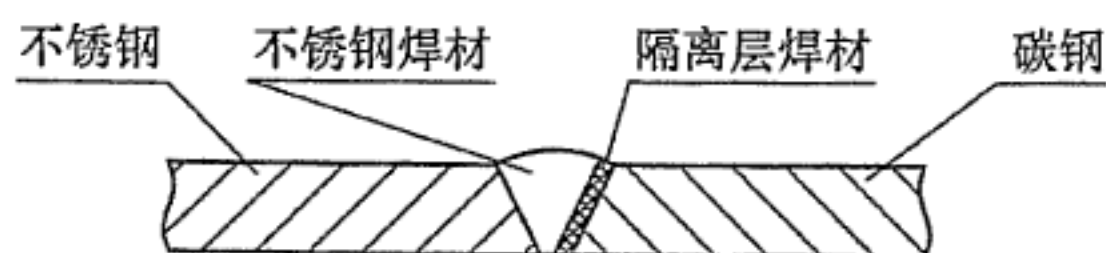


图 3.6.4 采用隔离层异种钢焊接结构示意图

### 3.7 复合钢焊接结构

3.7.1 复合钢焊接结构设计除应符合本规范第 3.1 节~第 3.5 节的规定外,还应符合下列规定:

- 1 采用易吸收变形的焊接结构;
- 2 采用有利于降低覆层焊缝金属稀释率的焊接结构;
- 3 减少覆层一侧的焊接工作量;
- 4 对于形状突变焊接结构,覆层侧应采用圆滑过渡结构。

3.7.2 复合钢壳体与不锈钢接管连接常用焊接结构如图 3.7.2 所示。

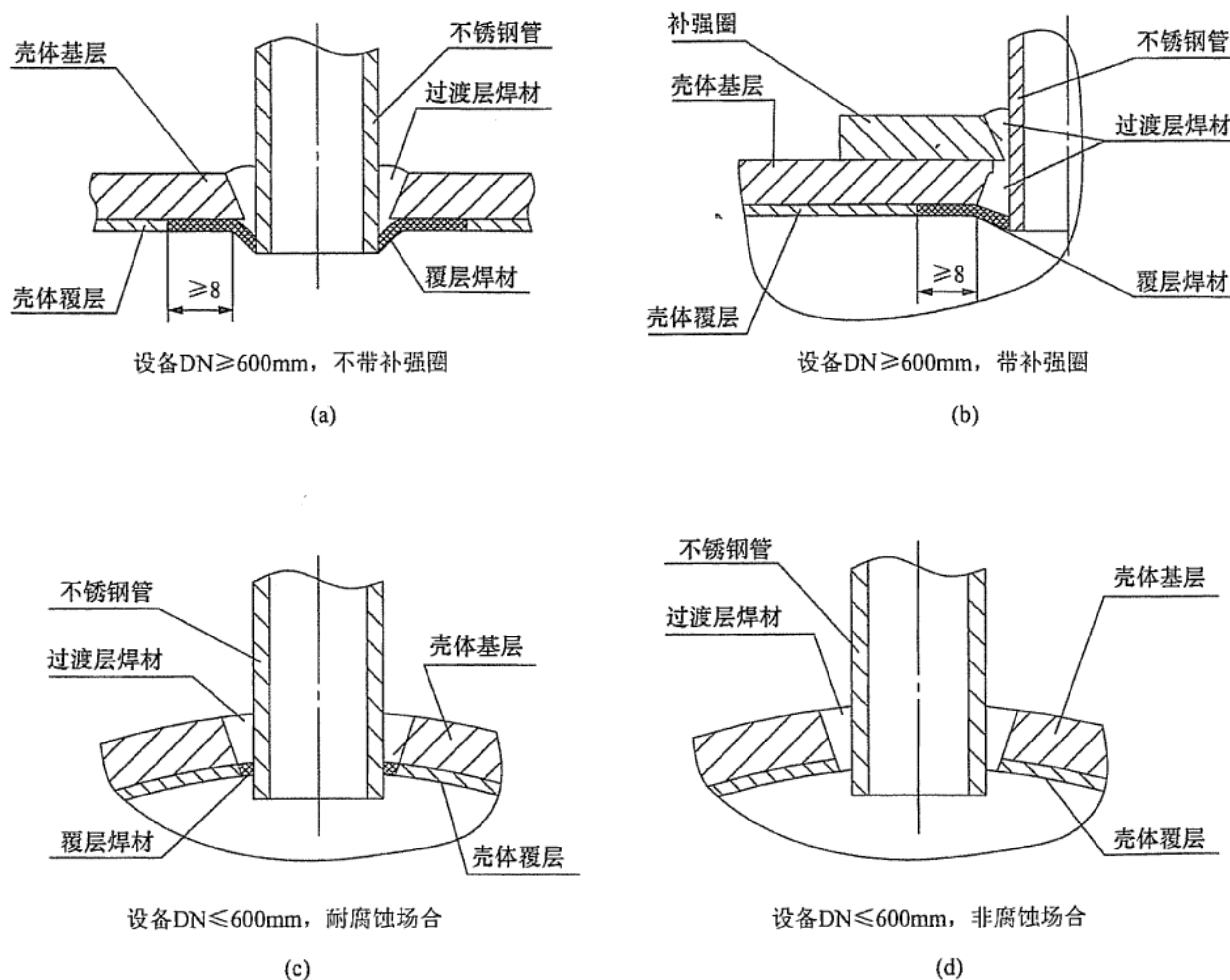


图 3.7.2 复合钢壳体与不锈钢接管连接常用焊接结构示意图

3.7.3 复合钢角接连接常用焊接结构如图 3.7.3 所示。

3.7.4 复合钢对接焊接结构覆层一侧可去除覆层金属,如图 3.7.4 所示。

3.7.5 应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制复合钢焊接节点详图。

3.7.6 当覆层厚度计入设计强度计算时,应在设计文件中规定焊缝金属的力学性能应高于或等于覆层母材标准规定的力学性能下限值。

3.7.7 当用于耐腐蚀、耐磨蚀工况时,应在设计文件中规定覆层焊缝化学成分合格的厚度以及耐腐蚀、耐磨蚀性能要求。

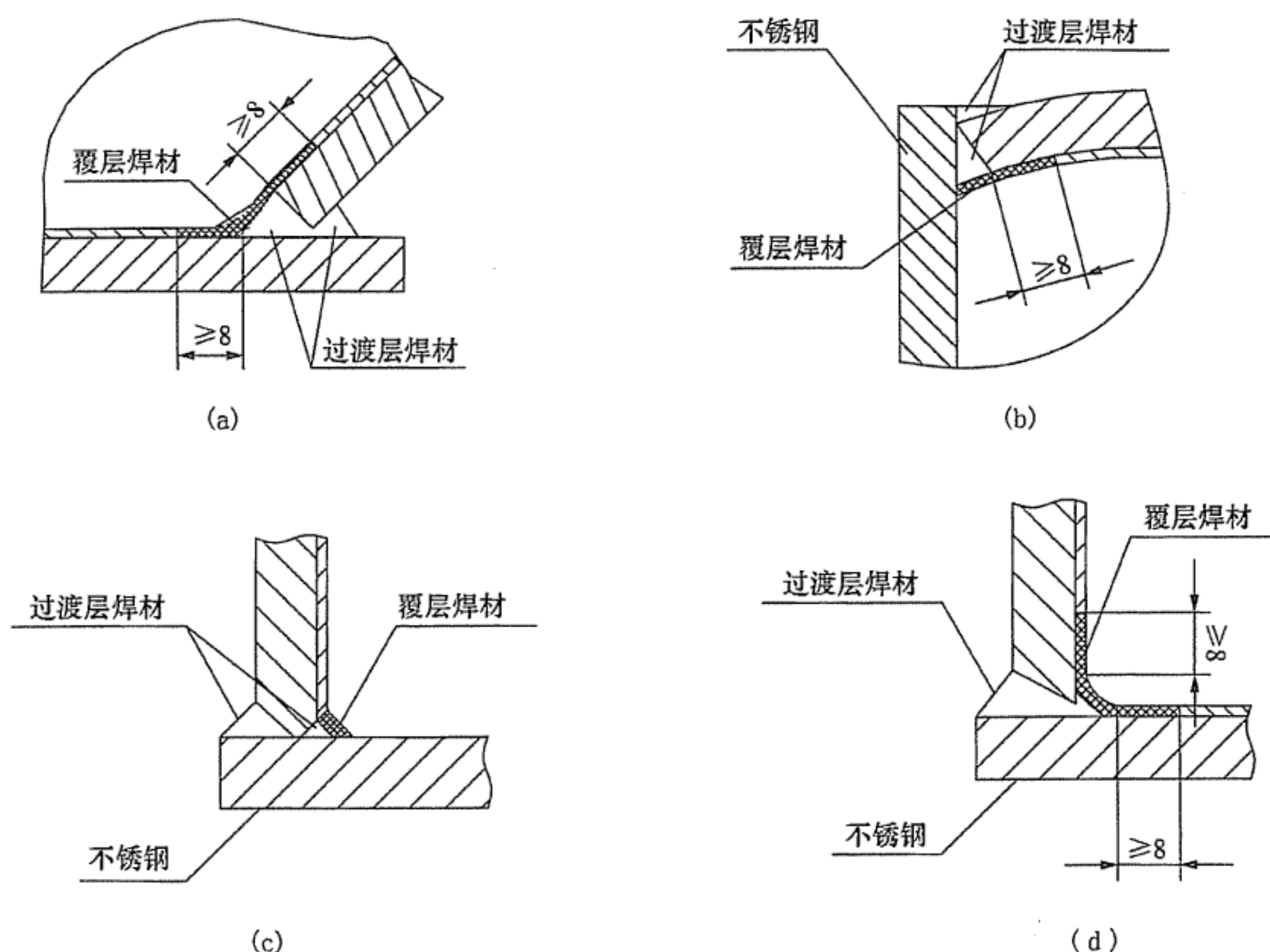


图 3.7.3 复合钢角连接常用焊接结构示意图

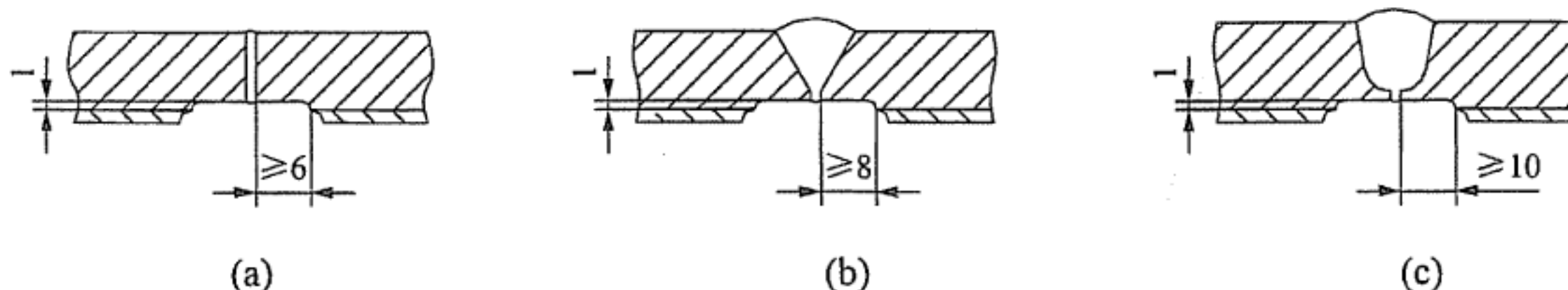


图 3.7.4 复合钢对接焊接焊接结构去除覆层金属示意图

### 3.8 堆焊焊接结构

3.8.1 堆焊焊接结构设计除应符合本规范第 3.1 节～第 3.5 节的规定外,还应符合下列规定:

- 1 堆焊前宜将基层焊缝磨平;当设计文件未规定时,也可使用过渡层焊材焊接基层堆焊侧最后一层焊道;
- 2 在堆焊覆层前,宜先堆焊过渡层;
- 3 对于形状突变焊接结构,堆焊侧结构应圆滑过渡。

3.8.2 应结合选用的焊接方法在设计文件中绘制堆焊焊接节点详图。

3.8.3 当用于耐腐蚀、耐磨蚀工况时,应在设计文件中规定化学成分合格的堆焊层厚度以及耐腐蚀、耐磨蚀性能要求。



## 4 焊接通用技术规定

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 化工设备常用焊接方法包括焊条电弧焊、埋弧焊、钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、等离子弧焊、电渣焊、气电立焊和螺柱电弧焊。
- 4.1.2 焊接材料应符合相应标准以及设计文件的规定,并附有质量证明书和清晰、牢固的标志。
- 4.1.3 化工设备制造(组焊)单位应按相应标准以及设计文件的规定对焊接材料进行验收或复验,合格后方可使用。
- 4.1.4 化工设备制造(组焊)单位应建立并严格执行焊接材料的保管、烘干、发放和回收制度。

### 4.2 焊接材料选用

- 4.2.1 化工设备制造(组焊)单位应按设计文件的规定选用焊接材料。
- 4.2.2 当设计文件未规定时,焊缝金属的力学性能应高于或等于母材规定的下限值;当设计文件有规定时,焊缝金属的化学成分、力学性能和其他性能应符合设计文件的规定。
- 4.2.3 焊接材料应保证焊接接头性能在经历全部制造工艺过程后,仍能符合设计文件的技术要求。
- 4.2.4 当化工设备制造(组焊)单位未掌握焊接材料的焊接性能时,应根据设计文件、施工条件和使用要求选择相适应的试验方法,进行焊接材料的焊接性能试验。
- 4.2.5 焊接材料选用还应符合现行行业标准《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018 的规定。

### 4.3 焊接工艺评定

- 4.3.1 化工设备施焊前,下列各类焊缝的焊接工艺应按现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 进行焊接工艺评定:
  - 1 受压元件焊缝;
  - 2 与受压元件相焊的焊缝;
  - 3 上述焊缝的定位焊缝;
  - 4 受压元件母材表面堆焊、补焊;
  - 5 上述焊缝的返修焊缝。
- 4.3.2 用于化工设备受压元件的境外材料和新材料(含焊接材料),化工设备制造(组焊)单位在首次使用前,应按现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T47014 进行焊接工艺评定。
- 4.3.3 焊接工艺评定应在本单位进行,试件的加工、无损检测和理化性能试验可委托其他检测机构完成。
- 4.3.4 当设计文件规定了除常规力学性能以外的其他性能要求时,焊接工艺评定还应增加其他相

应的试验项目。

**4.3.5** 对于换热管与管板连接焊缝的焊接工艺评定,当要求在保证焊接接头力学性能基础上,同时获得符合设计文件规定的角焊缝厚度时,应按现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 进行焊接工艺评定及焊接工艺附加评定。

#### 4.4 焊 前 准 备

**4.4.1** 坡口制备应符合下列规定:

1 坡口制备可采用冷加工法或热加工法。当采用热加工法制备坡口时,切割前的预热要求应与母材焊前预热要求相同,并应采用冷加工法去除由热加工产生的影响焊接质量的表面层。

2 坡口表面应平整,不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷。

3 坡口及两侧母材表面至少 20mm 范围内(以离坡口边缘的距离计)的氧化皮、水分、油污等影响焊接质量的有害杂质应清除干净。

**4.4.2** 焊前预热应符合下列规定:

1 预热温度应根据母材的交货状态、化学成分、力学性能、焊接性能、焊件厚度、焊接接头的拘束度、焊接方法以及施焊环境综合考虑,通过焊接性能试验确定;现场施焊化工设备的预热温度还应综合考虑焊接结构拘束度和环境温度的影响。

2 异种钢焊接接头预热温度应按要求较高的一侧母材确定。

3 预热范围应以对口中心线为基准,两侧各不小于焊件厚度的 3 倍,且不小于 100mm。

4 预热范围以外的 100mm 范围内宜予以保温,焊件预热范围内的温度在整个焊接过程中应不低于预热温度。

5 预热温度的测量应符合下列规定:

1) 应在加热面的背面测定温度。如做不到,应先移开加热源,待母材厚度方向上温度均匀后测定温度。温度均匀化的时间按每 25mm 母材厚度 2min 的比例确定;

2) 当焊件厚度小于或等于 50mm 时,应在距坡口边缘 4 倍母材厚度,且不超过 50mm 的距离处测量预热温度;

3) 当焊件厚度大于 50mm 时,应在距坡口边缘 75mm 的距离处测量预热温度。

6 预热过程应保证坡口两侧沿壁厚均匀受热,并防止局部过热,碳素钢和低合金钢化工设备的最高预热温度不宜大于 300℃。

#### 4.5 施 焊

**4.5.1** 焊接工艺人员应依据评定合格的焊接工艺,结合设计文件规定、化工设备使用要求和现场施焊条件,编制焊接工艺规程。

**4.5.2** 焊工应按焊接工艺规程或焊接作业指导书施焊,并做好施焊记录。

**4.5.3** 当焊接环境出现下列情况之一时,应采取有效防护措施,否则不得施焊:

1 气体保护焊焊接时,风速大于 2m/s;

2 其他焊接方法焊接时,风速大于 10m/s;

3 相对湿度大于 90%;

4 雨、雪环境;

5 焊件温度低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 。

4.5.4 当焊件温度为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 时,应在始焊处 100mm 范围内预热到  $15^{\circ}\text{C}$  以上。对冷裂敏感性较大的材料,除了采取预热措施外,还应计入环境温度的影响。

