

ICS 27.060.30
J 98



中华人民共和国国家标准

GB/T 16507.5—××××
代替GB/T 16507—1996

水管锅炉 第5部分：制造

Water-tube Boilers
(Part 5: Fabrication)

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本要求	4
5 标记移植	5
6 冷热加工成形	5
7 胀接	5
8 焊接	8
9 热处理	9
附录 A (资料性附录) 管子弯管工艺评定要求	11
附录 B (规范性附录) 锅炉焊接工艺评定材料分组	11
附录 C (规范性附录) 锅炉膜式管屏焊接工艺评定附加要求	11

前 言

GB/T 16507《水管锅炉》分为八个部分：

- 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：安装与运行。

本部分为 GB/T 16507 的第 5 部分。

本部分按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分部分代替 GB/T 16507—1996，与 GB/T 16507—1996 相比，主要技术变化如下：

- 增加术语和定义；
- 增加基本要求；
- 删除了原第 7 章锅壳锅炉的制造部分；
- 增加了对弯管的考核；
- 增加了附录 A 管子弯管工艺评定要求；
- 增加了附录 B 锅炉焊接工艺评定材料分组；
- 增加了附录 C 锅炉膜式管屏焊接工艺评定附加要求；

本部分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。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会锅炉分技术委员会（SAC/TC 262/TC1）组织起草并审查。

本部分负责起草单位：上海锅炉厂有限公司。

本部分参与起草单位：

本部分主要起草人：

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 16507—1996。

水管锅炉 第5部分：制造

1 范围

本部分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。

2 规范性引用文件

下列文件对于本部分的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本部分。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本部分。

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3部分：受压元件强度计算
GB/T 16507.6	水管锅炉 第6部分：试验、检验和验收
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
GB/T 985.2	埋弧焊的推荐坡口
GB/T 2652	焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
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 47016	承压设备产品焊接试件的力学性能检验
JB/T 9626	锅炉锻件技术条件
ISO 4759-1	紧固件公差 第1部分螺栓、螺钉、螺栓和螺母 产品等级 A、B 和 C 级
NB/T 47018	承压设备用焊接材料订货技术条件

批注 [11]: 此条请陈永歧修改

3 术语

3.1 冷成形

3.1.1 在工件材料再结晶温度以下进行的塑性变形加工。

3.1.2 对于奥氏体不锈钢，在材料敏化温度以下进行的塑性变形加工。

3.1.3 在工程实践中，通常将环境温度下进行的塑性变形称为冷成形；介于冷成形和热成形之间的塑性变形加工称为温成形。

3.2 热成形

在工件材料再结晶温度以上进行的塑性变形加工。

3.3 管子成形

管子的弯管、整形、减厚、缩颈等加工过程

4 基本要求

- 4.1 锅炉制造单位应具有 GB/T 16507.1 要求的相应制造许可资格，焊接、无损检测人员应具有特种设备人员的相应资质，并按有关规定进行培训和管理，起吊、运输人员也应符合安全的要求。
- 4.2 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。
- 4.3 制造工艺的文件和经鉴定合格的图纸应符合本单位的生产条件。
- 4.4 受压元件的制造不应产生影响安全和使用的附加应力，也不应产生不利的金属组织。
- 4.5 锅炉受压元件制造中所涉及到的设备、仪器仪表应符合规定精度，并定期进行检定或校正。
- 4.6 原材料应符合 GB/T 16507.2 的要求。

5 标记

5.1 一般要求

应制订受压元件和主要承受载荷的非受压元件用材料材料标识程序。锅炉受压元件用的材料应当有标记，切割下料前，应当作标记移植，并且便于识别。

5.2 材料标记移植

- 5.2.1 在管子弯头内外弧区域不应用硬印标记。
- 5.2.2 对于不允许用硬印标记的材料应用其他标记方法。（如薄管、不锈钢管）

5.3 焊工标记和无损检测标记

- 5.3.1 焊缝附近应有焊工标记。
- 5.3.2 经无损检测的焊缝应有检测标记。
- 5.3.3 无法在焊缝附近标注焊工标记和无损检测标记的可以用定位图表示。

6 冷热加工成形

6.1 概述

- 6.1.1 制造单位应根据制造工艺确定加工余量，以确保受压元件成形后的实际厚度不小于设计图样标注的最小成形厚度。
- 6.1.2 采用冷成形时，需考虑所用钢材的材料脆性转变温度（FATT50）。
- 6.1.3 采用温成形时，须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变形量。冷成形所采用的制造方法不应使元件产生不允许的附加应力，否则应进行相应的消除应力热处理。
- 6.1.5 用于制造端盖、法兰、管件等的材料应符合 GB/T 16507.2 的规定。

6.2 材料的切割(下料)

- 6.2.1 根据材料特性和规格选择材料切割方法。采用的切割方法要保证加工精度。
- 6.2.2 根据钢材的类型和厚度，决定材料的热切割是否需要预热，最低预热温度按 8.7.2 条选择。
- 6.2.3 热切割过的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余量，除非能表明材料的组织没有被损坏。

6.3 锅筒、集箱和封头成形

- 6.3.1 用钢板制造锅筒、集箱和封头时，不允许采用锤击的方法加工或成形。采用锻制、拉伸或冲压过程制成零件，应根据锻造加热控制要求进行生产，并与锅炉制造厂的要求相符。

批注 [12]: 删除

6.3.2 成形加热与成形后热处理的要求按第9章。

6.3.3 封头的热或冷成形制造应是连续成形工艺。

6.3.4 成形后外观质量

6.3.4.1 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及凹陷和疤痕，当其深度不影响设计最小需要壁厚且呈圆滑过渡时，可不予修磨；若底部呈尖锐状态应修磨成圆滑过渡。深度影响最小壁厚的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。

6.3.6.2 人孔扳边加工完后应经表面全面检查，不允许有裂缝。

6.4 管子成形

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 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 铁素体材料管子成形后热处理的要求按第9章。

6.4.1.3 奥氏体材料管子成形后热处理工艺应避免影响材料的使用性能。

6.4.2 弯管

6.4.2.1 管子的弯曲成形应根据材料、规格、弯曲半径、弯管形状和弯管设备选用热成形（包括内侧加热弯及热挤压成形）或冷成形。

6.4.2.2 热成形的弯管制造可按自己的成熟工艺进行，包括加热温度的控制和弯后热处理，但要保证不损害使用性能。热成形弯曲管子的成形考核要求满足6.4.2.5条。

6.4.2.3 管子弯曲冷成形应根据管子材料的特性，采用验证后的工艺进行（包括弯曲冷成形后的热处理工艺），也要确保不损害使用性能。冷成形弯曲管子的成形考核要求满足6.4.2.5条。

6.4.2.4 弯管成形应进行工艺评定或工艺试验。可由工艺评定（见附录A）来证明管子弯曲满足6.4.2.5条的要求。工艺评定或工艺试验应按管子的材料规格和弯曲半径进行分类测试，以验证所采用的弯曲工艺能满足产品技术要求。

