



中华人民共和国国家标准

GB/T 16507.5—2022

代替 GB/T 16507.5—2013

水管锅炉 第 5 部分：制造

Water-tube boilers—

Part 5: Fabrication

2022-07-11 发布

2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	VI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
5 标记	2
6 成形、加工和制造公差	3
7 胀接	19
8 焊接	22
9 热处理	26
10 涂装和包装	31
附录 A (资料性) 管子弯管工艺试验	33
附录 B (规范性) 锅炉膜式管屏焊接工艺评定附加要求	35
附录 C (规范性) 锅炉焊接工艺评定材料分类分组	37
参考文献	38

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 16507《水管锅炉》的第 5 部分。GB/T 16507 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：结构设计；
- 第 4 部分：受压元件强度计算；
- 第 5 部分：制造；
- 第 6 部分：检验、试验和验收；
- 第 7 部分：安全附件和仪表；
- 第 8 部分：安装。

本文件代替 GB/T 16507.5—2013《水管锅炉 第 5 部分：制造》，与 GB/T 16507.5—2013 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了冷成形、热成形的定义(见 3.1~3.2, 2013 年版的 3.1~3.2)；
- 增加了焊缝公称厚度的定义(见 3.4)；
- 删除了锅炉制造单位的资质要求和人员的资格要求(见 2013 年版的 4.1)；
- 增加了水管锅炉的装配要求(见 4.6)；
- 增加了锅炉制造应进行制造监督检验的规定(见 4.7)；
- 增加了电站锅炉范围内管道及其组合装置的制造监督检验要求(见 4.8)；
- 更改了用钢印标记材料的范围，细化了标记方法(见 5.1~5.4, 2013 年版的 5.1~5.4)；
- 增加了材料热切割时的预热要求(见 6.2.2 表 1)；
- 删除了奥氏体钢筒体成形后的热处理要求[见 2013 年版的 6.3.3a)]；
- 更改了拉伸变形率计算公式的表达方式[见公式(1)、公式(2)，2013 年版的公式(1)、公式(2)]；
- 更改了管子成形后的热处理要求(见 6.4.1.2、6.4.4, 2013 年版的 6.4.4)；
- 更改了弯头外侧减薄和弯头内侧增厚的计算公式，增加了弯头减薄率计算公式[见公式(3)、公式(4)、公式(5)，2013 年版的公式(3)、公式(4)]；
- 更改了弯头内侧检测增厚要求的范围[见 6.4.2.5b)，2013 年版的 6.4.2.4.1b)]；
- 删除了 07Cr2MoW2VNbB 材料热处理的相关规定，更改并细化了管子成形后的热处理要求，以表注的方式补充了 Fe-5B-2 冷弯后热处理的要求，增加了奥氏体钢管冷成形后的热处理要求(见 6.4.4.1~6.4.4.4 及表 2、表 3, 2013 年版的 6.4.4.1~6.4.4.2 及表 1)；
- 完善了封头厚度偏差要求[见 6.5.1.7c)，2013 年版的 6.5.1.7c)]，并增加了封头厚度偏差示意图(见图 7)；
- 整合了锅筒、启动(汽水)分离器的制造和装配公差，增加了储水箱的制造和装配公差要求(见 6.5.1、表 4、表 5, 2013 年版的 6.5.1~6.5.2、表 2、表 3、表 4)；
- 修正了图 8、图 11、图 12 的表达方式(见图 8、图 11、图 12, 2013 年版的图 7、图 10、图 11)；
- 细化了受热面管子、管道、集箱、启动(汽水)分离器、水冷壁部件的制造和尺寸偏差控制要求

- (见 6.5.3、6.5.4,2013 年版的 6.5.4、6.5.5);
- 增加了膜式管屏生产过程中的产品试样要求(见 6.5.4.1);
 - 增加了胀接记录和胀接后的水压试验要求(见 7.7.4、7.7.5);
 - 删除了管孔尺寸偏差中的管子公称外径 14~16 和 18~25 的两个规格(见 2013 年版的表 9);
 - 删除了焊接工艺评定及产品焊接试件的试验项目中:合同规定的其他试验如接头硬度试验、断口试验等[见 2013 年版的 8.2.3e)、8.2.7 和 8.9.3c)];
 - 更改了全焊缝金属拉力试样试验结果的考核要求(见 8.2.7,2013 年版的 8.2.5);
 - 增加了焊缝熔敷金属及热影响区夏比 V 型缺口冲击试验的合格指标(见 8.2.8);
 - 增加了焊接工艺评定试样保存的要求(见 8.2.10);
 - 增加了焊接操作人员施焊记录和焊工代号钢印(或记录)的要求(见 8.4.2);
 - 更改了 Fe-1、Fe-3、Fe-5A、Fe-5B-2、Fe-5C 类材料焊前最低预热温度及其表达方式(见 8.7.2.5 及表 13,2013 年版的 8.7.2);
 - 将直管表面机械损伤的质量要求纳入了返修章节(见 8.9.3,2013 年版的 6.4.2.4.4);
 - 增加了用于承压部位的铸铁件不应补焊的要求(见 8.9.3.2);
 - 删除了产品焊接试件的具体内容,相关要求按 GB/T 16507.6 执行(见 8.10,2013 年版的 8.9);
 - 增加了若焊接管孔因结构设计不能避免而开在焊缝及其热影响区上时的热处理要求(见 9.1.5);
 - 删除了管道类部件焊后分段热处理时的加热段长度要求(见 2013 年版的 9.3.2.2);
 - 更改了受热面管装炉温度的限制条件(见 9.3.3.1,2013 年版的 9.3.3.2);
 - 更改了焊后热处理的升、降温速度(见 9.3.3.2 和 9.3.3.3,2013 年版的 9.3.3.3 和 9.3.3.4);
 - 更改了 Fe-5C 类材料焊后热处理温度要求(见 9.3.3.2 表 14,2013 年版的 9.3.5.3 表 12);
 - 删除了材料类别为 Fe-5B-2 的注,将其内容纳入了表 14 脚注 a(见 9.3.3.2 表 14,2013 年版的表 12 的 Fe-5B-2 注);
 - 更改了 Fe-1、Fe-4、Fe-5A 类材料焊后免除热处理的条件(见 9.3.6,2013 年版的表 12 的 Fe-1 注、Fe-4 注、Fe-5A 注);
 - 更改了焊后热处理温度低于规定最低保温温度时的保温时间的表达方式(见 9.3.6.1 表 15,2013 年版的 9.3.5.3 表 13);
 - 增加了对于非本文件要求的热处理,热处理后需要焊接时,焊后免除热处理的条件不变(见 9.4.2);
 - 增加了涂装和包装要求(见第 10 章);
 - 更改了气体保护焊、焊条电弧焊钢管与扁钢焊接熔深合格标准(见表 B.1,2013 年版的表 B.1);
 - 删除了 07Cr2MoW2VNbB 材料的分组分类,由企业根据各自的经验应用(见 2013 年版的表 C.1)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位:上海锅炉厂有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、北京巴布科克·威尔科克斯有限公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、中国锅炉与锅炉水处理协会、武汉锅炉股份有限公司、无锡华光环保能源集团股份有限公司、杭州锅炉集团股份有限公司、南通万达锅炉有限公司。

本文件主要起草人:蒋秀华、卢征然、顾卫红、曾会强、李秋石、张旗、张瑞、郭华、韩前新、沈华东、罗飞、张磊。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

- 1996年首次发布为 GB/T 16507—1996；
- 2013年第一次修订时，将水管锅炉和锅壳锅炉内容分开，各由8部分组成，水管锅炉为 GB/T 16507.1—2013～GB/T 16507.8—2013《水管锅炉》，锅壳锅炉为 GB/T 16508.1—2013～GB/T 16508.8—2013《锅壳锅炉》，本文件为 GB/T 16507.5—2013《水管锅炉 第5部分：制造》；
- 本次为第二次修订。

引 言

GB/T 16507《水管锅炉》是全国锅炉压力容器标准化技术委员会(以下简称“委员会”)负责制修订和归口的锅炉通用建造标准之一。其制定遵循了国家颁布的锅炉安全法规所规定的安全基本要求,设计准则、材料要求、制造检验技术要求、验收标准和安装要求均符合 TSG 11《锅炉安全技术规程》的相应规定。GB/T 16507 为协调标准,满足《锅炉安全技术规程》的基本要求,同时也符合 TSG G91《锅炉节能环保技术规程》的要求。GB/T 16507 旨在规范锅炉的设计、制造、检验、验收和安装,由 8 个部分构成。

- 第 1 部分:总则。目的在于确定水管锅炉范围界定、锅炉参数、建造规范以及节能和环保等建造水管锅炉的通用技术要求。
- 第 2 部分:材料。目的在于确定水管锅炉受压元件和非受压元件、受力构件、锅炉钢结构和焊接材料等的选材和用材要求。
- 第 3 部分:结构设计。目的在于确定水管锅炉结构设计的基本要求、焊接连接要求、开孔和各元(部)件的具体设计要求。
- 第 4 部分:受压元件强度计算。目的在于确定水管锅炉受压元件的计算壁温、计算压力、设计许用应力取值及强度设计计算方法。
- 第 5 部分:制造。目的在于确定水管锅炉在制造过程中的标记、冷热加工成形、胀接、焊接和热处理要求。
- 第 6 部分:检验、试验和验收。目的在于确定水管锅炉受压元件和与其直接连接的承受载荷的非受压元件的检验、试验和验收要求。
- 第 7 部分:安全附件和仪表。目的在于确定水管锅炉安全附件和仪表的设置和选用要求。
- 第 8 部分:安装与运行。目的在于确定水管锅炉本体和锅炉范围内管道的安装、调试、质量验收以及运行要求。

由于 GB/T 16507 没有必要、也不可能囊括适用范围内锅炉建造和安装中的所有技术细节,因此,在满足 TSG 11《锅炉安全技术规程》所规定的基本安全要求的前提下,不禁止 GB/T 16507 中没有特别提及的技术内容。

GB/T 16507 不限制实际工程设计和建造中采用能够满足安全要求的先进技术方法。

对于未经委员会书面授权或认可的其他机构对标准的宣贯或解释所产生的理解歧义和由此产生的任何后果,本委员会将不承担任何责任。

水管锅炉

第5部分：制造

1 范围

本文件规定了水管锅炉在制造过程中的标记、冷热加工成形、胀接、焊接和热处理等的各项要求。本文件适用于 GB/T 16507.1 界定的水管锅炉的制造。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
 GB/T 16507.1 水管锅炉 第1部分：总则
 GB/T 16507.2 水管锅炉 第2部分：材料
 GB/T 16507.3 水管锅炉 第3部分：结构设计
 GB/T 16507.4 水管锅炉 第4部分：受压元件强度计算
 GB/T 16507.6 水管锅炉 第6部分：检验、试验和验收
 GB/T 30583—2014 承压设备焊后热处理规程
 JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
 NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
 NB/T 47018(所有部分) 承压设备用焊接材料订货技术条件
 NB/T 47055 锅炉涂装和包装通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 16507.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冷成形 cold forming

在工件材料再结晶温度以下进行的塑性变形加工。

注：在工程实践中，通常将室温下进行的塑性变形加工称为冷成形；高于室温至再结晶温度之间的塑性变形加工称为温成形（warm forming）。对蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9Mo1VNbN、10Cr9MoW2VNbBN、10Cr11MoW2VNbCu1BN、11Cr9Mo1W1VNbBN，钢管弯曲成形温度(t)小于 705 °C；对 07Cr2MoW2VNbB 钢，钢管弯曲成形温度(t)小于 605 °C。

3.2

热成形 hot forming

在工件材料再结晶温度以上进行的塑性变形加工。

注：对蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9Mo1VNbN、10Cr9MoW2VNbBN、10Cr11MoW2VNbCu1BN、11Cr9Mo1W1VNbBN，钢管弯曲成形温度(t)不小于 705 °C；对 07Cr2MoW2VNbB 钢，钢管弯曲成形温度(t)不小于 605 °C。

3.3

管子成形 tube forming

管子的弯管、墩厚、缩颈、扩口等加工过程。

3.4

焊缝公称厚度 nominal thickness of weld

焊缝的名义厚度。

注 1：对全焊透对接焊缝，为所连接较薄零件的厚度。

注 2：对全焊透角接焊缝，为焊缝深度。

注 3：对部分焊透坡口焊缝和材料修补时的焊缝，为焊缝的深度。从两侧施焊的部分焊透或全焊透坡口焊缝，把在给定位置上两侧焊缝深度之和作为该焊缝的总深度。

注 4：对角焊缝，为角焊缝喉高。角焊缝与坡口焊缝组合在一起使用时，取坡口焊缝深度和角焊缝喉部尺寸两者中的较大值。

注 5：如果筒体上有多个开孔形成孔桥，且其节距小于平均孔径的两倍，则为坡口深度与角焊缝喉部尺寸之和。

4 基本要求

4.1 锅炉受压元件的结构应符合 GB/T 16507.3 的规定，强度计算应符合 GB/T 16507.4 的要求。

4.2 设计和制造工艺文件应与本单位的生产条件相符合。

4.3 受压元件的制造应采用适宜的工艺和方法，不应产生影响安全和使用的附加应力、有害缺陷。

4.4 锅炉受压元件制造中所涉及的设备、仪器仪表应符合规定精度，并定期进行检定或校正。

4.5 原材料应符合 GB/T 16507.2 和设计图样的要求。

4.6 应根据经国家核准的鉴定机构审核通过的设计图样、制造单位的工艺及技术要求 and 相应的工程实际经验来制造和装配水管锅炉。

4.7 锅炉制造应由监督检验机构进行制造监督检验。

4.8 对于电站锅炉范围内管道，减温减压装置、流量计(壳体)、工厂化预制管段等元件组合装置，应按锅炉部件或压力管道元件组合装置的要求进行制造监督检验。

5 标记

5.1 材料标记

5.1.1 应制订受压元件和主要承载构件用材料材料标识程序。

5.1.2 锅炉受压件(锅筒、启动(汽水)分离器、储水箱、集箱类部件、公称外径不小于 219 mm 的管子)的材料标记应能追溯到材料的质量证明书；其他受压件(公称外径小于 219 mm 的管子)和承受载荷的非受压件(锅筒、启动(汽水)分离器、储水箱、集箱类部件上的支吊件)的材料标记应便于识别，以防止材料混用。