4.5.5 应采用引弧板或在坡口内引弧,不得在非焊接部位引弧。

4.5.6 应采取防止电弧擦伤的有效措施。当发生电弧擦伤时,应修磨电弧擦伤处,使其圆滑过渡到母材表面,修磨深度应不大于所采用标准规定的限值,否则应进行补焊。

4.5.7 对于规定控制焊接线能量的焊接接头,应控制每条焊道的线能量不超过评定合格的限值。

4.5.8 当采用多层焊或多道焊时,应将焊缝表面的熔渣、氧化物等清理干净后再继续施焊,各焊道的接头应错开。

4.5.9 当材料有预热要求时,应控制道间温度在整个施焊过程中不低于预热温度,且道间温度的上限不超过本规范第 5 章规定的相应材料道间温度上限值。

4.5.10 每条焊缝宜一次焊完。当中断焊接时,对冷裂纹敏感性较大的材料,应采取后热或保温缓冷等措施。再次焊接前应进行检查,确认无裂纹后方可按原焊接工艺继续施焊。

4.5.11 当采用锤击法消除焊接接头残余应力时,打底层焊缝和盖面层焊缝不宜进行锤击。

#### 4.6 后 热

4.6.1 对冷裂纹敏感性较大的材料,当焊后不能立即进行焊后热处理时,应采取后热措施。

4.6.2 后热应在焊后立即进行。

4.6.3 后热温度为  $250^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ ,保温时间不少于 30min。当后热温度取规定范围的较低值时,保温时间应相应增加;随着焊缝金属厚度的增大,保温时间也应相应增加。

4.6.4 后热时的加热范围应不小于预热时的加热范围。

4.6.5 对于符合下列条件之一的球形储罐焊接接头,焊后应立即进行后热,后热温度和时间的确定应符合现行国家标准《钢制球形储罐》GB 12337 的规定:

- 1 厚度大于 32mm,且材料标准抗拉强度下限值  $R_m\geq 540\text{MPa}$  的球壳;
- 2 厚度大于 38mm 的其他低合金钢球壳;
- 3 嵌入式接管与球壳的对接焊接接头;
- 4 焊接性能试验确定需要进行后热者;
- 5 设计文件中要求的其他情形。

4.6.6 当相关标准和设计文件提出后热要求,但焊后立即进行焊后热处理时,可不进行后热。

#### 4.7 焊 接 返 修

4.7.1 当需要焊接返修时,应分析缺陷产生的原因,并根据焊接工艺评定报告,编制焊接返修方案。

4.7.2 焊接返修前应将缺陷清除干净,缺陷清除和返修部位宜采用冷加工法;当采用碳弧气刨方法制备坡口时,应除去渗碳层。

4.7.3 焊接返修应按经评定合格的焊接工艺,施焊时应有详细的返修记录。当需要预热时,预热温度应取上限,预热范围宜适当扩大。



4.7.4 返修部位应按原无损检测方法进行检测和评定,返修部位的性能和质量要求应与原部位相同。

4.7.5 同一部位的返修次数不宜超过 2 次。当同一部位的返修次数超过 2 次时,返修前应经化工设备制造(组焊)单位技术负责人批准,返修的次数、部位和返修情况应记入化工设备的质量证明文件。

4.7.6 有耐腐蚀、耐磨蚀要求的化工设备,焊接返修部位应保证不低于原有的耐腐蚀、耐磨蚀性能。

4.7.7 要求焊后热处理的化工设备,焊接返修宜在最终焊后热处理前进行。当在最终焊后热处理后进行焊接返修时,应征得用户同意,并根据本规范第 5 章的相关规定确定是否重新进行焊后热处理。

## 4.8 焊后热处理

4.8.1 化工设备应根据其材料、焊后热处理厚度以及设计文件要求确定是否进行焊后热处理。

4.8.2 焊后热处理厚度( $\delta_{\text{PWH}}T$ )按下列规定确定:

- 1 等厚度全焊透对接接头取其焊缝厚度(余高不计),与母材厚度相等;
- 2 对接焊缝焊接接头和角焊缝焊接接头,取其焊缝厚度;
- 3 组合焊缝焊接接头,取对接焊缝和角焊缝厚度中较大者;
- 4 螺柱焊时取螺柱的公称直径;
- 5 不等厚对接接头取其较薄一侧母材厚度;
- 6 如图 4.8.2-1 所示筒体内封头结构,取筒体壁厚和角焊缝厚度中较大者;
- 7 壳体与管板、平封头、盖板、凸缘和法兰的焊接接头,除图 4.8.2-2 所示法兰厚度大于筒体厚度情况下取法兰厚度外,其余情况取筒体厚度;
- 8 接管、人孔等与壳体焊接时,取壳体厚度、补强圈厚度和连接角焊缝厚度中的较大者;
- 9 接管与法兰焊接时,取接管颈在接头处的焊缝厚度;
- 10 管子与管板焊接时,取其焊缝厚度;
- 11 非受压件与受压件焊接时,取焊接处的焊缝厚度;
- 12 焊接返修时,取其所填充的焊缝金属厚度。

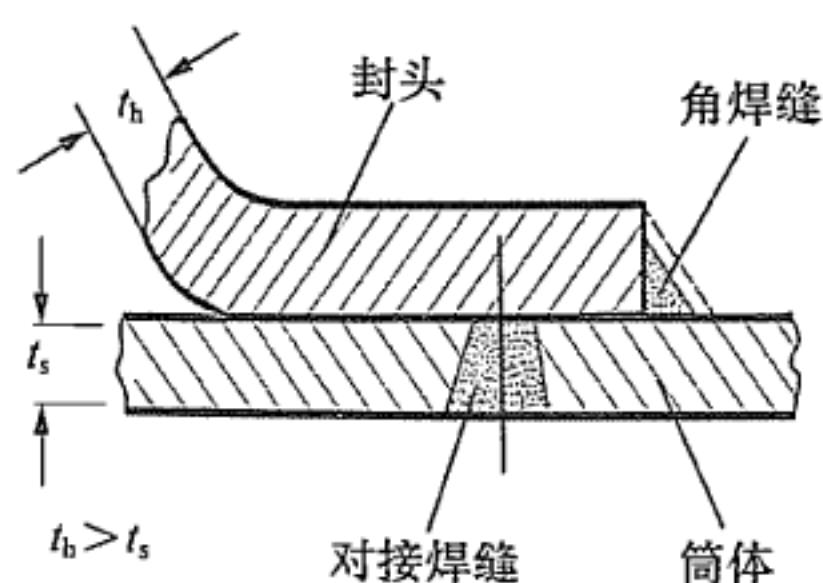


图 4.8.2-1 筒体内封头焊接结构

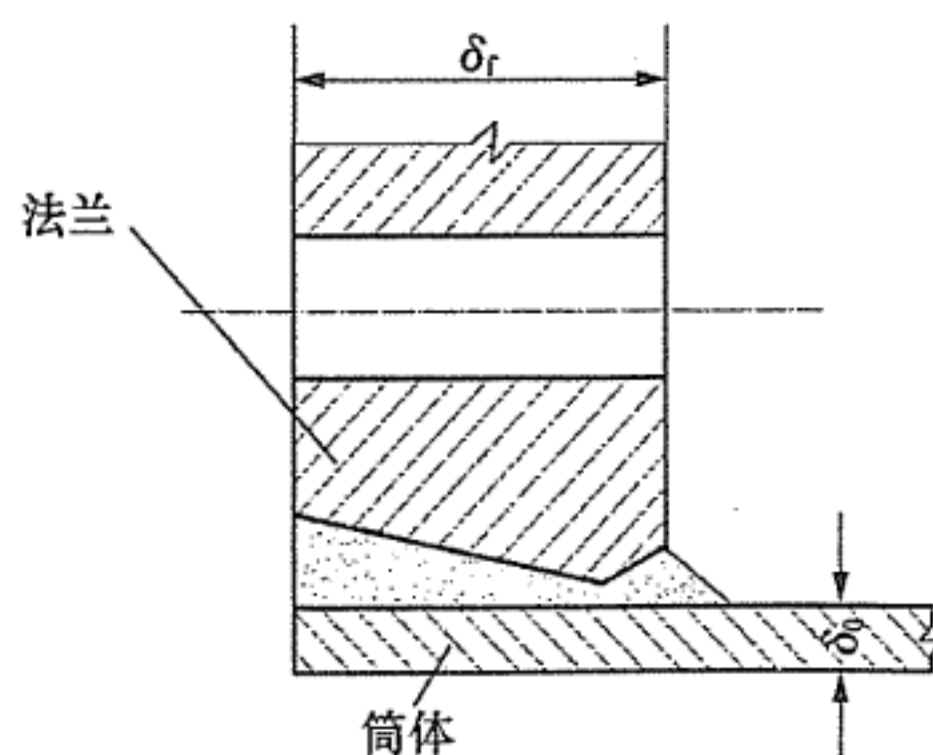


图 4.8.2-2 筒体厚度小于法兰厚度的焊接结构

4.8.3 化工设备焊后热处理方式包括整体焊后热处理和局部焊后热处理。当化工设备的焊接接头

符合相关标准规定的局部焊后热处理条件时,可进行局部焊后热处理。

**4.8.4** 化工设备整体焊后热处理可采用炉内加热法或化工设备内部加热法。

**4.8.5** 化工设备炉内加热法整体焊后热处理应符合下列规定:

- 1 当化工设备制造(组焊)单位具备炉内整体加热条件时,宜采用炉内整体加热法;
- 2 当化工设备制造(组焊)单位不具备炉内整体加热条件时,可将化工设备分段装入炉内加热。

分段热处理时,其重复加热长度应不小于 1500mm,且相邻部分应采取保温措施,使温度梯度不致影响材料的组织和性能。

**4.8.6** 化工设备局部焊后热处理应符合下列规定:

- 1 加热范围内的均温区应符合下列规定:

1) 焊缝最大宽度两侧各加焊后热处理厚度或 50mm,取两者较小值;

2) 返修焊缝端部方向上加焊后热处理厚度或 50mm,取两者较小值;

3) 当接管与筒体的焊接接头进行局部焊后热处理时,应环绕包括接管在内的筒体全圆周加热,且在垂直于焊缝方向上自焊缝边缘加焊后热处理厚度或 50mm,取两者较小值。

2 应确保有效加热范围不产生有害变形。当无法控制变形时,应扩大加热范围,且靠近加热区的部位应采取保温措施。

**4.8.7** 焊后热处理温度测量应符合下列规定:

1 焊后热处理温度应在经受热处理的化工设备或焊件上直接测量;

2 应采用焊接方法连接热电偶与焊件;

3 在焊后热处理全过程中,应连续自动记录、储存、打印焊后热处理温度;

4 在焊后热处理报告中,应列出在保温期间各测温点所测得的温度和保温时间。

**4.8.8** 焊后热处理工艺应符合下列规定:

1 焊件进炉时,炉内温度不得高于 400℃;

2 焊件升温至 400℃后,加热区升温速度不得超过  $5500/\delta_{PWHT}$  (℃/h),且不得超过 220℃/h,最小不得低于 55℃/h;

3 升温期间,加热区内任意 4600mm 长度内的温度之差不得大于 140℃;

4 保温期间,加热区内最高与最低温度之差不得大于 80℃;

5 焊件温度高于 400℃时,加热区降温速度不应超过  $7000/\delta_{PWHT}$  (℃/h),且不应超过 280℃/h,最小不得低于 55℃/h;

6 焊件出炉时,炉温不得高于 400℃,出炉后应在静止的空气中冷却。

## 5 典型材料焊接技术规定

### 5.1 碳素钢焊接

#### 5.1.1 碳素钢焊接材料选用应符合下列规定：

1 相同钢号碳素钢相焊时，焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材标准规定的下限值。当符合下列条件之一时，焊条电弧焊应选用低氢型或超低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性或中性焊剂：

- 1) 母材厚度  $\delta \geq 20\text{mm}$ ；
- 2) 大拘束度焊接接头；
- 3) 母材为锻件或一侧母材为锻件；
- 4) 第Ⅱ类或第Ⅲ类压力容器；
- 5) 设计温度小于或等于  $0^{\circ}\text{C}$ 。

#### 2 不同强度等级的碳素钢相焊应符合下列规定：

- 1) 焊接材料应保证焊缝金属的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材抗拉强度下限值，且不超过强度较高一侧母材标准规定的上限值；
- 2) 低氢型或超低氢型焊条、碱性焊剂的选用应符合本条第1款的规定。

#### 3 碳素钢焊接材料可按表 5.1.1 选用。

表 5.1.1 碳素钢推荐选用的焊接材料

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		二氧化碳 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝型号	焊丝牌号
10(管) 20(管)	E4316 E4315	J426 J427	F4A0-H08A	HJ431-H08A	—	—
Q235B Q235C 20G Q245R 20(锻)	E4316 E4315	J426 J427	F4A2-H08MnA	HJ431-H08MnA	—	—

#### 5.1.2 碳素钢焊接工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外，还应符合下列规定：

1 在湿硫化氢应力腐蚀环境、液氨应力腐蚀环境、含氢氟酸介质中使用的碳素钢化工设备，焊接工艺评定试验应进行焊接接头的硬度测定，经过焊后消除应力热处理的焊接接头硬度值要求



如下:

$$HBW \leq 200 \text{ (单个值)}$$

2 碳素钢焊接工艺评定硬度测定应符合现行国家标准《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654 的相关规定。

5.1.3 碳素钢焊接工艺规程应符合下列规定:

1 坡口制备应符合本规范第 4.4.1 条的规定。

2 预热范围、预热温度和预热温度测量除应符合本规范第 4.4.2 条的规定外,还应符合下列规定:

1) 接管、人孔等与壳体和封头的焊接接头应取预热温度范围的上限;

2) 当壳体直径  $D_i \geq 500\text{mm}$  或母材厚度  $\delta \geq 20\text{mm}$  时,预热宜采用电加热法。

3 施焊除应符合本规范第 4.5 节的规定外,还应符合下列规定:

1) 设备接管、人孔等与壳体和封头的焊接接头,若为单面焊接,打底层应采用钨极气体保护焊或直径  $\phi \leq 3.2\text{mm}$  的底层焊条电弧焊;

2) 气体保护焊用于受压元件的焊接时,宜使用实芯焊丝;

3) 最高道间温度不宜大于  $300^\circ\text{C}$ 。

4 后热应符合本规范第 4.6 节的规定。当用于湿硫化氢环境时,焊后应采取后热措施。

5 焊接返修应符合本规范第 4.7 节的规定。

6 当需要在焊后热处理后进行焊接返修时,如符合下列条件,焊接返修后可不再进行热处理:

1) 盛装介质不属于极度或高度危害介质;

2) 不存在应力腐蚀工况;

3) 设计温度大于或等于  $-20^\circ\text{C}$ ;

4) 返修焊缝厚度小于钢材厚度的  $1/3$ ,且不大于  $13\text{mm}$ 。在焊缝同一截面进行两面返修时,返修焊缝厚度为两面返修厚度之和;

5) 对返修焊接坡口表面进行  $100\%$  磁粉检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级要求;

6) 预热温度大于或等于  $100^\circ\text{C}$ ;

7) 采用低氢型药皮焊条;

8) 焊道最大宽度为焊芯直径的 4 倍;

9) 焊接返修得到业主的书面认可,并将返修部位记录在产品质量证明书上。

5.1.4 碳素钢焊后热处理除应符合本规范第 4.8 节的规定外,还应符合下列规定:

1 碳素钢低于  $490^\circ\text{C}$  的热过程不属于焊后热处理;

2 碳素钢焊后热处理最短保温时间可按表 5.1.4-1 取值;

3 当不能按表 5.1.4-1 规定的最低保温温度进行焊后热处理时,可按表 5.1.4-2 的规定,降低最低保温温度,延长保温时间。

表 5.1.4-1 碳素钢焊后热处理最短保温时间

钢号	最低保温温度(℃)	各种焊后热处理厚度的最短保温时间(h)	
10 20 Q235B Q235C 20G Q245R	600	≤50mm	$\delta_{\text{PWH}}/25$ , 最少 15min
		>50mm	$2 + (\delta_{\text{PWH}} - 50)/100$

表 5.1.4-2 碳素钢焊后热处理温度低于规定最低保温温度时的保温时间

钢号	比最低保温温度降低的温度数值(℃)	降低温度后的最短保温时间(h)
10 20 Q235B Q235C 20G Q245R	30	2
	55	4
	80	10
	110	20

注：最短保温时间适用于焊后热处理厚度  $\delta_{\text{PWH}}$  不大于 25mm 的焊件。当  $\delta_{\text{PWH}}$  大于 25mm 时，厚度每增加 25mm，最短保温时间则应增加 15min。

## 5.2 强度型低合金钢焊接

### 5.2.1 强度型低合金钢焊接材料选用应符合下列规定：

- 1 当相同钢号强度型低合金钢相焊时：
  - 1) 焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材标准规定的力学性能下限值；
  - 2) 焊条电弧焊应选用低氢型或超低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性焊剂。
- 2 当不同强度等级的强度型低合金钢相焊、强度型低合金钢与碳素钢相焊时：
  - 1) 焊接材料应保证焊缝金属的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材抗拉强度下限值，且不超过强度较高一侧母材标准规定的抗拉强度上限值；
  - 2) 焊条电弧焊应选用低氢型或超低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性焊剂。
- 3 强度型低合金钢焊接材料可按表 5.2.1 选用。

### 5.2.2 强度型低合金钢焊接工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1 在湿硫化氢应力腐蚀环境、液氨应力腐蚀环境以及含氢氟酸介质中使用的强度型低合金钢化工设备，焊接工艺评定试验应进行焊接接头的硬度测定。经过焊后消除应力热处理后的焊接接头硬度值要求如下：

$$\text{HBW} \leq 200 \text{ (单个值)}$$

- 2 强度型低合金钢焊接工艺评定的硬度测定应符合现行国家标准《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654 的相关规定。

### 5.2.3 强度型低合金钢焊接工艺规程应符合下列规定：

1 坡口制备除了应符合本规范第 4.4.1 条的规定外,还应符合下列规定:

- 1) 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  或厚度  $\delta \geq 50\text{mm}$  的强度型低合金钢,宜采用冷加工法制备坡口。当采用热加工法制备坡口时,应采用冷加工法去除影响焊接质量的表面层。
- 2) 标准抗拉强度下限值  $R_m < 540\text{MPa}$  且厚度  $\delta < 50\text{mm}$  的强度型低合金钢,可采用冷加工法或热加工法制备坡口。当采用热加工法制备坡口时,热切割前应预热至  $100^\circ\text{C}$  以上,加工完成后应对坡口表面进行 100% 磁粉检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级为合格。
- 3) 当强度型低合金钢板厚  $\delta \geq 60\text{mm}$  时,宜采用窄坡口或窄间隙焊接接头。

表 5.2.1 强度型低合金钢推荐选用的焊接材料

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		二氧化碳 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝型号	焊丝牌号
Q345R 16Mn	E5016 E5015 E5003	J506 J507 J502	F5A0—H10Mn2 H5A2—H10Mn2	HJ431—H10Mn2 HJ350—H10Mn2 SJ101—H10Mn2	ER49—1 ER50—6	—
Q370R	E5516—G E5515—G	J556RH J557	—	—	—	—
13MnNiMoR 18MnMoNbR 20MnMoNb	E6016—D1 E6015—D1	J606 J607	F62A2—H08Mn2MoA F62A2—H08Mn2MoVA	HJ350—H08Mn2MoA HJ350—H08Mn2MoVA SJ101—H08Mn2MoA SJ101—H08Mn2MoVA	—	—
20MnMo	E5015 E5515—G	J507 J557	F5A0—H10Mn2A F55A0—H08MnMoA	HJ431—H10Mn2A HJ350—H08MnMoA	—	—
10(管) 20(管) + Q345R Q370R 13MnNiMoR 18MnMoNbR 20MnMoNb	E4303 E4316 E4315	J422 J426 J427	F4A0—H08A	HJ431—H08A	—	—
10 20 20G Q245R 20(锻) + Q345R Q370R 13MnNiMoR 18MnMoNbR 20MnMoNb	E4316 E4315	J426 J427	F4A2—H08MnA	HJ431—H08MnA	—	—



- 2 预热范围、预热温度和预热温度测量应符合本规范第 4.4.2 条的规定,预热方法宜采用电加热法。
- 3 施焊应符合本规范第 4.5 节的规定外,还应符合下列规定:
- 1) 应建立低氢焊接环境,包括低氢焊接方法、焊接材料、药皮焊条及焊剂的烘干、焊接区和焊丝表面的清理等;
  - 2) 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的强度型低合金钢,对于不要求与母材等强度的高拘束度焊缝,可采用低强度焊缝;
  - 3) 最高道间温度不宜大于  $300^\circ\text{C}$ 。
- 4 后热应符合本规范第 4.6 节的规定外,还应符合下列规定:
- 1) 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  或厚度  $\delta \geq 50\text{mm}$  的强度型低合金钢焊接接头,应采取后热措施;
  - 2) 当设计温度小于  $0^\circ\text{C}$  时,宜采取后热措施;
  - 3) 现场组焊化工设备接管、人孔与壳体焊接接头,宜采取后热措施。
- 5 焊接返修应符合本规范第 4.7 节的规定。
- 6 当需要在焊后热处理后进行焊接返修时,如符合下列条件,焊接返修后可不再进行热处理:
- 1) 盛装介质不属于极度或高度危害介质;
  - 2) 不存在应力腐蚀工况;
  - 3) 设计温度大于或等于  $-20^\circ\text{C}$ ;
  - 4) 返修焊缝厚度小于钢材厚度的  $1/3$ ,且不大于  $13\text{mm}$ 。在焊缝同一截面进行两面返修时,返修焊缝厚度为两面返修厚度之和;
  - 5) 对返修焊接坡口表面进行  $100\%$  磁粉检测,并符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级要求;
  - 6) 采用低氢型药皮焊条;
  - 7) 标准抗拉强度下限值  $R_m < 540\text{MPa}$  的强度型低合金钢焊接接头预热温度不低于  $100^\circ\text{C}$ ,标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的强度型低合金钢焊接接头预热温度不低于  $180^\circ\text{C}$ ,道间温度不超过  $230^\circ\text{C}$ ;
  - 8) 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的强度型低合金钢焊接接头采用半焊道加回火焊道技术进行焊接返修;
  - 9) 焊接返修得到业主的书面认可,并将返修部位记录在产品质量证明书上。
- 5.2.4 强度型低合金钢焊后热处理应符合本规范第 4.8 节的规定外,还应符合下列规定:
- 1 强度型低合金钢低于  $490^\circ\text{C}$  的热过程不属于焊后热处理;
  - 2 强度型低合金钢的焊后热处理最短保温时间可按表 5.2.4-1 取值;
  - 3 当不能按表 5.2.4-1 规定的最低保温温度进行焊后热处理时,可按表 5.2.4-2 的规定,降低最低保温温度,延长保温时间。

表 5.2.4-1 强度型低合金钢焊后热处理最短保温时间

钢号	最低保温温度(℃)	各种焊后热处理厚度的最短保温时间(h)	
Q345R Q370R 20MnMo 20MnMoNb 13MnNiMoR 18MnMoNbR	600	$\leq 50\text{mm}$	$\delta_{\text{PWHT}}/25$ 最少 15min
		$> 50\text{mm}$	$2 + (\delta_{\text{PWHT}} - 50)/100$

表 5.2.4-2 强度型低合金钢焊后热处理温度低于规定最低保温温度时的保温时间

钢号	比规定最低保温温度降低的温度数值(℃)	降低温度后的最短保温时间(h)
Q345R	30	2
	55	4
	80	10
	110	20
Q370R 20MnMo 20MnMoNb 13MnNiMoR 18MnMoNbR	30	2
	55	4

注：最短保温时间适用于焊后热处理厚度  $\delta_{\text{PWHT}}$  不大于 25mm 的焊件，当  $\delta_{\text{PWHT}}$  大于 25mm 时，厚度每增加 25mm，最短保温时间应增加 15min。

### 5.3 耐热型低合金钢焊接

#### 5.3.1 耐热型低合金钢焊接材料选用应符合下列规定：

##### 1 当相同钢号耐热型低合金钢相焊时：

- 1) 焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材标准规定的力学性能下限值，且焊缝金属中的 Cr、Mo 含量应不低于母材标准规定的下限值；
- 2) 焊条电弧焊应选用低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性焊剂。

##### 2 当不同合金成分的耐热型低合金钢相焊时：

- 1) 焊接材料应保证焊缝金属的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材抗拉强度下限值，且不超过强度较高一侧母材标准规定的抗拉强度上限值；
- 2) 焊缝金属中的 Cr、Mo 含量应不低于 Cr、Mo 含量较低一侧母材标准规定的下限值；
- 3) 焊条电弧焊应选用低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性焊剂。

3 高压临氢 1.25Cr-0.5Mo 厚壁化工设备焊接材料的选用，除应符合本条第 1 款和第 2 款中的规定外，焊缝金属的回火脆化敏感性系数、焊缝金属化学成分及焊缝金属扩散氢含量还应符合下列

规定：

1) 回火脆化敏感性系数：

$$X = (10P + 5Sb + 4Sn + As)/100 \leq 15$$

其中：P、Sb、Sn、As 的单位为 ppm

2) 化学成分：

$$C \leq 0.15\%$$

$$Cu \leq 0.20\%$$

$$Ni \leq 0.25\%$$

3) 扩散氢含量：

$$\leq 3\text{mL}/100\text{g}$$

4 高温高压临氢 2.25Cr-1Mo 厚壁化工设备焊接材料的选用，除应符合本条第 1 款和第 2 款中的规定外，焊缝金属的回火脆化敏感性系数、焊缝金属化学成分及焊缝金属扩散氢含量还应符合下列规定：

1) 回火脆化敏感性系数：

$$X = (10P + 5Sb + 4Sn + As)/100 \leq 15$$

其中：P、Sb、Sn、As 的单位为 ppm

2) 化学成分：

$$Cu \leq 0.20\%$$

$$Ni \leq 0.20\%$$

3) 扩散氢含量：

$$\leq 3\text{mL}/100\text{g}$$

5 耐热型低合金钢焊接材料可按表 5.3.1 选用。

表 5.3.1 耐热型低合金钢推荐选用的焊接材料

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		二氧化碳 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝型号	焊丝牌号
12CrMo 12CrMoG	E5515-B1	R207	F48A0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	ER55-B2	H08CrMoA
15CrMo 15CrMoG 15CrMoR	E5515-B2	R307	F48P0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	ER55-B2	H08CrMoA
14Cr1MoR 14Cr1Mo	E5515-B2	R307H	—	—	—	—
12Cr1MoVR 12Cr1MoVG	E5515-B2-V	R317	F48P0-H08CrMoVA	HJ350-H08CrMoVA	ER55-B2-MnV	H08CrMoVA
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2MoG 12Cr2Mo1R	E6015-B3	R407	—	—	—	—



续表 5.3.1

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		二氧化碳 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝型号	焊丝牌号
1Cr5Mo	E5MoV-15	R507	—	—	—	—
10 20 Q245 + 15CrMo 12Cr1MoVR 12Cr2Mo 1Cr5Mo	E4315	J427	F4A0-H08A	HJ431-H08A HJ350-H08A SJ101-H08A	—	—
Q345R + 15CrMo 12Cr1MoVR 12Cr2Mo 1Cr5Mo	E5015 E5016	J507 J506	F5A0-H10Mn2	HJ431-H10Mn2	—	—
20MnMo + 15CrMo 12Cr1MoVR 12Cr2Mo	E5515-G E5516-G	J557 J556	F55A0-H08MnMoA	HJ350-H08MnMoA	—	—
13MnNiMoR + 15CrMo 12Cr2Mo	E6015-D1 E6016-D1	J607 J606	F62A0-H08Mn2MoA F62A2-H08Mn2MoA	HJ431-H08Mn2MoA HJ350-H08Mn2MoA SJ101-H08Mn2MoA	—	—

### 5.3.2 耐热型低合金钢焊接工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外,还应符合下列规定:

#### 1 高压临氢 1.25Cr-0.5Mo 厚壁化工设备,焊接工艺评定还应进行下列试验:

- 1) 在经最小模拟焊后热处理的焊接试件横截面上进行维氏硬度检测,检测位置为距内、外表面各 1.5mm 处,每处进行 10 点硬度检测,热影响区的硬度检测位置应尽可能靠近熔合线,硬度值应不超过 HV(10)235;
- 2) 经最大模拟焊后热处理的焊接试件应进行室温拉伸试验和高温(设计温度)拉伸试验,拉伸试验要求与母材相同;
- 3) 经最小模拟焊后热处理和经最大模拟焊后热处理的焊接试件,应进行焊缝金属和热影响区夏比(V 型)冲击试验,冲击试验温度及验收要求与母材相同。

#### 2 高温高压临氢 2.25Cr-1Mo 厚壁化工设备,焊接工艺评定还应进行下列试验:

- 1) 焊缝和热影响区应按现行行业标准《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581 第 6 章中的“步冷热处理曲线图”进行步冷试验;
- 2) 经最小模拟焊后热处理和经最大模拟焊后热处理的焊接试件,应进行焊缝金属和热影响

区夏比(V)冲击试验,冲击试验温度及验收标准与母材相同;

- 3) 普通型 2.25Cr-1Mo 钢,经最大模拟焊后热处理的焊接试件应进行室温拉伸试验和高温(设计温度)拉伸试验;改进型 2.25Cr-1Mo-0.25V 钢,经最小模拟焊后热处理和经最大模拟焊后热处理的焊接试件,应进行室温拉伸试验和高温(设计温度)拉伸试验。拉伸试验要求与母材相同;
- 4) 经最小模拟焊后热处理的焊接试件,应在焊接接头横截面上进行维氏硬度检测,检测位置为距内、外表面各 1.5mm 处,每处进行 10 点硬度检测,热影响区硬度检测位置应尽可能靠近熔合线,硬度值不超过 HV(10)235。

3 高压临氢 1.25Cr-0.5Mo 和高温高压临氢 2.25Cr-1Mo 厚壁化工设备,当表面有奥氏体不锈钢堆焊层时,堆焊工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外,还应符合下列规定:

- 1) 焊接工艺评定用试件应与设备制造用母材相同,材料既可用板材,也可用锻件。试件厚度不得小于设备制造用母材厚度的 1/2 或 50mm 两者中的较小值;
- 2) 焊接工艺评定用试件应经最大模拟焊后热处理;
- 3) 堆焊层应进行化学成分分析,设计文件规定厚度堆焊层的化学成分应符合填充金属的化学成分要求;
- 4) 采用铁素体含量测定仪测量奥氏体不锈钢堆焊层的铁素体含量,铁素体含量应控制在 3FN~10FN。

5.3.3 耐热型低合金钢焊接工艺规程应符合下列规定:

1 坡口制备除应符合本规范第 4.4.1 条的规定外,还应符合下列规定:

- 1) Cr 含量大于或等于 3% 的耐热型低合金钢,宜采用冷加工法制备坡口。当采用热加工法时,应采用冷加工法去除影响焊接质量的表面层;
- 2) Cr 含量小于 3% 的耐热型低合金钢,可采用冷加工法或热加工法制备坡口。当采用热加工法制备坡口时,热切割前应预热 150℃ 以上,加工完成后应对坡口表面进行 100% 磁粉检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级为合格。

2 预热范围、预热温度和预热温度测量除应符合本规范第 4.4.2 条的规定外,还应符合下列规定:

- 1) 预热温度应通过焊接性能试验确定;
- 2) 厚壁设备壳体上嵌入式大直径接管的环向接头,预热温度宜比其他部位高 50℃;
- 3) 最高预热温度不宜大于 300℃;
- 4) 预热方法宜采用电加热法。

3 施焊除应符合本规范第 4.5 节的规定外,还应符合下列规定:

- 1) 在保持预热温度的条件下,每条焊缝宜一次连续焊完。焊缝如因故中断焊接,在中断焊接之前熔敷的焊缝厚度应至少为总厚度的 33%。再次焊接前应进行检查,确认无缺陷后方可按原焊接工艺继续施焊;
- 2) Cr 含量大于或等于 3% 以及合金元素总含量大于或等于 5% 的焊件,当采用钨极氩弧焊或熔化极气体保护焊进行根部焊接时,焊缝背面应充氩气或其他气体保护;
- 3) 焊接过程中应控制道间温度不低于预热温度;

- 4) 最高道间温度不宜大于 300℃。
- 4 后热除应符合本规范第 4.6 节的规定外,还应符合下列规定:
- 1) 当焊后不能立即进行中间焊后热处理时,应采取后热措施;
  - 2) 当因故中断焊接时,应立即对已完成的焊缝部分进行后热。
- 5 焊接返修应符合本规范第 4.7 节的规定。
- 6 在焊后热处理之后进行的任何焊接返修,都应对返修部位重新进行焊后热处理。
- 5.3.4 耐热型低合金钢焊后热处理除应符合本规范第 4.8 节的规定外,还应符合下列规定:
- 1 耐热型低合金钢低于 490℃ 的热过程不属于焊后热处理;
  - 2 高压临氢 1.25Cr-0.5Mo 和高温高压临氢 2.25Cr-1Mo 厚壁化工设备,应进行模拟焊后热处理试验,包括最大模拟焊后热处理和最小模拟焊后热处理;
  - 3 耐热型低合金钢焊后热处理最短保温时间可按表 5.3.4-1 取值。
  - 4 对于表 5.3.4-2 中所列耐热型低合金钢,当不能按表 5.3.4-1 规定的最低保温温度进行焊后热处理时,可按表 5.3.4-2 的规定,降低最低保温温度,延长保温时间。

表 5.3.4-1 耐热型低合金钢焊后热处理最短保温时间

钢号	最低保温温度 (℃)	各种焊后热处理厚度的最短保温时间(h)		
		≤50mm	>50mm~125mm	>125mm
12CrMo	600	$\delta_{\text{PWHT}}/25$ 最小 15min	$2 + (\delta_{\text{PWHT}} - 50)/100$	$2 + (\delta_{\text{PWHT}} - 50)/100$
15CrMo 15CrMoG 15CrMoR 14Cr1Mo 14Cr1MoR 12Cr1MoVR 12Cr1MoVG	650	$\delta_{\text{PWHT}}/25$ 最小 15min	$\delta_{\text{PWHT}}/25$	$5 + (\delta_{\text{PWHT}} - 125)/100$
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2MoG 12Cr2Mo1R 1Cr5Mo	680	$\delta_{\text{PWHT}}/25$ 最小 15min	$\delta_{\text{PWHT}}/25$	$5 + (\delta_{\text{PWHT}} - 125)/100$

表 5.3.4-2 耐热型低合金钢焊后热处理温度低于规定最低保温温度时的保温时间

钢号	比最低保温温度降低温度数值(℃)	降低温度后的最短保温时间(h)
12CrMo	30	2
12CrMoG	55	4
12Cr2Mo 12Cr2Mo1 12Cr2MoG 12Cr2Mo1R 1Cr5Mo	30	$\delta_{\text{PWHT}} \leq 50\text{mm}$ 取 4 与 $(4 \times \delta_{\text{PWHT}}/25)$ 的较大值  $\delta_{\text{PWHT}} > 50\text{mm}$ 取最短保温时间的 4 倍



## 5.4 低温型低合金钢焊接

### 5.4.1 低温型低合金钢焊接材料选用应符合下列规定：

#### 1 当相同钢号低温型低合金钢相焊时：

- 1) 焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材标准规定的力学性能下限值，且焊接接头的低温冲击功不低于母材标准规定的冲击功下限值；
- 2) 焊条电弧焊应选用低氢型或超低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性焊剂。