6.4.2.5 弯管成形外观质量

弯管后应检测弯头外侧减薄（内侧增厚）、弯头圆度、弯曲角度偏差及表面质量。

6.4.2.5.1 弯头(外侧)减薄

A. 受热面管子（外径小于100mm）弯管外侧允许减薄至Sa，其计算公式如下：

$$Sa \geq S \times \left(1 - \frac{1}{4R/D_w + 2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Sa——弯管外侧壁厚，mm；

R——平均弯曲半径，mm；

D_w——管子外径，mm；

S——直管的计算壁厚（即按GB/T 16507.4计算出的理论计算壁厚SI+腐蚀裕量C1），mm。

B. 连接管道（外径大于100mm）

弯管外侧允许减薄至：

GB/T 16507.5—××××

$$1 \quad S_a \geq S \times \left(1 - \frac{1}{4R/D_w + 2}\right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

弯管内侧要求增厚至:

$$1 \quad S_i \geq S \times \left(1 + \frac{1}{4R/D_w - 2}\right) \quad (3)$$

式中:

S_a: 弯管外侧壁厚, mm;

S_i: 弯管内侧壁厚, mm

R: 平均弯曲半径, mm;

D_w: 管道公称外径, mm;

S: 直管的计算壁厚 (即按 GB/T 16507.4 计算出的理论计算壁厚 S_l+腐蚀裕量 C₁), mm。

6.4.2.5.2 弯头圆度

管子弯头圆度计算公式如下:

$$\text{圆度} = 2 \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

D_{max} —— 弯头顶点上测得的最大外径, mm;

D_{min} —— 在 D_{max} 同一横截面上测得最小外径, mm。

考核标准如下:

a) 成排弯管子圆度 ≤ 12%;

b) 其它管子:

当 R/D_w < 2.5 时, 圆度 ≤ 12%;

当 R/D_w ≥ 2.5, 圆度 ≤ 10%;

6.4.2.5.3 弯管角度偏差

a) 受热面管子弯曲角度的偏差不超过 ±1°。

连接管道弯头平面弯曲角度的偏差不超过 ±30', 当外径 Φ ≥ 108mm 还应测两端间的距离; 当外径 φ ≥ 108mm 且有空间弯头时, 应测两端间的距离。距离 b) 偏差一般不超过 ±4mm。

6.4.2.5.4 弯头表面质量

a) 弯头表面不允许有裂纹等尖锐性缺陷。

b) 管子的表面机械损伤, 其深度值不应超过管壁厚度的负偏差。如果损伤和缺陷无尖锐棱角时, 则允许修磨。机械损伤深度大于管壁厚度负公差时, 应进行焊补和修磨。不允许采用机械损伤深度大于 1/3 管壁厚度的管子。

c) 管子弯后弯头内侧如有明显的波纹应按图 1 的方法测量。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 $h = (d_1 + d_3) / 2 - d_2 \leq 2\% \times OD$

2) 波距 $A > 12h$

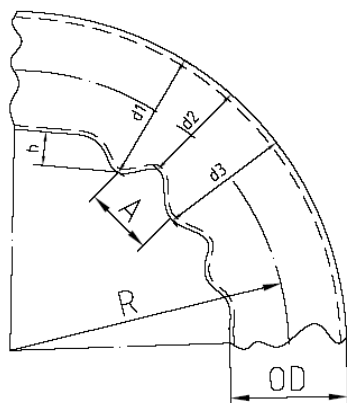


图1 弯管波纹示意图

d) 任何弯头沿管子中心线方向不应有宽度超过 12mm 的瘪痕。

6.4.3 墩厚、缩颈成形

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、缩颈加工。

6.4.3.2 壁厚墩厚、缩颈加工后，管子的外表面及壁厚的过渡区应平滑、无裂纹。

6.4.3.3 管子墩厚、缩颈量的控制及成形后的热处理，应根据经验证过的工艺进行，并确保不会损害使用性能。

6.5 制作公差

6.5.1 锅筒制造和装配公差

6.5.1.1 筒节纵向、环向焊缝以及封头拼接焊缝的装配应符合如下规定：

6.5.1.1.1 纵缝或封头拼接焊缝两边钢板的实际边缘偏差值不大于名义板厚的 10%，且不超过 3mm；当板厚大于 100mm 时，不超过 6mm。

6.5.1.1.2 环缝两边钢板的实际边缘偏差值(包括板厚差在内)不大于名义板厚的 15% 加上 1mm，且不超过 6mm；当板厚大于 100mm 时，应不超过 10mm。

6.5.1.1.3 锅筒纵、环缝两边钢板中心线应对齐。两边不等厚时，一般采用中心线对齐，也可一侧的边缘对齐，但两侧中任何一侧的名义边缘差值超过本条规定时，可采用以下任一方法：

a) 根据评定合格的焊接工艺，在较薄板上堆焊以提供需要的斜度；

b) 按 GB/T 16507.3 规定将较厚板的一侧或两侧表面削成锥形。

注：如果采用 b) 条规定的方法会使板厚小于图样上所规定的最小值，则不允许采用 b)。

堆焊或斜削的边缘应与另一侧平齐，堆焊或削出的斜面应平滑，并且斜率不大于 1:3。必要时，焊缝的宽度可在斜面内。

6.5.1.2 筒节内径差

GB/T 16507.5—××××

筒节的任意同一横截面上最大内径与最小内径之差应当大于名义内径的 1%。且不大于 25mm（见图 2）；

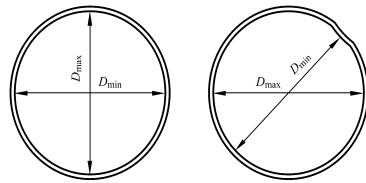


图 2 筒节同一断面上最大内径与最小内径之差

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 300mm 的内样板（或外样板）和直尺检查（见图 3、图 4），其 E 值不得大于 $(\delta s/10+2)$ mm，且不大于 4mm。

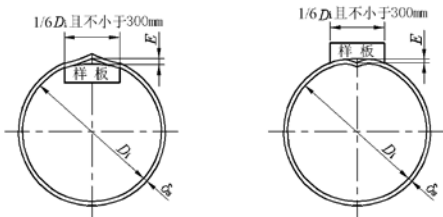


图 3 焊接接头处的环向棱角

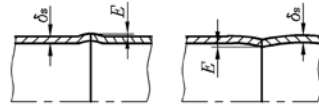


图 4 焊接接头处的轴向棱角

筒节壁厚应不小于设计最小壁厚（见设计图样所示）。

6.5.1.3 筒体尺寸（见图 5）应符合以下规定：

6.5.1.3.1 长度偏差

当 L 不大于 5m 时，筒体全长 L 的偏差不得超过 $+10_{-5}$ mm；当 L 大于 5m 但不大于 10m 时，筒体全长 L 的偏差不得超过 $+20_{-10}$ mm；当 L 大于 10m 时，筒体全长 L 的偏差不得超过 $+30_{-15}$ mm。

