



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 16508.4—2013  
部分代替 GB/T 16507—1996

## 锅壳锅炉 第 4 部分：制造、检验与验收

Shell boilers—  
Part 4: Fabrication, inspection and acceptance

2013-12-31 发布

2014-07-01 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 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 制造 .....	2
5 检验和试验 .....	16
6 出厂资料及铭牌 .....	20
附录 A (规范性附录) 锅炉焊接管孔 .....	22

## 前 言

GB/T 16508《锅壳锅炉》分为以下 8 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计与强度计算；
- 第 4 部分：制造、检验与验收；
- 第 5 部分：安全附件和仪表；
- 第 6 部分：燃烧系统；
- 第 7 部分：安装；
- 第 8 部分：运行。

本部分为 GB/T 16508 的第 4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 16507—1996《固定式锅炉建造规程》中的制造、检验与验收等相关内容，与 GB/T 16507—1996 相比，主要技术变化如下：

- a) 增加了第 3 章“术语和定义”；
- b) 第 4 章：
  - 增加了新工艺、新技术和新方法使用的管理规定；
  - 增加了平管板、拱型管板拼接焊缝的规定；
  - 增加了波形炉胆尺寸偏差的规定；
  - 增加了管孔中心距尺寸偏差和管孔尺寸偏差的规定；
  - 增加了螺纹烟管成形要求的规定；
  - 修订了焊接工艺评定的有关内容；
  - 修订了焊前预热和后热的有关内容；
  - 增加了对热处理炉、热处理工艺和记录的要求；
  - 修订了受压元件需进行焊后热处理的范围及焊后热处理的要求；
  - 增加了油漆和包装的规定。
- c) 第 5 章：
  - 修订了产品焊接试件的制作条件、范围及要求；
  - 取消了产品焊接接头金相和断口检验的规定；
  - 修订了无损检测方法选择、无损检测时机的规定；
  - 修订了无损检测方法和比例；
  - 增加了衍射时差法超声检测方法(TOFD)，并规定了合格级别；
  - 增加零、部件免做水压试验的规定。
- d) 第 6 章：
  - 增加了出厂资料的规定；
  - 修改了产品铭牌所包括的内容，增加了设备代码等项目。
- e) 增加了附录 A 锅炉焊接管孔。

**GB/T 16508.4—2013**

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。

本部分起草单位:张家港市江南锅炉压力容器有限公司、青岛荏原环境设备有限公司、江苏太湖锅炉股份有限公司、无锡锡能锅炉有限公司、山东华源锅炉有限公司。

本部分主要起草人:张宏、高宏伟、孟向军、顾利平、朱永忠、符广田、强明刚。

# 锅壳锅炉

## 第 4 部分：制造、检验与验收

### 1 范围

GB/T 16508 的本部分规定了固定式锅壳锅炉的制造、检验及试验、出厂资料及铭牌的要求。本部分适用于 GB/T 16508.1 范围界定的锅壳锅炉。

### 2 规范性引用文件

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

- GB 146.1 标准轨距铁路机车车辆限界
- GB 191 包装储运图示标志
- GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
- GB/T 16507.5 水管锅炉 第 5 部分：制造
- GB/T 16508.1 锅壳锅炉 第 1 部分：总则
- GB/T 16508.2 锅壳锅炉 第 2 部分：材料
- GB/T 16508.3 锅壳锅炉 第 3 部分：设计与强度计算
- GB/T 19293 对接接头 X 射线实时成像检测法
- GB/T 25198 压力容器封头
- NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测
- JB/T 4730.1~4730.6 承压设备无损检测
- NB/T 47014(JB/T 4708) 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47015(JB/T 4709) 压力容器焊接工艺规程
- NB/T 47016(JB/T 4744) 承压设备产品焊接试件的力学性能检验
- TSG G0001 锅炉安全技术监察规程

### 3 术语和定义

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。

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

#### 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。

## 4 制造

### 4.1 基本要求

4.1.1 锅炉制造单位及作业人员的资格应符合 GB/T 16508.1 的规定。

4.1.2 锅炉制造用材料应符合设计文件及 GB/T 16508.2 的规定。

4.1.3 锅炉的制造、检验与验收应符合 TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》、设计文件和本部分的要求。

4.1.4 对于采用未列入本部分的锅炉制造检验的新工艺、新技术和新方法时,应按 TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》的有关规定执行。

### 4.2 标记及标记移植

4.2.1 受压元件和主要承受载荷的非受压元件(支吊耳、拉撑件)用材料标记应可追溯。在制造过程中,如原标记被裁掉或材料分成几块时,制造单位应规定标记的表达方式,并在材料分割前完成标记的移植。

4.2.2 受压元件焊缝、产品焊接试件焊缝、受压元件与主要承受载荷的非受压元件之间的角焊缝附近应打上焊工代号钢印,或者在含焊缝布置图的焊接记录中记录焊工代号。

4.2.3 无损检测标记应符合 NB/T 47013(JB/T 4730)的规定。

4.2.4 管子弯头内外侧圆弧区域不允许使用硬印标记。

### 4.3 材料切割

4.3.1 根据钢材特性和规格选择材料切割方法。采用的切割方法应保证加工精度。

4.3.2 热切割时,可根据钢材的类型和厚度对材料进行预热。

4.3.3 采用热切割方法分割材料后,应清除表面熔渣和影响制造质量的表面层。

### 4.4 冷热成形及组装

#### 4.4.1 冷热成形的一般要求

4.4.1.1 受压元件成形后的实际厚度应不小于设计要求的成品最小成形厚度外,还应满足以下规定:

- a) 管板扳边圆弧、下脚圈及波形炉胆波纹最薄处的厚度不小于设计厚度的 85%;
- b) 受压元件的扳边孔,当没有加强圈或不可能加强时,其直段边缘的厚度不小于该元件设计厚度的 70%。

4.4.1.2 采用经过正火、正火加回火或调质处理的钢材制造的受压元件,宜采用冷成形或温成形;采用温成形时,须避开钢材的回火脆性温度区。

#### 4.4.2 表面修磨

4.4.2.1 制造中应避免材料表面的机械损伤。

4.4.2.2 当符合以下规定时,受压元件表面应进行修磨,修磨斜度最大为 1:3。当超过规定时,应按评定合格的补焊工艺进行补焊及修磨,并按 JB/T 4730 进行表面无损检测,Ⅰ级合格:

- a) 热成形受压元件表面的凹陷深度大于 0.5 mm 但不大于材料厚度的 10%且不大于 3 mm;
- b) 冷成形受压元件表面的凹陷深度为 0.5 mm~1 mm;
- c) 受压元件表面的凸起高度超过 1 mm。

4.4.2.3 封头人孔内扳边、管板上炉胆孔扳边距扳边弯曲起点大于 5 mm 处的裂口可进行修磨或焊补,

修磨或焊补按 4.4.2.2 要求。

4.4.2.4 因钢板质量不符合要求和过烧造成的裂纹、裂口不应补焊。

#### 4.4.3 焊缝布置

4.4.3.1 锅筒(筒体壁厚不相等的除外)、锅壳和炉胆上相邻两筒节的纵向焊缝,以及封头、管板、炉胆顶或者下脚圈的拼接焊缝与相邻筒节的纵向焊缝,都不应彼此相连。其焊缝中心线间距离(外圆弧长)至少为较厚钢板厚度的 3 倍,并且不小于 100 mm。

4.4.3.2 锅炉受热面管子(异种钢接头除外)以及管道直段上,对接焊缝中心线间的距离  $L$  应满足以下要求:

- a) 外径小于 159 mm,  $L \geq 2$  倍外径;
- b) 外径大于或等于 159 mm,  $L \geq 300$  mm。

当锅炉结构难以满足本条要求时,对接焊缝的热影响区不应重合,并且  $L \geq 50$  mm。

4.4.3.3 锅炉受热面管子及管道对接焊缝位置应满足以下规定:

- a) 受热面管子及管道(盘管及成型管件除外)对接焊缝应当位于管子直段上;
- b) 受热面管子的对接焊缝中心线至锅筒(锅壳)及集箱外壁、管子弯曲起点、管子支吊架边缘的距离至少为 50 mm,对于额定工作压力大于或等于 3.8 MPa 的锅炉该距离至少为 70 mm,对于管道该距离应当不小于 100 mm。