#### 2 当不同强度等级的低温型低合金钢相焊时：

- 1) 焊接材料应保证焊缝金属的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材抗拉强度下限值，且不超过强度较高一侧母材标准规定的抗拉强度上限值；
- 2) 焊缝金属及强度较低侧的热影响区低温冲击功应不低于强度较低侧母材标准规定的冲击功下限值；
- 3) 强度较高侧的热影响区低温冲击功应不低于强度较高侧母材标准规定的冲击功下限值；
- 4) 焊条电弧焊应选用低氢型或超低氢型焊条，埋弧焊应选用碱性焊剂。

#### 3 低温型低合金钢焊接材料可按表 5.4.1 选用。

表 5.4.1 低温型低合金钢推荐选用的焊接材料

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		二氧化碳 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝型号	焊丝牌号
16MnDR 16MnD	E5016-G E5015-G	J506RH J507RH	—	—	—	—
15MnNiDR	E5015-G	W607	—	—	—	—
09MnNiD 09MnNiDR	E5015-C1L	—	—	—	—	—
07MnMoVR 08MnNiMoVD 07MnNiMoDR	E6015-G	J607RH	—	—	—	—
10 20 Q245R + 16MnDR 15MnNiDR 09MnNiDR	E4315 E4316	J427 J426	F4A0-H08A F4A2-H08MnA	HJ431-H08A HJ431-H08MnA SJ101-H08A SJ101-H08MnA	—	—

### 5.4.2 低温型低合金钢焊接工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外，还应符合下列规定：

#### 1 当设计温度低于-20℃时，应进行焊缝和热影响区低温夏比(V 型)冲击试验：

- 1) 冲击试验取样方法应符合现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 的规定；

- 2) 冲击试验温度不得高于设计温度或金属最低设计温度的较低值;
  - 3) 母材抗拉强度较低侧低温冲击功应符合现行国家标准《压力容器》GB 150 以及设计文件的规定。
- 2 焊接接头拉伸和弯曲试验应符合现行国家标准《压力容器》GB 150 以及设计文件的规定。
- 5.4.3 低温型低合金钢焊接工艺规程应符合下列规定:
- 1 坡口制备除应符合本规范第 4.4.1 条的规定外,还应符合下列规定:
    - 1) 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  或合金元素含量大于 3% 的低温型低合金钢,宜采用冷加工法制备坡口。当采用热加工法时,应采用冷加工法去除影响焊接质量的表面层;
    - 2) 标准抗拉强度下限值  $R_m < 540\text{MPa}$  或合金元素含量不大于 3% 的低温型低合金钢,可采用冷加工法或热加工法制备坡口。如采用热加工法制备坡口,加工完成后应对坡口表面进行 100% 磁粉检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级为合格。
  - 2 预热范围、预热温度和预热温度测量除应符合本规范第 4.4.2 条的规定外,还应符合下列规定:
    - 1) 预热温度应通过焊接性能试验确定;
    - 2) 最高预热温度不宜大于  $300^{\circ}\text{C}$ ;
    - 3) 预热方法宜采用电加热法。
  - 3 施焊除应符合本规范第 4.5 节的规定外,还应符合下列规定:
    - 1) 角接接头应采取内凹式角焊缝,焊缝不得存在咬边缺陷,如有咬边应打磨消除;
    - 2) 焊接时应采用连续焊,设备筒节组对时不得采用点焊连接;
    - 3) 施焊过程中每条焊道的焊接线能量不得超过工艺评定合格的限值;
    - 4) 施焊过程中最高道间温度不宜大于  $300^{\circ}\text{C}$ 。
  - 4 后热应符合本规范第 4.6 节的规定。对于设计温度小于  $-20^{\circ}\text{C}$  的低温型低合金钢化工设备,宜采取后热措施。
  - 5 焊接返修应符合本规范第 4.7 节的规定。
  - 6 设计温度小于  $-20^{\circ}\text{C}$  的低温型低合金钢化工设备,焊接返修后应进行焊后热处理。
  - 7 设计温度大于或等于  $-20^{\circ}\text{C}$  的低温型低合金钢化工设备,如符合下列条件,焊接返修后可不再进行热处理:
    - 1) 盛装介质不属于极度或高度危害介质;
    - 2) 不存在应力腐蚀工况;
    - 3) 返修焊缝厚度小于钢板厚度的  $1/3$ ,且不大于  $13\text{mm}$ 。在焊缝同一截面进行两面返修时,返修焊缝厚度为两面返修厚度之和;
    - 4) 对返修焊接坡口表面进行 100% 磁粉检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级要求;
    - 5) 采用低氢型药皮焊条,预热温度不低于  $100^{\circ}\text{C}$ ;
    - 6) 焊道最大宽度为焊芯直径的 4 倍;
    - 7) 焊接返修得到业主的书面认可,并将返修部位记录在产品质量证明书上。
- 5.4.4 低温型低合金钢焊后热处理除应符合本规范第 4.8 节的规定外,还应符合下列规定:

- 1 低温型低合金钢低于 490℃ 的热过程不属于焊后热处理；
- 2 调质状态供货的低温型低合金钢，焊后热处理温度应至少比调质处理时的回火温度降低 30℃；
- 3 低温型低合金钢焊后热处理最短保温时间可按表 5.4.4-1 取值；
- 4 当不能按表 5.4.4-1 规定的最低保温温度进行焊后热处理时，可按表 5.4.4-2 的规定，降低最低保温温度，延长保温时间。

表 5.4.4-1 低温型低合金钢焊后热处理最短保温时间

钢号	最低保温温度(℃)	各种焊后热处理厚度的最短保温时间(h)	
16MnDR 16MnD 15MnNiDR 09MnNiD 09MnNiDR	600	≤50mm	$\delta_{FWHT}/25$ 最少为 15min
		>50mm	$2+(\delta_{FWHT}-50)/100$

表 5.4.4-2 低温型低合金钢焊后热处理温度低于规定最低保温温度时的保温时间

钢号	比规定最低保温温度降低的温度数值(℃)	降低温度后的最短保温时间(h)
16MnDR 16MnD 15MnNiDR 09MnNiD 09MnNiDR	30	2
	55	4
	80	10
	110	20

注：最短保温时间适用于焊后热处理厚度  $\delta_{FWHT} \leq 25\text{mm}$  的焊件，当  $\delta_{FWHT} > 25\text{mm}$  时，厚度每增加 25mm，最短保温时间应增加 15min。

5.5 奥氏体不锈钢焊接

5.5.1 奥氏体不锈钢焊接材料选用应符合下列规定：

- 1 当相同钢号奥氏体不锈钢相焊时：
  - 1) 焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材标准规定的力学性能下限值，耐腐蚀性能不低于母材标准规定的相应要求；
  - 2) 焊缝金属中主要合金元素含量应不低于母材标准规定的下限值。
- 2 当奥氏体不锈钢与碳素钢、低合金钢相焊时：
  - 1) 当设计温度小于 370℃ 时，可选用奥氏体不锈钢焊接材料，其 Cr、Ni 含量应保证焊缝金属为奥氏体组织；
  - 2) 当设计温度大于或等于 370℃ 时，应选用镍基焊接材料；
  - 3) 当选用奥氏体不锈钢或镍基焊接材料时，应充分考虑焊缝金属与母材膨胀系数不同而产生的应力作用。
- 3 相同钢号奥氏体不锈钢相焊以及奥氏体不锈钢与碳素钢、低合金钢相焊可按表 5.5.1 选用焊接材料。



表 5.5.1 奥氏体不锈钢推荐选用的焊接材料

钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝牌号
S30408	E308-16 E308-15	A102 A107	F308-H08Cr21Ni10	SJ601-H08Cr21Ni10 HJ260-H08Cr21Ni10	H08Cr21Ni10
S32168	E347-16 E347-15	A132 A137	F347-H08Cr20Ni10Nb	SJ641-H08Cr20Ni10Nb	H08Cr19Ni10Ti
S31608	E316-16 E316-15	A202 A207	F316-H06Cr19Ni12Mo2	SJ601-H06Cr19Ni12Mo2 HJ260-H06Cr19Ni12Mo2	H06Cr19Ni12Mo2
S31668	E316L-16 E318-16	A022 A212	F316L-H03Cr19Ni12Mo2	SJ601-H03Cr19Ni12Mo2 HJ260-H03Cr19Ni12Mo2	H03Cr19Ni12Mo2
S30403	E308L-16	A002	F308L-H03Cr21Ni10	SJ601-H03Cr21Ni10 HJ260-H03Cr21Ni10	H03Cr21Ni10
S31603	E316L-16	A022	F316L-H03Cr19Ni12Mo2	SJ601-H03Cr19Ni12Mo2	H03Cr19Ni12Mo2
Q245R Q345R Q370R 20MnMo + S30408 S31608 S31603	E309-16 E309-15 E309Mo-16	A302 A307 A312	F309-H12Cr24Ni13	—	H12Cr24Ni13
13MnNiMoR 18MnMoNbR 20MnMoNb + S30408 S31608 S31603	E310-16 E310-15	A402 A407	F310-H12Cr26Ni21	—	H12Cr26Ni21
15CrMo 12Cr1MoV 12Cr2Mo + S30408 S31608 S31603	E309-16 E309-15	A302 A307	F309-H12Cr24Ni13	—	H12Cr24Ni13
1Cr5Mo + S30408 S31608 S31603	A310-16 A310-15	A402 A407	F310-H12Cr26Ni21	—	H12Cr26Ni21

注：本表仅适用于不需要进行焊后热处理的工况。当需要进行焊后热处理时，奥氏体不锈钢与碳素钢、低合金钢相焊的焊接材料应通过焊接工艺评定确定。

5.5.2 奥氏体不锈钢焊接工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外,还应符合下列规定:

- 1 当设计温度低于-100℃但高于-196℃时,奥氏体不锈钢焊接工艺评定应进行焊缝金属的低温冲击试验,试验温度不得高于设计温度,低温冲击功要求与母材相同。
- 2 当使用介质存在晶间腐蚀倾向时,奥氏体不锈钢焊接工艺评定还应进行晶间腐蚀试验,相应的试验方法及合格指标应符合设计文件的规定。

5.5.3 奥氏体不锈钢焊接工艺规程应符合下列规定:

- 1 坡口制备除应符合本规范第 4.4.1 条的规定外,还应符合下列规定:
  - 1) 宜采用冷加工法制备坡口;
  - 2) 当设计压力大于或等于 10MPa,且采用等离子切割制备坡口时,切割后应采用冷加工法去除影响焊接质量的表面层,并应对坡口表面进行 100% 渗透检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中的 I 级为合格。
- 2 施焊除应符合本规范第 4.5 节的规定外,还应符合下列规定:
  - 1) 焊条电弧焊应采用小线能量、短电弧、不摆动或小摆动的操作方法;
  - 2) 道间温度应严格控制在 150℃ 以下;
  - 3) 有耐腐蚀、耐磨蚀性能要求的双面焊焊缝,与腐蚀、磨蚀介质接触的焊层应最后施焊;
  - 4) 采用实芯焊丝钨极气体保护焊焊接底层焊道时,焊缝背面应采取充氩或充氮保护措施;
  - 5) 焊接坡口两侧应做必要防护,防止粘附焊接飞溅;
  - 6) 焊接过程中应确保引弧和收弧处的质量,收弧时应将弧坑填满,并用砂轮将收弧处修磨平整;
  - 7) 焊接结束后应及时将焊缝表面的熔渣及周围的飞溅物、防粘污剂等清理干净。
- 3 焊接返修应符合本规范第 4.7 节的规定。
- 4 奥氏体不锈钢化工设备焊接返修后,要求返修部位仍能保持原有的耐腐蚀、耐磨蚀性能。

5.5.4 奥氏体不锈钢焊后热处理应符合下列规定:

- 1 奥氏体不锈钢一般不进行焊后热处理;
- 2 奥氏体不锈钢低于 315℃ 的热过程不属于焊后热处理;
- 3 奥氏体不锈钢需要进行焊后热处理时,应按设计文件规定执行;
- 4 当奥氏体不锈钢焊接接头需要进行稳定化处理时,稳定化处理工艺条件可按表 5.5.4 确定。

表 5.5.4 奥氏体不锈钢稳定化处理推荐的工艺条件

加热温度 (℃)	恒温时间 (h)	加热速度 (℃/h)	冷却方式
890~910	2h/ 25mm 厚度, 且不小于 2h	300℃ 以上时, 50℃~80℃/h	空冷

5.6 奥氏体不锈钢复合钢焊接

5.6.1 奥氏体不锈钢复合钢焊接材料选用应符合下列规定:

- 1 基层材料相焊时,焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材标准规定的力学性

能下限值。

2 覆层材料相焊时,焊接材料应保证焊缝金属的耐腐蚀、耐磨蚀性能。当覆层厚度计入设计强度计算时,还应保证焊缝金属的力学性能高于或等于覆层母材标准规定的力学性能下限值。

3 覆层焊缝与基层焊缝之间以及覆层焊缝与基层母材的交界处应选择过渡层焊接材料。

4 奥氏体不锈钢复合钢基层焊接材料可按表 5.6.1-1 选用,过渡层及覆层焊接材料可按表 5.6.1-2 选用。

表 5.6.1-1 奥氏体不锈钢复合钢基层推荐的焊接材料

基层钢号	焊条电弧焊		埋弧焊		二氧化碳 气体保护焊	氩弧焊
	焊条型号	焊条牌号	焊剂型号	焊剂、焊丝牌号	焊丝型号	焊丝牌号
Q245R 20G	E4316 E4315	J426 J427	F4A2-H08MnA	HJ431-H08MnA	—	—
Q345R 16Mn	E5016 E5015 E5003	J506 J507 J502	F5A0-H10Mn2	HJ431-H10Mn2 HJ350-H10Mn2	ER49-1 ER50-6	—
			F5A2-H10Mn2	SJ101-H10Mn2		
20MnMo	E5015 E5515-G	J507 J557	F5A0-H10Mn2A F55A0-H08MnMoA	HJ431-H10Mn2A HJ350-H08MnMoA	—	—
12CrMo	E5515-B1	R207	F48A0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	ER55-B2	H08CrMoA
15CrMo 15CrMoR	E5515-B2	R307	F48P0-H08CrMoA	HJ350-H08CrMoA SJ101-H08CrMoA	ER55-B2	H08CrMoA

表 5.6.1-2 奥氏体不锈钢复合钢过渡层及覆层推荐的焊接材料

钢号	过渡层焊接材料		覆层焊接材料		
	焊条型号	焊条牌号	焊条型号	焊条牌号	氩弧焊焊丝牌号
S30408	E309-16	A302	E308-16	A102	H08Cr21Ni10
	E309-15	A307	E308-15	A107	
S32168	E309-16	A302	E347-16	A132	H08Cr19Ni10Ti
	E309-15	A307	E347-15	A137	
S30403	E309L-16	A062	E308L-16	A002	H03Cr21Ni10
S31608	E309Mo-16	A312	E316-16	A202	H03Cr19Ni12Mo2
			E316-15	A207	
S31668	E309Mo-16	A312	E316L-16	A022	H03Cr19Ni12Mo2
			E318-16	A212	
S31603	E309MoL-16	A042	E316L-16	A022	H03Cr19Ni12Mo2

5.6.2 奥氏体不锈钢复合钢焊接工艺评定除应符合本规范第 4.3 节的规定外,还应符合下列规定:

1 当使用介质存在晶间腐蚀倾向时,奥氏体不锈钢复合钢焊接工艺评定应进行晶间腐蚀试验,相应的试验方法及合格指标应符合设计文件的规定;

2 奥氏体不锈钢复合钢的焊接工艺评定,分为覆层厚度计入设备强度计算和覆层厚度不计入



设备强度计算两种情况,应按现行行业标准《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014 附录 C 分别进行评定。

**5.6.3 奥氏体不锈钢复合钢焊接工艺规程应符合下列规定:**

- 1 坡口制备除应符合本规范第 4.4.1 条的规定外,还应符合下列规定:
  - 1) 宜采用冷加工法制备坡口。采用剪床剪切时,覆层应朝上;
  - 2) 当采用等离子切割制备坡口时,切割后应采用冷加工法去除影响焊接质量的表面层。切割时覆层应朝上,不得将切割的熔渣落在覆层上。
- 2 当奥氏体不锈钢复合钢的基层需要预热时,应符合下列规定:
  - 1) 预热温度应按基层材料的要求选取,且应取预热温度的下限并严格控制层间温度;
  - 2) 预热温度、预热范围和预热温度测量应符合本规范第 4.4.2 条的规定。
- 3 施焊除应符合本规范第 4.5 节的规定外,还应符合下列规定:
  - 1) 定位焊缝应焊在基层母材上;
  - 2) 奥氏体不锈钢复合钢宜按照先焊基层,再焊过渡层,最后焊覆层的焊接顺序;
  - 3) 基层焊接完成并检测合格后,应将基层焊缝表面打磨平整,使其略低于基层金属表面;
  - 4) 焊接过渡层时,应保证同时熔合基层焊缝、基层母材和覆层母材;
  - 5) 过渡层焊缝金属在覆层处的厚度宜为 0.5mm~1.5mm,在基层处的厚度宜为 1.5mm~2.0mm,过渡层总厚度宜控制在 2mm~3mm;
  - 6) 焊接覆层前应将过渡层焊缝表面和坡口边缘清理干净。覆层焊接应采用小线能量的多层多道焊,道间温度应控制在 150℃ 以下;
  - 7) 焊接纵缝时,应将过渡层及覆层焊缝两端缝留 30mm~50mm 不焊,待环缝基层焊接完成后,再将纵缝两端焊接成形。
- 4 焊接返修除应符合本规范第 4.7 节的规定外,还应符合下列规定:
  - 1) 焊接返修前应采用超声检测对缺陷进行定位,根据缺陷位置决定在覆层一侧或基层一侧进行返修;
  - 2) 返修在基层一侧进行时,应控制刨槽深度,避免伤及过渡层焊缝。