5.2 材料标记移植

应在制造过程中保留材料标记。锅炉受压元件用的材料分割下料前，应作标记移植，并且便于识别。

5.3 制造过程中的标记

焊工标记、无损检测(RT 检测)标记以及要求追溯的材料标记应作为永久性的标记保留，生产过程中标记被覆盖或因加工而丢失标记时应作标记移植。

5.4 标记方法

5.4.1 宜采用下列标记方法或下列方法的组合：

- a) 钢印(低应力钢印)；
- b) 震动蚀刻或其他蚀刻工具；
- c) 涂漆或用标记笔标记。

5.4.2 下列情况不应用钢印标记：

- a) 不锈钢管；
- b) 在管子弯头内外弧区域；
- c) 客户要求不准许用钢印标记的材料。

5.4.3 当无法用 5.4.1 的方法进行标记时,可用其他不损坏锅炉安全性的方法(如定位图、贴票签等)进行标记。

6 成形、加工和制造公差

6.1 一般要求

6.1.1 制造单位应确保受压元件加工或成形后的实际厚度不小于设计要求的最小需要厚度。

6.1.2 采用冷成形时,应考虑所用钢材的冷脆性。

6.1.3 采用温成形时,应避开钢材的回火脆性温度区。

6.1.4 材料成形工艺应考虑材料的应变量。冷成形所采用的制造方法不应使元件产生过大的变形率(或应变量),否则应进行相应的成形后热处理。

6.1.5 用于制造端盖、法兰、管件等的材料应符合 GB/T 16507.2 和设计图样的规定。

6.2 材料的分割

6.2.1 根据材料特性和规格选择材料的分割方法。采用的分割方法应保证工艺要求的加工精度,还应减少或避免因下料而造成的变形。下料后如变形超出允许范围,应采用合适的方法予以矫正。

6.2.2 根据钢材的类别和厚度确定材料的热切割是否需要预热,推荐的预热要求见表 1。

表 1 热切割预热要求

钢材类别 ^a	材料厚度 mm	最低预热温度 ℃	备注
Fe-1-1	≤150	不要求	最低预热温度也可按焊前预热温度执行
Fe-1-2	>150	80	
Fe-1-3	≤30	不要求	
	>30	80	
Fe-3-1	≤16	不要求	
	>16	80	
Fe-3-2、Fe-3-3	任意厚度	100	
Fe-4	≤50	不要求	
	>50	150	

表 1 热切割预热要求 (续)

钢材类别 ^a	材料厚度 mm	最低预热温度 ℃	备注
Fe-5A	≤50	100	最低预热温度也可按焊前预热温度执行
	>50	150	
Fe-5B-1、Fe-5B-2 5C	≤13	150	
	>13	200	
Fe-6	任意厚度	要求 ^b	
Fe-7	任意厚度	要求 ^b	

^a 钢材类别应符合 NB/T 47014。
^b 预热温度应符合相应的材料标准的要求。

6.2.3 热切割表面应通过机械加工或打磨的方法去除所有过烧金属、割渣、有害刻痕及多余金属等。对于合金钢,热切割后应留有加工裕量,除非能表明材料的组织没有损坏。

6.3 锅筒、启动(汽水)分离器、储水箱、集箱类筒体和封头成形

6.3.1 用钢板制造筒体和封头,当采用锻制或冲压方式制造时,应根据锻造加热控制要求进行,并与锅炉制造单位的生产条件相符合。

6.3.2 封头的热成形或冷成形制造应采用连续成形工艺。

6.3.3 成形后热处理的要求按如下规定:

——钢板冷成形如图 1,当变形率大于 5%时,应于成形后进行相应热处理恢复材料的性能,热处理按第 9 章的规定进行;

——单向拉伸变形率(ϵ_1)按公式(1)、双向拉伸变形率(ϵ_2)按公式(2)进行计算:

$$\epsilon_1 = 50\delta[1 - (R_f/R_o)]/R_f \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_2 = 75\delta[1 - (R_f/R_o)]/R_f \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

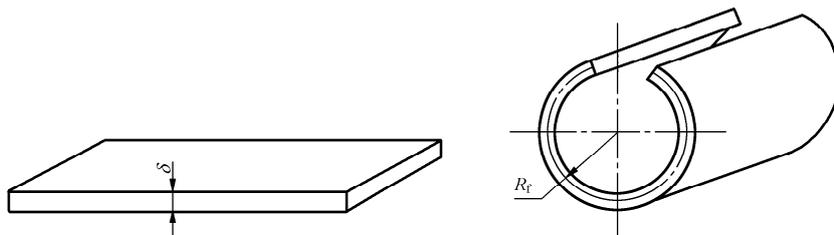
ϵ_1 ——单向拉伸变形率, %;

ϵ_2 ——双向拉伸变形率, %;

δ ——板材名义厚度,单位为毫米(mm);

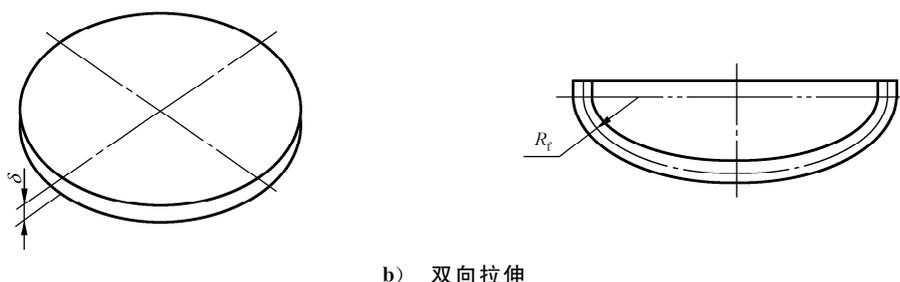
R_f ——成形后中面半径,单位为毫米(mm);

R_o ——成形前中面半径(对于平板为 ∞),单位为毫米(mm)。



a) 单向拉伸

图 1 单向拉伸和双向拉伸成形



b) 双向拉伸

标引序号说明:

δ —— 板材名义厚度;

R_f —— 成形后中面半径。

图 1 单向拉伸和双向拉伸成形 (续)

6.3.4 成形后外观质量的要求如下。

- a) 卷制或压制后的筒体和压制后的封头应清除内外表面的氧化皮、凹陷和疤痕,当其深度不影响设计要求的最小需要厚度且呈圆滑过渡时,可不予修磨;若底部呈尖锐状态应修磨成圆滑过渡。深度影响设计要求的最小需要厚度时应按评定合格的焊补工艺进行焊补及修磨,并经无损检测合格。
- b) 人孔扳边加工完后应经表面检查,不应有裂缝。

6.4 管子成形

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 管子成形包括弯管和管端成形。若管子采用冷成形不能满足产品技术要求时应采用热成形。

6.4.1.2 管子成形后的热处理要求按 6.4.4 及第 9 章的规定进行。

6.4.2 弯管

6.4.2.1 应根据管子材料、规格、弯曲半径、弯管形状和弯管设备选用热成形(即热弯,包括内侧加热弯、热挤压成形及中频感应加热弯等)或冷成形(即冷弯)。

6.4.2.2 采用热弯时,应严格控制加热规范和加热范围。

6.4.2.3 弯管宜进行弯管工艺试验,以验证所采用的弯管工艺满足产品技术要求。弯管工艺试验可参照附录 A。

6.4.2.4 管子弯管后应检测减薄率、弯头内外侧最小壁厚、弯头圆度、弯曲角度偏差及表面质量,并符合 6.4.2.5~6.4.2.9 的要求。

6.4.2.5 弯头减薄率、弯头内外侧壁厚应符合如下要求。

- a) 弯头外侧减薄

管子弯后弯头外侧任何一点的厚度不应小于公式(3)的计算值:

$$\delta_a = \delta_t \times \left(1 - \frac{1}{4R/D_o + 2} \right) + C_1 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

δ_a —— 弯头外侧最小需要厚度,单位为毫米(mm);

δ_t —— 直管的计算厚度,单位为毫米(mm),实际生产中可用“名义壁厚减去最大厚度负偏差再减去 C_1 ”代替 δ_t 进行计算,当不满足计算式时,再用 δ_t 进行校核, δ_t 按 GB/T 16507.4 的规定;

R —— 管子弯曲半径,单位为毫米(mm);

D_o —— 管子公称外径,单位为毫米(mm);

C_1 —— 腐蚀裕量,单位为毫米(mm), C_1 按 GB/T 16507.4 的规定。

b) 弯头内侧增厚

公称外径大于 219 mm 的管子,弯后弯头内侧任何一点的厚度不应小于公式(4)的计算值:

$$\delta_i = \delta_i \times \left(1 + \frac{1}{4R/D_o - 2}\right) + C_1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- δ_i ——弯头内侧最小需要厚度,单位为毫米(mm);
- δ_i ——直管的计算厚度,单位为毫米(mm),实际生产中可用“名义壁厚减去最大厚度负偏差再减去 C_1 ”代替 δ_i 进行计算,当不满足计算式时,再用 δ_i 进行校核, δ_i 按 GB/T 16507.4 的规定;
- R ——管子弯曲半径,单位为毫米(mm);
- D_o ——管子公称外径,单位为毫米(mm);
- C_1 ——腐蚀裕量,单位为毫米(mm), C_1 按 GB/T 16507.4 的规定。

c) 弯头减薄率

弯头减薄率(b)按公式(5)计算:

$$b = \frac{\delta_o - \delta_m}{\delta_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- b ——弯头减薄率;
 - δ_o ——弯前管子的实际厚度,单位为毫米(mm);
 - δ_m ——弯后弯头拉伸面管壁最薄处的实际厚度,单位为毫米(mm)。
- 弯头减薄率可作为弯管理论计算时弯管工艺附加厚度(C_2)选取的依据。

6.4.2.6 弯头圆度(a)按公式(6)计算:

$$a = 2 \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- a ——弯头圆度;
- D_{\max} ——弯头顶点上测得的最大外径,单位为毫米(mm);
- D_{\min} ——在 D_{\max} 同一横截面上测得最小外径,单位为毫米(mm)。

考核标准如下:

- a) 成排弯管子弯头:圆度不应大于 12%;
- b) 其他管子弯头:
 - 1) 当弯头处应变量大于 35%时,圆度不应大于 14%;
 - 2) 当弯头处应变量不小于 20%~35%时,圆度不应大于 12%;
 - 3) 当弯头处应变量小于 20%时,圆度不应大于 10%。

弯管的应变量(ϵ_o)按公式(7)计算:

$$\epsilon_o = r/R \times 100\% \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

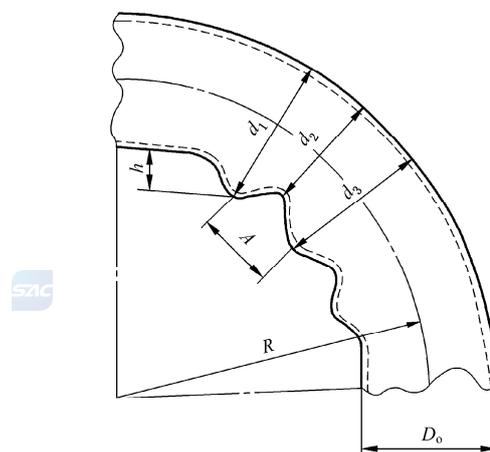
- ϵ_o ——弯管的应变量;
- r ——管子外半径($D_o/2$),单位为毫米(mm);
- R ——管子弯曲半径,单位为毫米(mm)。

6.4.2.7 弯管角度偏差应符合如下要求:

- a) 公称外径(D_o)不大于 108 mm 的管子,弯头平面弯曲角度的偏差不超过 $\pm 1^\circ$;
- b) 公称外径(D_o)大于 108 mm 的管子,弯头平面弯曲角度的偏差不超过 $\pm 30'$;
- c) 当管子公称外径(D_o)不小于 108 mm 时,还应测两端间的距离,距离偏差不超过 ± 4 mm。

6.4.2.8 弯头表面质量应符合如下要求。

- a) 弯头表面不应有裂纹等尖锐性缺陷。
- b) 管子弯后弯头内侧如有明显的波纹应按图 2 的方法测量,也可用模板测量。波纹应同时满足下列条件,若不能满足下列条件,应调换管子。
- 1) 波纹幅度: $h = (d_1 + d_3)/2 - d_2 \leq 3\% \times D_o$ 。
 - 2) 波距: $A > 12h$ 。



标引序号说明:

d_1, d_2, d_3 —— 测量处管子的实际外径;

D_o —— 管子公称外径;

R —— 管子弯曲半径。

注: 为清晰起见, 波纹已被放大。

图 2 弯管波纹示意图

- c) 任何弯头沿管子中心线方向不应有宽度超过 12 mm 的平直区。

6.4.2.9 应对公称外径不大于 60 mm 的受热面弯管检测流通面积, 进行通球检查, 通球球径按 GB/T 16507.6 的规定。

6.4.3 管端成形

6.4.3.1 为满足不同壁厚管子或不同口径管子的拼接, 可对管端进行墩厚、缩颈、扩口加工成形。

6.4.3.2 管端墩厚、缩颈、扩口加工成形后, 管子的外表面及壁厚的过渡区应平滑、无裂纹。

6.4.3.3 管端墩厚、缩颈、扩口量的控制及成形后的热处理, 应根据经验验证过的工艺进行, 并确保不会损害材料的使用性能。

6.4.4 管子成形后的热处理

6.4.4.1 一般要求如下:

- a) 所有冷、热弯后的弯头, 包括冷弯后热成形的弯头, 除应符合 6.4.4.1b) 的规定, 还应按 6.4.4.2~6.4.4.3 的要求进行热处理;
- b) 碳钢材料(Fe-1)管子及 09CrCuSb(ND 钢)管子, 若热成形在相应材料标准规定的正火范围内进行, 则不要求进行热处理;
- c) 减薄率超过 25% 的所有冷成形弯头, 弯后应按照相应的材料标准的要求进行热处理。

6.4.4.2 采用冷弯的弯管, 热处理要求如下。

- a) 铁素体钢

当弯头处应变量大于 38.5%时,宜进行弯后热处理。

材料为 10Cr9Mo1VNbN(Fe-5B-2)、10Cr9MoW2VNbBN(Fe-5B-2)的管子,应根据其设计温度和成形后的应变量进行相应的热处理,推荐的冷弯后热处理要求如表 2。