6.5.1.3.2 筒体直线度偏差

筒体全长 L 内的 ΔW （见图 5）应符合表 1 的要求：

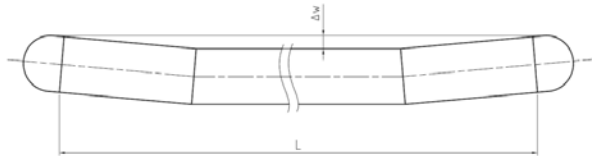


图 5 筒体尺寸示意图

表 1 筒体尺寸偏差

L (m)	ΔW (mm)
≤ 5	≤ 5
$5 < L \leq 7$	≤ 7
$7 < L \leq 10$	≤ 10
$10 < L \leq 15$	≤ 15
> 15	≤ 20

6.5.1.4 封头尺寸应符合以下规定：

- a) 内径差
同筒节内径差
- b) 形状偏差

用带间隙的全尺寸的内样板检查椭圆形、碟形、球形封头内表面的形状偏差（见图 6），缩进尺寸为 3%~5% D_i ，其最大形状偏差外凸不得大于 1.25% D_i ，内凹不得大于 0.625% D_i 。检查时应使样板垂直于待测表面。对先成形后拼接制成的封头，允许样板避开焊缝进行测量。

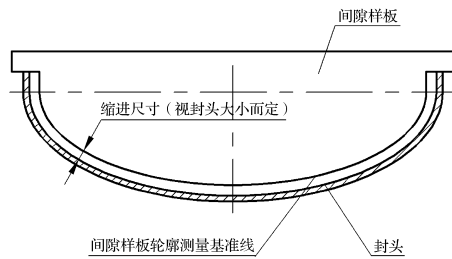
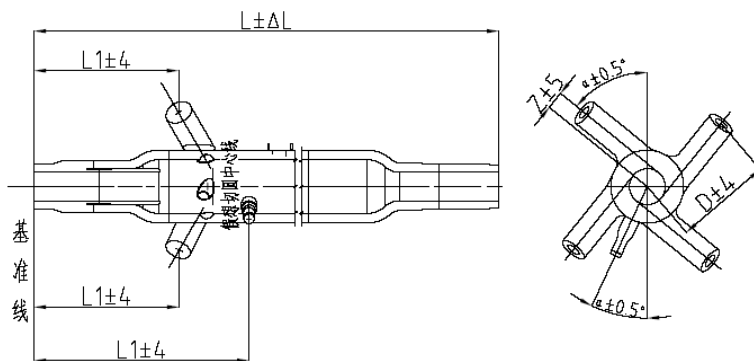


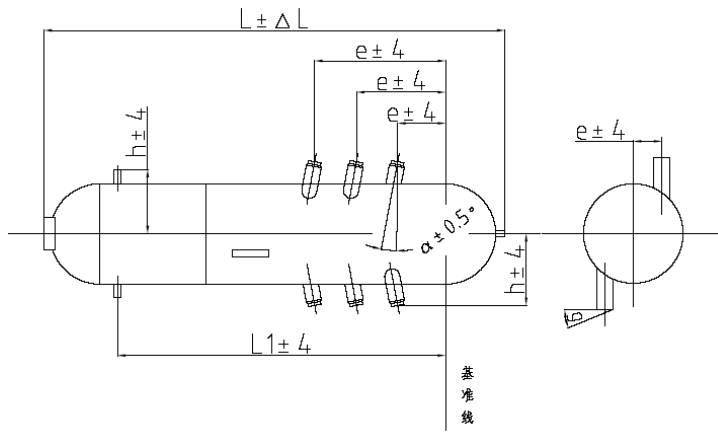
图 6 封头的形状偏差检查

6.5.2 启动分离器制造和装配公差

启动分离器尺寸偏差见图 7 (a)、图 7(b)。



a)



b)

图7 启动分离器尺寸偏差示意图

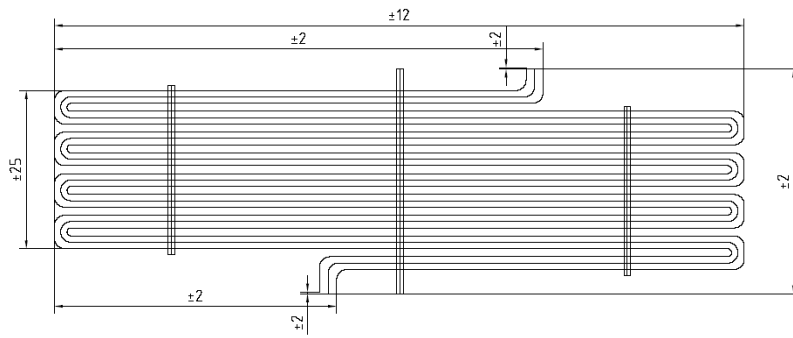
注：1、长度偏差 ΔL ：

当 $L \leq 10\text{m}$ 时， $\Delta L \leq \pm 5\text{mm}$ ； $10\text{m} < L \leq 20\text{m}$ ， $\Delta L \leq +6, -10\text{mm}$ ； $L > 20\text{m}$ ， $\Delta L \leq +8, -12\text{mm}$ ；

2、直线度偏差：1mm/m,且 Max. $\leq 20\text{mm}$ 。

6.5.3 蛇形管制造公差

蛇形管尺寸偏差见图8(a)、(b)、(c)所示。



a) 卧式（水平布置）蛇形管

GB/T 16507.5—××××

边缘上不存在夹渣，并对开孔部位的焊缝内外表面余高磨平，且锅筒整体进行热处理。

7.2.2 胀接管孔中心与焊接边缘（除 6.2, a 外）及管板板边起点的距离不应小于 $0.8d$ （ d 为管孔直径），且不小于 $0.5d+12\text{mm}$ 。

7.2.3 胀接管孔的表面粗糙度 R_e 值不应大于 $12.5\mu\text{m}$ ，孔表面不允许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 2 的规定。

表 2 管孔尺寸偏差 单位为 mm

管子外径 DW	管孔直径 DW+ΔD	管孔直径偏差	管孔圆度及圆锥度
14~16	DW + 0.3	+ ^{0.24}	0.10
18~25	DW + 0.3	+ ^{0.28}	0.11
32~51	DW + 0.3	+ ^{0.28}	0.14
57~60	DW + 0.5	+ ^{0.34}	0.15
63.5~76	DW + 0.5	+ ^{0.40}	0.15

7.2.5 若锅炉锅筒壁厚不小于 22mm 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 0.5mm~1mm，槽宽宜 4 mm 左右。

7.3 胀接管的技术要求

7.3.1 胀接管表面不允许有重皮、裂纹、纵向沟纹、压偏等缺陷，胀接处横向沟纹、麻点等缺陷其深度应不大于公称管壁厚度的 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，应将管子进行退火，退火管端长度应在 150mm 左右。

7.3.3 管端胀接处的表面应均匀地打磨，打磨长度不应小于筒体厚度 $\delta+50\text{mm}$ 。打磨后管子表面粗糙度 R_e 值不应大于 $12.5\mu\text{m}$ 。

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：当公称壁厚 δ 小于等于 3mm 时，为 0.3mm；当 δ 大于 3mm 时，为 0.35mm。

7.3.5 胀接管端最小外径应按表 3 的要求。

表 3 胀接管的最小外径 单位为 mm

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	71.81

7.4 胀管器的选用要求

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 $\delta+15\text{mm}$ ，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，胀杆全长的直线度应不大于 0.1mm。
- 7.4.4 电动、风动胀管设备转速一般应不超过 60r/min。