**5.6.4 奥氏体不锈钢复合钢焊后热处理应符合下列规定:**

- 1 当奥氏体不锈钢复合钢化工设备需要进行焊后热处理时,宜选用超低碳不锈钢作为覆层材料。
- 2 当奥氏体不锈钢复合钢基层需要焊后热处理时,应按基层材料要求进行,并以复合钢总厚度确定焊后热处理参数。
- 3 对使用介质存在耐晶间腐蚀倾向的奥氏体不锈钢复合钢化工设备,当基层需要焊后热处理时,覆层盖面焊缝的焊接应在焊后热处理之后进行。



## 6 无损检测通用技术规定

### 6.1 一般规定

#### 6.1.1 化工设备的无损检测应符合下列规定：

- 1 射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测应符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730.1~4730.6 的规定；
- 2 目视检测应符合现行行业标准《承压设备无损检测 第7部分：目视检测》NB/T 47013.7 的规定；
- 3 泄漏检测应符合现行行业标准《承压设备无损检测 第8部分：泄漏检测》NB/T 47013.8 的规定；
- 4 衍射时差法超声检测(TOFD)应符合现行行业标准《衍射时差法超声检测》NB/T 47013.10 的规定。

#### 6.1.2 制造(组焊)单位或无损检测机构应根据设计文件和相应检测标准的规定制定无损检测工艺。

#### 6.1.3 化工设备零部件的无损检测方法、检测比例和合格级别应符合设计文件以及引用产品标准的规定。

#### 6.1.4 无损检测的合格级别与技术等级应符合下列规定：

##### 1 射线检测的合格级别与技术等级应符合下列规定：

- 1) 要求进行全部(100%)射线检测的对接接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 II 级；
- 2) 要求进行局部射线检测的对接接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 III 级；
- 3) 角接接头、T 形接头,射线检测技术等级不低于 AB 级,合格级别不低于 II 级。

##### 2 超声检测的合格级别与技术等级应符合下列规定：

- 1) 要求进行全部(100%)超声检测的对接接头,脉冲反射波法超声检测技术等级不低于 B 级,合格级别为 I 级；
- 2) 要求进行局部超声检测的对接接头,脉冲反射波法超声检测技术等级不低于 B 级,合格级别不低于 II 级；
- 3) 角接接头、T 形接头,脉冲反射波法超声检测技术等级不低于 B 级,合格级别为 I 级；
- 4) 采用衍射时差法超声检测(TOFD)的对接接头,合格级别不低于 II 级。

##### 3 全部焊接接头的磁粉检测或渗透检测,合格级别为 I 级。

##### 4 组合检测的合格级别与技术等级应符合下列规定：

- 1) 当采用两种或两种以上的无损检测方法对同一部位进行检测时,其技术等级和合格级别

应按各自执行的标准确定,且均应合格;

- 2) 采用同种检测方法按不同检测工艺进行检测时,当检测结果不一致时,应以危险度大的评定级别为准。

## 6.2 方法选择

6.2.1 设计、制造(组焊)单位应根据化工设备的材料、结构、制造方法、工作介质、使用条件和失效模式以及可能产生的缺陷种类、形状、部位或方向,选择无损检测方法。

6.2.2 对接接头的埋藏缺陷检测,应采用射线检测或者超声检测,超声检测包括衍射时差法超声检测(TOFD)、可记录的脉冲反射法超声检测和不可记录的脉冲反射法超声检测。

6.2.3 当焊接接头采用不可记录的脉冲反射法超声检测时,应采用射线检测或者衍射时差法超声检测(TOFD)作为附加局部检测,附加局部检测的比例应不低于20%,检测部位宜选择已检出缺陷位置或对检出缺陷有怀疑的部位。

6.2.4 当制造(组焊)单位有成熟使用经验时,对碳钢、低合金钢化工设备的埋藏缺陷检测可采用衍射时差法超声检测(TOFD)。当采用衍射时差法超声检测(TOFD)时,应采用磁粉检测或涡流检测覆盖表面/根部和近表面盲区。

6.2.5 管座角焊缝、换热管与管板焊接接头、异种钢焊接接头、具有再热裂纹倾向或者延迟裂纹倾向的焊接接头的表面,宜采用磁粉检测或渗透检测。

6.2.6 铁磁性材料焊接接头表面和近表面检测宜采用磁粉检测;非铁磁性材料焊接接头表面检测宜采用渗透检测。

## 6.3 时 机

6.3.1 化工设备焊接接头无损检测的时机选择应符合下列规定:

- 1 化工设备焊接接头无损检测应在形状尺寸和外观质量检查合格后进行;
- 2 拼接封头应在成形后进行无损检测;当成形前已进行无损检测时,则应在成形后对圆弧过渡区到直边段进行无损检测;
- 3 除球形储罐以外的有延迟裂纹倾向的材料制化工设备,应在焊接完成24h后进行无损检测;
- 4 对于有延迟裂纹倾向的材料制球形储罐,应在焊接完成36h后进行无损检测;
- 5 有再热裂纹倾向的材料制化工设备,应在热处理完成后再增加一次无损检测;
- 6 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的低合金钢化工设备,在耐压试验后,还应对焊接接头进行表面无损检测。

6.3.2 焊接返修后焊接接头的无损检测时机应符合6.3.1条中的规定。

## 6.4 比 例

6.4.1 化工设备焊接接头无损检测的比例分为全部(100%)和局部(不低于20%)两种:

- 1 符合下列情况之一的A、B类对接接头,应进行全部(100%)射线或超声检测:
  - 1) 设计压力大于或等于1.6MPa的Ⅲ类化工设备;
  - 2) 按照分析设计标准制造的化工设备;

- 3) 采用气压试验或者气液组合压力试验的化工设备;
- 4) 焊接接头系数取 1.0 的化工设备;
- 5) 使用后需要但是无法进行内部检测的化工设备;
- 6) 盛装毒性为极度或高度危害介质的化工设备;
- 7) 设计温度低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 的低合金钢化工设备;
- 8) 焊接接头厚度大于 25mm 且设计温度小于 $-20^{\circ}\text{C}$ 的碳钢和低合金钢化工设备;
- 9) 奥氏体型不锈钢、碳素钢、Q345R、Q370R 及其配套锻件的焊接接头厚度大于 30mm 的化工设备;
- 10) 18MnMoNbR、13MnNiMoR、12MnNiVR 及其配套锻件焊接接头厚度大于 20mm 的化工设备;
- 11) 15CrMoR、14Cr1MoR、08Ni3DR、奥氏体—铁素体不锈钢及其配套锻件的焊接接头厚度大于 16mm 的化工设备;
- 12) 铁素体不锈钢、其他 Cr-Mo 低合金钢化工设备;
- 13) 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的低合金钢化工设备;
- 14) 设计文件或相关标准要求时。

2 不要求进行全部无损检测的化工设备,其每条 A、B 类对接接头应进行局部射线检测或超声检测,检测长度应不少于各条焊接接头长度的 20%,且不应小于 250mm;对设计温度小于 $-20^{\circ}\text{C}$ 的碳钢和低合金钢化工设备,局部无损检测的比例应不小于 50%。局部检测的部位由制造(组焊)单位根据实际情况确定,制造(组焊)单位应对未检测部分的焊接质量负责;焊缝交叉部位以及下列部位应进行全部射线检测或超声检测,其检测长度可计入局部检测长度以内:

- 1) 先拼板后成形的凸形封头上的所有拼接接头;
- 2) 凡被补强圈、支座、垫板和内件等覆盖的焊接接头;
- 3) 对于满足现行国家标准《压力容器 第 3 部分:设计》GB 150.3 中规定不另行补强的接管,自开孔中心为圆心,沿容器表面的最短长度等于开孔直径范围内的焊接接头;
- 4) 嵌入式接管与圆筒或封头对接连接的焊接接头;
- 5) 公称直径  $d_N \geq 250\text{mm}$  的接管与长颈法兰、接管与接管对接连接的焊接接头。

3 公称直径小于 250mm 的接管与长颈法兰、接管与接管的 B 类焊接接头的检测方法、检测比例、合格级别按设计文件规定。

4 对设备直径不大于 800mm 的圆筒与封头的最后一道环缝以及固定管板式换热器筒体与管板的最后一道环焊缝,当采用不带垫板的单面焊对接接头,且无法进行射线或超声检测时,应进行 100%磁粉检测或渗透检测,且应采用钨极气体保护焊打底。

**6.4.2** 凡符合下列条件之一的化工设备焊接接头,应按设计文件规定的方法,对其表面进行 100%磁粉或渗透检测:

- 1 设计温度低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 的低合金钢化工设备焊接接头;
- 2 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的低合金钢、铁素体不锈钢、奥氏体—铁素体不锈钢化工设备焊接接头;
- 3 焊接接头厚度大于 20mm 的奥氏体不锈钢化工设备焊接接头;



- 4 焊接接头厚度大于 16mm 的 Cr-Mo 低合金钢化工设备除 A、B 类之外的焊接接头；
- 5 堆焊表面、复合钢板的覆层焊接接头、异种钢焊接接头、具有再热裂纹倾向或者延迟裂纹倾向的焊接接头；
- 6 要求局部射线检测或超声检测的化工设备，先拼板后成形凸形封头上的所有拼接焊接接头；
- 7 设计温度小于  $-20^{\circ}\text{C}$  的碳钢和低合金钢化工设备上缺陷修磨或焊接返修处的表面、卡具和拉筋等拆除处的割痕表面；
- 8 要求全部射线检测或超声检测的化工设备，公称直径小于 250mm 的接管与接管对接接头、接管与高颈法兰对接接头；
- 9 设计文件中规定的其他要求。

#### 6.4.3 化工设备组合检测应符合下列规定：

- 1 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的低合金钢化工设备的所有 A 类和 B 类焊接接头，如果其焊接接头厚度大于 20mm，还应采用 6.2 节所列的与原无损检测方法不同的检测方法进行局部无损检测，该检测应包括所有的焊缝交叉部位；同时该类材料的化工设备在耐压试验后，还应对焊接接头进行表面无损检测。
- 2 经射线检测或超声检测的焊接接头，如存在不允许的缺陷，应在缺陷清除干净后进行补焊，并对该部分采用原检测方法重新检查，直至合格。进行局部检测的焊接接头，如发现不允许的缺陷时，应在该缺陷两端的延伸部位增加检测长度，增加的长度为该焊接接头长度的 10%，且两侧均不小于 250mm。若仍存在缺陷，则应对该焊接接头进行 100% 无损检测。
- 3 磁粉检测或渗透检测发现的不允许缺陷，应在修磨或补焊后，对该部位采用原检测方法重新检测，直至合格。
- 4 当设计文件规定时，应按设计文件中的规定进行组合检测。



## 7 典型焊接结构无损检测技术规定

### 7.1 角接焊接结构

7.1.1 化工设备筒体与平封头、球冠形封头的角接焊接接头的埋藏缺陷宜采用超声检测,表面缺陷宜采用磁粉检测或渗透检测。

7.1.2 化工设备筒体与无折边锥形封头、锥形变径段之间的角接焊接接头的埋藏缺陷宜采用射线检测或超声检测,表面缺陷宜采用磁粉检测或渗透检测。

7.1.3 化工设备角接焊接结构无损检测方法应符合本规范第 6.2 节的规定,检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

### 7.2 接管和凸缘与壳体焊接结构

7.2.1 接管、凸缘与设备壳体焊接接头的埋藏缺陷宜采用射线检测或超声检测,表面缺陷宜采用磁粉检测或渗透检测。

7.2.2 嵌入式接管、凸缘与设备壳体焊接接头宜采用射线检测或超声检测。

7.2.3 接管、凸缘与设备壳体焊接接头无损检测方法应符合本规范第 6.2 节的规定,检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

### 7.3 搭接焊接结构

7.3.1 化工设备的搭接焊接接头宜采用磁粉检测或渗透检测,其检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

7.3.2 Cr-Mo 钢以及标准抗拉强度下限  $R_m \geq 540\text{MPa}$  低合金钢塔式化工设备,其裙座与塔壳的焊接接头应进行 100%磁粉检测或渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

### 7.4 T 形连接焊接结构

7.4.1 化工设备的 T 形连接焊接接头的埋藏缺陷可采用超声检测,表面缺陷可采用磁粉检测或渗透检测,其检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

7.4.2 吊耳与设备壳体之间的 T 形连接焊接接头,应进行 100%磁粉检测或渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

### 7.5 套管式换热设备焊接结构

7.5.1 符合下列条件之一的对接接头应进行 100%射线检测或超声检测,合格级别及技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定:

1 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的钢管焊接接头以及 Cr-Mo 低合金钢管焊接接头;

2 设计压力  $p_d \geq 10\text{MPa}$  的钢管焊接接头。

7.5.2  $1.6\text{MPa} \leq p_d < 10\text{MPa}$  的钢管焊接接头应进行射线检测或超声检测,检测比例不少于 20%,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

7.5.3 符合下列条件之一的焊接接头,应对其表面进行 100%磁粉检测或渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定:

1 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的材料以及 Cr-Mo 低合金钢的 C 类和 D 类焊接接头;

2 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的材料以及 Cr-Mo 低合金钢经火焰切割的坡口表面;

3 因结构限制无法进行射线检测或超声检测的 C 类和 D 类焊接接头。

7.5.4 用于套管式换热器的高压螺栓、螺柱应逐根进行 100%磁粉检测,符合现行行业标准《承压设备无损检测》JB/T 4730 中 I 级为合格。

## 7.6 夹套封闭件焊接结构

7.6.1 夹套封闭件与设备本体连接焊接接头应进行 100%磁粉检测或渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

7.6.2 被夹套覆盖部分设备本体的焊接接头应进行 100%射线检测,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

## 7.7 异种钢焊接结构

7.7.1 异种钢焊接接头的埋藏缺陷宜采用射线检测,表面缺陷宜采用渗透检测。

7.7.2 当采用隔离层堆焊焊接结构时,应对隔离层进行渗透检测。

7.7.3 异种钢焊接接头无损检测方法应符合本规范第 6.2 节的规定,检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

## 7.8 复合钢焊接结构

7.8.1 复合钢对接焊接接头的基层埋藏缺陷宜采用射线检测或超声检测,其基层焊接接头的检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

7.8.2 复合钢板之间以及复合钢板与复合接管之间的覆层焊接接头,其表面缺陷宜采用渗透检测,检测比例和合格级别应符合设计文件的规定。

7.8.3 当复合钢化工设备焊接结构采用过渡层时,宜对过渡层进行 100%渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

## 7.9 堆焊焊接结构

7.9.1 堆焊对接焊接接头的基层埋藏缺陷宜采用射线检测或超声检测,其检测比例符合本规范第 6.4 节的规定,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

7.9.2 堆焊化工设备的堆焊层宜采用渗透检测,其检测比例和合格级别应符合设计文件的规定。

7.9.3 换热器的堆焊管板,基层材料的待堆焊表面应进行 100%磁粉检测,堆焊后的堆焊表面应进

行 100% 渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

**7.9.4** 当堆焊化工设备焊接结构采用过渡层时,宜对过渡层进行 100% 渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

### **7.10 多层容器焊接结构**

**7.10.1** 符合下列条件之一的多层容器焊接接头应进行全部(100%)射线检测或超声检测,合格级别与技术等级应符合本规范第 6.1.4 条的规定:

- 1 多层容器的层板拼接接头;
- 2 多层筒节包扎容器内筒的 A 类焊接接头;
- 3 套合容器各单层圆筒的 A 类焊接接头;
- 4 多层整体包扎容器内筒的 A、B 类焊接接头;
- 5 各层层板与端部法兰或球形封头的焊接接头及最外层层板的纵向和环向焊接接头;
- 6 钢带错绕容器内筒的 A、B 类焊接接头。

**7.10.2** 对材料标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的多层包扎容器层板 C 类焊接接头,应对其表面进行 100% 磁粉检测或渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。

**7.10.3** 钢带错绕容器每层钢带的始、末两端焊接接头,宜进行 100% 磁粉检测或渗透检测,合格级别应符合本规范第 6.1.4 条的规定。



## 8 耐压试验和泄漏试验

### 8.1 一般规定

8.1.1 耐压试验应在化工设备无损检测合格、焊后热处理完毕后进行；泄漏试验应在耐压试验合格后进行。

8.1.2 化工设备耐压试验和泄漏试验的试验介质、试验压力、试验温度和试验方法除应符合本规范的规定外，还应符合相应设备标准以及设计文件的规定。

### 8.2 耐压试验

8.2.1 根据试验条件的不同，耐压试验可选择液压试验、气压试验、气液组合压力试验方法。

8.2.2 耐压试验应优先选择液压试验，当符合下列情况之一时，可选择气压试验：

- 1 设备充满液体试验介质后，会导致设备本身或设备基础破坏；
- 2 因设备结构原因，液压试验后难以将试验液体吹干排尽，而设备使用时不允许设备内存在任何液体残存；
- 3 设备内部结构不允许接触液压试验介质。

8.2.3 耐压试验压力应按相应设备标准中的规定选取。当设计文件提出的最高允许工作压力大于设计压力时，耐压试验压力计算时应以最高允许工作压力替代设计压力计算确定耐压试验压力。