表 2 铁素体钢管子冷弯后热处理

材料牌号 (材料类别)	较低温度限制范围		较高温度限制范围		热处理要求
	计算壁温 ℃	应变量 %	计算壁温 ℃	应变量 %	
10Cr9Mo1VNbN、 10Cr9MoW2VNbBN (Fe-5B-2)	>540~600	>25	>600	>20	整体正火+回火 ^a
		>5~25		>5~20	消除应力热处理 ^{b,c}
^a 按材料标准的要求进行整体正火+回火(不应局部进行)热处理。 ^b 消除应力热处理:10Cr9Mo1VNbN 材料应在 730℃~785℃、10Cr9MoW2VNbBN 材料应在 730℃~775℃以 1 h/25 mm 或最少 30 min 进行;或可按母材标准要求正火+回火。 ^c 当设计温度不大于 600℃,弯头应变大于 5%,但不大于 25%时,如果元件的一部分在表中允许的热处理温度以上进行加热,则整个部件应重新进行正火+回火。					

其他类别材料冷弯后的热处理要求,应根据制造单位的工艺确定;当材料标准另有规定时,应按相应的规定执行。

b) 奥氏体钢

奥氏体钢管子应根据其设计温度和成形后的应变量进行相应的热处理,推荐的冷弯后热处理要求见表 3。

表 3 奥氏体钢管子冷弯后热处理

材料牌号 (材料类别)	较低温度限制范围		较高温度限制范围		超过计算壁温和成形应变限制范围时的最低热处理温度 ℃
	计算壁温 ℃	应变量 %	计算壁温 ℃	应变量 %	
07Cr19Ni10 (Fe-8)	>580~670	>20	—	—	1 040
07Cr19Ni11Ti (Fe-8)	>540~670	>15 ^a	—	—	1 040
07Cr18Ni11Nb (Fe-8)	>540~670	>15	—	—	1 040
08Cr18Ni11NbFG (Fe-8)	>540~675	>15	>675	>10	1 175
10Cr18Ni9NbCu3BN (Fe-8)	>540~675	>15	>675	>10	1 095
07Cr25Ni21NbN (Fe-8)	>540~675	>15	>675	>10	1 095
当管子的应变不能按本文件的计算公式进行计算时,成形应变限制范围应为上表中所列数值的一半。					
^a 对于外径小于 89 mm 的单纯的弯管,应变量大于 20%。					

6.4.4.3 采用热弯的弯管,热处理要求如下。

a) 铁素体钢

所有热弯弯头,包括冷弯后热整形的弯头,为了使材料性能回复到最佳状态宜进行相应的热处理。

材料为 10Cr9Mo1VNbN(Fe-5B-2)、10Cr9MoW2VNbBN(Fe-5B-2)的管子,热弯后应进行整体正火+回火热处理。

其他类别的材料可根据材料类别、外径、壁厚等因素,按各制造单位确定弯后热处理工艺。

b) 奥氏体钢

奥氏体钢热弯(包括两次成形)后应进行固溶处理,并根据材料规范用水和空气进行适当的加速冷却。

6.4.4.4 管端成形后的热处理要求如下。

a) 铁素体钢

材料为 10Cr9Mo1VNbN(Fe-5B-2)、10Cr9MoW2VNbBN(Fe-5B-2)的管子管端冷、热成形后应进行整体正火+回火处理。

b) 奥氏体钢

奥氏体钢管子管端冷、热成形后应进行固溶处理。

c) 除 6.4.4.4 a)、b)以外的材料,管端成形后的热处理可根据制造工艺确定。

6.5 制造和装配公差

6.5.1 锅筒、启动(汽水)分离器、储水箱

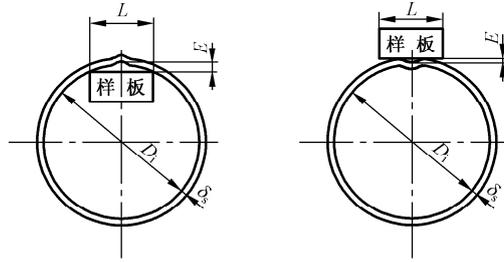
6.5.1.1 筒体纵缝或封头拼接焊缝两边钢板的实际边缘偏差值不应大于板材名义厚度(取焊缝两侧钢板中厚度较薄者)的 10%,且不超过 3 mm;当板材名义厚度大于 100 mm 时,不超过 6 mm。

6.5.1.2 环缝两边钢板的实际边缘偏差值(包括板厚差在内)不应大于板材名义厚度的 15%加上 1 mm,且不超过 6 mm;当板材名义厚度大于 100 mm 时,应不超过 10 mm。

6.5.1.3 筒体纵、环缝两边钢板中心线一般宜对齐,筒体环缝两侧的钢板不等厚时,也可一侧的边缘对齐。筒体纵、环缝两边钢板(包括两侧名义厚度不同的钢板)对接时,两侧中任何一侧的名义边缘差值超过本文件规定的边缘偏差值时,则应将较厚一侧钢板的边缘削至与另一侧钢板平齐,或将较薄侧钢板堆焊至与另一侧钢板平齐。削出或堆焊出的斜面应平滑,并且斜率不大于 1:3,必要时,焊缝宽度可计算在斜面内。采用削薄方法时,元件削薄后的实际壁厚不应小于按 GB/T 16507.4 规定计算出的设计要求的最小需要厚度。

6.5.1.4 筒体的任意同一横截面上最大内径与最小内径之差不应大于名义内径的 1%。

6.5.1.5 在焊接接头环向、轴向形成的棱角 E ,宜分别用弦长等于 $D_i/6$,且不小于 200 mm 的内样板(或外样板)和直尺检查(见图 3、图 4)。纵缝形成的环向棱角,其 E 值不应大于 $(\delta_s/10+2)$ mm,且不大于 4 mm;轴向棱角应按 6.5.1.3 削薄或堆焊。



标引序号说明：

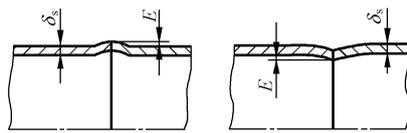
E —— 筒体棱角；

D_i —— 筒体名义内径；

L —— 样板或直尺长度；

δ_s —— 筒体名义厚度。

图 3 焊接接头处的环向棱角



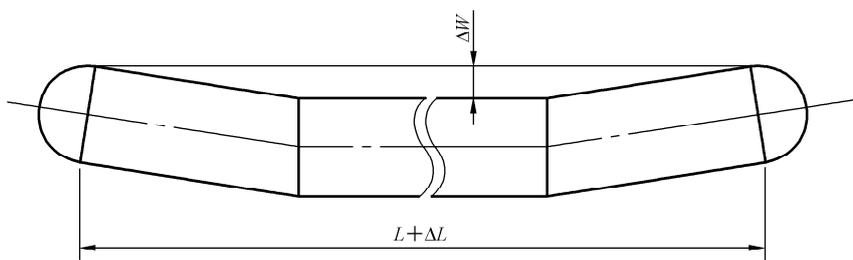
标引序号说明：

E —— 筒体棱角；

δ_s —— 筒体名义厚度。

图 4 焊接接头处的轴向棱角

6.5.1.6 筒体尺寸偏差(如图 5 所示)应符合以下规定。



标引序号说明：

L —— 筒体长度；

ΔL —— 筒体长度偏差；

ΔW —— 筒体直线度偏差。

图 5 筒体尺寸偏差示意图

a) 筒体长度偏差应符合表 4 的要求。

表 4 筒体长度偏差

筒体长度(L) m	筒体长度偏差(ΔL) mm	
	锅筒、储水箱	启动(汽水)分离器
$L \leq 5$	+10 -5	+5 -5
$5 < L \leq 10$	+20 -10	+5 -5
$L > 10$	+30 -15	+6 -10

b) 筒体直线度偏差应符合表 5 的要求。

表 5 筒体直线度偏差

筒体长度(L) m	$L \leq 5$	$5 < L \leq 7$	$7 < L \leq 10$	$10 < L \leq 15$	$L > 15$
筒体直线度偏差(ΔW) mm	≤ 5	≤ 7	≤ 10	≤ 15	≤ 20

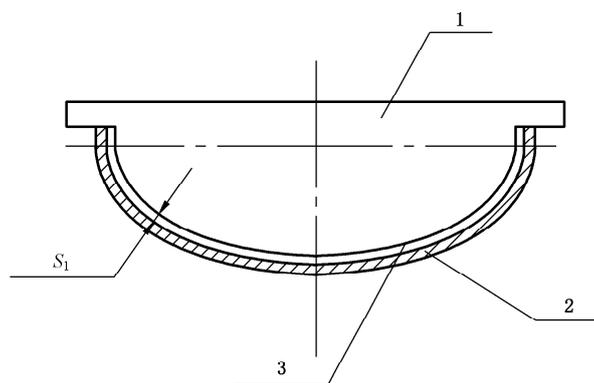
6.5.1.7 封头尺寸偏差要求如下。

a) 内径偏差

封头成形后,任一截面上最大内径与最小内径之差不应大于封头公称内径的 1%。当封头与筒体环向对接接头的边缘偏差超过 6.5.1.2 的规定时,应对封头端面的圆度进行校正,或按 6.5.1.3 的规定进行削薄或堆焊。

b) 形状偏差

用带间隙的全尺寸的内样板检查椭圆形、球形封头内表面的形状偏差(见图 6),缩进尺寸为 $3\% D_i \sim 5\% D_i$,其最大形状偏差外凸不应大于 $1.25\% D_i$,内凹不应大于 $0.625\% D_i$ 。检查时应使样板垂直于待测表面。



标引序号说明:

1 —— 间隙样板;

2 —— 封头;

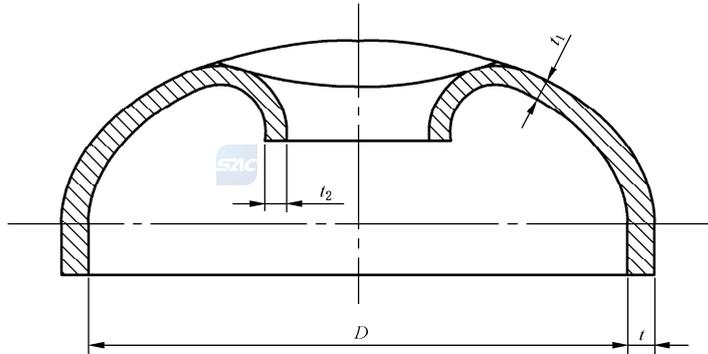
3 —— 间隙样板轮廓测量基准线;

S_1 —— 缩进尺寸(视封头大小而定)。

图 6 封头的形状偏差检查

c) 厚度偏差

成形后厚度偏差(见图 7): 椭球形封头弯曲部分任意点的厚度(t_1)不应小于该元件名义厚度(t)的 90%, 球形封头弯曲部分任意点的厚度(t_1)不应小于该元件名义厚度(t)的 85%。
 扳边封头人孔扳处直段厚度(t_2)不应小于该元件名义厚度(t)的 70%。



标引序号说明:

- t —— 封头名义厚度;
- t_1 —— 封头弯曲部分任意点的厚度;
- t_2 —— 封头人孔扳处直段的厚度;
- D —— 封头名义内径。

图 7 封头厚度偏差示意图

6.5.1.8 启动(汽水)分离器管座(管接头)位置偏差应符合图 8 的规定。允许公称外径不小于 219 mm 的斜接管角度偏差 1° 。

单位为毫米

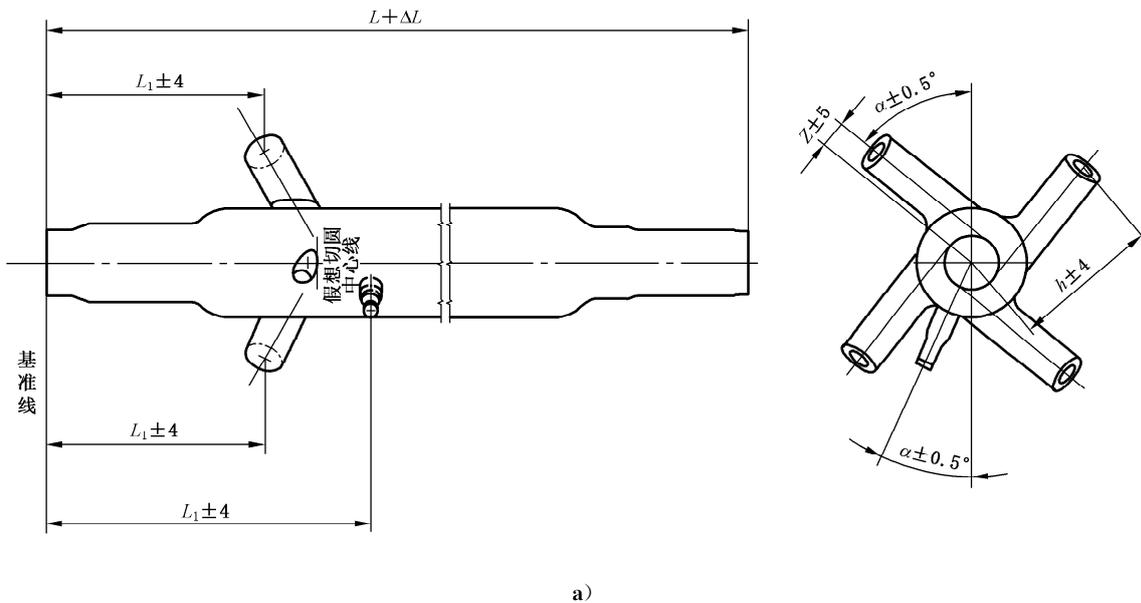
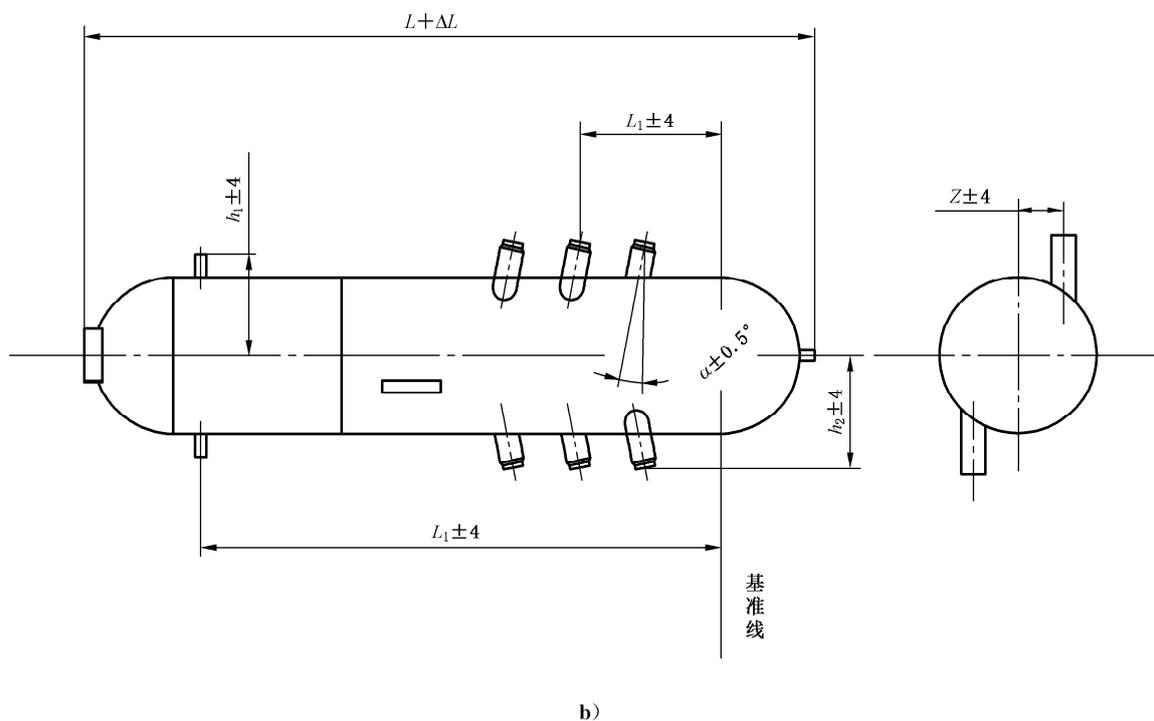