7.5 胀接技术要求

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 4 的要求。

表 4 管孔与管子的最大间隙 单位为 mm

公称直径	最大间隙
32~42	1.36
51	1.41
57~60	1.50
63.5	1.53
70~76	1.66

- 7.5.2 胀接时的环境温度宜大于 0℃。
- 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 胀接质量要求**
- 7.6.1 当采用内径控制时，胀管率一般应控制在 1%~2.1% 范围内。胀管率可按下式进行计算：

$$H = \left(\frac{d_1 + 2\delta}{d} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- H ——胀管率，%；
- d_1 ——胀完后的管子实测内径，mm；
- δ ——未胀时管子实测壁厚，mm；
- d ——未胀时管孔实测直径，mm。

- 7.6.2 管端伸出长度宜在 6mm~12mm，管端喇叭口的扳边与管子中心线的夹角应在 12°~15°，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。
- 7.6.3 胀接后管子端部不应有起皮、皱纹、裂纹、切口和偏斜等缺陷。
- 7.6.4 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。

8 焊接

8.1 概述

8.1.1 本章适用于用焊接方法制造和返修锅炉受压元件和承受荷载的非受压元件，对于受压元件之间及与承受荷载的非受压元件的焊接，制造单位应制定符合要求的焊接工艺和相应的检查、验

GB/T 16507.5—××××

收要求，以保证焊接质量。

8.1.2 锅炉受压元件不允许采用电渣焊。

8.2 焊接工艺规程(WPS)

8.2.1 受压元件之间或者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 形接头或角接头、焊制鳍片管所采用的焊接工艺均应按 NB/T 47014 及本章和附录 C 的附加要求进行评定。

NB/T 47014 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。锅炉焊接工艺评定材料分类分组按 NB/T 47014 和附录 B。

8.2.2 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，制造单位还应负责对所有检查试件进行试验。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。制造单位应将焊接工艺评定记录予以保存，记录应注明评定日期、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。不应将非本单位的工艺评定用于本单位产品的焊接操作。批准后的焊接工艺评定的技术内容不应修改，只可作编辑性修改补充。

8.2.3 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：

8.2.3.1 锅筒及集箱的纵向焊缝，当工作压力 $\geq 3.8\text{MPa}$ ，本体厚度 $> 20\text{mm}$ 时，焊接工艺评定试验应补充全焊缝拉伸试验：当板厚 $> 20\text{mm}$ ， $\leq 70\text{mm}$ 时，应从工艺评定试板上切取全焊缝拉力试样一个；当板厚 $> 70\text{mm}$ 时，应从工艺评定试板上切取全焊缝拉力试样两个；试样直径 d_0 应取焊缝截面内许可的最大值，但不大于 20mm 。试验方法和取样位置按 GB/T 2652 的规定。

8.2.3.2 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 根管子夹 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-板角焊缝评定试验的要求，取 5 个金相(宏观)，试验结果除满足 NB/T 47014 外，一般还应符合本部分附录 C 的要求。

8.2.3.3 合同规定的其他试验，如接头硬度、金相、断口试验等。

8.2.4 焊接工艺评定试件的力学性能试验和宏观检验及结果应符合 NB/T 47014 的规定。

8.2.5 全焊缝金属拉力试样的试验结果应当满足母材规定的抗拉强度(R_m)或者屈服强度($R_{p0.2}$)；

8.2.6 合同规定的其他试验应满足相应的试验标准。

8.3 焊接工艺

8.3.1 焊接受压元件的焊接工艺规程(WPS)应注明如下内容以指导焊接生产：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 A 级高压以上锅炉，锅筒和集箱、管道上管接头的组合焊缝，受热面管子的对接焊缝、管子和管件的对接焊缝，结构允许时应当采用氩弧焊打底。锅炉管接头与锅筒、集箱、管道的连接，在下列情况下应当采用全焊透的接头型式：

8.3.3.1 开孔需以管接头进行强度补强时；

8.3.3.2 A 级高压以上锅炉管接头外径大于 76mm 时；

8.3.3.3 A 级锅炉集中下降管接头；

8.3.3.4 下降管或者其管接头与集箱连接时(外径小于或者等于 108mm 并且采用插入式结构的下

降管除外)。

批注 [13]: 放到设计章节

8.3.4 管子焊接时,一般应采用多层焊(工艺规定单层焊的除外),各焊层的接合点应尽量错开。

8.3.5 不允许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探伤。

8.3.6 纵缝焊接试件应作为产品纵缝的延长部分焊接。

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

8.4 焊工及焊接操作人员资质评定

8.4.1 焊接锅炉受压元件的焊工或焊接操作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 制造厂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,焊接质量事故并至少每6个月记录一次。

8.5 焊接材料

焊接材料应按 NB/T 47018 采购技术要求进行验收,并按 JB/T 3223 要求建立严格的存放、烘干、发放、回收和回用管理制度。

8.6 焊接接头选用和坡口制备

8.6.1 制造厂技术文件应规定焊接接头的坡口形式、尺寸和装配间隙,可参考 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的规定。

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,但不得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 焊前预热

8.7.1.1 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。

8.7.1.2 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 最低预热温度

除下述情况外,环境温度低于 0℃ 时,应采取预热措施,预热温度不低于 15℃:

- a) Fe-1 接头处厚度 > 25mm 的材料,最低预热温度为 80℃。
- b) Fe-3 接头处厚度 > 16mm 的材料,最低预热温度为 80℃。
- c) Fe-4-4 接头处厚度 > 13mm 的材料,最低预热温度为 120℃。
- d) Fe-4-2 接头处厚度 > 13mm 的材料,最低预热温度为 150℃。
- e) Fe-5A、Fe-5B-1、Fe-5B-2、Fe-5C 规定的最大含铬量大于 6.0% 且接头处厚度 > 13mm 的材料,最低预热温度为 200℃; 接头处厚度 ≤ 13mm 的材料,最低预热温度为 150℃。
- f) Fe-6 最低预热温度为 200℃。
- g) Fe-7 不作规定。

GB/T 16507.5—××××

- h) Fe-8 不作规定。

8.7.3 道间温度

焊接接头有冲击韧性要求时，在焊接工艺规程（WPS）中规定道间最高温度。

8.7.4 焊后热处理

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。

8.8 焊接操作

8.8.1 锅筒、集箱（含管道类）焊接

8.8.1.1 纵缝、环缝的焊接应满足以下要求：

- a) 多道焊接时，后道焊接前均应将前道焊缝的表面清理干净。
- b) 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。
- c) 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。
- d) 集箱对接焊缝不应使用永久性衬环。
- e) 易熔填充物不应被看作为衬环。只有当易熔填充物材料与母材相容且完全熔入焊缝时，才应使用易熔填充物。

8.8.1.2 管接头及附件焊接应满足以下要求：

- a) 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。
- b) 不应使用永久性衬环。
- c) 易熔填充物不应被看作为衬环。只有当易熔填充物材料与母材相容且完全熔入焊缝时，才应使用易熔填充物。
- d) 已完工的焊缝表面在焊道间应无不规则，无锐利的刻痕或凹坑。