4.4.3.4 受压元件主要焊缝及其邻近区域应当避免焊接附件。如果不能避免,则焊接附件的焊缝可以穿过主要焊缝,而不应当在主要焊缝及其邻近区域终止。

4.4.3.5 胀接管孔不应布置在锅壳筒体的纵向焊缝上,也尽量避免布置在环向焊缝上。

4.4.3.6 集中下降管的管孔不应当开在焊缝上,其他焊接管孔亦应当避免开在焊缝及其热影响区上。

4.4.3.7 对于名义内径大于 1 800 mm 的锅壳,每节筒体纵向拼接焊缝不应多于 3 条;名义内径不大于 1 800 mm 的锅壳及炉胆,每节筒体纵向拼接焊缝不应多于两条。每节筒体纵向焊缝间外圆弧长不应小于 300 mm。

4.4.3.8 筒体拼接时,锅壳、炉胆任一筒节长度不应小于 300 mm,集箱筒体任一筒节长度不应小于 500 mm。

4.4.3.9 名义内径大于 2 200 mm 的管板和封头的拼接焊缝不应多于两条,名义内径不大于 2 200 mm 的管板和封头的拼接焊缝不应多于 1 条。

4.4.3.10 封头的拼接焊缝离封头中心线的距离不应大于封头名义内径的 30%,并不应通过扳边人孔,也不应布置在人孔扳边圆弧上。

4.4.3.11 平管板的整条拼接焊缝不应布置在扳边圆弧上,且不应通过扳边孔。

4.4.3.12 拱型管板拼接焊缝与平直部分和凸形部分相交线的距离不应超过当量内径的 30%(中心线按边缘烟管管排中心线算起)。

4.4.3.13 下脚圈的拼接焊缝应径向布置,两焊缝中心线间的最短外圆弧长不应小于 300 mm。

#### 4.4.4 坡口加工

4.4.4.1 焊接接头的坡口形式、尺寸和装配间隙应符合设计文件的规定。

4.4.4.2 坡口表面不应有裂纹、分层、夹杂物等缺陷。

4.4.4.3 标准抗拉强度下限值  $R_m \geq 540$  MPa 的低合金钢材及 Cr-Mo 低合金钢材经热切割的坡口表面,加工完成后应按 JB/T 4730.4 进行磁粉检测, I 级合格。

4.4.4.4 施焊前,应清除坡口及两侧母材表面至少 20 mm 范围内(以离坡口边缘的距离计)的氧化皮、油污、熔渣及其他有害杂质。

## 4.4.5 封头、管板和下脚圈

4.4.5.1 封头的结构应符合 GB/T 16508.3 的规定,制造与验收应符合本部分及 GB/T 25198 的规定。

4.4.5.2 封头、管板和下脚圈拼接焊缝两边钢板的实际边缘偏差值不应大于名义板厚的 10%,且不超过 3 mm;当板厚大于 100 mm 时,不超过 6 mm。

4.4.5.3 同一截面上最大内径与最小内径之差,封头不应大于其名义内径的 1%,管板和下脚圈不应大于其名义内径的 0.5%。

4.4.5.4 管板平面度应符合表 1 的规定。

表 1 管板平面度

单位为毫米

名义内径 $d$	平面度
$\leq 1\ 000$	6
$> 1\ 000 \sim 1\ 500$	7
$> 1\ 500 \sim 1\ 800$	8
$> 1\ 800 \sim 2\ 200$	9
$> 2\ 200$	10

4.4.5.5 管板和下脚圈的高度偏差为  $\pm 5$  mm。

4.4.5.6 封头内表面的形状偏差,用带间隙的全尺寸的内样板检查(见图 1),其最大形状偏差外凸不应大于名义内径的 1.25%,内凹不应大于名义内径的 0.625%。检查时应使样板垂直于待测表面。

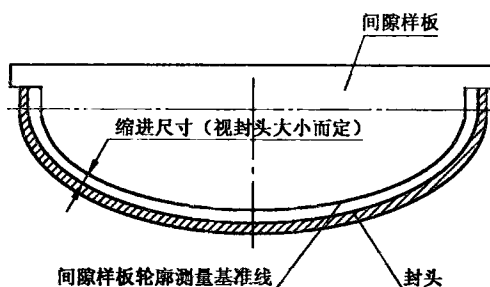


图 1 封头的形状偏差检查

4.4.5.7 管板、下脚圈的转角半径不应小于设计规定值。

4.4.5.8 封头、管板、下脚圈直边部分不应存在纵向褶皱。

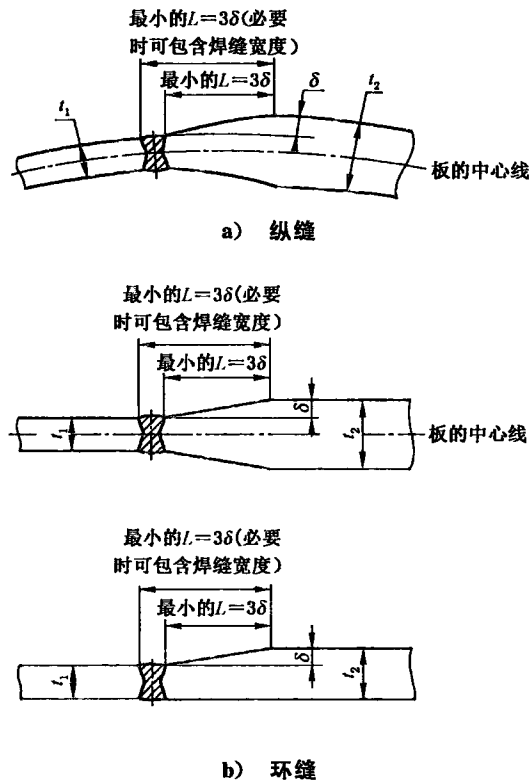
## 4.4.6 锅壳筒体、炉胆、集箱

4.4.6.1 锅壳筒体、炉胆对接接头边缘偏差应符合以下规定:

- 纵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 3 mm;当板厚大于 100 mm 时,不超过 6 mm;
- 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 1 mm,且不超过 6 mm;当板厚大于 100 mm,不超过 10 mm;



- c) 不同厚度的两元件或者钢板对接并且边缘已削薄的,按照钢板厚度相同对待,上述的名义板厚指薄板;不同厚度的钢板对接但不带削薄的,则上述的名义板厚指厚板;
- d) 锅壳筒体纵、环缝两边的钢板中心线应当对齐,环缝两侧的钢板不等厚时,也允许一侧的边缘对齐;
- e) 名义厚度不同的两元件或者钢板对接时,两侧中任何一侧的名义边缘厚度差值如果超过上述规定的边缘偏差值,则厚板的边缘应当削至与薄板边缘平齐,削出的斜面应当平滑,并且斜率不大于 1 : 3,必要时,焊缝的宽度可以计算在斜面内,参见图 2。



说明:

$\delta$  ——名义边缘偏差;

$t_1$  ——薄板厚度;

$t_2$  ——厚板厚度;

$L$  ——削薄的长度。

图 2 不同厚度钢板对接时的削薄要求

4.4.6.2 锅壳筒体纵向焊缝的棱角度不应大于 4 mm,炉胆纵向焊缝的棱角度不应大于 3 mm,宜用弦长为名义内径的 1/6,且不少于 300 mm 的样板测量。

4.4.6.3 同一截面上最大内径与最小内径之差,锅壳壳体不应大于其名义内径的 1%,炉胆圆筒形部分不应大于其名义内径的 0.5%。

4.4.6.4 除图样另有规定外,筒体每米长度内的直线度允差不应大于 1.5%,全长直线度不应大于 7 mm。

4.4.6.5 波形炉胆波距偏差为  $\pm 10$  mm,波纹深度偏差为  $\pm 5$  mm。

4.4.6.6 锅壳和集箱上的管孔应符合以下规定:

- a) 管孔中心距尺寸偏差见表 2;

表 2 管孔中心距尺寸偏差

单位为毫米

公称尺寸 $t$	偏差	公称尺寸 $t$	偏差
$\leq 260$	纵向 $\pm 1.5$ ,环向 $\pm 2.0$	$> 1\ 000 \sim 3\ 150$	$\pm 3.0$
$> 260 \sim 500$	$\pm 2.0$	$> 3\ 150 \sim 6\ 300$	$\pm 4.0$
$> 500 \sim 1\ 000$	$\pm 2.5$	$> 6\ 300$	$\pm 5.0$