图 8 启动(汽水)分离器尺寸偏差示意图

单位为毫米



标引序号说明：

- L —— 部件长度；
- ΔL —— 长度偏差；
- L_1 —— 为任意管接头到基准线的距离；
- h, h_1, h_2 —— 管座高度；
- Z —— 为管座环向位置。

图 8 启动(汽水)分离器尺寸偏差示意图 (续)

6.5.2 蛇形管

蛇形管部件尺寸偏差见图 9 所示。

单位为毫米

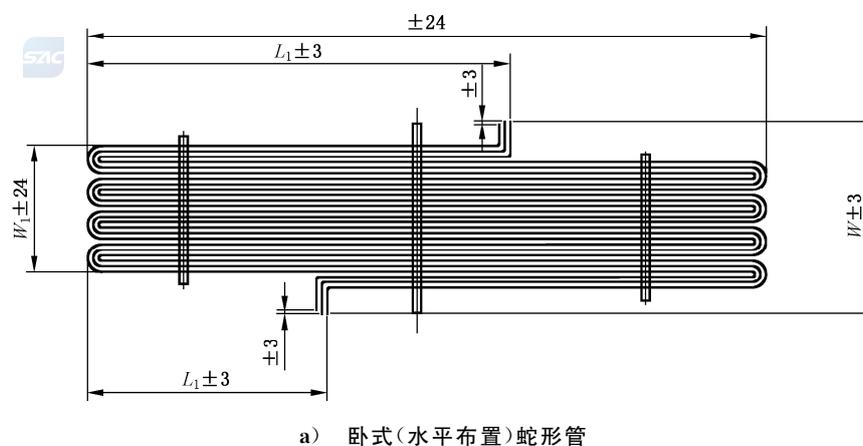
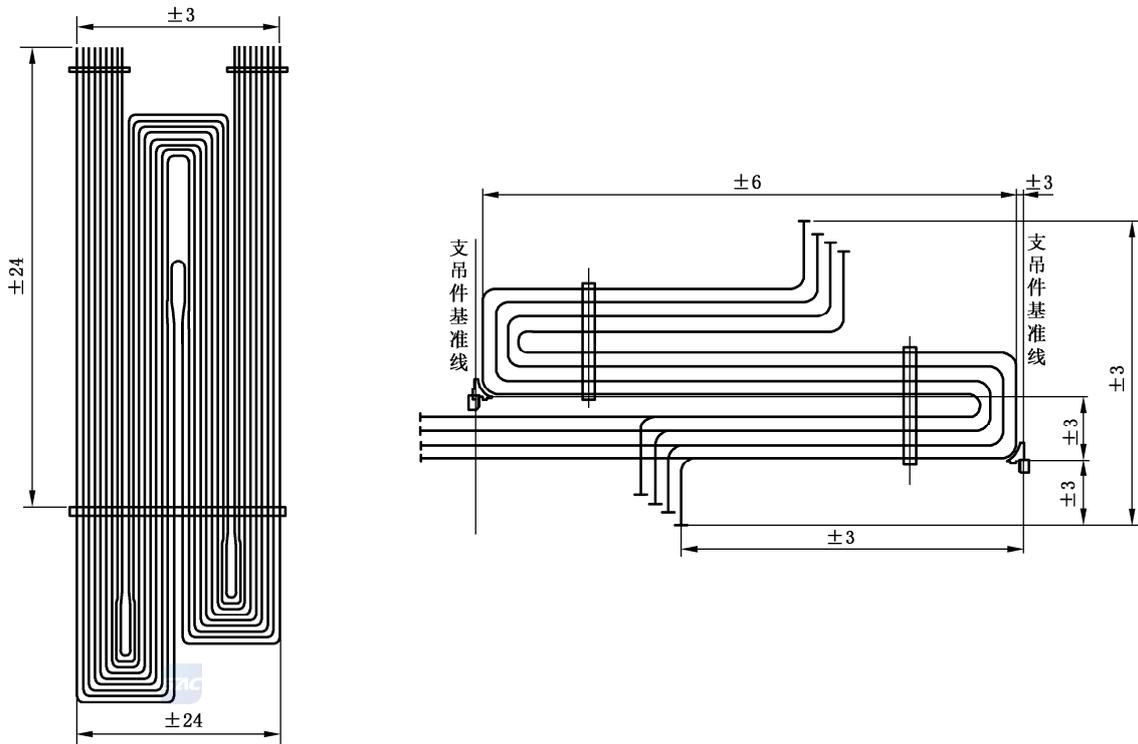


图 9 蛇形管尺寸偏差示意图



b) 悬吊式(垂直布置)蛇形管

c) 搁置式(水平布置)蛇形管

除注明外,尺寸偏差:±12 mm;角度偏差:±1°;

平面度不超过 12 mm,300 mm×300 mm 范围内平面度不超过 4 mm;

对悬吊或支承用管夹偏差为±3 mm;固定用管夹偏差为±24 mm;

装配后,当管圈节距≥100 mm 时,允许管子之间的最小净间隙为 12 mm;当管圈节距<100 mm 时,允许管子之间的最小净间隙为 1 mm;

对工地焊管端,制造单位应根据现场焊接方法控制其端面倾斜度偏差,满足现场安装要求;

公差累积。

图示外形与设计外形无关,仅为了示意偏差。

图 9 蛇形管尺寸偏差示意图(续)

6.5.3 管子、管道、集箱类部件

6.5.3.1 对接接头边缘偏差

6.5.3.1.1 对接接头坡口内壁应对准并且平齐。当接头两侧的公称外径和名义壁厚相等时,受热面管子对接接头外表面的边缘偏差不应超过管子名义壁厚的 10%加 0.5 mm,且最大不超过 1 mm;集箱类部件外表面的边缘偏差不应超过名义壁厚的 10%加 0.5 mm,且最大不超过 4 mm,超出上述规定或公称外径不同使边缘偏差超限时,应将超出的部分削薄。

6.5.3.1.2 对接接头内表面的边缘偏差不应超过名义厚度的 10%加 0.5 mm,且最大不超过 1 mm,超出部分应内镗或削薄。

6.5.3.1.3 对接接头边缘偏差超差时的削薄要求按 6.5.1.3。

6.5.3.2 管子、管道尺寸偏差

带弯头的管子、管道应控制其两端部之间的尺寸偏差,以便于安装。

6.5.3.3 集箱类部件尺寸偏差

集箱类部件的长度偏差和直线度偏差应符合表 6 的要求。

表 6 集箱类部件尺寸偏差

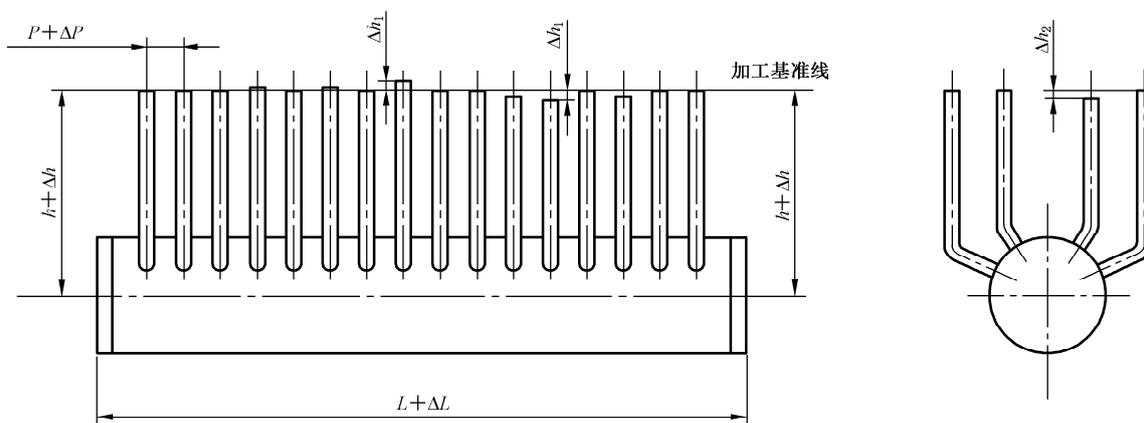
长度(L) m	长度偏差(ΔL) mm			直线度偏差(ΔW)
	两端开口	一端开口,一端封闭	两端封闭	
<20	+5 -8	+8 -10	± 10	2.5 mm/m,且最大为 16 mm
≥ 20	± 8	+10 -12	± 13	2.5 mm/m,且最大为 20 mm

注 1: 采用缩口式集箱,长度偏差允许比表中的数值增加 50%。
注 2: 对两端开口集箱,直线度偏差(ΔW)最大为 8 mm。

6.5.3.4 管接头偏差

管接头偏差如图 10 所示,应符合表 7 的规定。

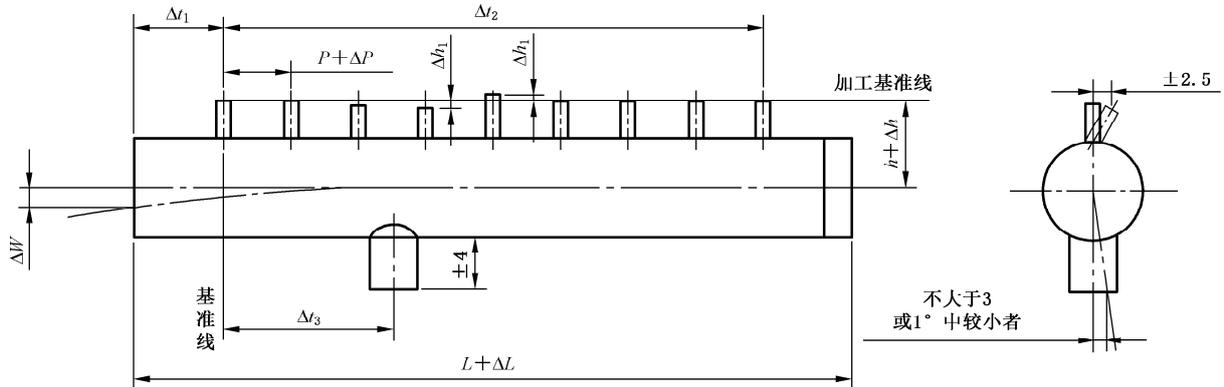
单位为毫米



a) 长管接头

图 10 管接头偏差示意图

单位为毫米



b) 短管接头

标引序号说明：

- L —— 部件长度；
- ΔL —— 长度偏差；
- h —— 同一排管接头中，管端加工基准线到集箱中心线的距离；
- Δh —— 同一排管接头中，管端加工基准线到集箱中心线的距离偏差；
- Δh_1 —— 同一排管接头中，任意管接头与管端加工基准线的偏差；
- Δh_2 —— 不同排管接头中，任意排管接头与管端加工基准线的偏差；
- P —— 同一排管接头中，任意相邻管接头间的节距；
- ΔP —— 同一排管接头中，任意相邻管接头间的节距偏差；
- Δt_1 —— 集箱开口端到基准管接头的距离偏差；
- Δt_2 —— 同一排管接头中，最外侧两管接头之间的距离偏差；
- Δt_3 —— 单个管座中线线到基准管接头的距离偏差；
- ΔW —— 直线度偏差。

图 10 管接头偏差示意图（续）

表 7 管接头偏差

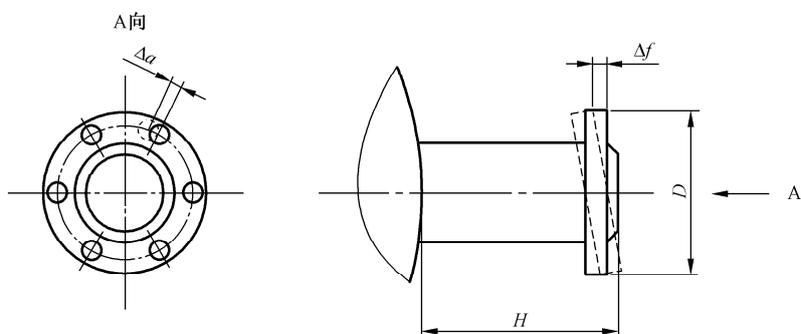
单位为毫米

尺寸偏差	管接头与下列组件连接		
	光管水冷壁	膜式壁管屏	省煤器、过热器和再热器
Δh	±2	±2	±3
Δh_1	±2	±1	±3
Δh_2	—	—	±1
Δp	±3	±2	±5
Δp_1	±6	±4	±10
Δt_1	±2.5	±1.5	±2.5
Δt_2	±6	±4	±6
Δt_3	±6	±6	±6

注：任意两长管接头管端节距偏差为 ΔP_1 。

6.5.3.5 法兰偏差

法兰的端面倾斜度(Δf) (见图 11) 不应大于 2 mm。法兰螺栓孔在螺栓圆上的偏移(Δa) 应符合表 8 的要求。法兰高度(H) 的偏差不应超过 ± 2 mm。



标引序号说明:

Δa —— 法兰螺栓孔环向位置偏差;

H —— 法兰高度;

D —— 法兰外径;