8.8.2 管子焊接

8.8.2.1 环缝焊接应满足以下要求：

- a) 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。
- b) 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。

8.8.2.2 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，可允许采用间断焊。
- 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。

8.8.2.3 水冷壁拼排焊接应满足以下要求：

水冷壁拼排焊接可采用埋弧焊、气体保护焊、焊条电弧焊等。

8.8.3 返修焊

8.8.3.1 受压元件原材料返修焊

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。

8.8.3.2 焊缝缺陷返修焊

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。

补焊前，缺陷应彻底清除。补焊后，补焊区应做外观和无损检测检查。要求焊后热处理的元件，补焊后应做焊后热处理。同一位置上的返修不宜超过二次，如果超过二次，应当经过单位技术负责人批准。

8.8.3.3 存档要求

返修的部位、次数、返修情况应存入锅炉产品技术档案。

8.9 产品焊接试件

8.9.1 为检验产品焊接接头的力学性能，应当焊制产品焊接试件，对于焊接质量稳定的制造单位，经过技术负责人批准，可以免做焊接试件。但属于下列情况致意的，应当制作纵缝焊接试件：

- 1) 工厂按照新焊接工艺评定结果制造的前5台新锅炉；
- 2) 用合金钢制作的以及工艺要求进行热处理的锅筒或者集箱；
- 3) 设计图样要求制作焊接试件的锅炉。

8.9.2 焊接试件制作

- 1) 每个锅筒、集箱、类部件纵缝及封头的拼接焊缝应制作一块焊接试件，纵缝焊接试件应当作为产品纵缝的延长部分焊接；
- 2) 产品焊接试件应当由焊该产品的焊工焊接，试件材料、焊接材料和工艺条件等应当与所代表的产品相同；
- 3) 需要热处理时，试件应当与所代表的产品同炉热处理；
- 4) 焊接试件的数量、尺寸应当满足检验和复验所需要试样的制备。

8.9.3 试样制取和性能检验

- 1) 焊接试件经过外观和无损检测后，在合格部位制取试样；
- 2) 试件上制取试样的力学性能检验类别、试样数量、取样和加工要求、试验方法、合格指标及复验应符合 NB/T 47016 的规定。同时锅筒、集箱类部件纵缝还应当按 8.2.3.1 的规定进行全焊缝拉力试验。
- 3) 产品技术条件要求或检验需要时，应进行金相检验。金相检验的合格标准为：没有裂纹、疏松、过烧和超标的异常组织；

9 热处理

9.1 概述

本章适用于水管锅炉中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。此外还适用于材料冷、热成形加工后恢复材料性能等而进行的热处理。热处理炉应当配有自动记录热处理温度-时间曲线的记录仪，测温装置应能准确反映工件的实际温度。

9.2 成形后热处理

在热或冷成形后，根据材料技术要求，不热处理或进行下列热处理之一：

- 消除应力热处理
- 正火
- 正火+回火

注：如果可行的话，回火可能是焊接应力消除工艺的一部分。

- 淬火+回火
- 固溶退火

也可采用其它符合合格工艺的热处理，在成形后还应对产品进行测试以证明完工的材料符合相应的材料标准。

9.2.1 当规定的最后热处理为正火时，如果部件在成形期间被均匀加热到正火温度，则不需要进一步的热处理。

9.2.2 当规定的最后热处理为正火+回火时，如果部件在成形期间被均匀加热到正火温度，就只要求进行另外的回火处理。

9.2.3 对淬火+回火钢，热成型后，应进行淬火+回火热处理。

9.2.4 对奥氏体钢，应按照自己确定的工艺进行热处理，但要保证它们的使用不损害材料的使用性能。

变形率计算：

单向拉伸（如筒体成形，见图9）：变形率（%）= $50\delta[1 - (R_f/R_o)] / R_f$

双向拉伸（如封头成形，见图9）：变形率（%）= $75\delta[1 - (R_f/R_o)] / R_f$

式中：

δ ——板材厚度，mm；

R_f ——成形后中面半径，mm；

R_o ——成形前中面半径（对于平板为 ∞ ），mm。

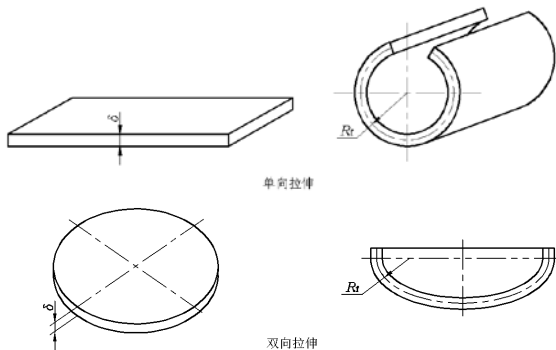


图9 单向拉伸和双向拉伸成形

当单向拉伸成形后，筒节所用板的变形率小于10%时，弯曲后应按上述要求进行热处理。

当双向拉伸成形后，封头所用板应按上述要求进行热处理。

9.2.5 对于附录B中的Fe-5B-2类材料，热成形后应进行正火+回火处理。

9.2.6 对于奥氏体材料弯后热处理要求应符合制造厂经验证的工艺，并确保满足材料的使用性能。

9.3 焊后热处理

焊后需要热处理时，焊后热处理应在所有焊接完成后进行。

9.3.1 焊后热处理方法

见表13所规定的温度并按规定的时间进行保温。（推荐升温速度为： ≤ 220 （ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）-- $T \leq 25\text{mm}$ ， $\leq 5500/T$ （ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）-- $25\text{mm} < T \leq 100\text{mm}$ ， ≤ 55 （ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）-- $T > 100\text{mm}$ ，T：材料最大厚度）

9.3.2.4 保温结束后缓慢冷却至 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ 后出炉，在静止空气中空冷。（推荐冷却速度为： ≤ 275 （ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）-- $T \leq 25\text{mm}$ ， $\leq 7000/T$ （ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）-- $25\text{mm} < T \leq 100\text{mm}$ ， ≤ 55 （ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）-- $T > 100\text{mm}$ ）

9.3.2.5 局部热处理时的加热宽度和绝热层宽度

9.3.2.6 热电偶数量、位置及与焊件接触方法

9.3.2.7 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。加热火焰不得直接喷射在工件表面。

9.3.2.8 工件热处理加热与冷却过程中，温度 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 时，工件各处温度差在5000mm距离内应不超过 120°C ，且任何温度梯度应是平缓的；温度 $> 500^{\circ}\text{C}$ 时，温度差应不超过 100°C 。

9.3.2.9 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，必要时应进行表面无损检测。

9.3.3 产品焊接试件的热处理

需要热处理时，产品焊接试件应当与所代表的产品同炉热处理。

9.3.4 热处理条件

9.3.4.1 除表5注和9.5条规定的以外，焊接受压元件均应在不低于表5所规定的温度进行焊后热处理。

9.3.4.2 当两种不同材料的受压元件用焊接方法连接时，除了8.3.4.3条指出的以外，应按表5和有关的注中对需较高焊后热处理温度材料的规定进行焊后热处理，但不得超过接头两侧任一材料的下临界温度 A_{C1} 。如果受压元件由Fe-8与其他材料用焊接方法相连时，应按其他材料要求进行热处理。如果受压元件接头两边均为Fe-8奥氏体不锈钢时，则不规定应进行焊后热处理，也不禁止。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。