注：公称尺寸  $t$  为任何两个管孔(或两个相邻管孔)之间沿锅壳筒体纵向或环向距离。

- b) 焊接管孔尺寸的偏差应符合设计文件及附录 A 的规定,胀接管孔的尺寸偏差应符合本部分 4.5.4 的要求;
- c) 人孔和人孔盖密封面的表面粗糙度参数值  $Ra$  应符合设计文件的要求,允许有轻微的环向刻痕,但不应有径向刻痕。

4.4.7 管子

- 4.4.7.1 弯管成形和管件的壁厚、缩颈应符合 GB/T 16507.5 的规定。
- 4.4.7.2 管子经滚压螺纹后,其表面不应有裂纹、皱褶等缺陷。
- 4.4.7.3 螺纹烟管形状偏差、尺寸偏差和表面粗糙度应符合设计文件的要求。

4.4.8 拉撑件

- 4.4.8.1 拉撑件不应采用拼接。
- 4.4.8.2 拉撑件的尺寸偏差应符合设计文件的要求。

4.4.9 受压元件组装

- 4.4.9.1 锅壳和集箱上的管接头(集中下降管除外)应符合以下要求:
  - a) 管接头的纵向倾斜度  $\Delta a_1$  和横向倾斜度  $\Delta a_2$ (图 3)均不大于 1.5 mm;

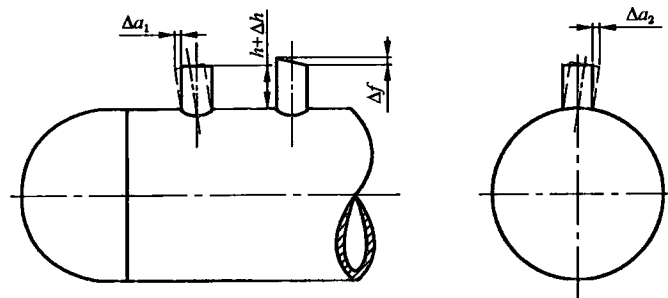


图 3 管接头形状公差

- b) 管接头的端面倾斜度  $\Delta f$ (图 3)不大于 1 mm;
- c) 单个管接头的高度偏差  $\Delta h$ (图 3)不超过  $\pm 3$  mm;
- d) 骑座式管接头中心线与管孔中心线间的偏移  $e$ (图 4)不大于 0.5 mm;

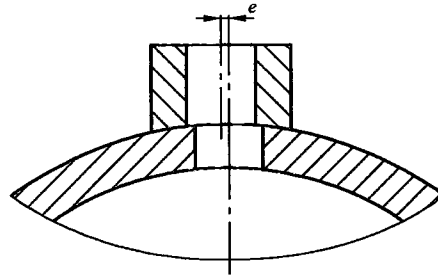


图 4 管接头中心线偏移

- e) 成排管接头中相邻两管接头管端节距  $P$  的偏差  $\Delta P$  (图 5) 不超过  $\pm 3$  mm, 任意两管接头管端节距偏差不得超过  $\pm 6$  mm;

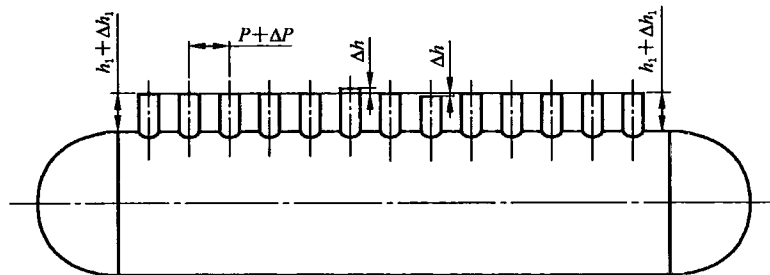


图 5 管接头节距偏差

- f) 成排等高管接头的高度偏差, 两端的两个管接头,  $\Delta h_1$  不超过  $\pm 1.5$  mm, 其余管接头的高度偏差以两端管接头的高度为基准线进行测量 (图 5),  $\Delta h$  不超过  $\pm 2$  mm。也允许单个进行检查, 单个检查时的高度偏差不得超过  $\pm 3$  mm。

4.4.9.2 集中下降管管接头应符合以下要求:

- 集中下降管管接头的纵向倾斜度  $\Delta a_1$  和横向倾斜度  $\Delta a_2$  均不大于 3 mm;
- 集中下降管管接头中心线与管孔中心线间的偏移  $e$  不大于 8 mm;
- 集中下降管管接头的端面倾斜度  $\Delta f$  不大于 2 mm;
- 集中下降管管接头的高度偏差  $\Delta h$  不超过  $\pm 4$  mm。

4.4.9.3 锅壳和集箱上的接管法兰应符合以下要求:

- 法兰的端面倾斜度  $\Delta f$  (图 6) 不大于 2 mm。法兰螺栓孔在螺栓圆上的偏移  $\Delta a$  应符合表 3 的要求。法兰高度  $H$  的偏差不得超过  $\pm 2$  mm;

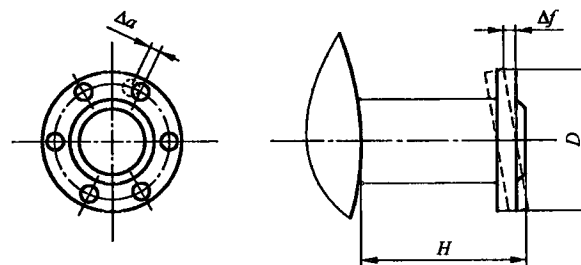


图 6 法兰倾斜度

表 3 法兰螺栓孔偏移

单位为毫米

法兰外径 $D$	法兰螺栓孔偏移 $\Delta a$
$\leq 100$	$\leq 1$
$> 100 \sim 200$	$\leq 2$
$> 200$	$\leq 3$

b) 水位表法兰位置偏差(图 7):  $\Delta a$  为  $\pm 3$  mm,  $\Delta b$  为  $\pm 2$  mm,  $\Delta c \leq 2$  mm,  $\Delta d \leq 1.5$  mm。

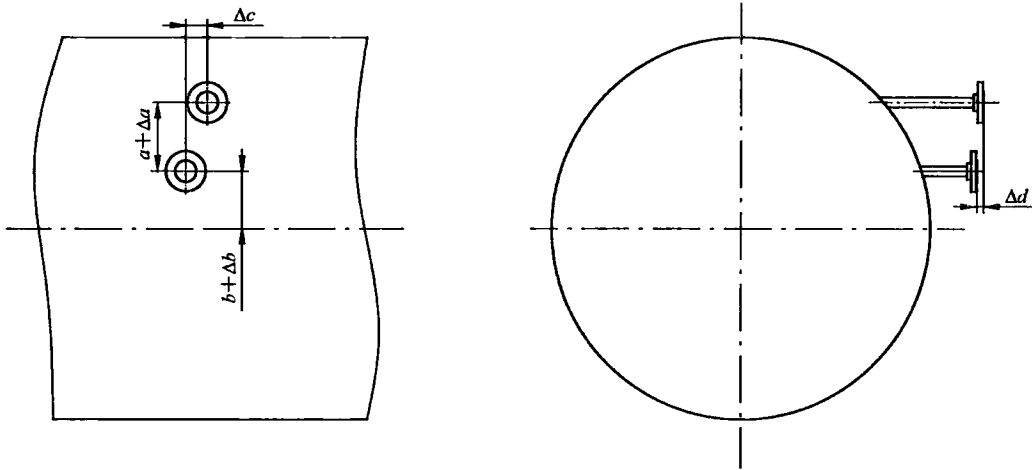


图 7 水位表法兰装配公差

4.4.9.4 烟管与管板装配时,胀接连接应符合 4.5 的要求;对于与  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上的烟气接触的管板,焊接连接的烟管和拉撑管应采取消除管板与管孔壁的间隙,且管子超出其与管板连接焊缝的长度应符合下列规定:

- 当烟温大于  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,不应大于  $1.5\text{ mm}$ ;
- 当烟温小于或等于  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,不应大于  $5\text{ mm}$ 。