Δf —— 法兰端面倾斜度。

图 11 法兰偏差示意图

表 8 法兰螺栓孔在螺栓圆上的偏移

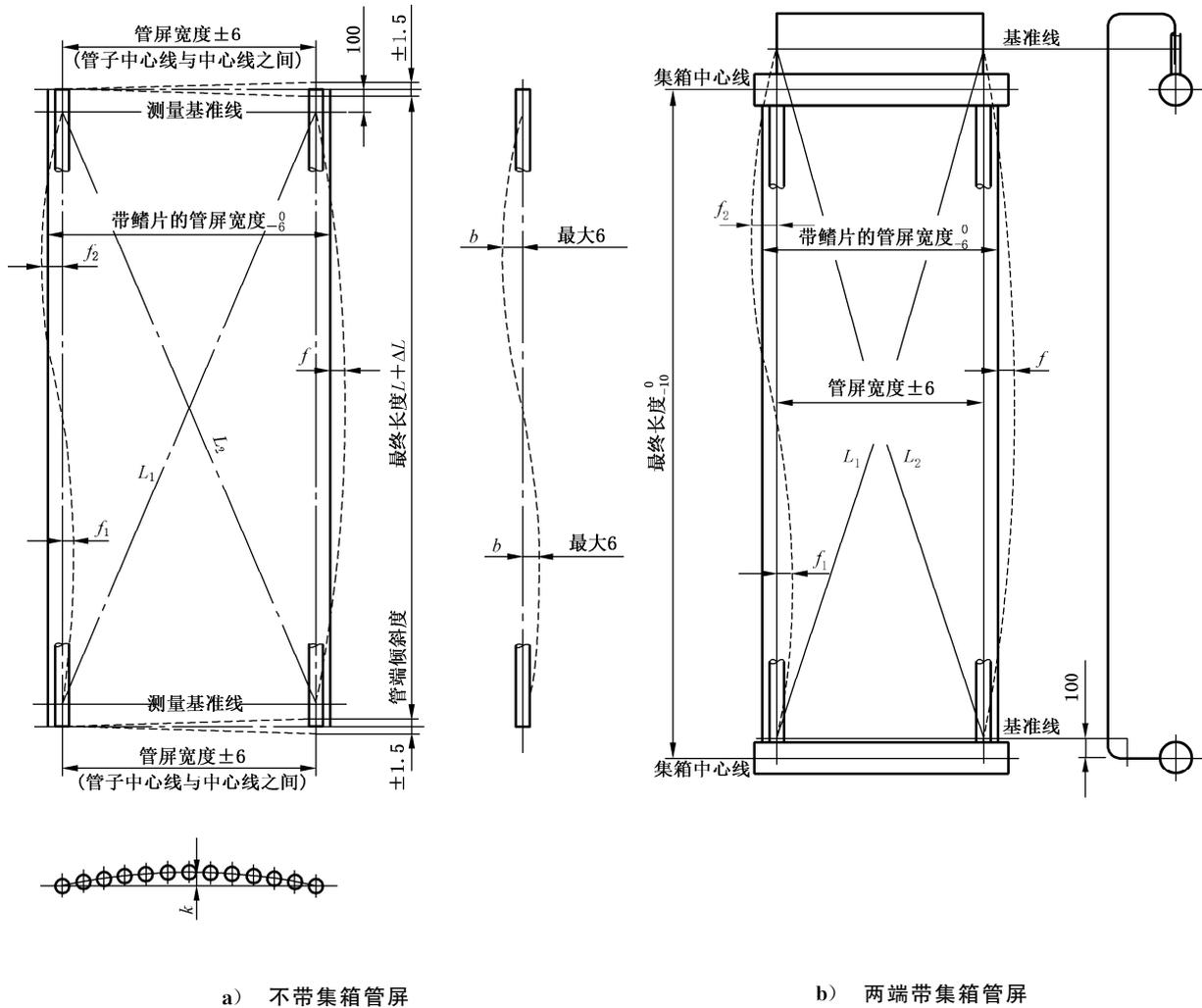
单位为毫米

法兰外径(D)	≤ 100	$100 < D \leq 200$	> 200
Δa	≤ 1	≤ 2	≤ 3

6.5.4 膜式壁管屏

6.5.4.1 膜式壁管屏生产过程中宜进行产品试样检查, 产品试样宜按不同产品、不同焊接方法等取样, 具体由制造单位根据产品结构和工艺确定, 试样熔深按附录 B 检查。

6.5.4.2 膜式壁管屏尺寸偏差见图 12, 应符合表 9 的规定。



标引序号说明：

L ——管屏长度；

ΔL ——管屏长度偏差；

L_1 、 L_2 ——管屏两对角线长度；

ΔL_1 ——管屏两对角线之间的长度偏差， $\Delta L_1 = |L_1 - L_2|$ ；

f ——管屏单向旁弯度；

f_1 、 f_2 ——管屏双向旁弯度；

b ——管屏纵向弓形度；

k ——管屏横向弓形度。

注：对一端带集箱的管屏，除了测量基准线位置根据实际情况选择，尺寸偏差按 a) 考核。

图 12 膜式壁管屏尺寸偏差示意图

表 9 膜式壁管屏尺寸偏差

项 目	不带集箱或一端带集箱的管屏		两端带集箱管屏	
	$L \leq 12$ m	$L > 12$ m		
长度偏差(ΔL)	± 2 mm	± 3 mm	$\begin{matrix} 0 \\ -10 \end{matrix}$ mm	
对角线偏差(ΔL_1)	≤ 5 mm		≤ 10 mm	
旁弯度偏差	单向旁弯	双向旁弯	单向旁弯	双向旁弯
	$f \leq 6$ mm	$ f_1 + f_2 \leq 6$ mm	$f \leq 6$ mm	$ f_1 + f_2 \leq 6$ mm
管屏纵向弓形度(b)	≤ 6 mm		≤ 6 mm	
管屏横向弓形度(k)	端部 ≤ 3 mm,其他部位 ≤ 6 mm		端部 ≤ 3 mm,其他部位 ≤ 6 mm	
节距偏差	± 3 mm		—	
管屏宽度尺寸偏差 (管子中心线间)	± 6 mm		± 6 mm	
带鳍片的管屏宽度 尺寸偏差	$\begin{matrix} 0 \\ -6 \end{matrix}$ mm		$\begin{matrix} 0 \\ -6 \end{matrix}$ mm	
单片管屏的管端 不齐度偏差	± 1.5 mm		—	
孔的水平位置偏差	± 5 mm			
孔的垂直位置偏差	± 25 mm ^a			

^a 燃烧器孔的垂直位置偏差为 ± 6 mm。

7 胀接

7.1 一般要求

7.1.1 胀接处的计算壁温不宜超过 400 ℃。

7.1.2 管子公称外径不应大于 89 mm。

7.1.3 管子公称壁厚不应大于 5 mm,筒体的壁厚不应小于 12 mm;管孔壁之间的距离不应小于 19 mm。

7.2 胀接管孔

7.2.1 胀接管孔不应开在锅筒筒体的纵向焊缝上,且避免开在环向焊缝上。当胀接管孔必须开在环焊缝上时,应确保管孔周围 60 mm(如果管孔直径大于 60 mm,则取孔径值)范围内的焊缝经射线或超声检测合格,焊缝在管孔边缘上不存在夹渣,并对开孔部位的焊缝内外表面余高进行磨平,且对锅筒进行整体热处理。

7.2.2 胀接管孔中心与焊接边缘(除 7.2.1 外)的距离不应小于 $0.8d$ (d 为管孔直径),且不小于 $0.5d + 12$ mm。

7.2.3 胀接管孔的表面粗糙度(R_a)值不应大于 $12.5 \mu\text{m}$,孔表面不应有纵向或螺旋形贯穿性刻痕。

7.2.4 胀接管孔的尺寸偏差按表 10 的规定。

表 10 管孔尺寸偏差

单位为毫米

管子公称外径(D_o)	管孔直径($D_o + \Delta D$)	管孔直径偏差	管孔不圆度及圆锥度
32~51	$D_o + 0.3$	+0.28	0.14
57~60	$D_o + 0.5$	+0.34	0.15
63.5~76	$D_o + 0.5$	+0.40	0.15
83~89	$D_o + 0.6$	+0.46	0.19

7.2.5 若锅筒壁厚不小于 22 mm 时,为提高胀接的拔脱力和紧密接触密封,可在管孔内增设胀接槽,槽深宜 0.5 mm~1 mm,槽宽宜 4 mm。

7.3 胀接管

7.3.1 胀接管表面不应有重皮、裂纹、纵向沟纹、压偏等缺陷,胀接处横向沟纹、麻点等缺陷其深度不应大于管子名义厚度的 10%。

7.3.2 胀接管子的材料宜选用低于锅筒硬度的材料。若管端硬度大于锅筒硬度时,应进行退火处理。管端退火不应用煤炭作燃料直接加热,退火管端长度不应小于 100 mm。

7.3.3 管端胀接处的表面应均匀打磨,打磨长度不应小于筒体厚度(δ)+50 mm。打磨后管子表面粗糙度(Ra)值不应大于 12.5 μm 。

7.3.4 管子胀接端同一截面上壁厚允许最大差值应符合如下规定:当名义壁厚不大于 3 mm 时,为 0.3 mm;当名义壁厚大于 3 mm 时,为 0.35 mm。

7.3.5 胀接管端最小外径应按表 11 的要求。

表 11 胀接管的最小外径

单位为毫米

管子公称外径	最小外径
32	31.35
38	37.35
42	41.35
51	50.19
57	56.13
60	59.1
63.5	62.57
70	69
76	74.81
83	81.27
89	87.71

7.4 胀管器的选用

7.4.1 胀管器的初始最小直径应小于管子的最小内径,并确保胀管器能顺利地放入管孔内。

7.4.2 胀管器圆柱直段的有效长度为锅筒壁厚(δ)+15 mm,同时圆整到 0 或 5。

7.4.3 胀管器的胀杆和滚柱工作表面应无刻痕、压坑和碰伤等缺陷,胀杆全长的直线度不应大于 0.1 mm。

7.4.4 胀管设备转速一般宜根据胀管器和试胀工艺确定。

7.5 胀接工艺

7.5.1 胀接管孔与管子外径应逐个逐根进行测量并作好记录,同时管孔与管子装孔后的最大允许间隙应符合表 12 的要求。

表 12 管孔与管子的最大间隙

单位为毫米

管子公称外径	最大间隙
32~42	1.36
51	1.41
57~60	1.50
63.5	1.53
70~76	1.66
83~89	1.90

7.5.2 胀接时的环境温度宜大于 0 °C。

7.5.3 在产品正式胀接前应进行试胀,以确定合理的胀管率。

7.6 胀管率计算方法

7.6.1 内径控制法

当采用内径控制时,胀管率一般应控制在 1.0%~2.1% 范围内。胀管率可按式(8)进行计算。

$$H_n = \left(\frac{d_1 + 2\delta}{d} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

H_n ——内径控制法胀管率;

d_1 ——胀完后的管子实测内径,单位为毫米(mm);

δ ——未胀时的管子实测壁厚,单位为毫米(mm);

d ——未胀时的管孔实测直径,单位为毫米(mm)。

7.6.2 外径控制法

当采用外径控制法时,胀管率一般控制在 1.0%~1.8% 范围内。胀管率可按式(9)计算。

$$H_w = \frac{D - d}{d} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

H_w ——外径控制法胀管率;

D ——胀管后紧靠锅筒外壁处管子的实测外径,单位为毫米(mm);

d ——未胀时的管孔实测直径,单位为毫米(mm)。

7.6.3 管子壁厚减薄率控制法

当采用管子壁厚减薄率控制法时,应符合如下要求。

- a) 在胀管前的试胀工作中,应对每一种规格的管子和壁厚的组合都进行扭矩设定。
- b) 扭矩设定是通过试管胀进试板的管孔来实现的,试管胀接完毕后,打开试板,取出试管测量管壁减薄量,然后计算其管壁减薄率,管子壁厚减薄率一般控制在 10%~12% 范围内,扭矩设定完毕后,应将扭矩记录下来,并且将其应用于施工;胀接管子壁厚减薄率应按公式(10)计算:

$$H_b = \frac{\delta - \delta_m}{\delta} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- H_b ——管子壁厚减薄率控制法胀管率;
- δ ——未胀时的管子实测壁厚,单位为毫米(mm);
- δ_m ——胀接后管壁实测厚度,单位为毫米(mm)。

- c) 为保证胀管设备的正常运行,在施工中每班工作之前,操作人员都应进行一次试胀,同时检验部门应核实用于施工的扭矩是否与原设定的扭矩完全相同。

7.7 胀接质量

7.7.1 管端伸出长度宜在 6 mm~12 mm 范围内,管端喇叭口的扳边与管子中心线的夹角应在 12°~15°之间,扳边起点与锅筒表面宜平齐,由胀接部分转入喇叭口部分应有明显的界限,而不应有明显的切口和挤出现象。

7.7.2 胀接后的管子端部不应有起皮、皱纹、裂纹、切口和偏斜等缺陷。

7.7.3 管端翻边、喇叭口的边缘上应无裂纹,胀接口内壁胀大部分过渡到未胀部分应均匀、平齐、无切口和沟槽。

7.7.4 应根据实际检查和测量结果做好胀接记录。

7.7.5 胀接全部完毕后,应进行水压试验,检查胀口的严密性。

8 焊接

8.1 一般要求

8.1.1 用焊接方法制造和返修锅炉受压元件和承载构件,对于受压元件之间及与承载构件的焊接,制造单位应制定符合要求的焊接工艺和相应的检查、验收要求,以保证焊接质量。

8.1.2 锅炉受压元件不宜采用电渣焊。

8.2 焊接工艺评定

8.2.1 受压元件之间的对接焊接接头、受压元件之间或受压元件与承载的非受压元件之间连接的要求全焊透的 T 形接头或角接接头所采用的焊接工艺均应按 NB/T 47014 及本文件第 8 章的附加要求进行评定;锅炉膜式管屏所采用的焊接工艺应按第 8 章和附录 B 的要求进行评定。NB/T 47014 及本文件未涉及的焊接方法由制造单位制定符合产品技术要求的焊接工艺评定规程进行焊接工艺评定。

8.2.2 锅炉焊接工艺评定材料分类分组应符合 NB/T 47014 和本文件附录 C 的规定。

8.2.3 焊接工艺评定试件应由制造单位采用本单位设备由本单位熟练焊工或焊接操作工施焊。

8.2.4 试件的焊后热处理(PWHT)和无损检验(NDE)及理化性能试验可委托有资质的机构,但应提供热处理曲线和有效试验报告。制造单位应对试验记录真实性进行确认并编写焊接工艺评定报告(PQR)。