8.2.4 耐压试验温度、试验介质、试验过程控制、合格标准应符合现行国家标准《压力容器 第4部分：制造、检验和验收》GB 150.4 以及相应设备标准的规定。

8.2.5 当采用水之外的其他介质进行液压试验时，应在设计文件中规定试验方法与试验要求。

8.2.6 对于外压和真空化工设备，应以内压进行耐压试验。

8.2.7 对于带夹套化工设备、管壳式换热器管头、现场组焊化工设备耐压试验，还应符合本规范第8.4节的规定。

8.2.8 对于无法进行耐压试验的化工设备，应在设计文件中规定相应的安全措施与要求。

### 8.3 泄漏试验

8.3.1 泄漏试验根据试验介质的不同，分为气密性试验、氨检漏试验、卤素检漏试验、氦检漏试验、煤油检漏试验，常用泄漏试验的适用范围可按表8.3.1确定。

8.3.2 符合下列条件之一的化工设备宜进行泄漏试验：

- 1 盛装毒性程度为极度或高度危害介质的化工设备；
- 2 盛装强渗透性中度危害介质的化工设备；
- 3 盛装易爆介质的化工设备；
- 4 不允许有微量泄漏的化工设备；



5 设计文件以及相应设备标准规定进行泄漏试验的化工设备。

表 8.3.1 常用泄漏试验方法与适用范围

泄漏试验方法	适用范围	灵敏度
气密性试验	无特殊致密性要求的化工设备检漏	低
氨检漏试验	较高致密性要求的设备衬里、设备焊接接头、设备密封面以及换热管与管板焊接接头等检漏	较高
卤素检漏试验	较高致密性要求的设备焊接接头、设备密封面以及换热管与管板焊接接头等检漏	较高
氦检漏试验	高致密性要求的特殊设备焊接接头、设备密封面以及换热管与管板焊接接头等检漏	高
煤油检漏试验	不便采用其他方法检漏的设备以及大型设备密封面检漏	低

8.3.3 除设计文件已有规定外,已做过气压试验的化工设备可不再采用空气或氮气进行泄漏试验。

8.3.4 带夹套化工设备、管壳式换热器管头、现场组焊化工设备的泄漏试验,还应符合本规范第 8.4 节的规定。

#### 8.4 其他要求

8.4.1 带夹套化工设备耐压试验和泄漏试验应符合下列规定:

1 当设备内为常压、夹套内为正压时:

- 1) 先对设备壳体进行盛水或煤油渗漏试验,合格后再焊接夹套,然后进行夹套内的耐压试验和泄漏试验;
- 2) 应对设备壳体进行外压稳定性校核计算,保证设备壳体满足在夹套耐压试验压力作用下的外压稳定性要求。

2 当设备内为正压或负压、夹套内为正压,不按压差设计时:

- 1) 先对设备壳体进行耐压试验和泄漏试验,合格后再焊接夹套,然后进行夹套内的耐压试验和泄漏试验;
- 2) 应对设备壳体进行外压稳定性校核计算,保证设备壳体满足在夹套耐压试验压力作用下的外压稳定性要求。

3 当设备内为正压或负压、夹套内为正压,按压差设计时:

- 1) 先对设备壳体进行耐压试验和泄漏试验,合格后再焊接夹套,然后进行夹套内的耐压试验和泄漏试验;
- 2) 试验过程中应保证设备内保持一定的压力,要求在夹套试验过程中保持设备内和夹套内的压力差不超过设计允许的规定值;
- 3) 应按设计压差对设备壳体进行外压稳定性校核计算,保证设备壳体满足在设计压差作用下的外压稳定性要求,并在设计文件中注明操作时保证设计压差的要求。

8.4.2 当按设计条件核算确定的管壳式换热器管程耐压试验压力高于壳程耐压试验压力时,管壳式换热器管头耐压试验除应符合现行国家标准《管壳式换热器》GB 151 的规定外,还应符合下列规定:

1 当对壳程筒体、封头、接管、法兰等受压元件以及开孔补强等进行耐压试验强度校核,确认壳程受压元件能够满足耐压试验压力下的强度要求时,将壳程耐压试验压力提高至管程耐压试验压力进行耐压试验。

2 当经核算不能采用本条第 1 款方法,或从技术经济角度分析采用本条第 1 款方法不合理时,则壳程、管程分别按其耐压试验压力完成耐压试验后,壳程可按照现行行业标准《承压设备无损检测 第 8 部分:泄漏检测》NB/T 47013.8 进行氨渗漏、氨泄漏或卤素检漏试验。

#### 8.4.3 现场组焊化工设备的耐压试验和泄漏试验应符合下列规定:

1 当组焊现场具备独立对化工设备进行耐压试验和泄漏试验条件时,应按照本规范第 8.1 节和第 8.2 节的规定进行耐压试验和泄漏试验。

2 当组焊现场不具备独立对化工设备进行耐压试验和泄漏试验条件时,宜与设备所在系统一起进行耐压试验和泄漏试验,并应在设计文件中提出相应的安全措施与要求。

## 附录 A 钢制化工设备特殊焊接结构

### A.0.1 高温梯度接管与壳体焊接结构

1 高温梯度接管与壳体焊接结构如图 A.0.1 所示。

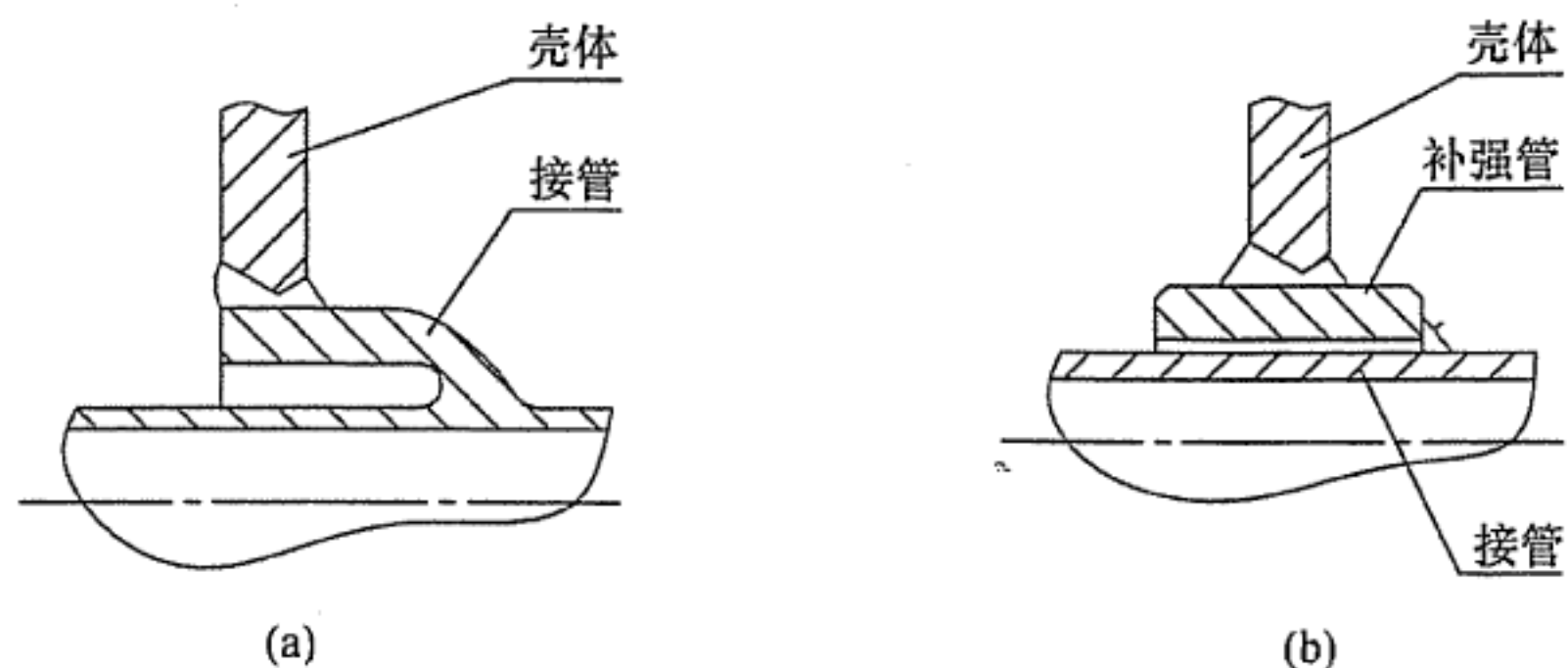


图 A.0.1 高温梯度接管与壳体焊接结构示意图

2 高温梯度接管与壳体焊接结构通常用于以下连接结构：

- 1) 接管设计温度梯度较大的场合；
- 2) 接管直接与内部结构相连通的场合；
- 3) 要求降低接管与壳体间焊接接头温度梯度、避免热疲劳的场合。

### A.0.2 换热管与管板内孔焊连接结构

1 换热管与管板内孔焊连接结构如图 A.0.2 所示。

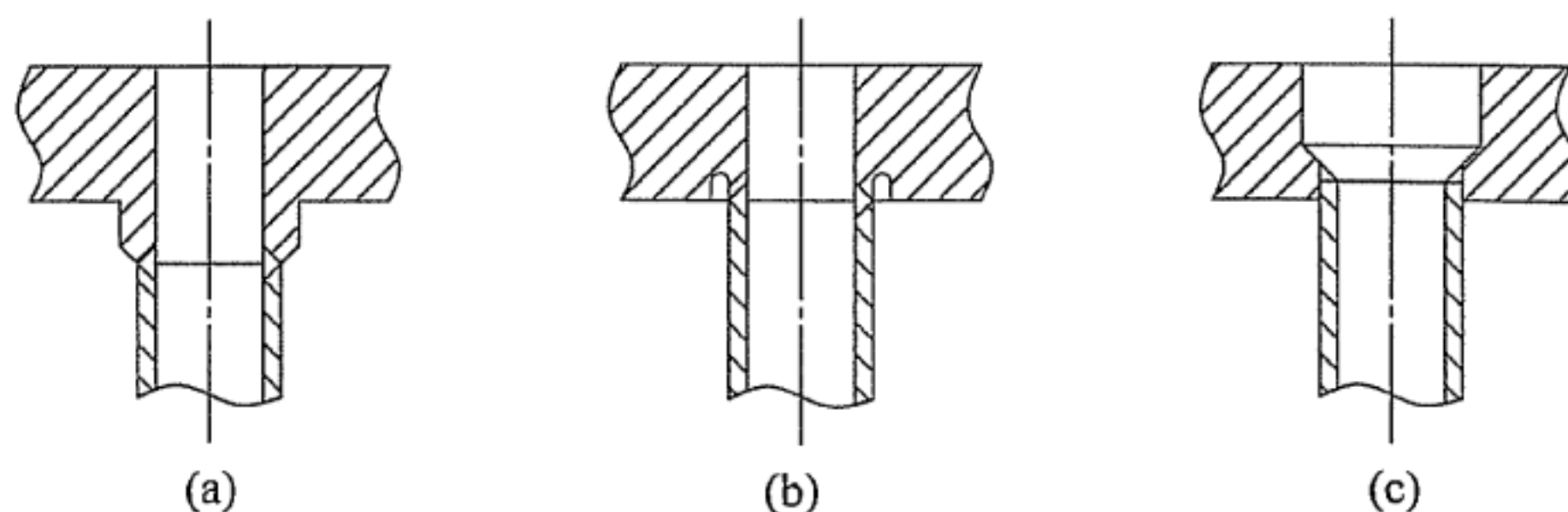


图 A.0.2 换热管与管板内孔焊连接结构示意图

2 内孔焊连接结构通常用于以下管壳式换热器换热管与管板连接结构：

- 1) 设计温度、设计压力及操作条件苛刻的场合；
- 2) 管程要求避免间隙腐蚀的场合；
- 3) 要求降低换热管与管板间焊接接头温度梯度、避免热疲劳的场合。

### A.0.3 设备壳体过渡段焊连接结构

1 设备壳体过渡段焊接结构如图 A.0.3 所示。

2 设备壳体过渡段结构通常用于以下设备焊接结构：

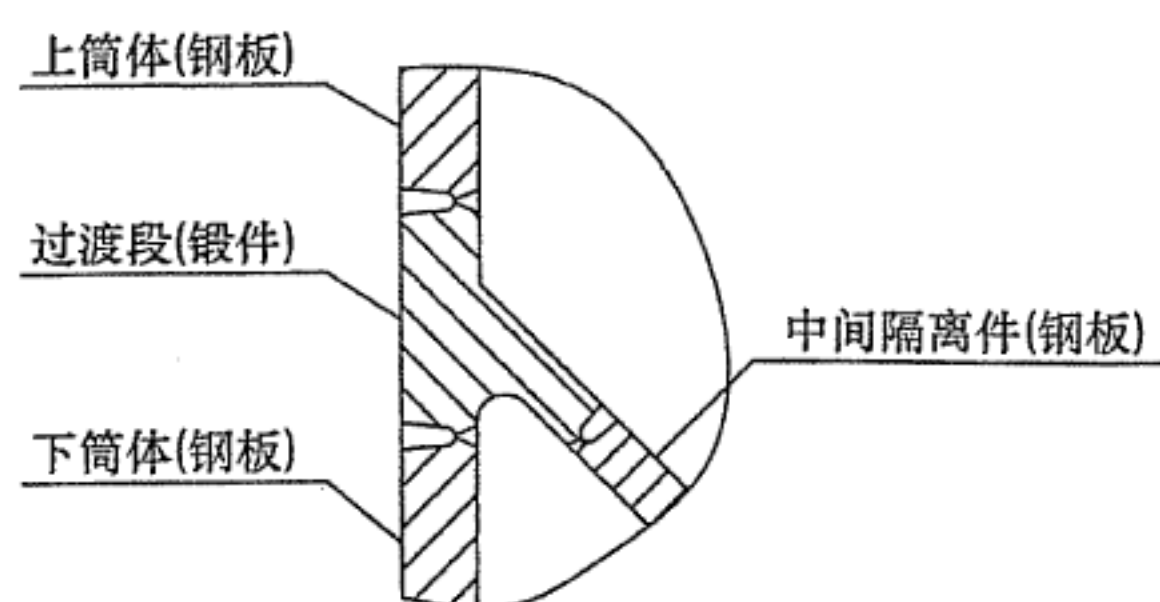


图 A.0.3 设备壳体过渡段焊接结构示意图

- 1) 高温高压厚壁反应器筒体与中间隔离件连接结构；
- 2) 有耐孔蚀、间(缝)隙腐蚀要求的厚壁设备；
- 3) 设备筒体与中间隔离件焊接接头要求 100%射线检测的场合。



## 本规范用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
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用词：  
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用词：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，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 150.1~150.4  
《管壳式换热器》GB 151  
《钢制球形储罐》GB 12337  
《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654  
《钢制化工容器设计基础规定》HG/T 20580  
《钢制化工容器材料选用规定》HG/T 20581  
《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583  
《钢制化工容器制造技术规定》HG/T 20584  
《钢制压力容器 分析设计标准》JB 4732  
《钢制塔式容器》JB/T 4710  
《承压设备无损检测》JB/T 4730.1~4730.6  
《钢制卧式容器》JB/T 4731  
《承压设备无损检测 第7部分:目视检测》NB/T 47013.7 (JB/T 4730.7)  
《承压设备无损检测 第8部分:泄漏检测》NB/T 47013.8 (JB/T 4730.8)  
《承压设备无损检测 第9部分:声发射检测》NB/T 47013.9 (JB/T 4730.9)  
《承压设备无损检测 第10部分:衍射时差法超声检测》NB/T 47013.10 (JB/T 4730.10)  
《承压设备焊接工艺评定》NB/T 47014  
《压力容器焊接规程》NB/T 47015  
《承压设备产品焊接试件的力学性能检验》NB/T 47016  
《承压设备用焊接材料订货技术条件》NB/T 47018.1~47018.5  
《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004

中华人民共和国化工行业标准

# 钢制化工设备焊接与 检验工程技术规范

HG/T 20593—2014

条 文 说 明





# 目 次

编制说明 .....	(49)
1 总 则 .....	(51)
2 术 语 .....	(52)
3 焊接结构 .....	(53)
3.1 一般规定 .....	(53)
3.4 接管和凸缘与设备壳体焊接结构 .....	(53)
3.6 异种钢焊接结构 .....	(53)
3.7 复合钢焊接结构 .....	(54)
4 焊接通用技术规定 .....	(55)
4.2 焊接材料选用 .....	(55)
4.3 焊接工艺评定 .....	(55)
4.4 焊前准备 .....	(55)
4.5 施焊 .....	(55)
4.6 后热 .....	(56)
4.7 焊接返修 .....	(56)
4.8 焊后热处理 .....	(56)
5 典型材料焊接技术规定 .....	(57)
5.1 碳素钢焊接 .....	(57)
5.2 强度型低合金钢焊接 .....	(57)
5.3 耐热型低合金钢焊接 .....	(57)
5.4 低温型低合金钢焊接 .....	(58)
5.5 奥氏体不锈钢焊接 .....	(58)
5.6 奥氏体不锈钢复合钢焊接 .....	(59)
6 无损检测通用技术规定 .....	(60)
6.1 一般规定 .....	(60)
6.2 方法选择 .....	(61)
6.3 时机 .....	(61)
7 典型焊接结构无损检测技术规定 .....	(62)
7.1 角接焊接结构 .....	(62)
7.2 接管和凸缘与设备壳体焊接结构 .....	(62)
7.3 搭接焊接结构 .....	(62)
7.4 T形连接焊接结构 .....	(62)
7.5 套管式换热设备焊接结构 .....	(63)
7.6 夹套封闭件焊接结构 .....	(63)

7.7 异种钢焊接结构 .....	(63)
7.8 复合钢焊接结构 .....	(63)
7.9 堆焊焊接结构 .....	(63)
8 耐压试验和泄漏试验 .....	(64)
8.2 耐压试验 .....	(64)
8.3 泄漏试验 .....	(64)
8.4 其他要求 .....	(64)
附录 A 钢制化工设备特殊焊接结构 .....	(65)
引用标准名录 .....	(66)