## 4.5 胀接

### 4.5.1 一般要求

4.5.1.1 制造单位应当根据锅炉设计图样和试胀结果制定胀接工艺规程。胀接前应当进行试胀。在试胀中,确定合理的胀管率。需要在安装现场进行胀接的锅炉出厂时,锅炉制造单位应当提供适量同牌号的胀接试件。

4.5.1.2 在胀接过程中,应当随时检查胀口的胀接质量,及时发现和消除缺陷。

4.5.1.3 胀接施工单位应根据实际检查和测量结果,做好胀接记录,计算胀管率和核查胀接质量。

### 4.5.2 胀接技术要求

4.5.2.1 胀接技术要求和质量要求应符合 GB/T 16507.5 的规定。

4.5.2.2 直接与火焰(烟温  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上)接触的烟管管端应进行  $90^{\circ}$  扳边。扳边后的管端与管板应紧密接触,其最大间隙  $a$  应不大于  $0.4\text{ mm}$ ,且间隙大于  $0.05\text{ mm}$  的长度不应超过管子周长的  $20\%$ (图 8)。

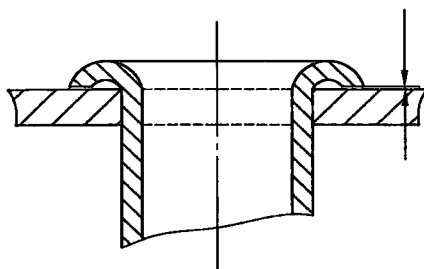


图 8 90°扳边

4.5.2.3 对于与 600 °C 以上的烟气接触的管板或设计有要求的,焊接连接的烟管和拉撑管应进行贴胀。

## 4.6 焊接

### 4.6.1 一般要求

4.6.1.1 焊工应按照评定合格的焊接工艺所编制的焊接工艺规程施焊,并做好施焊记录。

4.6.1.2 非本单位的焊接工艺评定不应用于本单位受压元件产品的焊接工作。

4.6.1.3 制造单位应建立焊工技术档案,并对施焊的实际工艺参数和焊缝质量以及焊工遵守工艺纪律情况进行检查与评价。

### 4.6.2 焊前准备及施焊环境

4.6.2.1 焊条、焊剂及其他焊接材料的贮存库应保持干燥,相对湿度不应大于 60%。

4.6.2.2 当施焊环境出现下列任一情况,且无有效防护措施时,不应施焊:

- a) 焊条电弧焊时风速大于 10 m/s;
- b) 气体保护焊时风速大于 2 m/s;
- c) 相对湿度大于 90%;
- d) 雨、雪环境;
- e) 焊件温度低于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.6.2.3 当焊件温度为  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,应在始焊处 100 mm 范围内预热到  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上。

### 4.6.3 焊接工艺评定

4.6.3.1 锅炉产品焊接前,以下焊接接头应进行焊接工艺评定:

- a) 受压元件之间的对接焊接接头;
- b) 受压元件之间或者受压元件与承受载荷的非受压元件之间连接的要求全焊透的 T 型接头或角接接头。

4.6.3.2 焊接工艺评定试件(试样)应符合以下要求:

- a) 焊接工艺评定试件(试样)应符合 NB/T 47014(JB/T 4708)的规定;
- b) 额定工作压力大于或等于 3.8 MPa 的锅炉锅筒及集箱类部件的纵向焊缝,当板厚大于 20 mm 但小于或等于 70 mm 时,应当从焊接工艺评定试件(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,应当取全焊缝金属拉伸试样 2 个。试验方法和取样位置按照 GB/T 2652 执行;
- c) 额定工作压力大于或等于 3.8 MPa 的锅炉锅筒、合金钢材料集箱类部件和管道,如果双面焊壁厚大于或等于 12 mm(单面焊壁厚大于或等于 16 mm)应当做焊缝熔敷金属及热影响区夏比 V 型缺口室温冲击试验;
- d) 焊接试件的材料为合金钢时,额定工作压力大于或等于 3.8 MPa 锅炉锅筒的对接焊缝,额定工

作压力大于或等于 3.8 MPa 锅炉锅筒、集箱类部件上管接头的角焊缝,在焊接工艺评定时应当进行金相检验;

- e) 水冷壁膜式管屏结构焊接工艺评定应符合 GB/T 16507.5 的规定。

4.6.3.3 焊接工艺评定试验结果评定应符合以下规定:

- a) 焊接工艺评定试件的检验结果应满足 NB/T 47014(JB/T 4708)的规定;
- b) 全焊缝金属拉伸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  $R_{p0.2}$ 。
- c) 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;仅因有超标的异常组织而不合格者,允许检查试件再热处理一次,然后取双倍试样复验(合格后仍须复验力学性能),全部试样复验合格后才为合格。

4.6.3.4 焊接工艺评定文件应符合以下规定:

- a) 施焊单位应当按产品焊接要求和焊接工艺评定标准编制用于评定的预焊接工艺规程(PWPS),经焊接工艺评定试验合格,形成焊接工艺评定报告(PQR),制定焊接工艺规程(WPS)后方可进行焊接生产;
- b) 焊接工艺规程至少应包括: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、焊层数(或焊道数)、焊接材料、热处理要求、施焊技术要求等内容;
- c) 焊接工艺评定完成后,焊接工艺评定报告和焊接工艺规程应当经过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。技术档案应保存至该工艺评定失效为止,焊接工艺评定试样应至少保存 5 年。批准后的焊接工艺评定的技术内容不应修改,只允许作编辑性修改补充。

#### 4.6.4 焊接工艺

4.6.4.1 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检测。

4.6.4.2 焊件纵缝两端的引弧板、引出板或产品焊接试件,严禁锤击拆除。

4.6.4.3 焊件装配时不应强力对正。焊件装配和定位焊的质量符合工艺文件的要求后,方能进行焊接。

4.6.4.4 多道焊接时,后道焊接前均应将前道焊缝的表面清理干净。

4.6.4.5 额定工作压力不大于 2.5 MPa 的卧式内燃锅炉以及贯流式锅炉,工作环境烟温小于或等于 600 °C 的受压元件 T 型接头焊缝背部能够封焊的部位均应封焊,不能够封焊的部位应采用氩弧焊打底,并保证焊透。

4.6.4.6 立式锅壳锅炉下脚圈与锅壳连接的焊缝应采用氩弧焊打底。

4.6.4.7 在锅壳、炉胆的纵向和环向对接焊中使用了衬垫时,焊接后应将它们除去。

4.6.4.8 锅壳、炉胆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。

4.6.4.9 集箱、管子和其他管件的对接焊缝不应使用永久性衬环。

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

#### 4.6.5 焊前预热和后热

4.6.5.1 焊前预热应符合以下规定:

- a) 焊前预热及预热温度根据母材交货状态、化学成分、力学性能、焊接性能、厚度及焊件的拘束程度等因素确定,预热温度一般通过焊接性能试验确定;
- b) 预热要求及推荐最低预热温度符合 NB/T 47015(JB/T 4709)的规定;
- c) 当焊接两种不同类别材料组成的焊接接头时,预热温度按要求高的材料选用。焊接中断重新施焊时,仍需按规定进行预热;

- d) 采用组合焊接工艺时,如果需要预热,对于每个工艺,分别确定预热要求;
- e) 需要预热的焊件接头温度在整个焊接过程中不低于预热温度。

#### 4.6.5.2 后热要求应符合以下规定:

- a) 对冷裂纹敏感性较大的低合金钢和拘束度较大的焊件应采取后热措施,后热措施应符合工艺文件的要求;
- b) 后热温度一般为 200 °C ~ 350 °C,保温时间与后热温度、焊缝金属厚度有关,一般不少于 30 min;
- c) 后热应在焊后立即进行,如焊后立即进行热处理可不进行后热。

#### 4.6.6 受压元件焊接接头外观检验

受压元件焊接接头(包括受压元件与主要承受载荷非受压元件之间的焊接接头)应当按下列要求进行外观检验:

- a) 焊缝外形尺寸应符合设计图样和工艺文件的规定;
- b) 对接接头的焊缝高度应不低于母材表面,焊缝与母材应平滑过渡,焊缝和热影响区表面无裂纹、未熔合、夹渣、弧坑和气孔;
- c) 锅壳、炉胆、集箱或管道的纵、环缝及封头、管板、下脚圈的拼接焊缝应无咬边,其余焊缝咬边深度不超过 0.5 mm。管子焊缝两侧咬边总长度不超过管子周长的 20%,且不超过 40 mm;
- d) 受压元件与承受载荷非受压元件之间连接焊缝与母材应圆滑过渡,焊缝应连续,焊缝及热影响区表面应无裂纹、未熔合、夹渣、弧坑和气孔等,咬边深度不大于 0.5 mm。