8.2.5 工艺评定适用于本单位产品的焊接操作。批准后的焊接工艺评定只可作编辑性修改补充。

8.2.6 焊接工艺评定试验除符合 NB/T 47014 的要求外,还应满足以下要求:

- a) 额定工作压力不小于 3.8 MPa 的锅炉锅筒、启动(汽水)分离器、储水箱及集箱类部件的纵向焊缝,当板厚大于 20 mm 时,焊接工艺评定试验应补充全焊缝金属拉伸试验:当板厚大于 20 mm 且不大于 70 mm 时,应从焊接工艺评定试板上沿焊缝纵向切取全焊缝金属拉伸试样一个;当板厚大于 70 mm 时,应切取全焊缝金属拉伸试样两个;试验方法和取样位置可参照 GB/T 2652 的规定执行;
- b) 额定工作压力不小于 3.8 MPa 的锅炉锅筒、启动(汽水)分离器、合金钢材料集箱类部件和管道的对接焊缝,当双面焊壁厚不小于 12 mm(单面焊壁厚不小于 16 mm)应做焊缝熔敷金属及热影响区夏比 V 型缺口室温冲击试验;
- c) 焊接试件的材料为合金钢(碳锰钢除外)时,额定工作压力不小于 3.8 MPa 的锅炉锅筒的对接焊缝,工作压力不小于 9.8 MPa 或壁温大于 450 °C 的启动(汽水)分离器、集箱类部件、管道的对接焊缝,工作压力不小于 3.8 MPa 的锅筒、集箱类部件上管接头的角焊缝,在焊接工艺评定时应进行金相检验;
- d) 水冷壁膜式管屏结构焊接工艺评定采用管子加扁钢焊接角焊缝的形式,生产线埋弧焊(SAW)试件至少为 2 根管子加 1 根扁钢组成双身管,采用熔化极气体保护焊(GMAW)机械焊接试件应至少为 3 根管子组成的管屏;采用手工方法焊接的试件可为 1 根管子加 1 根扁钢焊接角焊缝进行试验,试验按 NB/T 47014 板一板角焊缝评定试验的要求取 5 个宏观金相试件。

8.2.7 全焊缝金属拉伸试样的试验结果应满足母材规定的抗拉强度(R_m)、下屈服强度(R_{eL})或规定塑性延伸强度($R_{p0.2}$)。

8.2.8 焊缝熔敷金属及热影响区夏比 V 型缺口室温冲击试验的冲击吸收功平均值应不低于母材规定值,如母材无此规定值时,应不低于 27 J,且允许其中一个试样低于最低平均值,但不低于最低平均值的 70%。

8.2.9 按 8.2.6c)的规定进行的金相检验发现有裂纹、疏松、过烧和超标的异常组织之一者,即为不合格;按 8.2.6d)的规定进行的金相检验,试验结果除满足 NB/T 47014 外,还应符合附录 B 的要求。

8.2.10 制造单位应将焊接工艺评定记录予以保存,记录应注明评定日期和试验结果。焊接工艺评定报告应经制造单位焊接责任工程师审核,技术负责人批准后存入技术档案,保存至该工艺评定失效为止,焊接工艺评定试样应至少保留 5 年。

8.3 焊接工艺

8.3.1 焊接受压元件的焊接工艺规程(WPS)应注明如下内容:焊接方法及机械化程度、材料、厚度范围;焊接坡口、焊接规范、焊接位置、预热温度、单层(道)或多层(道)、层(道)间温度、焊接材料、热处理要求、施焊技术要求等。

8.3.2 当环境温度低于 0 °C 时应采用预热措施。

8.3.3 管子焊接时,一般应采用多层焊(工艺规定单层焊的除外),各焊层的起、熄弧点应尽量错开。

8.3.4 不应在焊件的非焊接表面引弧,如产生弧坑,应将其磨平或焊补。有裂纹倾向的材料,磨平或焊补后应进行表面无损检测。

8.3.5 焊件纵缝两端的引弧板、熄弧板或试件,焊后不宜锤击打落,应用气割割下。

8.4 焊接操作人员

8.4.1 焊接锅炉受压元件的焊接操作人员(以下简称“焊工”)应具有相应的资格,才能在有效期内从事合格项目范围内的焊接工作。

8.4.2 焊工应按照焊接工艺规程施焊并且做好施焊记录;锅炉受压元件的焊缝附近应打焊工代号钢

印,对不能打钢印的材料应有焊工代号的详细记录。

8.4.3 制造单位应建立焊工焊接档案,内容至少包括焊工焊绩、焊缝质量检验结果和焊接质量事故。

8.5 焊接材料

锅炉受压件的焊接材料应符合 NB/T 47018(所有部分)及有关标准、订货技术要求的规定。使用单位应根据质量管理体系规定按相关标准验收或复验,合格后方可使用。焊接材料的保管、发放等应符合 JB/T 3223 的规定。

8.6 焊接接头坡口

8.6.1 制造单位技术文件应规定焊接接头的坡口形式、尺寸和装配间隙,可参照 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的规定执行。

8.6.2 坡口加工可采用热切割、锯切、剪切、打磨、机加工等方法或这些方法的组合,但不应损害材料冶金和力学性能或产生有害缺陷。

8.6.3 制成的坡口表面应清洁,无锈皮和残渣。坡口和施焊表面在焊接前应将油污、铁锈和其他影响焊接质量的杂物清理干净。

8.6.4 必要时应对坡口面进行无损检测。

8.7 预热和后热要求

8.7.1 一般要求

为避免焊接裂纹,应根据所焊接件的材质和接头处的厚度等,在焊接(包括定位焊)前进行预热,如有需要,还应考虑焊后及时后热。

8.7.2 焊前预热

8.7.2.1 焊前是否需要预热和预热温度的数值与材料的化学成分、连接零件所受到的拘束度、材料的力学性能、热处理状态、材料厚度、焊接工艺及焊接材料等因素有关。

8.7.2.2 应按 NB/T 47014 对焊接工艺评定所提出的要求,在焊接工艺规程(WPS)中规定焊接预热温度。表 13 给出了常用的推荐最低预热温度,制造厂可根据实际情况及经验进行适当的调整。

8.7.2.3 通常情况下,当焊接两种不同材料时,应按需要较高预热温度的材料进行预热。当中断焊接重新施焊时,仍需按规定重新预热。

8.7.2.4 采用组合焊接工艺时,如需预热,对每个工艺应分别确定预热要求。

8.7.2.5 除表 13 所述情况外,环境温度低于 0℃时,应采取预热措施,预热温度应不低于 15℃。

表 13 常用钢材推荐的最低预热温度

钢材类别	接头处材料厚度 mm	最低预热温度 ℃
Fe-1-1	≥90	80
Fe-1-2、Fe-1-3	>25	80
Fe-3-1	>16	80
Fe-3-2	任意厚度	100
Fe-3-3	任意厚度	150

表 13 常用钢材推荐的最低预热温度 (续)

钢材类别	接头处材料厚度 mm	最低预热温度 ℃
Fe-4-1	>13	120
Fe-4-2	>13	150
Fe-5A	>13	200
Fe-5B-1、Fe-5B-2	<=13	150
Fe-5C		
Fe-6	任意厚度	200
钢材类别按 NB/T 47014。 注：若采用氩弧焊，最低预热温度可适当降低。		

8.8 层(道)间温度和焊后后热

8.8.1 焊接接头有冲击韧性要求时，应在焊接工艺规程(WPS)中规定层(道)间最高温度。

8.8.2 对冷裂纹敏感的材料，焊后应及时采取措施(如后热或含消氢处理、缓冷等)保证材料的使用性能。

8.9 焊接操作

8.9.1 锅筒、启动(汽水)分离器、储水箱、集箱类部件及管道的焊接

8.9.1.1 纵缝、环缝的焊接应满足以下要求：

- 多道焊接时，后道焊接前均应将前道焊缝的表面清理干净；
- 在锅筒的纵向和环向对接焊中使用了衬垫材料时，焊接后应将其除去；
- 锅筒纵向和环向对接焊缝焊后打磨平时，应有记录或标记可追踪到焊缝位置；
- 集箱对接焊缝不应使用永久性衬环；
- 易熔填塞物不应看作是衬环，只有当易熔填塞物材料与母材可互溶且完全熔入焊缝时，才可使用易熔填塞物。

8.9.1.2 管接头及附件焊接应满足以下要求：

- 管接头及吊耳每条焊缝至少焊接两道，当采用多道焊接时，后道焊接前均应将前道焊缝的表面清理干净；
- 不应使用永久性衬环；
- 易熔填塞物不应看作是衬环，只有当易熔填塞物材料与母材可互溶且完全熔入焊缝时，才可使用易熔填塞物；
- 已完工的焊缝表面在焊道间应无不规则、锐利的刻痕或凹坑。

8.9.2 管子焊接

8.9.2.1 环缝焊接应满足以下要求：

- 当采用多道焊接时，后道焊接前均应将前道焊缝的表面清理干净；
- 当焊接工艺要求通内保护气时，焊缝背面保护应加入足够的气体将焊缝附近的空气除去以避免根部区域的氧化。

8.9.2.2 附件和管子的焊接应满足以下要求：

- a) 承载附件的焊接应连续,该焊缝应是围绕在附件周边的角焊缝、部分焊透焊缝、单侧全焊透焊缝或双面全焊透焊缝;
- b) 非承载附件的焊接,可采用间断焊;
- c) 当采用多道焊接时,后道焊接前均应将前道焊缝的表面清理干净。

8.9.2.3 水冷壁拼排焊接可采用埋弧焊、气体保护焊、焊条电弧焊等。

8.9.2.4 应对公称外径不大于 60 mm 的受热面管子对接接头进行通径检查,通球球径按 GB/T 16507.6 的规定。既有弯头又有对接焊口的管子,其通球球径取弯管通球球径和对接接头通球球径两者中的较小者。

8.9.3 返修

8.9.3.1 受压元件原材料缺陷

8.9.3.1.1 如受压元件原材料存在缺陷以及因加工等原因造成不符合要求,需要修补时,应编制专门的返修工艺并经评定合格,按质量保证体系程序文件规定审批后返修。

8.9.3.1.2 受热面管直管表面机械损伤,其深度值不应影响设计要求的最小需要厚度。如果损伤处剩余厚度不小于设计要求的 minimum 需要厚度,且损伤无尖锐棱角时,则可修磨;当机械损伤处管壁厚度小于设计要求的 minimum 需要厚度时,应进行焊补和修磨。当机械损伤处剩余厚度小于设计要求的 minimum 需要厚度的 70% 时应更换管子。

8.9.3.2 焊缝缺陷

受压元件的焊接接头经无损检测发现存在不合格的缺陷时,施焊单位应找出原因,制订可行的返修方案,方可进行返修,并满足以下要求:

- a) 补焊前,缺陷应彻底清除;
- b) 补焊后,补焊区应做外观和无损检测检查;
- c) 要求焊后热处理的元件,补焊后应做焊后热处理;
- d) 同一位置上的返修不宜超过两次,如果超过两次,应经过单位技术负责人批准;
- e) 用于承压部位的铸铁件不应补焊;
- f) 返修的部位、次数、返修情况应存入锅炉产品技术档案。

8.10 产品焊接试件

产品焊接试件的制备、检验要求和合格标准等应按 GB/T 16507.6 执行。

9 热处理

9.1 一般要求

9.1.1 除管子的冷、热成形热处理外,受压件用钢板的冷、热成形后的恢复材料性能热处理应符合 9.2 的规定。

9.1.2 管子冷、热成形后的热处理应符合 6.4.4 的规定。

9.1.3 受压元件和受压元件与非受压元件连接焊缝的焊后热处理应符合 9.3 的规定。

9.1.4 热处理设备应配有自动记录热处理的时间与温度曲线的装置,测温装置应能准确反映工件的实际温度。

9.1.5 若焊接管孔因结构设计不能避免而开在焊缝及其热影响区上时,该管接头焊后应进行去应力热处理。

9.2 成形后热处理

9.2.1 受压件在冷、热成形后,根据材料技术要求,可不热处理或按下列情况之一进行热处理:

- a) 消除应力热处理;
- b) 正火;
- c) 正火+回火(如适用,回火可以是焊接应力消除工艺的一部分);
- d) 淬火+回火;
- e) 固溶处理。

也可采用其他热处理工艺,只要在成形后对产品进行检测证明完工的部件材料符合相应材料标准的要求。

9.2.2 当规定的最终热处理为正火时,如果部件在成形期间被均匀加热到正火温度,则不要求进一步的热处理。

9.2.3 当规定的最终热处理为正火+回火时,如果部件在成形期间被均匀加热到正火温度,则只要求进行额外的回火处理。

9.2.4 对淬火+回火钢,热成形后应进行淬火+回火热处理。

9.3 焊后热处理

9.3.1 焊后热处理时机

本文件所要求的焊后热处理应在所有焊接工作完成后进行。

9.3.2 焊后热处理方法

9.3.2.1 组件宜作为一个整体放在一个密闭的炉子中进行热处理。当不能实施时,可采用 9.3.2.2~9.3.2.4 的方法。

9.3.2.2 组件若采用分段进行热处理时,加热的各段至少要有 1 500 mm 的重叠部分,且伸出炉外的部分应有绝热措施。

9.3.2.3 组件若采用局部热处理时,焊缝和焊缝两侧的加热带宽度应各不小于焊接接头两侧母材厚度(取较大值)的 3 倍或不小于 200 mm。

9.3.2.4 局部热处理时,应配有足够的绝热保温材料覆盖加热区域以外的元件毗邻区域,使其不会产生有害的温度梯度。

9.3.2.5 当通过内加热方法对组件进行热处理时,应将元件完全包覆在绝热保温材料内。

9.3.3 焊后热处理工艺

9.3.3.1 工件装炉温度不应大于 400 °C。对受热面管子,若满足 GB/T 30583—2014 中 4.1.2 的规定,也可采用连续热处理炉或侧进式加热炉。

9.3.3.2 自 400 °C 起缓慢加热焊件至表 14 所规定的温度并按规定的时间进行保温。

可根据工件和热处理设备的具体情况确定升温速度,推荐的升温速度为:

- a) 当焊缝公称厚度(δ)不大于 25 mm 时,升温速度不大于 335 °C/h;
- b) 当焊缝公称厚度(δ)大于 25 mm 但不大于 154 mm 时,升温速度不大于 8 500/ δ (°C/h);
- c) 当焊缝公称厚度(δ)大于 154 mm 时,升温速度不大于 55 °C/h。