## 编制说明

本规范根据中华人民共和国工业和信息化部(工信厅科[2012]252号文)和中国石油和化学工业联合会(中石化联质发[2013]3号文)的要求,由中国石油和化工勘察设计协会委托中国石油和化工勘察设计协会设备设计专业委员会组织编制。

本规范在编制过程中,编制组在行业内广泛收集了钢制化工设备设计、制造企业在相关标准应用过程中发现和存在的问题,结合目前化工和石油化工等行业的工程实施情况进行了广泛的调查研究,总结了我国工程建设的实践经验,同时对国外同类问题查阅资料,使各项技术指标、参数更加准确,各项性能要求等都有实际工程检验做技术支撑。

本规范结合国内外钢制化工设备设计、制造、安装实践,对现行国家标准《压力容器》GB 150、《管壳式换热器》GB 151、《钢制球形储罐》GB 12337以及现行行业标准《钢制塔式容器》JB/T 4710、《钢制卧式容器》JB/T 4731、《钢制压力容器 分析设计标准》JB 4732、《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583、《钢制化工容器制造技术规定》HG/T 20584中钢制化工设备焊接与检验部分做出了补充和细化,规定了钢制化工设备的焊接结构设计、焊接、无损检测、耐压试验与泄漏试验技术要求。本规范为首次发布。

本规范共分为正文部分8章和1个附录,主要内容如下:

1. 第1章“总则”介绍了本规范的编制目的和适用范围。

2. 第2章“术语”定义了本规范涉及到的主要术语。

3. 第3章“焊接结构”规定了钢制化工设备焊接结构设计通用技术要求以及对接焊接结构、角接焊接结构、接管和凸缘与壳体焊接结构、换热设备焊接结构、异种钢焊接结构、复合钢焊接结构、堆焊焊接结构的设计技术要求。

4. 第4章“焊接通用技术规定”规定了钢制化工设备焊接方法、焊接材料管理、焊接材料选用、焊接工艺评定、焊前准备、施焊、后热、焊接返修、焊后热处理等通用技术要求。

5. 第5章“典型材料焊接技术规定”规定了碳素钢、强度型低合金钢、耐热型低合金钢、低温型低合金钢、奥氏体不锈钢、奥氏体不锈钢复合钢的焊接材料选用、焊接工艺评定、焊前准备、施焊、后热、焊接返修、焊后热处理等技术要求。

6. 第6章“无损检测通用技术规定”规定了钢制化工设备无损检测的应用原则、合格级别与技术等级、方法选择、检测时机、检测比例等技术要求。

7. 第7章“典型焊接结构无损检测技术规定”规定了角接焊接结构、接管和凸缘与壳体焊接结构、搭接焊接结构、T型连接焊接结构、套管式换热设备焊接结构、夹套封闭件焊接结构、异种钢焊接结构、复合钢焊接结构、堆焊焊接结构以及多层容器焊接结构的无损检测技术要求。

8. 第8章“耐压试验与泄漏试验”规定了耐压试验与泄漏试验的通用技术要求以及带夹套化工设备、管壳式换热器管头、现场组焊化工设备的耐压试验与泄漏试验技术要求。

9. 附录 A“钢制化工设备特殊焊接结构”介绍了高温梯度接管与壳体焊接结构、换热管与管板内孔焊以及厚壁筒体过渡段焊接结构,供设计、制造(组焊)单位参考。

为便于广大设计、制造、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,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。但是,本条文说明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标准规定的参考。



## 1 总 则

**1.0.2** 本规范仅适用于与化工设备焊接接头相关的焊接与检验,对于用于化工设备制造的材料以及其他加工过程的检验应执行相关设备标准或材料标准的规定。

## 2 术 语

**2.0.7** 预热主要是针对焊接结构拘束度比较大以及淬硬倾向比较大、冷裂纹倾向比较大、易产生延迟裂纹的钢种,预热可以降低焊接接头冷却速度,使焊缝中的扩散氢逸出,避免产生氢致裂纹,并延长热影响区的冷却时间,避免出现马氏体淬硬组织。

**2.0.8** 预热温度一般以最低值表示,通常与最低道间温度相同。

**2.0.9** 道间温度一般用最高值表示,需用预热时,道间温度不应低于预热温度。

## 3 焊接结构

### 3.1 一般规定

**3.1.6** 对于有耐孔蚀、间(缝)隙腐蚀要求的化工设备,接触介质一侧应采用圆滑过渡全焊透结构,不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、未填满、咬边等缺陷,且应不留尖角口、缝隙等流体死区,以免在局部缺陷部位或腐蚀介质流体死区形成腐蚀源头。

**3.1.8** 本章对化工设备壳体对接焊接结构、设备壳体角接焊接结构、换热设备焊接结构以及接管/凸缘与设备壳体焊接结构等通用焊接结构适用范围、结构设计应注意的事项等做出了规定。对于《压力容器》GB 150、《管壳式换热器》GB 151、《钢制球形储罐》GB 12337、《钢制塔式容器》JB/T 4710、《钢制卧式容器》JB/T 4731、《钢制压力容器 分析设计标准》JB 4732 等化工设备标准以及 HG/T 20583《钢制化工容器结构设计规定》中已规定的内容直接引用。

### 3.4 接管和凸缘与设备壳体焊接结构

**3.4.3** 第 3 款,对于设备内施焊条件受限的化工设备(包括需要焊前预热导致设备内施焊条件受限),接管、凸缘与设备壳体焊接宜选用从设备外侧施焊结构。

第 5 款,接管、凸缘与壳体焊接接头应尽可能避开壳体焊接接头,接管、凸缘上的焊缝与壳体上的焊缝之间距离以不小于  $3S$  ( $S$  为开孔部位壳体名义厚度)且不小于  $50\text{mm}$  考虑为宜。对于设计条件要求较低的化工设备,当接管、凸缘与壳体焊接接头通过或邻近壳体焊接接头时,应保证壳体上开孔直径两倍范围内的焊接接头不存在任何“超标缺陷”。“超标缺陷”系指壳体主体焊接接头所不允许存在的缺陷,设计人员应在设计文件中提出相应检测要求。

第 6 款,对于熔敷金属量大的接管与设备壳体焊接结构,应注意接管壁厚不宜过薄,以免焊接过程中将接管烧穿。

### 3.6 异种钢焊接结构

**3.6.2** 两相焊件的相焊接部位应等厚度,并优先采用对接,以使两相焊件受热均匀、同时加热到熔点,从而避免因过热而引起的合金元素成分变化以及由此所导致的焊接接头裂纹发生。

**3.6.3** 易吸收变形的焊接结构,参见图 3.6.3。

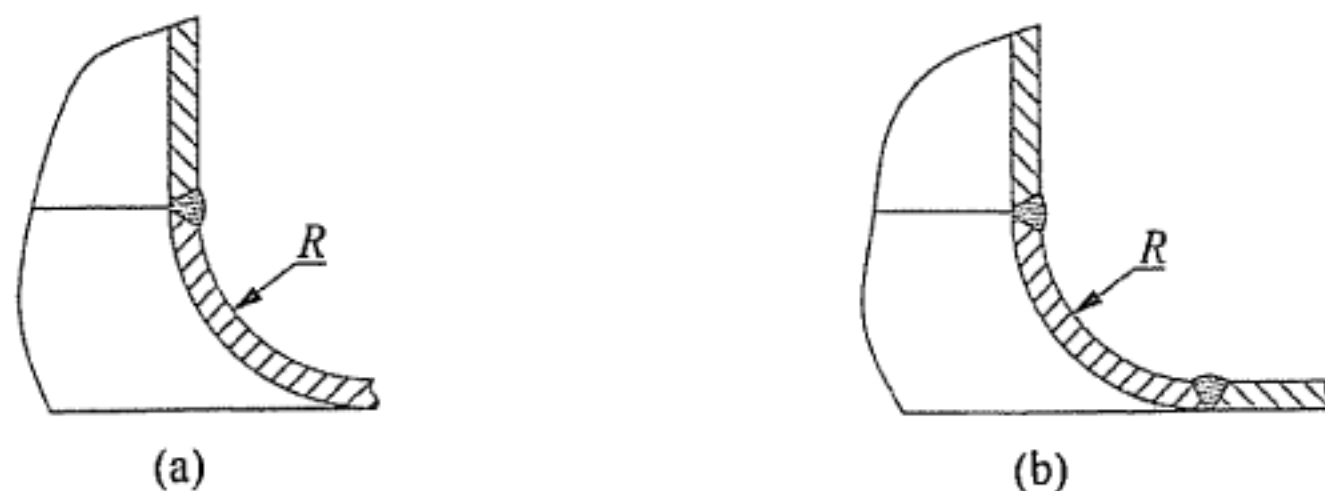


图 3.6.3 易吸收焊接变形的焊接结构示意图

3.6.4 对于线膨胀系数相差大的异种钢焊接,采用隔离层尤为重要,例如在 Cr-Mo 钢与奥氏体不锈钢对焊时,可先在碳钢一侧堆焊一层线膨胀系数介于两相焊件之间的高铬高镍不锈钢,然后再采用奥氏体不锈钢焊条焊接,可有效避免两种钢材相焊产生的裂纹问题。隔离层焊材选择还应考虑焊材的熔点、热导率、比热容和化学成分等与两侧母材相匹配。异种钢焊接接头包括:

- 1) 不同铁素体钢的焊接;
- 2) 不同奥氏体钢的焊接;
- 3) 铁素体钢与奥氏体钢的焊接;
- 4) 为达到表层耐磨蚀、耐腐蚀等目的的堆焊焊接;
- 5) 同种钢材选择异质填充金属的焊接等。

### 3.7 复合钢焊接结构

3.7.2 复合钢板壳体对接焊接结构、复合钢板壳体与复合接管焊接结构设计在现行行业标准《钢制化工容器结构设计规定》HG/T 20583 第 18 章“焊接结构”中已有规定,故本规定未赘述。

3.7.4 为保证焊接第一道基层焊道时不受覆层金属过大的稀释,以防止脆化基层焊缝金属,焊接坡口覆层一侧可去除覆层金属;同样的,采用此方法可以有效解决基层金属对过渡层金属的稀释问题,以确保覆层金属的化学成分和耐蚀性能。

当覆层厚度计入设计强度计算时,应经强度计算确定焊接接头强度符合化工设备强度要求,否则不能采用此方法。



## 4 焊接通用技术规定

### 4.2 焊接材料选用

4.2.3 重要的化工设备在制造过程中要经过多次热处理,焊接材料的选用应考虑多次热处理对焊缝性能的影响。在经过多次热处理后,焊缝性能仍能满足设计要求,焊接材料的选择才是正确的。

4.2.4 对焊接材料的焊接性能(包括工艺焊接性能和使用焊接性能),应引起足够的重视。不论是工艺焊接性能还是使用焊接性能,只要有一个不能满足要求,就不可能焊出质量可靠的焊缝。因此,如果对选用的焊接材料的焊接性能缺乏足够的了解,例如对于新材料、新工艺,应根据设计文件、施工条件和使用要求选择相适应的试验方法,正式施焊前应进行焊接材料的焊接性能试验。

### 4.3 焊接工艺评定

4.3.3 焊接工艺评定是不可替代的,应由施焊单位自己完成。考虑到施焊单位的具体条件,允许试件的加工、检测及理化性能试验对外委托。但焊接工艺评定的关键工作(评定试件的焊接)则应由施焊单位自己完成。

4.3.4 焊接工艺评定的其他试验项目,指的是除常规力学性能以外的试验项目,例如晶间腐蚀试验、抗氢诱导裂纹试验和耐腐蚀试验等。当设计文件对此有要求时,焊接工艺评定则应增加这些试验项目。

### 4.4 焊前准备

4.4.2 第1款,预热温度确定应根据母材的交货状态、化学成分、力学性能、焊接性能、焊件厚度、焊接接头的拘束度、焊接方法以及施焊环境综合考虑,通过焊接性能试验确定;现场施焊化工设备的预热温度还应综合考虑结构拘束度和环境温度的影响,故本规范未推荐材料的预热温度。API相关标准中提出了典型材料最低预热温度推荐值,可供参考。

第6款,预热过程应保证坡口两侧沿壁厚均匀受热,并防止局部过热,碳素钢和低合金钢化工设备的最高预热温度不宜大于300℃,以防碳析出。

### 4.5 施 焊

4.5.4 除了控制预热温度外,有时还应控制环境温度,否则达不到质量要求。比如大型球罐的现场组焊,当环境温度较低时,应在球罐外部搭设防护棚,并在棚内设置加热器来提高焊接时的环境温度,从而保证球罐的焊接质量。

4.5.4、4.5.10 冷裂纹敏感性大的材料:标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540\text{MPa}$  的材料以及异种钢焊接结构都有发生冷裂纹的可能性,例如耐热型低合金钢、马氏体不锈钢、含Ni的低合金钢以及异种钢焊接接头、堆焊焊接结构等。

## 4.6 后 热

4.6.1 冷裂纹敏感性大的材料见 4.5.4、4.5.10 条说明。

4.6.3 本规范对后热温度的下限定为 250℃,较其他标准提高了 50℃。主要是参考了国际相关标准,并结合现场后热的实际操作过程而制定的。

当后热温度取规定范围的较低值时,保温时间应相应增加;随着焊缝金属厚度的增大,保温时间也应相应增加。鉴于后热保温时间确定需要综合考虑焊件厚度、材料化学成分、加热温度、加热方式等因素影响,故本条仅做提示性要求。

4.6.5 现场大型球罐的焊接接头一般要采用焊接性试验确定预热温度和后热温度。

## 4.7 焊 接 返 修

4.7.3 如焊缝返修与原焊缝的焊接条件相差较大,则需要进行焊接返修焊接工艺评定。为保证焊接质量,在这种情况下焊缝返修焊接工艺评定是不能省略的。

4.7.7 一般焊缝返修应在焊后热处理前进行,但在实际制造和现场组焊过程中,有时会出现焊后热处理之后进行焊缝返修的情况,焊缝返修之后是否需要重新进行热处理一直是个争论不休的问题。本规范根据国际国内相关标准,对不同材料的钢制化工设备在各种情况下,焊接返修后是否需要重新进行焊后热处理做出了相应的规定。

## 4.8 焊后热处理

4.8.7 第 2 款,应采用焊接方法(如电容储能点焊)连接热电偶与焊件,防止在热处理过程中热电偶松动或脱落。

4.8.8 对于球罐以及特殊材料的焊后热处理,如果确定不产生有害结果,可以适当降低焊后热处理过程中焊件加热区升温速度和降温速度。

## 5 典型材料焊接技术规定

### 5.1 碳素钢焊接

5.1.1 第1款2),大拘束度焊接接头包括接管、人孔等与壳体和封头的焊接接头等。

5.1.3 第3款2),气体保护焊用于受压元件的焊接时,宜使用实芯焊丝。主要是考虑目前国内药芯焊丝的质量参差不齐,有些药芯焊丝质量无法满足受压元件的焊接质量要求而制定的。当设备制造(组焊)单位使用质量好的药芯焊丝,且有成熟经验保证焊接质量能满足受压元件的要求时,可以不受此条规定限制。

5.1.3 第4款,湿硫化氢不仅对钢材具有很强的腐蚀性,而且硫化氢本身还是一种很强的渗氢介质,通常湿硫化氢腐蚀破裂是由氢引起的,故要求在湿硫化氢环境中使用的碳素钢化工设备,焊后应采取后热措施。

### 5.2 强度型低合金钢焊接

5.2.3 第1款3),窄坡口或窄间隙焊接接头焊缝截面积小、填充金属量小,可节省焊接材料和焊接能源消耗,提高焊接工作效率,且由于焊接坡口变窄、焊接热输入量低,焊接接头热影响区域减小,焊接接头的应力水平和变形量较低,故当强度型低合金钢板厚 $\delta \geq 60\text{mm}$ 时,推荐采用窄坡口或窄间隙焊接接头。

第6款8),半焊道加回火焊道的焊接返修应按以下程序执行:

- 1) 采用最大直径为3.2mm的焊条在坡口表面上堆焊一层;
- 2) 在焊第二层之前,要将坡口表面层上的堆焊金属磨去一半厚度;
- 3) 采用最大直径为4mm的焊条继续施焊;
- 4) 在返修焊缝表面施焊回火焊道;
- 5) 返修焊缝及回火焊道完成后进行后热:200℃~260℃保温4h;
- 6) 磨去回火焊道余高,使之与母材表面齐平;

7) 返修焊缝冷却到常温后(焊后至少48h)进行表面无损检测,返修焊缝厚度大于10mm时应进行射线检测。

### 5.3 耐热型低合金钢焊接

5.3.1 高压临氢系指441℃及以下高压临氢工况,高温高压临氢系指高于441℃高压临氢工况(下同)。

第3、4款2),Cr-Mo钢化学成分控制是一个很复杂的问题,通常需要考虑的主要因素包括防止高温氢腐蚀、氢脆、硫化氢腐蚀、连多硫酸应力腐蚀、材料回火脆化、不锈钢堆焊层的氢致剥离以及上述因素的叠加等,应综合考虑各种因素的影响提出焊缝的化学成分控制要求。本规范提出的高压临



氢 1. 25Cr-0.5Mo 和高温高压临氢 2. 25Cr-1Mo 厚壁化工设备焊接材料应保证焊缝金属的化学成分要求,是根据 API 相关标准以及国内工程公司及设备制造(组焊)单位的经验规定的,是对高压临氢 1. 25Cr-0.5Mo 和高温高压临氢 2. 25Cr-1Mo 厚壁化工设备焊接材料化学成分的最基本的要求。根据耐热型低合金钢实际应用情况,各设计单位应提出更为详细的化学成分要求。