#### 4.6.7 焊接返修

4.6.7.1 当焊缝需要返修时,应找出缺陷原因,并按照 4.6.1 的要求制定返修工艺。

4.6.7.2 补焊前,缺陷应彻底清除,不应在与水接触的情况下进行返修。

4.6.7.3 补焊后,补焊区应进行外观和无损检测检查。要求焊后热处理的元件,补焊后应当做焊后热处理。

4.6.7.4 同一位置上的返修不宜超过两次,如果超过两次,应经单位技术负责人批准,返修的部位、次数、返修情况应存入锅炉产品技术档案。

#### 4.7 热处理

##### 4.7.1 基本要求

4.7.1.1 制造单位应当根据相应标准及图样要求在热处理前编制热处理工艺。对需要进行现场热处理的情况,应当提出具体现场热处理的工艺要求。

4.7.1.2 不应使用燃煤炉进行焊后热处理。

4.7.1.3 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。测温装置应当能够准确反映工件的实际温度。

4.7.1.4 焊后热处理过程中,应当详细记录热处理规范的各项参数。热处理后有关责任人员应当详细核对各项记录指标是否符合工艺要求。

##### 4.7.2 成形受压元件恢复性能热处理

4.7.2.1 碳素钢及低合金钢板采用冷成形时,变形率应不大于 5%。变形率计算按式(1)和式(2)(见图 9):

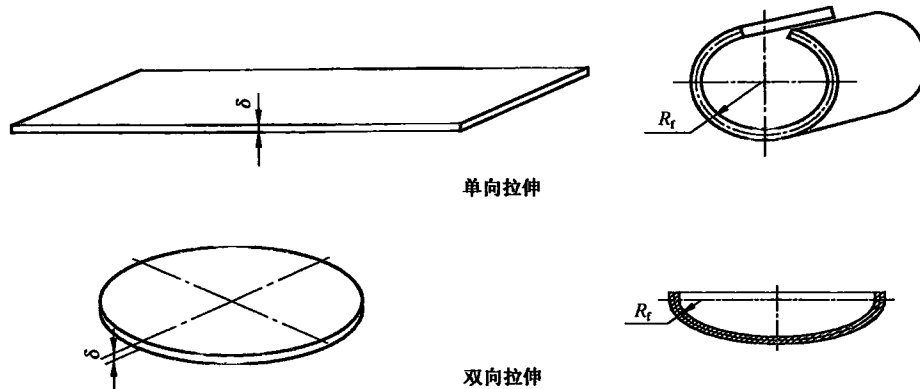


图9 单向拉伸和双向拉伸成形

单向拉伸(如筒体成形):

$$\epsilon = 50\delta[1 - (R_f/R_0)]/R_f \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

双向拉伸(如封头成形):

$$\epsilon = 75\delta[1 - (R_f/R_0)]/R_f \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$\epsilon$  ——变形率,单位为百分比(%);

$\delta$  ——板材厚度,单位为毫米(mm);

$R_f$  ——成形后中面半径,单位为毫米(mm);

$R_0$  ——成形前中面半径(对于平板为 $\infty$ ),单位为毫米(mm)。

当变形率超过以上规定时,且符合下列 a)~c)中任意条件之一者,冷成形后应进行消除应力热处理:

- a) 成形前厚度大于 16 mm 者;
- b) 成形后减薄量大于 10%者;
- c) 材料要求做冲击试验者。

4.7.2.2 钢管弯制的冷成形受压元件,如弯曲半径不大于 1.3 倍管子外径,对碳素钢和合金钢,应进行消除应力热处理;对奥氏体不锈钢,应进行固溶处理。

4.7.2.3 分步冷成形时,如果不进行中间热处理,则成形件的变形率为各分步成形变形率之和;如果进行中间热处理,则分别计算成形件在中间热处理前、后的变形率之和。

4.7.2.4 如果需消除温成形工件的变形残余应力,则应参照 4.7.2.1、4.7.2.2 对冷成形的条件和要求进行。

4.7.2.5 如果热成形或温成形破坏了材料供货热处理状态,应重新进行热处理,恢复材料供货热处理状态。

4.7.2.6 当对成形温度、恢复材料供货热处理状态的热处理有特殊要求时,应遵循相关标准、规范或设计文件的规定。

4.7.3 焊后热处理

4.7.3.1 受压元件按材料、焊后热处理厚度  $\delta_{PWHT}$  和设计要求确定是否进行焊后热处理。

4.7.3.2 受压元件应在所有焊接(包括非受压元件与其连接的焊接)工作全部结束且经过检验合格后,方可进行焊后热处理。



4.7.3.3 焊后热处理应在压力试验前进行。

4.7.3.4 焊后热处理厚度  $\delta_{\text{PWHT}}$  应按以下规定确定：

- a) 等厚度全焊透对接接头为母材厚度；
- b) 对于对接焊缝和角焊缝为焊缝厚度；对于组合焊缝为对接焊缝和角焊缝厚度中较大值；
- c) 不同厚度元件焊接时：
  - 两相邻对接受压元件为较薄元件母材厚度；
  - 在壳体上焊接管板、法兰等受压元件时，除图 10 所示  $\delta_t > \delta_0$  这一类情况外，取壳体厚度；
  - 接管、人孔等连接件与壳体、封头相焊时，为连接件颈部焊缝厚度、壳体焊缝厚度、封头焊缝厚度，或补强板、连接件角焊缝厚度之中的较大值；
  - 接管与法兰相焊时，取接头处接管颈厚度；
  - 管子与管板焊接时，取焊缝厚度；
  - 焊接返修时，取其所填充的焊缝金属厚度；
  - 非受压元件与受压元件焊接时，取焊缝厚度。

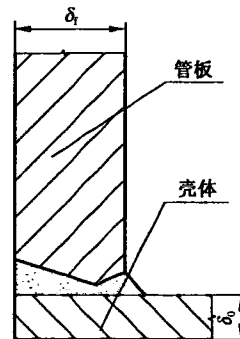


图 10 壳体厚度小于管板、法兰等受压元件时焊接示例

4.7.3.5 锅炉及其受压元件符合以下条件之一者，应进行焊后热处理，焊后热处理应包括受压元件间及其与非受压元件的连接焊缝。

- a) 焊后热处理厚度  $\delta_{\text{PWHT}}$  符合表 4 规定者；

表 4 需进行焊后热处理的焊后热处理厚度

单位为毫米

材 料	焊后热处理厚度
Q235B、Q235C、Q235D、Q245R、10、20、20G	>30 <sup>*</sup>
Q345R、16Mn、20MnG、25MnG、20MnMo、13MnNiMoR、	≥20
12CrMo、15CrMo、15CrMoR、12CrMoG、15CrMoG、15MoG、20MoG	>10
12Cr1MoV、12Cr1MoV R、12Cr1MoVG	>6
12Cr2Mo1R、12Cr2MoG、12Cr2Mo1	任意厚度

<sup>\*</sup> 内燃锅炉的筒体或管板，焊后热处理厚度大于 20 mm 的 T 型接头应进行焊后热处理。

- b) 如果由于结构设计原因，胀接管孔不能够避免开在环向焊缝上时，在管孔周围 60 mm (如果管孔直径大于 60 mm，则取孔径值) 范围内的焊缝经过射线或者超声检测合格，并且焊缝在管孔边缘上不存在夹渣缺陷，对开孔部位的焊缝内外表面进行磨平，且该受压部件应进行整体热处理；

- c) 如果由于结构设计原因,焊接管孔不能够避免开在焊缝及其热影响区上时,在管孔周围 60 mm (如果管孔直径大于 60 mm,则取孔径值)范围内的焊缝经过射线或者超声检测合格,并且焊缝在管孔边缘上不存在夹渣缺陷,管接头应进行焊后消除应力热处理;
- d) 4.7.3.9 的规定要求时;
- e) 当相关标准和图样另有规定时。

4.7.3.6 焊后热处理应符合以下要求:

- a) 异种钢焊接接头焊后需要进行消除应力热处理时,焊后热处理温度应按热处理要求高的钢号执行,其温度不应超过接头两侧任一侧材料的下临界点  $A_{c1}$ ;
- b) 有再热裂纹倾向的材料,焊后热处理时应防止产生再热裂纹。

4.7.3.7 焊后热处理方法应按以下规定:

- a) 焊后热处理应优先采用在炉内整体加热的方法进行;
- b) 当无法整体热处理时,允许采用分段热处理。如果采用分段热处理,则加热各段至少应有 1 500 mm 的重叠部分。炉外部分应采取保温措施,防止产生有害的温度梯度;
- c) 补焊和环缝局部热处理时,焊缝和焊缝两侧的加热宽度应当各不小于焊接接头两侧钢板厚度 (取较大值) 的 3 倍或者不小于 200 mm。局部热处理的加热带宽度应保证覆盖范围内均温带的温度规范符合规定,绝热带则应保证热能效率,防止产生有害的温度梯度;
- e) 当通过内加热方法对部件进行热处理时,应将部件完全包覆在绝热保温材料内。

4.7.3.8 产品焊接试件需要热处理时,试件应与所代表的产品同炉热处理。

4.7.3.9 热处理后的锅炉受压元件,应避免直接在其上面焊接元件。如不能避免,在同时满足以下条件时,焊后不再进行热处理,否则应进行焊后热处理:

- 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) 按照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。

## 4.8 油漆和包装

### 4.8.1 材料

4.8.1.1 油漆和涂料应具有产品合格证。超过有效储存期的油漆和涂料应重新进行鉴定,合格后方可使用。

4.8.1.2 包装和捆扎用的材料应符合包装设计的要求,当没有包装设计时,可因地制宜根据牢固稳妥的原则。

### 4.8.2 油漆涂层

4.8.2.1 锅壳的外表面应涂底漆和面漆各一层。如锅壳能做到封闭干燥时,其内表面可以不油漆;如不能做到封闭干燥时,其内表面应涂水溶性油漆。

4.8.2.2 锅炉出厂时,管板、炉胆暴露在外的部位应涂面漆一层。

4.8.2.3 集箱和减温器外表面应涂底漆(或面漆)一层。

4.8.2.4 管子的外表面应涂底漆(或面漆)一层。对已有保护层的管子,仅需对弯头或保护层脱落处补漆。

### 4.8.3 油漆和防锈处理

4.8.3.1 锅炉受压元件应按本部分第 4 章的要求检查合格后方可进行油漆或防锈处理。

- 4.8.3.2 锅壳、集箱或减温器的内部应清理干净。
- 4.8.3.3 在油漆或上涂料前,零件的表面应干燥,并应除去其上的油污、铁锈、易剥落的氧化皮、焊接飞溅或其他影响漆膜或涂层质量的杂物。用热卷或热压方法制造的锅壳或集箱,必须将氧化皮清除干净后才能进行油漆或防锈处理。
- 4.8.3.4 零件的外露加工表面应涂防锈漆或防锈油脂。对需要除锈但又不允许油漆的加工表面,可涂以黄油,对较高等级的精加工表面应涂防锈油脂或无酸性工业凡士林,也可采取其他适宜的防锈措施。
- 4.8.3.5 应避免在烈日、雨雪或浓雾下进行油漆或防锈施工。
- 4.8.3.6 经油漆的零部件表面,漆膜应均匀,不应有气泡、夹杂、龟裂、剥落、露底、严重皱皮或杂色等缺陷。否则,应修补合格。
- 4.8.3.7 漆两层或两层以上的油漆时,应在前层干燥后方可漆下层,对前层漆膜应适当清理并且要防止漏漆。
- 4.8.4 包装
- 4.8.4.1 产品的包装应符合包装设计和工艺文件的要求。
- 4.8.4.2 产品出厂时应附有发货明细表(或发货清单、包装清单,下同)。
- 4.8.4.3 产品应在油漆干燥并清点合格后方可按发货明细表进行包扎或装箱。对装箱的零部件,应逐箱另行编制相应的装箱清单,装箱时应按装箱清单进行复核并检查装箱质量,合格后,将装箱清单放入箱内才能封箱。制造单位应及时将发货明细表发出,以便用户能据以进行清点和验收。
- 4.8.4.4 包扎或装箱的零部件应附有标志或标签,标志或标签上应注明生产令号(或工程号、出厂编号、下同)、零部件编号(或图号,下同)、名称和数量等内容。对装箱的零部件、大件或不包装单独出厂的零部件,也可将上述内容用油漆或其他牢固的方法标在明显部位而不必另附标志或标签。
- 4.8.4.5 凡易损伤或散失的零件均应装箱,不易损坏的零部件可捆扎或夹扎,但应牢固可靠以防在装卸、运输和保存期间松散。
- 4.8.4.6 零部件装箱时应排列紧密、稳妥牢固,以防止在运输和装卸时在箱内滑动或撞击。对安装时用的紧固件,装箱时应串扎一起或分别包好,并注明所属零部件的图号和数量。
- 4.8.4.7 精密或易碎的零部件应装箱并充填软性物,以防发生震动或撞击。不宜受潮的零件应当用牛皮纸包好或采用其他防潮措施后,装入用油毡纸垫箱壁的包装箱内。
- 4.8.4.8 锅壳、集箱和减温器在包装前应清除其内部水分、污垢和杂物。
- 4.8.4.9 锅壳筒体上胀接管孔应涂防锈油并用油毡纸和木板条复盖;锅筒、集箱或减温器上的管接头和焊接管孔以及不装箱的管子均应封闭。锅筒或集箱上的法兰密封面除涂上防锈油外,还应包上防潮的材料(如牛皮纸、塑料纸或油毡纸等),再用盖子封好。
- 4.8.4.10 包扎或装箱零部件上的所有活动部分应调整到最小轮廓尺寸并加以固定。
- 4.8.4.11 零部件装入箱内时位置应尽量对称,重心不宜超过箱高的 1/2。
- 4.8.4.12 包装后在横截面上的最大尺寸应符合 GB 146.1。
- 4.8.4.13 产品不论装箱还是捆扎均应便于起吊,重要的零部件应有起吊指示,对重量较大的零部件应专门设计起吊结构。
- 4.8.4.14 每个包装箱上应附有运输作业标志和发货标志,运输作业标志按 GB 191 的规定,发货标志按技术文件的规定。

## 5 检验和试验

### 5.1 外观检验

材料切割、零部件的冷热成形及组装、胀接、焊接的外观检验及尺寸偏差应符合第4章的要求。

### 5.2 通球试验

5.2.1 外径不大于60 mm的对接接头或弯管应进行通球试验,试验用压缩空气的压力约0.6 MPa。通球应采用钢球,通球直径 $d_b$ 对接接头按表5的规定,弯管按表6的规定。

5.2.2 弯制后进行焊接的管子,通球直径应选用表5和表6中的较小值。

表5 对接接头通球直径

单位为毫米

$d$	$\leq 25$	$>25\sim 40$	$>40\sim 55$	$>55$
$d_b$	$\geq 0.75d$	$\geq 0.8d$	$\geq 0.85d$	$\geq 0.9d$
注: $d$ 为管子的内径。				

表6 弯管通球直径

单位为毫米

$R/D$	$1.0\leq R/D<1.4$	$1.4\leq R/D<1.8$	$1.8\leq R/D<2.5$	$2.5\leq R/D<3.5$	$\geq 3.5$
$d_b$	$\geq 0.7d$	$\geq 0.75d$	$\geq 0.8d$	$\geq 0.85d$	$\geq 0.9d$
注: $R$ 为管子弯曲半径, $D$ 和 $d$ 分别为管子的外径和内径。					

### 5.3 化学成分分析

所有合金钢受压元件、主要承受载荷的非受压元件(支吊耳、拉撑件)及其连接焊缝应逐件进行化学成分光谱验证检验。

### 5.4 力学性能检验

#### 5.4.1 产品焊接试件的基本要求

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,可以免做产品焊接试件。但属于下列情况之一的,应当制作纵缝焊接试件:

- 制造单位按照首次评定的焊接工艺评定结果制造的前5台锅炉;
- 用合金钢制作的以及工艺要求进行热处理的锅筒或集箱类部件;
- 设计图样要求制作焊接试件的锅炉。

#### 5.4.2 产品焊接试件制作

5.4.2.1 每个锅筒(锅壳)、集箱类部件纵缝应当制作一块产品焊接试件,纵缝焊接试件应当作为产品纵缝的延长部分焊接。

5.4.2.2 产品焊接试件应当由焊接该产品的焊工焊接,试件材料、焊接材料、工艺条件等应当与所代表的产品相同,试件焊成后应当打上焊工和检验员代号钢印。

5.4.2.3 需要热处理时,试件应当与所代表的产品同炉热处理。

5.4.2.4 产品焊接试件的数量、尺寸应当满足检验和复验所需要试样的制备。

### 5.4.3 试样制取和性能检验

5.4.3.1 试件经过外观和无损检测检查后,在合格部位制取试样;

5.4.3.2 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、合格指标及复验应当符合 NB/T 47016(JB/T 4744)的规定,同时锅筒和集箱类部件纵缝还应当按照 4.6.3 的有关规定进行全焊缝拉伸检验。

## 5.5 无损检测

### 5.5.1 一般要求

制造单位应当根据设计、工艺及其相关技术文件要求制定无损检测工艺,经试验验证评定合格后方可用于相应产品的无损检测。

### 5.5.2 无损检测方法

5.5.2.1 厚度小于 2 mm 的对接接头应当采用射线检测方法。

5.5.2.2 厚度大于或等于 20 mm 的对接接头可以采用超声检测方法,超声检测仪宜采用数字式可记录仪器,如果采用模拟式超声检测仪,应当附加 20% 局部射线检测。当选用超声衍射时差法(TOFD)时,应当与脉冲回波法(PE)组合进行检测。

5.5.2.3 管子对接接头可以采用射线实时成像检测方法进行射线检测。

5.5.2.4 铁磁性材料制焊接接头表面应当优先采用磁粉检测。

### 5.5.3 无损检测时机

5.5.3.1 受压件的焊接接头,经形状尺寸和外观质量的检查合格后,才能进行无损检测。

5.5.3.2 有延迟裂纹倾向的材料应当在焊接完成 24 h 后进行无损检测。

5.5.3.3 有再热裂纹倾向材料的焊接接头,应在最终热处理后进行表面无损检测复验。

5.5.3.4 封头(管板)、波形炉胆、下脚圈的拼接接头的无损检测应在加工成型后进行,如果成型前进行无损检测,则应于成型后在小圆弧过渡区域再次进行无损检测。

5.5.3.5 锅壳(炉胆)筒节的无损检测应在最终校圆后进行。

### 5.5.4 无损检测比例和方法

5.5.4.1 蒸汽锅炉受压部件焊接接头的无损检测比例和方法应符合表 7 要求。

5.5.4.2 额定工作压力  $p < 3.8$  MPa 且额定出水温度  $t \geq 120$  °C 的热水锅炉,无损检测比例及方法应当符合表 7 中额定工作压力  $0.8$  MPa  $< p < 3.8$  MPa 的蒸汽锅炉要求。

5.5.4.3 额定工作压力  $p < 3.8$  MPa 且额定出水温度  $t \geq 120$  °C 的热水锅炉,管子或者管道与无直段弯头的焊接接头应进行 100% RT 或 UT。

5.5.4.4 额定工作压力  $p < 3.8$  MPa 且额定出水温度  $t < 120$  °C 的热水锅炉主要受压元件的主焊缝应进行 10% 的 RT 或 UT,集箱、管子、管道和其他管件的环向对接接头以及角接头可不进行无损检测。

5.5.4.5 如果因结构原因,管孔不能够避免开在焊缝上时,管孔周围 60 mm (如果管孔直径大于 60 mm,则取孔径值)范围内焊缝应按所在焊缝规定的无损检测方法和比例进行。

表 7 无损检测比例和方法

锅炉部件	检测方法的比例			
	$p \geq 3.8$	$0.8 < p < 3.8$	$p \leq 0.8 (V > 50)$	$p \leq 0.8 (30 \leq V \leq 50)$
锅壳的纵向和环向对接接头,封头(管板)、下脚圈的拼接接头以及集箱的纵向对接接头	100%RT 或 100%UT		每条焊缝至少 20%RT	10%RT
炉胆的纵向和环向对接接头(包括波形炉胆)、回燃室的对接接头及炉胆顶的拼接接头	—	20%RT		—
内燃锅壳锅炉,其管板与锅壳的T型接头,贯流式锅炉集箱筒体T型接头	—	100%RT		
内燃锅壳锅炉,其管板与炉胆、回燃室的T型接头	—	50%UT		
集中下降管角接接头	100%UT	—		
外径大于159 mm或壁厚大于或等于20 mm的集箱、管道和其他管件的环向对接接头	100%RT 或 100%UT		—	
外径小于或等于159 mm的集箱、管道、管子环向对接接头(受热面管子接触焊除外)	$p < 9.8$ , 50%RT 或者 50%UT(安装工地;接头数的25%)	10%RT	—	—
锅壳、集箱上管接头的角接接头	1) 外径大于108 mm,且全焊透结构的,100%UT; 2) 其他结构的角接接头,至少接头数的20%MT 或 PT	—		
管子或者管道与无直段弯头的对接接头	100%RT 或 UT			

注:  $p$  为锅炉额定工作压力,MPa; $V$  为设计正常水位水容积,L。

### 5.5.5 无损检测标准

5.5.5.1 无损检测方法和评级标准应符合 NB/T 47013.10、JB/T 4730 的要求。

5.5.5.2 管子对接接头 X 射线实时成像,应符合 GB/T 19293 的要求。

### 5.5.6 无损检测技术要求

5.5.6.1 受压件焊接接头的射线检测技术等级不低于 AB 级时,焊接接头质量等级不低于 II 级。

5.5.6.2 受压件焊接接头的超声检测技术等级不低于 B 级时,焊接接头质量等级不低于 I 级。

5.5.6.3 表面检测的焊接接头质量等级不低于 I 级。

### 5.5.7 局部无损检测

5.5.7.1 受压件局部无损检测部位由制造单位确定,但应包括纵缝与环缝的相交对接接头部位、管子或管道与无直段弯头的对接接头部位。

5.5.7.2 经局部无损检测的焊接接头,如果在检测部位任意一端发现缺陷有延伸可能时,应当在缺陷的延长方向进行补充检测。当发现超标缺陷时,应在该缺陷两端的延伸部位各进行不少于 200 mm 的补充检测,如仍不合格,则应对该条焊接接头进行全部检测。对不合格的接管对接接头,应对该焊工焊接的管子对接接头进行抽查数量双倍数目的补充检测,如仍不合格,应对该焊工当班全部接管焊接接头进行检测。

5.5.7.3 进行局部无损检测的锅炉受压元件,制造单位也应当对未检测部分的质量负责。

### 5.5.8 组合无损检测技术要求

如果采用多种无损检测方法进行检测时,则应按各自相应验收标准进行评定,均合格后,方可认为无损检测合格;当选用超声衍射时差法(TOFD)时,检测结论应以 TOFD 与 PE 方法的结果进行综合判定。

### 5.5.9 无损检测档案

制造单位应如实填写无损检测记录,正确签发无损检测报告,妥善保管无损检测工艺卡、原始记录、报告、检测部位图、射线底片、光盘或电子文档等资料(含缺陷返修记录),其保存期限不少于 7 年。

## 5.6 水压试验

### 5.6.1 一般要求

5.6.1.1 水压试验应在无损检测和热处理后进行。

5.6.1.2 水压试验场地应当有可靠的安全防护设施。

5.6.1.3 水压试验应在周围环境气温高于或等于 5 ℃ 时进行,低于 5 ℃ 时应有防冻措施。

5.6.1.4 水压试验所用的水应是洁净水,水温应保持高于周围露点的温度以防表面结露,但也不宜温度过高以防止引起汽化和过大的温差应力。

5.6.1.5 合金钢受压件水压试验时,试验温度应高于所用钢种的脆性转变温度。

5.6.1.6 奥氏体钢受压件水压试验时,应控制水中的氯离子的含量不超过 25 mg/L,如不能满足要求时,水压试验后应立即将水渍去除干净。

5.6.1.7 试验时如采用压力表测量试验压力,则应使用两只量程相同、并经检定合格且在有效期内的压力表,量程应为试验压力的 1.5 倍~3 倍,最好采用 2 倍。压力表的精度不应低于 1.6 级,表盘直径不应小于 100 mm。