9.3.4.3 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- \times 的集箱时，当采用较低Fe- \times 的焊接材料焊接时，可按表5中较低的Fe- \times 材料的要求进行热处理。

表 5 受压元件和连接件焊后热处理要求

材料	最低保温温度 (°C)	在规定温度下的最小保温时间		
		焊缝的公称厚度		
		t≤50mm	50mm<t≤125mm	t>125mm
Fe-1	600	0.04t(h) 但不少于 0.25h	以 2h 为起点, 再按超过 50mm 的部分每 25mm 增加 0.25h	
Fe-3	600	0.04t(h) 但不少于 0.25h	以 2h 为起点, 再按超过 50mm 的部分每 25mm 增加 0.25h	
Fe-4-1	650	0.04t(h) 但不少于 0.25h	0.04t(h)	以 5h 为起点, 再按超过 125mm 的部分每 25mm 增加 0.25 h
Fe-4-2	680	0.04t(h) 但不少于 0.25h	0.04t(h)	以 5h 为起点, 再按超过 125mm 的部分每 25mm 增加 0.25h
Fe-5A	680	0.04t(h) 但不少于 0.25h	0.04t(h)	以 5h 为起点, 再按超过 125mm 的部分每 25mm 增加 0.25h
Fe-5B-2	730	0.04t(h) 但不少于 0.5h	0.04t(h)	以 5h 为起点, 再按超过 125mm 的部分每 25mm 增加 0.25h
Fe-5C	730	0.04t(h) 但不少于 0.5h	0.04t(h)	-
Fe-8	不作规定	不作规定		

材料要求的焊后热处理温度与保温时间与表 5 不同时, 应按材料的焊后热处理温度进行焊后热处理。

Fe-8 供货为固溶处理状态时, 焊后热处理不作规定。

表 13 中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。

为便于制造, 应由制造厂自己决定来进行中间热处理。这类中间热处理的持续时间应由制造厂决定。

Fe-1 注:

- a) 如果属于以下情况, Fe-1 材料的焊后热处理是非强制性的:
 - 1) 受压元件上的环向对接焊缝, 当接头处的公称厚度≤30mm。
 - 2) 用焊缝厚度≤13mm 的角焊缝或焊缝厚度≤13mm 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, 如果受压元件的厚度>30mm 时, 以不低于 100°C 的温度进行预热。
 - 3) 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。
 - 4) 在受压元件上进行未包括在以上 3) 内的的螺柱焊, 如果受压元件的厚度>30mm, 以不低于 100°C 的温度进行预热。
 - 5) 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≤6mm。
 - ② 当受压元件的厚度>30mm, 以不低于 100°C 的温度进行预热。
 - ③ 管材符合: 外径≤141mm; 不用于制造集箱、锅筒和筒体。
- b) 如果符合以下所有条件, 管接头与集箱或母管的焊后热处理是非强制性的。
 - 1) 管子的外径≤50mm。
 - 2) 集箱的外径≤219mm。
 - 3) 集箱的厚度≤13mm。

- 4) 以不低于 100℃ 的温度进行预热。
- c) 当不能按本表的规定热处理时，允许按表 14 的规定，以较低的温度和较长的保温时间进行焊后热处理。

Fe-3 注：

- a) 如果属于以下情况，Fe-3 -1、Fe-3-2 材料的焊后热处理是非强制性的（Fe-3-3 所有厚度材料的焊后热处理均为强制性的）：
- 1) 受压元件上的环向对接焊缝，当接头处的公称厚度 ≤ 16mm。
 - 2) 用焊缝厚度 ≤ 13mm 的角焊缝或焊缝厚度 ≤ 13mm 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 ≤ 0.25%，受压元件的厚度 > 16mm 时，以不低于 100℃ 的温度进行预热。
 - 3) 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。
 - 4) 在受压元件上进行未包括在以上 3) 内的的螺柱焊，如果受压元件的厚度 > 16mm，以不低于 100℃ 的温度进行预热。
 - 5) 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 ≤ 6mm。
 - ② 当受压元件厚度 > 16 mm 时，以不低于 100℃ 的温度进行预热。
 - ③ 管材符合：外径 ≤ 141mm；不用于制造集箱、锅筒和筒体。
- b) 当不能按本表的规定热处理时，允许按表 6 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 6 碳钢和低合金钢焊后热处理的另一要求

温度低于规定最低保温温度的降低值 (°C)	降低保温温度后，每 mm 厚度的保温时间 (h) 1)	注
28	0.08	
56	0.16	
83	0.4	2)
111	0.8	2)

注 1：表中每 mm 厚度最小保温时间，指公称厚度不大于 50mm。当厚度大于 50mm 时，超过的每 25mm 增加 15 分钟。

注 2：此种降低焊后热处理的规定仅适用于 Fe-1-1、Fe-1-2 材料。

Fe-4-1 注：

如果属于以下情况，材料的焊后热处理是非强制性的：

- a) 受压元件上的环向对接焊缝，厚度 ≤ 10mm。
- b) 用焊缝厚度 ≤ 10 mm 的角焊缝或焊缝厚度 ≤ 10 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，受压元件的厚度 > 10mm 但 ≤ 16mm 时，以不低于 120℃ 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 ≤ 6mm。
 - 2) 当受压元件厚度 > 10mm 时，以不低于 120℃ 的温度进行预热。
 - 3) 管材符合：外径 ≤ 141mm；不用于制造集箱、锅筒和筒体。

GB/T 16507.5—××××

Fe-4-2 注:

如果属于以下情况,材料的焊后热处理是非强制性的:

- a) 受压元件上的环向对接焊缝,厚度 $\leq 6\text{mm}$ 。
- b) 用焊缝厚度 $\leq 6\text{mm}$ 的角焊缝或焊缝厚度 $\leq 6\text{mm}$ 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,受压元件的厚度 $> 6\text{mm}$ 但 $\leq 10\text{mm}$ 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 $\leq 6\text{mm}$ 。
 - 2) 当受压元件厚度 $> 6\text{mm}$ 但 $\leq 10\text{mm}$ 时,以不低于 150°C 的温度进行预热。
 - 3) 管材符合:外径 $\leq 141\text{mm}$;不用于制造集箱、锅筒和筒体。

Fe-5A-1 注:

如果属于以下情况,材料的焊后热处理是非强制性的:

- a) 受压元件上的环向对接焊缝,厚度 $\leq 16\text{mm}$,以不低于 150°C 的温度进行预热。
- b) 用焊缝厚度 $\leq 13\text{mm}$ 的角焊缝或焊缝厚度 $\leq 13\text{mm}$ 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,受压元件的厚度 $> 6\text{mm}$ 但 $\leq 10\text{mm}$ 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 $\leq 6\text{mm}$ 。
 - 2) 当受压元件厚度 $> 6\text{mm}$ 但 $\leq 10\text{mm}$ 时,以不低于 150°C 的温度进行预热。
 - 3) 管材符合:外径 $\leq 141\text{mm}$;不用于制造集箱、锅筒和筒体。