第 3、4 款 3),对于高压临氢 1. 25Cr-0.5Mo 和高温高压临氢 2. 25Cr-1Mo 厚壁化工设备焊接材料应保证焊缝金属的扩散氢含量要求,是根据 API 相关标准规定的,但 API 标准中扩散氢含量标准要求过低,根据国内工程公司及设备制造(组焊)单位的经验,较大幅度提高了对扩散氢含量的要求,这对保证耐热钢化工设备焊接质量是必要的。

根据测氢介质的不同,焊接材料扩散氢的测定方法主要有甘油法、水银法、气相色谱法三种:

甘油价格便宜,但甘油的黏度较大,会存在小氢气泡不易上浮现象。此外,甘油的密度要远小于水银密度,也会造成氢气泡逸出困难,故甘油法测得扩散氢含量远小于水银法(相差达 30%),因此对于氢含量低的无法用甘油法测定。

水银法测试原理与甘油法一样,特点是测氢介质为水银,其密度比甘油的大很多,氢气泡易上浮,测量结果较甘油法准确。其缺点是汞蒸汽有毒,试验装置应严格密封,以保证人身安全。由于该方法不利于环保,在欧美等国家,水银法已被禁止采用,如果从国外厂家采用焊接材料时,一般焊接材料制造厂家都不接受水银法测试扩散氢含量。

气相色谱法测定扩散氢具有速度快、准确度高等优点,缺点是气相色谱法试验仪器价格较高。一般来说,对同种焊条,水银法和气相色谱法测出的数据比较接近,而甘油法测出的结果相比前两者误差较大,数据差别也很大。

**5.3.3 第 3 款 1),**焊缝如因故中断焊接,在中断焊接之前熔敷的焊缝厚度应至少为总厚度的 33%,参照美国焊接手册 AWS 的规定。如中断焊接之前熔敷的焊缝厚度达不到总厚度的 33%,应清除重新焊接。

**5.3.4 第 4 款,**对于表 5.3.4-2 中未列材料(属于 Fe-4 类材料),不允许采用降低最低保温温度、延长保温时间方法进行热处理。

## **5.4 低温型低合金钢焊接**

**5.4.3 第 2 款 1),**预热温度应根据母材的交货状态、化学成分、力学性能、焊接性能、焊件厚度、焊接接头的拘束度及焊接方法等通过焊接性试验确定。

## **5.5 奥氏体不锈钢焊接**

**5.5.1 第 2 款 2),**为保证异种钢焊接接头的使用寿命,本规范规定当设计温度高于 370℃时,奥氏体不锈钢和碳素钢、低合金钢的异种钢焊接应选用镍基焊材。该规定是根据近年来现场异种钢焊接接头的解剖情况以及 AWS、NB/T 47015 等相关标准来界定的。

第 2 款 3),由于铁素体母材和奥氏体母材之间的热膨胀系数差异显著,产生的热应力可能超过屈服强度,能够在熔合线或附近产生裂纹并扩展。另外,在高温下,碳从铁素体钢母材向锈钢扩散,产生脱碳区,减弱、缩短接头寿命。故当选用奥氏体不锈钢或镍基焊接材料时,应充分考虑焊缝金属与母材膨胀系数不同而产生的应力作用。



**5.5.2** 第2款,国内现行焊接工艺评定标准中,没有耐腐蚀试验的具体要求。因此当设计文件要求进行晶间腐蚀试验时,对晶间腐蚀试验方法及合格标准做出相应规定是必要的;必要时,还应按设计文件要求进行应力腐蚀和点蚀试验。

**5.5.4** 表5.5.4“奥氏体不锈钢稳定化处理推荐的工艺条件”,与其他不锈钢热处理的推荐规范不同,只推荐了稳定化处理的工艺条件,原因是近年来在大量炼油工程项目中,设计文件对不锈钢焊后进行稳定化处理要求较普遍。本规范根据炼油工程项目中不锈钢稳定化处理的实践经验,并参考相关标准推荐了不锈钢稳定化处理的工艺条件。

## **5.6 奥氏体不锈钢复合钢焊接**

**5.6.3** 第3款2),在焊接条件受限,无法按先焊基层、再焊过渡层、最后焊覆层顺序施焊的情况下,可采用先焊覆层、再焊过渡层、最后焊基层的焊接顺序,但应采取相应措施保证覆层焊缝性能。

**5.6.4** 应该尽量避免不锈钢复合钢化工设备焊后热处理,但有时又是必须要进行的。焊后热处理对不锈钢复合钢化工设备覆层的影响是众所周知的,经过焊后热处理后覆层材料的晶间腐蚀试验能否合格是不锈钢复合钢化工设备制造过程中的一个难题。根据国内设备制造(组焊)单位的经验,如果在设计过程中严格控制覆层材料,即使经过焊后热处理,覆层材料的耐腐蚀性能仍能满足要求。据此,本规范对覆层材料的选用提出了相应要求。

## 6 无损检测通用技术规定

### 6.1 一般规定

6.1.1 根据《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004、《压力容器》GB 150、《承压设备无损检测》JB/T 4730.1~6、《承压设备无损检测 第7部分:目视检测》NB/T 47013.7、《承压设备无损检测 第8部分:泄漏检测》NB/T 47013.8、《承压设备无损检测 第10部分:衍射时差法超声检测》NB/T 47013.10等相关规定,结合相关标准规范应用实际,确定了化工设备无损检测方法的使用原则:

1) 无损检测方法主要是指射线检测、超声检测(TOFD)、磁粉检测、渗透检测以及目视检测和泄漏检测;

2) 射线检测和超声检测主要用于化工设备对接接头的内部缺陷检测;

3) 射线检测能确定缺陷平面投影的位置、大小,可获得缺陷平面图像并能据此判定缺陷的性质,射线检测不能确定缺陷的埋藏深度和平行于射线方向的尺寸;

4) 超声检测能确定缺陷的位置和相对尺寸,超声检测适用于板材、复合板材、碳钢和低合金钢锻件、管材、棒材、奥氏体不锈钢锻件等钢制化工设备原材料和零部件的检测,也适用于钢制化工设备对接接头、T型焊接接头、角焊缝以及堆焊层等的检测;

5) 磁粉检测主要用于发现铁磁性材料制焊接接头表面和近表面缺陷,磁粉检测能确定缺陷的位置形状和大小,适用于铁磁性材料对接接头、T型焊接接头以及角焊缝等表面和近表面缺陷的检测,不适用于奥氏体不锈钢和其他非铁磁性材料的检测;

6) 渗透检测能确定表面开口缺陷的位置、尺寸和形状。渗透检测适用于金属材料和非金属材料的板材、复合板材、锻件、管材和焊接接头表面开口缺陷的检测,不适用于多孔性材料的检测;

7) 衍射时差法超声检测(简称 TOFD)适用于碳素钢和低合金钢全焊透结构型式的对接接头,工件厚度为  $12\text{mm} \leq t \leq 400\text{mm}$  的焊接接头的检测等;

8) 目视检测是观察、分析和评价被检件状况的一种无损检测方法,适用于在制和在用承压设备的目视检测,本规范所指的钢制化工设备属承压设备范畴,故将目视检测纳入本规范无损检测方法,检测方法和技术按《承压设备无损检测 第7部分:目视检测》NB/T 47013.7 执行;

9) 泄漏检测适用于在制和在用承压设备的泄漏检测,可以用来确定泄漏部分和测量泄漏率。本规范所指的钢制化工设备属承压设备范畴,本规范所指的泄漏检测方法和技术要求执行《承压设备无损检测 第8部分:泄漏检测》NB/T 47013.8 的规定。

6.1.4 第1款,对于射线检测,仅提出技术等级、合格级别要求是不够的,设计人员还应结合选用的射线源、射线检测技术等级,提出采用的胶片类别等要求。

## 6.2 方法选择

**6.2.4** 对于大厚度碳钢、低合金钢化工设备无损检测,衍射时差法超声检测(TOFD)具有可靠性高、检测精度高、检测效率高、检测成本低、安全环保等优势,根据以往各单位 TOFD 使用经验,壁厚大于 32mm 的碳钢、低合金钢化工设备的埋藏缺陷检测采用衍射时差法超声检测(TOFD)较为合适;同时考虑到采用衍射时差法超声检测(TOFD)时对焊接接头近表面和根部存在盲区,应采用磁粉检测或涡流检测覆盖表面/根部和近表面盲区;另外,考虑到衍射时差法超声检测(TOFD)质量需要检测人员经验等素质来保证,要求当制造(组焊)单位有成熟使用经验时方可采用。

对于检测材料限制,是由于衍射时差法超声检测(TOFD)对“噪声”敏感,只适用于对超声波衰减较小的材料(碳钢、低合金钢等)。

**6.2.6** 依据《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004、《压力容器》GB 150 相关规定,确定了钢制化工设备的方法选择,鉴于非同相组织的异种钢采用磁粉检测会引起伪显示,造成误判,本规范增加了对“奥氏体不锈钢、非同相组织的异种钢焊接接头的表面检测宜采用渗透检测”的要求。

## 6.3 时 机

**6.3.1** 第 3、4 款,延迟裂纹系指焊接完成后经过一段时间才产生的裂纹,有延迟裂纹倾向的典型材料主要包括 12Cr2Mo1R、日本的 CF 系列钢等。由于材料本身的原因及现场组装焊接时预热、焊接工艺及热处理工艺等较难控制,在耐压试验后由于焊接接头仍可能产生延迟裂纹,为保证产品安全质量,在本条款中提出了材料标准抗拉强度下限值大于等于 540MPa 的低合金钢化工设备在耐压试验后仍需进行表面无损检测的要求。

第 5 款,再热裂纹系指焊接完成后,焊接接头在一定范围内再次加热(热处理或其他加热过程)而产生的裂纹,有再热裂纹倾向的典型材料主要包括 18MnMoNbR、07MnNiVDR 和日本的 CF 系列钢等。

**6.3.2** 依据《压力容器》GB 150 对无损检测时机的选择及《承压设备无损检测》JB/T 4730.1~4730.6 的相关要求,确定了化工设备无损检测的时机,增加了对补焊后焊接接头检测时机的要求。



## 7 典型焊接结构无损检测技术规定

### 7.1 角接焊接结构

7.1.1~7.1.2 依据《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004、《压力容器》GB 150、《承压设备无损检测》JB/T 4730.1~4730.6 对角接接头检测方法、技术要求,明确了筒体与平封头、球冠形封头的角接接头埋藏缺陷和表面缺陷的检测方法以及筒体与无折边锥形封头、锥形变颈段及矩形容器侧板间的角接接头表面缺陷的检测方法。

7.1.3 因设备种类、工况和要求不同,角接焊接结构的具体检测比例和合格级别应需根据具体情况确定。

### 7.2 接管和凸缘与设备壳体焊接结构

7.2.1~7.2.2 嵌入式接管与设备壳体焊接为对接连接,其埋藏缺陷一般采用射线检测或超声检测;其他形式接管、凸缘与设备壳体焊接接头的埋藏缺陷采用射线检测或超声检测从检测技术角度讲比较困难,例如安放式接管、插入式接管的焊接接头射线检测需添加补偿块才能达到《承压设备无损检测》JB/T 4730 规定的技术要求,而且这些焊接结构不利于实施射线检测或超声检测,故一般用磁粉或渗透进行检测,特殊要求时用射线检测或超声检测。

### 7.3 搭接焊接结构

7.3.1~7.3.2 化工设备的搭接焊接结构主要用于设备筒体与裙座搭接焊接、套装在设备筒体内的凸形封头与筒体焊接、设备开孔补强圈与筒体焊接、设备加强圈与筒体焊接、设备支座垫板与筒体焊接、薄管板与设备法兰焊接等焊接接头。大多数情况下搭接焊接接头属于 E 类焊接接头,对于重要的搭接焊接接头无损检测,本节参照《钢制塔式容器》JB/T 4710 第 9.4 节对搭接焊接接头检测的要求编制。

### 7.4 T 形连接焊接结构

7.4.1~7.4.2 化工设备的 T 形连接焊接结构主要应用于设备凸形封头与裙座焊接、中间隔板与设备筒体焊接等焊接接头。立式容器的吊耳与设备壳之间的 T 形连接焊接结构,主要参照《钢制塔式容器》JB/T 4710 有关 T 形连接焊接接头检测要求编制,对其他情况下的 T 形连接结构做出了按种类、工况和设计文件要求选择检测方法的原则性规定,T 形连接焊接结构超声检测方式应按《承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测》JB/T 4730.3 中规定的检测方式根据具体情况选择合适的检测方式。



## 7.5 套管式换热设备焊接结构

7.5.1~7.5.3 套管式换热设备检测参照《石油化工钢制套管换热器设计规定》SH/T 3119、《水冷管式换热器》HG/T 2650 要求编制。

## 7.6 夹套封闭件焊接结构

7.6.1 因夹套封闭件焊接结构特点和加工工艺的顺序,多数情况下难以采用射线检测或超声检测,且这种焊接结构存在应力集中现象,在使用过程中易出现开裂等缺陷,故制造过程可采用表面检测的方法,控制其焊接质量。

7.6.2 被夹套覆盖部分设备本体的焊接接头需进行 100%射线检测,是为了保证被覆盖部分的焊接接头质量。

## 7.7 异种钢焊接结构

7.7.1 异种钢之间材料的焊接性主要取决于两种材料的冶金相溶性、物理性、表面状态等,两种材料的这些性能差异越大,焊接性能越差,在焊接过程由于两种钢的热膨胀系数相差很大,在焊接后产生较大的残余应力,易产生裂纹性缺陷,同时焊接接头两侧的金相组织相差较大,故异种钢焊接接头宜采用射线检测,同时为了防止在磁粉检测时产生伪显示,规定表面检测方法宜采用渗透检测。

## 7.8 复合钢焊接结构

7.8.1 复合层/衬里设备焊接结构的检测要求,主要参照 ASME—Ⅷ 第一册 UCL 篇《整体复合耐腐蚀层、堆焊覆层或衬里材料焊制压力容器》的要求编制。

7.8.3 由于采用过渡层的焊接结构,一般来说,焊接技术含量较高或者两种材料的焊接性能比较差或者使用环境比较恶劣,在本条款中明确对过渡层进行渗透检测,是为了保证焊接质量。

## 7.9 堆焊焊接结构

7.9.1 堆焊层焊接结构的检测要求,主要参照 ASME—Ⅷ 第一册 UCL 篇《整体复合耐腐蚀层、堆焊覆层或衬里材料焊制压力容器》的要求编制。

7.9.3 对于换热器堆焊管板检测要求参照《管壳式换热器》GB 151 的要求编制。

7.9.4 由于采用过渡层的焊接结构,一般来说,焊接技术含量较高或者两种材料的焊接性能比较差或者使用环境比较恶劣,在本条款中明确对过渡层进行渗透检测,是为了保证焊接质量。

## 8 耐压试验与泄漏试验

### 8.2 耐压试验

#### 8.2.2 耐压试验应优先选择液压试验是基于：

- 1) 液体的可压缩性极小,因而压力试验时一旦液体泄漏,能够很快的释放出积聚的能量( $P \times V$ ),可及时大幅度急速降低设备内压力,因而事故危害性较小;
- 2) 气体具有可压缩性,气压试验一旦发生破坏性事故,不仅要释放积聚的能量( $P \times V$ ),而且要以最快的速度恢复在升压过程中被压缩的体积,因而其破坏力极大;
- 3) 由于液压试验与气压试验的安全性相差很大,条件允许时应优先选用液压试验。

#### 8.2.2 采用气压试验几种情况：

- 1) 对于大直径、低压、盛装气态介质的设备,充满液体试验介质后会因设备自重和试验液体的质量导致设备本身或设备基础破坏;
- 2) 对于液压试验后难以将试验液体吹干排尽,可能会导致产品质量问题或设备内装触媒等中毒失效等情况;
- 3) 设备内部耐腐蚀、隔热衬里等结构不允许接触任何液体等状况。

8.2.5 当采用水之外的其他介质进行液压试验时,应在设计文件中说明试验方法与试验要求,包括试验介质名称与要求、试验压力、环境温度、试验顺序和步骤、合格标准、试验完成后的清洁要求以及试验安全措施等。

8.2.6 外压设备及真空设备耐压试验方法选择与目的:对于外压设备及真空设备,由于其主要失效方式是失稳,而考核外压稳定性的试验难以进行,故通常采用内压耐压试验来检验设备焊接接头的致密性及密封结构的密封性能。

8.2.8 对于无法进行耐压试验化工设备,应在设计文件中明确,并说明相应的安全措施与要求(一般应包括提高材料技术要求、提高结构设计要求、提高无损检测比例和合格级别、采用严格的焊接工艺要求、提高设备的超压泄放能力等)。

### 8.3 泄漏试验

8.3.2 第4款,因生产工艺条件或介质价格昂贵等原因,设计要求不允许有微量泄漏的化工设备。

### 8.4 其他要求

8.4.3 第2款,当组焊现场不具备独立对化工设备进行耐压试验和泄漏试验条件时,宜与设备所在系统一起进行耐压试验和泄漏试验,并应在设计文件中提出相应的安全措施与要求(要求同8.2.8条)。

## 附录 A 钢制化工设备特殊焊接结构

钢制化工设备特殊焊接结构,对高温梯度接管与壳体焊接结构、换热管与管板内孔焊连接结构以及设备壳体过渡段结构做出了规定和说明,供设计、制造单位参考。

## 引用标准名录

引用标准名录是本规范不可或缺的组成,使本规范变得更具可执行的,也形成了一个较为完整的钢制化工设备焊接、检验和验收的完整标准体系。

本规范所引用的标准或者规范都是国家或行业发布的现行有效版本,且为本规范使用时所要应用的。

本规范的引用标准中,凡是注明年号的,其随后的修改单(不包括勘误的内容)或者修订版均不适用本规范,然而鼓励使用本标准达成协议的各方应探讨这些新版标准的可能性。凡是不注明年号的,其最新版本适用于本规范。