### 5.6.2 水压试验前的准备

5.6.2.1 水压试验前受压件内外部应清理干净,无锈斑和涂漆;如内腔需采用镀层处理的,则允许在镀层工序完成后进行。充水时应将内部的空气排尽再封闭排气口。

5.6.2.2 水压试验前,各连接部位的紧固件应装配齐全,并紧固妥当;为进行水压试验而装配的临时受压元件,应采取适当的措施,保证其安全性。

5.6.2.3 试验所用的管路应无堵塞和渗漏,保持正常的工作状态。

### 5.6.3 水压试验压力及保压时间

5.6.3.1 水压试验压力和应力校核应符合 GB/T 16508.1 的规定。

5.6.3.2 水压试验保压时间应符合以下规定：

- a) 整体水压试验保压时间为 20 min；
- b) 零、部件单件进行试验时，保压时间锅壳至少为 20 min；
- c) 散件出厂锅炉的集箱类部件至少为 5 min；
- d) 对接焊接的受热面管子及其他受压管件至少为 10 s~20 s；
- e) 受热面组件至少为 5 min。

### 5.6.4 水压试验程序

进行水压试验时，水压应缓慢地升降。当水压上升到工作压力时，应暂停升压，确认无漏水或者异常现象后继续升压至规定的试验压力，按规定的保压时间进行保压，然后降到工作压力进行检查。检查期间内压力应保持不变，但不应采用连续加压以维持试验压力不变。水压试验完毕后，应将水放尽，并将内部吹干。

### 5.6.5 水压试验合格要求

5.6.5.1 水压试验过程中应无渗漏、无可见变形和异常声响。

5.6.5.2 水压试验报告应存入产品技术档案内。

### 5.6.6 零、部件免做水压试验的条件

敞口集箱、无成排受热面管接头以及内孔焊封底的成排管接头的集箱、管道、减温器、分配集箱等部件，其所有焊缝经过 100% 无损检测合格，以及对接焊接的受热面管及其他受压管件经过氩弧焊打底并且 100% 无损检测合格，能够确保焊接质量，在制造单位内可以不单独进行水压试验。

## 6 出厂资料及铭牌

### 6.1 出厂资料

6.1.1 产品出厂时，锅炉制造单位应当提供与安全有关的技术资料，包括以下内容：

- a) 锅炉图样(包括总图、安装图和主要受压部件图)；
- b) 受压元件的强度计算书或计算结果汇总表；
- c) 安全阀排放量的计算书或计算结果汇总表；
- d) 锅炉质量证明书，包括产品合格证、主要受压元件的金属材料证明、焊接质量证明和水压试验报告等；
- e) 锅炉安装说明书、使用说明书和能效说明书；
- f) 受压元件与设计文件不符的变更资料；
- g) 特种设备制造监督检验证书；
- h) 对于定型产品应提供定型产品能效测试报告。

6.1.2 对于额定工作压力 $\geq 3.8$  MPa 锅炉，除满足 6.1.1 有关要求外，还应当提供以下技术资料：

- a) 锅炉热力计算书或者热力计算结果汇总表；
- b) 过热器、再热器壁温计算书或者计算结果汇总表；
- c) 烟风阻力计算书或者计算结果汇总表；



d) 热膨胀系统图。

## 6.2 铭牌

6.2.1 锅炉产品应在明显的位置装设金属铭牌,铭牌的右上角应当留有打制造监督检验标志的位置,铭牌上至少载明以下项目:

- a) 制造单位名称;
- b) 锅炉型号;
- c) 设备代码;
- d) 产品编号;
- e) 额定蒸发量(t/h)或者额定热功率(MW);
- f) 额定工作压力(MPa);
- g) 额定蒸汽温度(°C)或者额定出口/进口水温(°C);
- h) 锅炉制造许可证级别和编号;
- i) 制造日期(年、月)。

6.2.2 散件出厂的锅炉,还应在锅壳、过热器集箱、水冷壁集箱、省煤器集箱以及减温器等主要受压部件的封头或端盖上标记该部件的名称(或者图号)、产品编号。

**附录 A**  
**(规范性附录)**  
**锅炉焊接管孔**

**A.1 管孔型式及加工方法**

A.1.1 受压元件上焊接管孔的型式应为插入式、凹座式或骑座式。

A.1.2 对管子外径不大于 108 mm 的插入式圆形径向孔应采用机械加工;对成排的非径向孔应采用机械加工,当采用热切割方法开孔时,应采用仿形热切割或其他更先进的热切割方法。

A.1.3 集箱上与下降管连接的管孔,如管端未开全焊透型坡口,应在集箱上开全焊透型坡口。但当下降管外径不大于 108 mm,且采用插入式连接时,集箱上与下降管连接的管孔可免开坡口。

**A.2 管孔尺寸**

A.2.1 用机械加工方法开设插入式圆形径向管孔时,管孔直径  $d_1$  按表 A.1;用机械加工方法开设凹座式管孔时,管孔直径  $d_1$  和  $d_2$  按表 A.1,凹座深度  $f$  按表 A.2。

表 A.1 管孔直径

单位为毫米

管子外径 $d_o$	凹座管孔直径 $d_1$	管孔直径 $d_2$
$\leq 45$	$d_o + 0.5$	$d_o - 2t$
$> 45 \sim 108$	$d_o + 1.0$	$d_o - 2t$
$> 108$	$d_o + 1.5$	$d_o - 2t$

注:  $t$  为管子名义厚度。

表 A.2 凹座深度

单位为毫米

管子外径 $d_o$	锅筒(锅壳)或集箱外径 $D_o$						
	159	219	273	325	377	426	$\geq 1000$
	凹座深度 $f$						
14	1.0	1.0	1.0				
16	1.0	1.0	1.0	1.0			
18	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
22	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
25	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
28	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
32	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
38	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
42	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0
45	3.5	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0

表 A.2 (续)

单位为毫米

管子外径 $d$ 。	锅筒(锅壳)或集箱外径 $D$ 。						
	159	219	273	325	377	426	$\geq 1000$
	凹座深度 $f$						
51	4.5	3.5	2.5	2.5	2.0	1.5	1.0
57	5.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.0
60	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.5	1.0
63.5	7.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	1.5
70	8.5	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.0
73	9.5	6.5	5.5	4.5	4.0	3.5	2.0
76	10.0	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	2.0
83		8.5	7.0	5.5	5.0	4.5	2.0
89		10.0	8.0	6.5	6.0	5.0	2.0
102			10.0	8.5	7.5	6.5	3.0
108			12.0	9.0	8.0	7.0	3.0
133				14.5	12.5	11.0	4.5
159						15.5	7.0

A.2.2 用热切割方法开设插入式圆形径向孔时,管孔直径不应大于管子外径加 2 mm。

A.2.3 骑座式的管孔,管孔直径应等于管子内径。

A.2.4 焊脚尺寸  $K$  的数值推荐采用表 A.3 中的数值,下降管连接焊缝的焊脚尺寸由设计人员按焊缝强度选用。

表 A.3 焊脚尺寸

单位为毫米

管子类型	管壁厚度 $t$	焊脚尺寸 $K$
除拉撑管以外的其他管子	$\leq 3$	4
	$> 3 \sim 4.5$	$t + 1.5$
	$> 4.5$	$t + 2$
拉撑管	—	$t + 3$

### A.3 制造公差

A.3.1 用机械类加工方法开孔时,管孔直径的偏差按 GB/T 1804 中 C 级(粗糙级),且宜采用正偏差。

A.3.2 用热切割方法开孔时,管孔直径的偏差范围为  $\pm 1$  mm。

A.3.3 各类管孔的表面质量应符合下列要求:

- 机械加工方法开孔时,管孔的表面粗糙度参数值  $R_a$  不应大于  $25 \mu\text{m}$ ;
- 用仿形热切割方法开孔时,管孔的表面粗糙度参数值  $R_a$  不应大于  $50 \mu\text{m}$ ;
- 用手工热切割方法开孔时,管孔的表面粗糙度参数值  $R_a$  不应大于  $100 \mu\text{m}$ 。

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
锅 壳 锅 炉

第 4 部分：制造、检验与验收

GB/T 16508.4—2013

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)  
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 48 千字  
2014 年 6 月第一版 2014 年 6 月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-49086 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 16508.4-2013