Fe-5B-2 注:

- a) 如焊缝厚度 $\leq 13\text{mm}$ 时,最小保温温度为 720°C 。
- b) 异种金属焊缝(如 P-No.5B 第 2 组与含 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),如填充材料含 Cr 量 $< 3.0\%$,或填充金属是镍基或奥氏体材料,最小保温温度为 705°C 。
- c) 如果不知道所用填充金属的化学成分,则最高热处理保温温度为 775°C 。如果填充金属化学成分为已知,则可按以下数值增加保温温度:
 - 1) $1.0\% \leq \text{Ni} + \text{Mn} < 1.5\%$,热处理的最高保温温度为 790°C 。
 - 2) $\text{Ni} + \text{Mn} < 1.0\%$,热处理的最高保温温度为 800°C 。
- d) 如果零件的一部分被加热到高于以上所允许的热处理温度,应采取下述措施之一:
 - 1) 整个零件应重新正火+回火。
 - 2) 如果超过 775°C 或注 c) 1)中最高保温温度,但低于 800°C ,应去除焊缝金属并重新焊接。
 - 3) 零件被加热到超过 800°C 的部分极其两侧不小于 75mm 的过热区应切除,重新正火+回火或更换。

9.4 焊缝厚度

9.4.1 对接焊缝为焊缝厚度。

9.4.2 角焊缝为角焊缝厚度。

9.4.3 部分焊透焊缝和材料修补时的焊缝为焊接坡口深度和制备修补坡口的深度。

9.4.4 坡口焊缝和角焊缝的组合焊缝为所熔敷焊缝的组合厚度，即坡口深度加角焊缝厚度。

9.5 热处理后的焊接

已经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 10mm；
- c) 应按经评定合格的焊接工艺施焊；
- d) 应对角焊缝进行 100%表面无损检测。

附录 A
(资料性附录)
管子弯管工艺评定要求

A.1 总则

锅炉中各种弯管成形均应进行工艺试验(工艺评定),通过工艺试验来验证管子弯曲满足 6.4.2.5 条要求。

本节弯管成形工艺试验(工艺评定),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;
- 带顶镦推力转模弯管;
- 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 弯管工艺试验(工艺评定)验证内容及要求

管子弯管成形后的验证考核按 5.4.2.5 条要求。

A.2.1 管子弯头(外侧)减薄、弯头(内侧)增厚和弯头圆度

在管子的弯曲角内,按 30° 间隔进行测量。通常管壁厚度测量、圆度测量应通过切取剖面进行测定。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。检测管壁厚度、圆度应符合 6.4.2.5 条的要求。

A.2.2 弯头内弧面上的波纹

对弯头的内弧面做外观检查,如果发现波纹,其检测应符合 6.4.2.5.4 条的要求。

A.2.3 表面缺陷

检查弯头的内、外表面,其缺陷检测应符合 6.4.2.5.4 条的要求。对可疑的表面缺陷,必要时可进行表面的无损探伤确认。

A.2.4 弯头几何形状

弯头几何形状检测应符合 6.4.2.5 条的要求。

A.2.5 硬度试验

在弯管工序完成后，应测量弯头外弧面上的硬度。所测得的硬度值应不超过原材料硬度值 80HV10，否则，该弯管须进行弯后热处理满足原材料的性能要求。

A.2.6 力学性能试验

所有热成形弯头，或要求进行弯后热处理而非应力消除的弯头，应分段以进行各项力学性能试验（室温拉伸试验、冲击试验）。试验的试样在弯头内取，当不可能做到时，所要求的样品应从毗邻弯头开始的直管段中截取。试样的各项力学性能试验值应与有关的基材标准一致。

A.3 弯管工艺试验（工艺评定）验证方法

A.3.1 工艺试验（工艺评定）时，按管子的规格、材料、弯曲半径、弯曲方法进行类别测试。

A.3.2 工艺试验的弯头应至少被弯曲到 $\geq 90^\circ$ 。一般来说，对于公称外径不超过 80mm 的管子，弯头可被弯曲到 180° 来进行测量；而对于公称外径超过 80mm 的管子或成排弯曲的管子，弯头可被弯曲到 $\geq 90^\circ$ 。对于中频加热弯，弯头可被弯曲到 $\geq 30^\circ$ 。

A.3.3 管子弯管成形后按照 9.3 条要求进行热处理，然后进行弯管检测。

A.3.4 管屏的成排弯曲

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。成排弯应在一特定的成排弯曲机（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，见上述 A.2.1~A.2.6 条。

A.3.5 管子弯曲工艺试验的文件记录表，可参照本附录的附件。

A.4 试验的有效范围

A.4.1 根据给定的材料分类、管子外径、壁厚和弯曲半径，只要满足 A.4.2 条给出的管子弯曲成形比率（ T_{FR} ）的要求，该管子的弯曲工艺应是可接受的。

A.4.2 管子弯曲成形比率（ T_{FR} ）应根据 A.4.3 条中的弯曲试验参数 d_o 、 e 与 r_b 来确定。其有效范围应涵盖在给定的材料分类和弯曲工艺的任何其它参数组合，最大值为 T_{FR} 的 110%。

A.4.3 外径小（等）于 101mm 管子弯曲成形比率（ T_{FR} ）：

$$T_{FR} = \frac{d_o^2}{e \times r_b}$$

式中：

d_o = 管子外径，单位 mm；

e = 管子公称壁厚，单位 mm；

r_b = 在管子中心线上测量得到的弯曲半径，单位 mm。

如何使用 T_{FR} ，例如：

试验合格的弯头尺寸：

管子外径 d_o 51

管子公称厚度 e 5

弯曲半径 r_b 150

材料分类： P-No.1

弯曲工艺： 转模弯管（无芯轴）

GB/T 16507.5—××××

$$\text{则: } T_{FR} = \frac{d_0^2}{e \times r_b} = \frac{51^2}{5 \times 150} = 3.468 \quad \text{其有效范围: } 3.468 \times 110\% = 3.815$$

同一材料组号内采用相同弯曲工艺的其它管子弯头可根据表 A.1 给出的试验弯头的有效范围进行比较以确定合格性。

不同弯头的有效性范围

d_o	e	r_b	T_{FR}	在有效性范围内
44.5	4	133	3.772	是, 合格
44.5	5	133	2.978	是, 合格
51	4	150	4.335	否——需要重新鉴定
51	6	200	2.168	是, 合格
63.5	5	190	4.244	否——需要重新鉴定
63.5	8	150	3.360	是, 合格
70	6	210	3.889	否——需要重新鉴定
70	8	250	2.450	是, 合格
76.1	7	228	3.628	是, 合格
76.1	8	190	3.810	是, 合格

A.4.4 外径大于 101mm 管子弯曲成形试验有效范围如下:

外径 d_o 覆盖的直径范围为: $0.5 d_o \sim 1.8 d_o$;

壁厚覆盖的厚度范围为 $0.7e \sim 1.5e$ 。

A.5 弯管工艺试验(工艺评定)验证结论

记录弯曲工艺试验得出的结论、判断。编制成文件, 作为今后所有其它管子弯曲的基础。通过弯管工艺试验(工艺评定), 确认该锅炉制造厂所选择的管子弯曲方法是适合的。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。