注:上述升温速度为通用要求,有些材料对此升温速度的要求可能更加严格或较为放宽,升温速度根据实际结构特点确定。

表 14 受压元件和连接件焊后热处理要求

材 料	最低保温温度 ℃	在规定温度下的最小保温时间		
		$\delta \leq 50$ mm	$50 \text{ mm} < \delta \leq 125$ mm	$\delta > 125$ mm
Fe-1	600	0.04 δ (h) 但不少于 0.25 h	以 2 h 为起点, 再按超过 50 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h	
Fe-3	600	0.04 δ (h) 但不少于 0.25 h	以 2 h 为起点, 再按超过 50 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h	
Fe-4-1	650	0.04 δ (h) 但不少于 0.25 h	0.04 δ (h)	以 5 h 为起点, 再按超过 125 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h
Fe-4-2	680	0.04 δ (h) 但不少于 0.25 h	0.04 δ (h)	以 5 h 为起点, 再按超过 125 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h
Fe-5A	680	0.04 δ (h) 但不少于 0.25 h	0.04 δ (h)	以 5 h 为起点, 再按超过 125 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h
Fe-5B-2 ^a	730	0.04 δ (h) 但不少于 0.5 h	0.04 δ (h)	以 5 h 为起点, 再按超过 125 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h
Fe-5C	720	0.04 δ (h) 但不少于 0.5 h	0.04 δ (h)	以 5 h 为起点, 再按超过 125 mm 的部分每 25 mm 增加 0.25 h
Fe-8	不作规定 ^b			
<p>材料要求的焊后热处理温度与保温时间与表 14 不同时, 应按材料的焊后热处理温度与保温时间进行焊后热处理。</p> <p>在规定的温度下的保温时间并非是连续的, 可以是多次焊后热处理多次保温时间之和。</p> <p>δ——为焊缝的公称厚度, 单位为毫米(mm)。</p>				
<p>^a 对 Fe-5B-2 材料, 还应满足下列要求。</p> <p>a) 异种钢焊缝(如 Fe-5B-2 与含 Cr 量较低的其他铁素体钢、奥氏体钢或镍基材料之间所形成的焊缝), 如果填充材料含 Cr 量 $< 3.0\%$, 或填充金属是镍基或奥氏体材料, 则最低保温温度为 705 ℃。</p> <p>b) 当焊缝填充金属为镍基或 Fe-5B-2 类, 并且焊缝 Ni+Mn $\leq 1.0\%$ 时, 最高保温温度可增加到 800 ℃。如果同时对多个焊缝做焊后热处理, 当任何一个焊缝填充金属为 Fe-5B-2 类并且焊缝 Ni+Mn 含量在 1.0%~1.2% 或 Ni+Mn 含量不确定时, 则最高热处理保温温度为 785 ℃。</p> <p>c) 如果部件的一部分被加热到高于 a) 或 b) 所允许的热处理温度, 采取下列措施之一:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 整个部件重新正火+回火; 2) 如果超过 b) 中规定的最高保温温度, 但低于 800 ℃, 去除焊缝金属并重新焊接; 3) 如果部件最高保温温度超过 800 ℃, 则超出部分及两侧不小于 75 mm 的过热区切除, 重新正火+回火, 或更换。 <p>^b Fe-8 供货为固溶处理状态时, 焊后热处理不作规定。</p>				

9.3.3.3 保温结束后缓慢冷却至不大于 400 ℃后出炉, 在静止空气中空冷。

可根据工件的尺寸和结构情况确定冷却速度, 推荐的冷却速度为:

- a) 当焊缝公称厚度(δ)不大于 25 mm 时, 冷却速度不大于 335 ℃/h;
- b) 当焊缝公称厚度(δ)大于 25 mm 但不大于 154 mm 时, 冷却速度不大于 8 500/ δ (℃/h);
- c) 当焊缝公称厚度(δ)大于 154 mm 时, 冷却速度不大于 55 ℃/h。

注：上述冷却速度为通用要求，有些材料对此冷却速度的要求可能更加严格或较为放宽，冷却速度根据实际结构特点确定。

9.3.3.4 在加热和保温期间，炉内气氛应避免对工件表面的过度氧化。加热火焰不应直接喷射在工件表面。

9.3.3.5 工件热处理加热与冷却过程中，任何温度梯度应是平缓的且工件在 4 600 mm 距离内各处的温度差应符合如下要求：

- a) 当温度不大于 500 °C 时，不超过 140 °C；
- b) 当温度大于 500 °C 时，不超过 100 °C。

9.3.3.6 热处理完成后，热电偶或热电偶座与工件的连接焊缝应磨平，必要时进行表面无损检测。

9.3.4 产品焊接试件的热处理

需要热处理时，产品焊接试件应与所代表的产品同炉热处理。

9.3.5 热处理条件

9.3.5.1 除 9.3.6、9.4 规定的以及材料标准另有规定的以外，焊接受压元件均应在不低于表 14 所规定的温度进行焊后热处理。

9.3.5.2 当两种不同材料的受压元件用焊接方法连接时，一般应按表 14 对需较高焊后热处理温度材料的规定进行焊后热处理，但不应超过接头两侧任一材料的下临界温度 A_{c1} 。

9.3.5.3 如果受压元件由 Fe-8 与其他材料焊接连接时，应按相连材料的要求热处理工艺进行处理。如果焊接接头两侧均为 Fe-8 奥氏体钢，则不强制进行热处理。

9.3.5.4 在受压元件上焊接非受压元件时，应按受压元件所要求的焊后热处理温度进行焊后热处理。

9.3.5.5 将 Fe-5A 或以下类别材料的管接头用角焊缝、部分焊透焊缝或全焊透焊缝焊于较低 Fe-× 的集箱时，当管接头外径不大于 114 mm、名义厚度不大于 13 mm 且采用较低 Fe-× 的焊接材料焊接时，可按表 14 中较低的 Fe-× 材料的要求进行热处理。

9.3.6 受压元件和连接件焊后热处理的免除条件

9.3.6.1 当材料类别为 Fe-1 时，如果属于以下情况，Fe-1 材料焊后可不热处理。

- a) 当材料类别为 Fe-1-1 时，如果属于以下情况，Fe-1-1 材料焊后可不热处理。
 - 1) 当焊缝公称厚度(δ)不大于 25 mm 时；
 - 2) 当焊缝公称厚度(δ)大于 25 mm 但不大于 30 mm 时，以不低于 100 °C 的温度进行预热。
- b) 当材料类别为 Fe-1-2 时，如果属于以下情况，Fe-1-2 材料焊后可不热处理。
 - 1) 当焊缝公称厚度(δ)不大于 20 mm 时；
 - 2) 当焊缝公称厚度(δ)大于 20 mm 但不大于 25 mm，焊接接头任一侧母材按公式(11)所求得的碳当量(CE)不大于 0.45% 时；
 - 3) 当焊缝公称厚度(δ)大于 25 mm 但不大于 30 mm，且满足以下条件时：
 - 焊接接头任一侧母材按公式(11)所求得的碳当量(CE)不大于 0.45%；
 - $$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad \dots\dots\dots(11)$$
 - 以不低于 120 °C 的温度进行预热；
 - 任一道焊缝厚度不大于 6 mm。

计算 CE 时，应按材料标准中化学成分的最大值，或化学成分实测值，或材料试验报告中的数值。如果未能取得公式(11)最后两括弧内元素的化学成分数值，应用 0.15% 代替这两项元素并按公式(12)计算。

$$CE = C + Mn/6 + 0.15 \quad \dots\dots\dots(12)$$

- c) 连接扩展受热面和管子的焊缝以及敷设覆盖层用销钉和受压元件的焊缝。
- d) 焊于受压件上的螺柱焊,如果受压元件的壁厚大于 30 mm,以不低于 100 °C 的温度进行预热。
- e) 堆焊耐腐蚀焊缝金属的管材当满足以下条件时:
 - 1) 堆焊层厚度不大于 6 mm;
 - 2) 当受压元件的公称壁厚大于 30 mm,以不低于 100 °C 的温度进行预热;
 - 3) 管材符合:外径不大于 141 mm 且不用于制造锅筒或筒体。
- f) 用自动电弧螺柱焊或自动电阻螺柱焊焊接不承受荷载螺柱的焊缝,螺柱的直径不大于 13 mm。
- g) 当不能按表 14 的规定热处理时,可按表 15 的规定以较低的温度和较长的保温时间进行焊后热处理。

表 15 焊后热处理温度低于规定最低保温温度时的保温时间

低于规定最低保温温度的降低值 °C	降低保温温度后每 25 mm 厚度的最短保温时间 h	备注
30	2	a
55	4	a
80	10	a,b
110	20	a,b

^a 表中每 25 mm 厚度的最短保温时间为公称壁厚不大于 50 mm 的材料。当材料公称壁厚大于 50 mm 时,超过的厚度每增加 25 mm,则每 25mm 厚度的最短保温时间应增加 15 min。

^b 适用于 Fe-1-1、Fe-1-2 组材料。

9.3.6.2 当材料类别为 Fe-3 时,如果属于以下情况,Fe-3-1、Fe-3-2 材料焊后可不热处理(Fe-3-3 所有厚度材料的焊后热处理均为强制性的):

- a) 受压元件上的环向对接焊缝,当接头处的焊缝公称厚度(δ)不大于 16 mm;
- b) 用焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的角焊缝或焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的坡口焊缝和角焊缝的组合焊缝在受压元件上连接非受压元件,如果非受压元件的最大含碳量不大于 0.25%,受压元件的公称壁厚大于 16 mm 时,以不低于 100 °C 的温度进行预热;
- c) 连接扩展受热面和管子的焊缝以及敷设覆盖层用销钉和受压元件的焊缝;
- d) 在受压元件上进行未包括在以上 c) 内的螺柱焊,当受压元件的公称壁厚大于 16 mm 时,以不低于 100 °C 的温度进行预热;
- e) 堆焊耐腐蚀焊缝金属的管材当满足以下条件时:
 - 1) 堆焊层厚度不大于 6 mm;
 - 2) 当受压元件公称壁厚大于 16 mm 时,以不低于 100 °C 的温度进行预热;
 - 3) 管材符合:外径不大于 141 mm 且不用于制造锅筒或筒体。
- f) 当不能按表 14 的规定热处理时,允许按表 15 的规定以较低的温度和较长的保温时间进行焊后热处理。

9.3.6.3 当材料类别为 Fe-4-1 时,如果属于以下情况,材料焊后可不热处理。

- a) 受压元件上的环向对接焊缝,焊缝公称厚度(δ)不大于 10 mm;当焊缝公称厚度(δ)大于 10 mm 但不大于 16 mm 时,以不低于 120 °C 的温度进行预热。
- b) 用焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的角焊缝或焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的坡口焊缝和角焊缝的组合焊缝在受压元件上连接非受压元件,或在其上连接受热面和不承受荷载的螺柱(销钉),受压元件的公称壁厚大于 10 mm 但不大于 16 mm 时,以不低于 120 °C 的温度进行

预热。

- c) 堆焊耐腐蚀焊缝金属的管材当满足以下条件时：
 - 1) 堆焊层厚度不大于 6 mm；
 - 2) 当受压元件公称壁厚大于 10 mm 时，以不低于 120 °C 的温度进行预热；
 - 3) 管材符合：外径不大于 141 mm 且不用于制造锅筒或筒体。
- 9.3.6.4 当材料类别为 Fe-4-2 时，如果属于以下情况，材料焊后可不热处理。
- a) 受压元件上的环向对接焊缝，当焊缝公称厚度(δ)不大于 6 mm；当焊缝公称厚度(δ)大于 6 mm 但不大于 8 mm 时，以不低于 150 °C 的温度进行预热。
 - b) 用焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的角焊缝或焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的坡口焊缝和角焊缝的组合焊缝在受压元件上连接非受压元件，或在其上连接受热面和不承受荷载的螺柱(销钉)，受压元件的公称壁厚大于 6 mm 但不大于 10 mm 时，以不低于 150 °C 的温度进行预热。
 - c) 堆焊耐腐蚀焊缝金属的管材当满足以下条件时：
 - 1) 堆焊层厚度不大于 6 mm；
 - 2) 当受压元件公称壁厚大于 6 mm 但不大于 10 mm 时，以不低于 150 °C 的温度进行预热；
 - 3) 管材符合：外径不大于 141 mm 且不用于制造锅筒或筒体。
- 9.3.6.5 当材料类别为 Fe-5A 时，如果属于以下情况，材料焊后可不热处理。
- a) 受压元件上的环向对接焊缝，焊缝公称厚度(δ)不大于 6 mm；当焊缝公称厚度(δ)大于 6 mm 但不大于 16 mm 时，以不低于 150 °C 的温度进行预热。
 - b) 用焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的角焊缝或焊缝公称厚度(δ)不大于 13 mm 的坡口焊缝和角焊缝的组合焊缝在受压元件上连接非受压元件，或在其上连接受热面和不承受荷载的螺柱，受压元件的公称壁厚不大于 16 mm，以不低于 150 °C 的温度进行预热。
 - c) 堆焊耐腐蚀焊缝金属的管材当满足以下条件时：
 - 1) 堆焊层的厚度不大于 3 mm；
 - 2) 当受压元件的公称壁厚大于 13 mm 时，以不低于 150 °C 的温度进行预热；
 - 3) 管材符合：外径不大于 141 mm 且不用于制造锅筒或筒体；
 - 4) 用具有 360°螺旋熔敷工艺装备的钨极惰性气体保护焊或气体保护电弧焊进行堆焊。

9.4 热处理后的焊接

9.4.1 热处理后的锅炉受压元件，如锅筒和集箱等，应避免直接在其上焊接元件。如不能避免，在同时满足下列条件时，焊后可不再进行热处理：

- a) 受压元件为碳素钢或碳锰钢材料；
- b) 角焊缝的计算厚度不大于 10 mm；
- c) 按经评定合格的焊接工艺施焊；
- d) 对角焊缝进行 100% 表面无损检测。

9.4.2 对于按 9.3.6 规定焊后可免除热处理的受压部件，在制造过程中因种种因素进行了热处理，热处理后如需要进行焊接或返修时，焊后免除热处理的条件仍按 9.3.6 执行。

10 涂装和包装

10.1 涂装

10.1.1 涂装一般要求如下：

- a) 涂装均应在锅炉产品制造完工并检验合格后实施；

- b) 一般情况下,不锈钢和具有镀层防护的表面不做涂装;
- c) 除合同另有规定外,产品涂装应经济、美观,且可保证产品表面保护持续 6 个月的时间。

10.1.2 涂装前的表面处理要求如下:

- a) 涂装前的表面处理方法可采用手工或动力工具清理、喷射处理等方法;
- b) 应考虑不同类型涂料对涂装表面底材除锈等级的要求。

10.1.3 应根据产品的结构形状和工艺要求,选用适宜的涂装方式,如手工刷漆、滚涂、浸涂或喷涂。

10.2 包装

10.2.1 包装一般要求如下:

- a) 包装应在锅炉产品制造完工并涂装(可以不涂装的产品除外)结束检验合格后实施;
- b) 应根据产品的性能要求、结构形状、尺寸、重量、路程、运输方式以及气候条件等具体情况对产品采用适宜的包装方式;
- c) 除合同另有规定外,产品包装应科学、经济、安全、牢固、美观,且满足运输要求,并可保证产品可安全可靠地运抵目的地。

10.2.2 包装方式应满足如下要求:

- a) 可采用箱装、框架、捆装、托盘、裸装等方式,也可设计专用包装装置,但每种包装件外形尺寸和质量应符合国内外运输方面有关超限、超重的规定;
- b) 应对运输过程中可能影响后期安装的零件或连接件,如精密零件、紧固件、含机加工表面的零件应采取适当的防护措施。

10.2.3 包装文件、标志和产品标识应满足如下要求:

- a) 产品出厂时的包装文件应包括:箱件清单、装箱清单及相关技术文件;
- b) 除无法标记的包装件(如裸装件)外,标记内容应正确、醒目,并应符合国家相关标准的规定;
- c) 每个发运产品应有一个唯一的可追溯的产品识别标识。

10.3 其他

锅炉涂装和包装还应满足 NB/T 47055 的相关要求。

附 录 A
(资料性)
管子弯管工艺试验

A.1 总则

A.1.1 锅炉中各种弯管均宜进行工艺试验,通过工艺试验来验证管子弯曲满足 6.4.2.4 要求。

A.1.2 本附录中弯管工艺试验适用于如下弯管方法:

- 转模弯管(无芯轴);
- 转模弯管(有芯轴);
- 转模弯管(无芯轴)热弯;
- 带顶墩推力转模弯管;
- 组合弯(预弯、加热挤压弯);
- 中频感应加热弯管;
- 膜式管屏的成排弯曲。

A.2 验证内容及要求**A.2.1 弯头外观质量**

检查弯头的内、外表面,弯头表面质量(表面平直区、机械损伤、内侧波浪度)宜符合 6.4.2.8 的要求。

A.2.2 表面缺陷无损检测

对可疑的表面缺欠,必要时可进行表面无损检测确认。

A.2.3 弯头的几何形状和尺寸

A.2.3.1 在管子的弯曲角内,按 30°或 45°间隔进行测量(应包含弯头顶点位置),检测弯头顶处内、外弧的最小壁厚;检测弯头各检测截面上的圆度;检测弯头直段上的壁厚;弯头的减薄率、最小壁厚和圆度宜符合 6.4.2.5~6.4.2.6 的要求。

A.2.3.2 检测弯头的弯曲半径、平面度、弯曲角度和弯头的几何形状,宜符合本文件的要求。

A.2.4 硬度试验

A.2.4.1 在弯管工序完成后,应测量弯管的直段和弯头部分横截面(不进行剖切的弯管测管子外表面)的硬度。所测得的硬度值应满足使用要求,否则,该弯管应进行弯后热处理以满足材料的使用要求。

A.2.4.2 对热弯弯头或要求弯后正火加回火热处理的弯头,热处理后的硬度应不超过其母材的规定值。

A.2.5 力学性能试验

A.2.5.1 所有热弯弯头,或要求进行弯后热处理而非消除应力的弯头,应按材料标准要求各项力学性能试验。

A.2.5.2 试验的试样在弯头内取,当无法做到时,所要求的样品应从毗邻弯头开始的直管段中截取。

A.2.5.3 试样的各项力学性能试验值应满足相应的材料标准要求。

A.2.6 金相检验

对材料类别为 Fe-5 类的铁素体钢(如 10Cr9Mo1VNbN、10Cr9MoW2VNbBN 等),经正火加回火热处理的弯头及采用中频感应加热弯的弯头,进行金相检验。金相和晶粒度宜符合相应钢管技术标准要求,没有过烧组织和晶间裂纹。

A.3 验证方法

A.3.1 工艺试验时,按不同的弯管设备、不同的弯管工艺(如冷弯、热弯等)、不同的弯后热处理工艺、不同的材料类别和不同的弯管工艺参数进行分类测试。

A.3.2 对于公称外径不大于 80 mm 的管子,弯曲到 180°,取弯曲角度 45°间隔通过切取剖面进行测试;对于公称外径虽不大于 80 mm 但受材料、结构、设备等因素限制或公称外径超过 80 mm 的管子,可弯至 90°角度,此时应取弯曲角度 30°间隔进行测试。对于中频加热弯,弯头可被弯曲到 ≥30°进行测试。但对公称外径超过 80 mm 的管子,厚度可通过超声波方法确定。

A.3.3 对于公称外径不大于 80 mm 的管子,每个工艺试验至少弯制 5 个弯头。

A.3.4 用于试验的管屏应至少由三根管子成组,且在弯曲前已焊接在一起。成排弯应在特定的成排弯管机上进行。弯头的考核与单个弯曲的弯管要求相同,见 A.2.1~A.2.5。

A.3.5 管子弯曲工艺试验数据应做记录。

A.4 试验的有效范围

A.4.1 只要满足给出的管子弯曲成形率 T_{FR} 的要求,同类组别材料的管子在给定的弯管工艺下,其外径、壁厚和弯曲半径的任意组合都可以覆盖。

A.4.2 管子弯曲成形率(T_{FR})根据 A.4.3 中的弯曲试验参数(D_o 、 δ 与 R)来确定。一次弯管试验的 T_{FR} 可覆盖在给定同类组别和弯管工艺的任何其他参数组合 T_{FR} 的 110%。

A.4.3 外径不大于 101 mm 的管子弯曲成形率(T_{FR})用式(A.1)计算得出:

$$T_{FR} = \frac{D_o^2}{\delta \times R} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

T_{FR} ——管子弯曲成形率,%;

D_o ——管子公称外径,单位为毫米(mm);

δ ——管子名义壁厚,单位为毫米(mm);

R ——在管子中心线上测量得到的弯曲半径,单位为毫米(mm)。

A.4.4 外径大于 101 mm 的管子弯曲成形试验有效范围如下:

- a) 外径覆盖的直径范围为: $0.5D_o \sim 1.8D_o$;
- b) 壁厚覆盖的厚度范围为 $0.7\delta \sim 1.5\delta$ 。

A.5 验证结论

记录弯曲工艺试验得出的结论,编制成文件,作为今后所有其他管子弯曲的基础。通过弯管工艺试验,确认该锅炉制造厂所选择的管子弯曲工艺是适合的。管子弯曲只有在满足上述相应的要求后才能用于锅炉的产品中。

附录 B

(规范性)

锅炉膜式管屏焊接工艺评定附加要求

B.1 本附录使用下列符号：

- S —— 钢管壁厚,单位为毫米(mm);
 δ —— 扁钢厚度,单位为毫米(mm);
 α_1, α_2 —— 焊缝厚度,单位为毫米(mm);
b —— 未熔管壁厚度,单位为毫米(mm);
t —— 扁钢侧焊缝熔深,单位为毫米(mm);
C —— 钢管与扁钢允许的未焊透厚度,单位为毫米(mm);
 K_1, K_2 —— 焊脚高度,单位为毫米(mm)。焊接工艺评定试样断面检查时, K_1, K_2 值作为参考,其他数据合格时, K_1, K_2 可不作考核,但应记录。

B.2 气体保护焊、焊条电弧焊钢管与扁钢焊接熔深要求按图 B.1,合格标准见表 B.1。

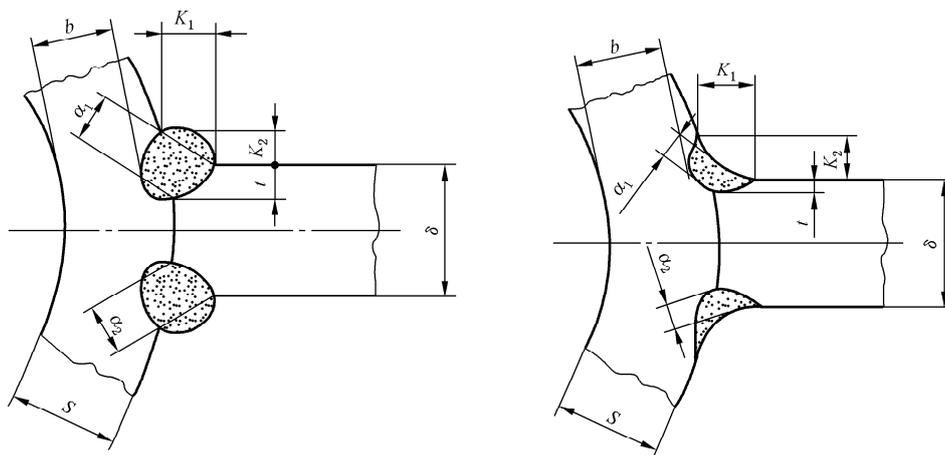


图 B.1 气体保护焊、焊条电弧焊钢管与扁钢焊接熔深要求

表 B.1 气体保护焊、焊条电弧焊钢管与扁钢焊接熔深合格标准

单位为毫米

扁钢厚度	钢管壁厚	考核要求		
$\delta \leq 6.5$	$S < 5$	$\alpha_1 + \alpha_2 \geq 1.25\delta$ $t \geq 1.0$	$b \geq 0.4S$	$K_1, K_2 \geq 4.0$
	$S \geq 5$		$b \geq 2.0$	
$\delta > 6.5$	—	$\alpha_1 + \alpha_2 \geq \delta$ $t \geq 1.0$	$b \geq 2.0$	$K_1, K_2 \geq 4.0$

评定适用厚度范围如下：

- a) 当 $S < 5$ mm 时,最小 S ,最大不限;
b) 当 $S \geq 5$ mm 时,最小 5 mm,最大不限。

B.3 埋弧焊钢管与扁钢的焊接熔深要求按图 B.2,合格标准见表 B.2。

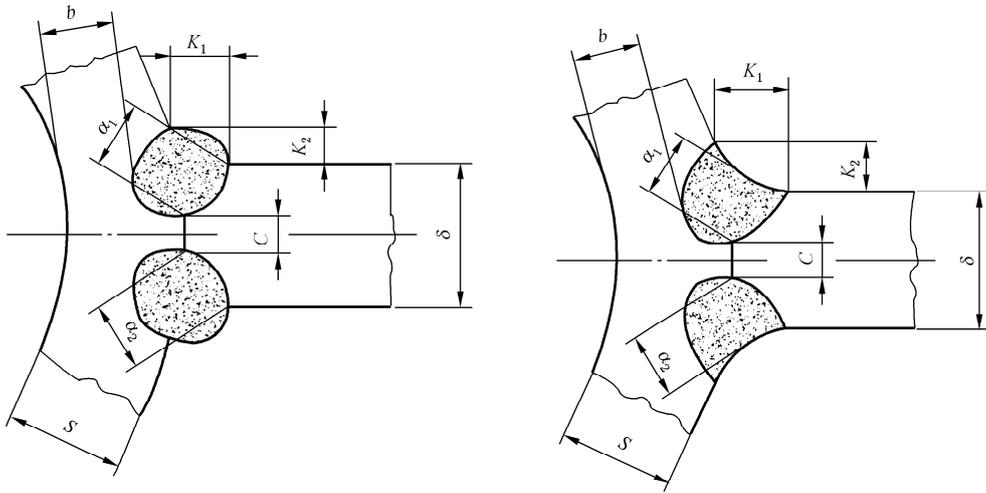


图 B.2 埋弧焊钢管与扁钢的焊接熔深要求

表 B.2 埋弧焊钢管与扁钢的焊接熔深合格标准

单位为毫米

扁钢厚度	钢管壁厚	考核要求		
$\delta \leq 6.5$	$S < 5$	$\alpha_1 + \alpha_2 \geq 1.25\delta$	$b \geq 0.4S$	$K_1, K_2 \geq 2.5$
	$S \geq 5$	$C \leq 0.4\delta$	$b \geq 2.0$	$K_1, K_2 \geq 3.0$
$\delta > 6.5$	—	$\alpha_1 + \alpha_2 \geq \delta$ $C \leq 0.4\delta$	$b \geq 2.0$	$K_1, K_2 \geq 3.0$

评定适用厚度范围如下：

- a) 当 $S < 5$ mm 时,最小 S ,最大不限；
- b) 当 $S \geq 5$ mm 时,最小 5 mm,最大不限；
- c) 当 $\delta \leq 6$ mm 时,最小不限,最大 6 mm；
- d) 当 $\delta > 6$ mm 时,最小不限,最大 δ (当扁钢采用开坡口的方式保证 C 值时, δ 最大不限)。

附录 C

(规范性)

锅炉焊接工艺评定材料分类分组

为减少焊接工艺评定的数量,对材料进行分类。产品有冲击要求时,在类别号下再指定组别号。表 C.1 为用于锅炉受压元件但 NB/T 47014 未列出的材料。对于 NB/T 47014 和本附录未列入的材料,各制造厂可根据材料的化学成分、力学性能、焊接性,将其列入相应的类、组号。

表 C.1 铁基材料分类分组

母材		牌号、级别、型号	标准
类别	组别		
Fe-3	Fe-3-3	15Ni1MnMoNbCu	GB/T 5310
Fe-5B	Fe-5B-2	10Cr9MoW2VNbBN	GB/T 5310
		10Cr11MoW2VNbCu1BN	GB/T 5310
		11Cr9Mo1W1VNbBN	GB/T 5310
Fe-8	Fe-8-1	07Cr19Ni10	GB/T 5310
		10Cr18Ni9NbCu3BN	GB/T 5310
		07Cr19Ni11Ti	GB/T 5310
		07Cr18Ni11Nb	GB/T 5310
		08Cr18Ni11NbFG	GB/T 5310
Fe-8	Fe-8-2	07Cr25Ni21NbN	GB/T 5310

参 考 文 献

- [1] GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
 - [2] GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口
 - [3] GB/T 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
 - [4] TSG 11 锅炉安全技术规程
 - [5] TSG 91 锅炉节能环保技术规程
-