附件：（供参考）

弯管工艺评定报告

评定编号：_____

评定负责人：_____

评定审核人：_____

弯管工艺评定报告
TUBE BENDING TEST REPORT

弯管工艺参数 Bending Parameters	
弯管设备 Bending machine	
弯曲角度 Bend angle	
管子规格 Tube size	
材料 Material	
弯曲半径 Bending radius	
弯曲率 Bend ratio	
制造标准 Manufacture criterion	
T_{FR} $T_{FR}=d_0^2/(e \times r_b)$	

弯管工艺评定报告
TUBE BENDING TEST REPORT

壁厚测量值 Wall thicknesses		不圆度测量值 Out of roundness			
<p>外侧最小允许壁厚“a”: Lowest allowed wall thickness “a”</p> <p>内侧最小允许壁厚“b”: Min. allowed wall thickness “b” 图示中是否规定角度小于 90° 即可</p>		<p>允许值(%) ≤ Allowed(%)</p>			
断面位置 Section line	0°	30°	60°	90°	
外侧 a Outer radius a					
内侧 b Inner radius b					
a1 测量值 a1 Measured					
a2 测量值 a2 Measured					
圆度 u(%) Roundness(%)					

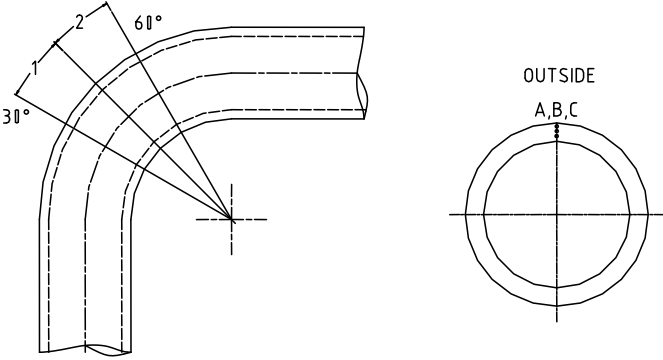
GB/T 16507.5—××××

检查人员:

记录人:

日期:

弯管工艺评定报告
TUBE BENDING TEST REPORT

硬度测量值 (HV) Hardness Measuring		允许值: ≤ _____ HV Allowed		
				
区域 Section	A	B	C	
1 (30°)				
2 (60°)				

GB/T 16507.5—××××

--	--	--	--

检查人员：

记录人：

日期：

弯管工艺评定报告
TUBE BENDING TEST REPORT

弯后 VT 检查；

弯后 MT 检查；

弯头外观	
弯管图形 Tube Bending Geometry	

GB/T 16507.5—××××

30°	60°
-----	-----

检查人员：

记录人：

日期：

附 录 B
(规范性附录)
锅炉焊接工艺评定材料分类分组

为了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。本附录表 B 为用于锅炉承压元件但 NB/T 47014 表 1 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 B 只是按 NB/T 47014 相应表格式进行编排，组稿时将本号内容全删除）

表 B 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 5310
Fe-5B	Fe-5B-2	10Cr9MoW2VNbBN 10Cr11MoW2VNbCu1BN 11Cr9Mo1W1VNbBN	GB 5310 GB 5310 GB 5310
Fe-5C		07Cr2MoW2VNb	GB 5310
Fe-8	Fe-8-1	07Cr19Ni10 10Cr18Ni9NbCu3N 07Cr19Ni11Ti 07Cr18Ni11Nb 08Cr18Ni11NbFG	GB 5310 GB 5310 GB 5310 GB 5310 GB 5319
Fe-8	Fe-8-2	07Cr25Ni21NbN	GB 5310

附录 C
(规范性附录)

锅炉膜式管屏焊接工艺评定附加要求 (该部分参照了 JB/T 5255, 增加了厚度适用范围)

C.1 气体保护焊、焊条电弧焊钢管与扁钢焊接熔深要求按图 C.1。

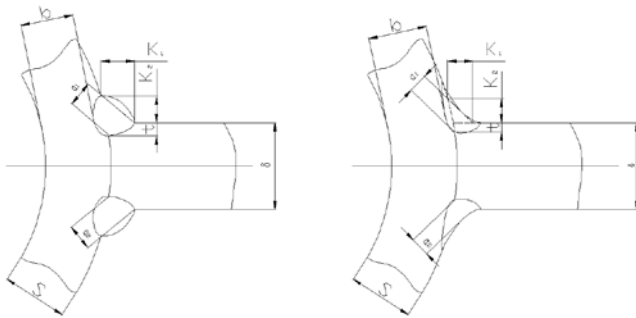


图 C.1 气体保护焊、焊条电弧焊钢管与扁钢焊接熔深要求

合格标准: $K_1、K_2 \geq 4.0$; $a_1 + a_2 \geq 1.25\delta$; $t \geq 1.0$;

$S < 5$, $b \geq 0.4\delta$; $S \geq 5$, $b \geq 2.0$ 。

适用厚度范围:

—— $S < 5\text{mm}$ 最小 S 最大不限;

—— $S \geq 5\text{mm}$ 最小 5mm 最大不限。

C.2 埋弧焊钢管与扁钢的焊接熔深要求按图 C.2。

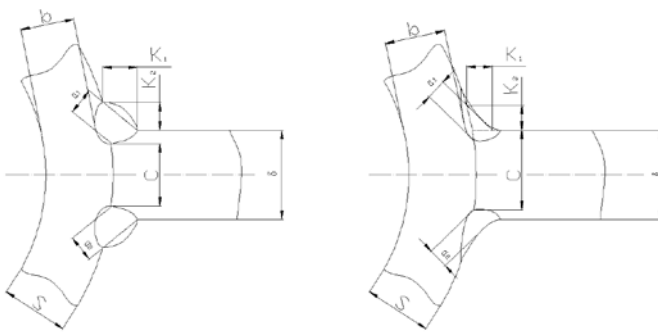


图 C.2 埋弧焊钢管与扁钢的焊接熔深要求

合格标准:

$\delta \leq 9$	$S < 5$	$K_1、K_2 \geq 2.5; b \geq 0.4S;$	$a_1 + a_2 > 1.25\delta$ $C \leq 0.4\delta$
	$S \geq 5$	$K_1、K_2 \geq 3.0; b \geq 2.0;$	
$\delta > 9$		$K_1、K_2 \geq 3.0; b \geq 2.0;$	$a_1 + a_2 \geq \delta$ $C \leq 0.4\delta$

适用厚度范围:

—— $S < 5\text{mm}$ 最小 S 最大不限;—— $S \geq 5\text{mm}$ 最小 5mm 最大不限。—— $\delta \leq 6\text{mm}$ 最小不限 最大 6mm ;—— $\delta > 6\text{mm}$ 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)。

符号说明:

 S —— 钢管壁厚, mm; δ —— 扁钢厚度, mm; $a_1、a_2$ —— 焊缝熔深, mm; b —— 未熔管壁厚度, mm; c —— 钢管与扁钢允许的未焊透厚度, mm; $K_1、K_2$ —— 焊脚高度, mm。注: 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。