

锅炉压力容器培训考核教材

# 焊工

周 震 主 编



中国标准出版社

责任编辑：刘东旭 | 封面设计：李冬梅 | 责任校对：马 涛  
| 版式设计：张利华 | 责任印制：邓成友

ISBN 7-5066-3471-6



9 787506 634717 >

ISBN 7-5066-3471-6/TB · 1154

定价：20.00 元

# 锅炉压力容器培训考核教材

## 焊 工

周震 主编

中国标准出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

锅炉压力容器培训考核教材 焊工/周震主编. —北京:  
中国标准出版社, 2004  
ISBN 7-5066-3471-6

I. 锅… II. 周… III. ①锅炉-焊接-技术培训  
-教材②压力容器-焊接-技术培训-教材  
IV. TK226

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033627 号

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街 16 号  
邮政编码:100045

网址 [www.bzchs.com](http://www.bzchs.com)

电话:68523946 68517548

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 1/32 印张 9 字数 250 千字  
2004 年 8 月第一版 2006 年 4 月第四次印刷

\*

定价 20.00 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)68533533

## 编委会名单

主 编：周 震 孔令伟

副主编：武学忠 刘振营 李明镐

编 委：贾胜军 张忠新 杨跃存

# 前 言

为了贯彻国家质量监督检验检疫总局颁发的《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》，提高锅炉压力容器焊接工人的理论水平和实际操作技能，统一焊工考试考核工作标准，应广大读者要求，由辽宁省质量技术监督局锅炉压力容器安全监察处的周震高级工程师主持，邀请部分有较高理论水平和实践经验的工程技术人员，在总结焊工考试考核工作经验的基础上，依据国家有关法规和标准的新变化，以及应对我国加入 WTO 与国际接轨的新挑战，重新编写了《锅炉压力容器培训考核教材 焊工》。

本书重新编写时，注重学用结合，理论与实践的统一，以及在焊工学习和培训考核时的指导性和实用性。力求做到文字简练，条理清楚，内容通俗，知识面广，并有一定的深度。

本书采用最新国家法规标准的同时，删去了较深的理论叙述，充实了实用性较强的内容。各个章节也依据内在的联系，进行了调整，使本书在结构上更趋于紧凑合理。

本书既能满足具有初中文化程度以上初试者以及通过焊工考试的焊工学习工作使用，又可为焊工的培训考

核人员所采用,也可作为中等技术学校焊接专业教学或参考用书。

由于我们水平有限,加之编辑成书时间仓促,错误之处在所难免,诚望读者批评指正。

编 者

2004年6月

# 目 录

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>第一章 锅炉压力容器压力管道基础知识 .....</b> | <b>1</b>  |
| 第一节 锅炉压力容器的特殊性 .....            | 1         |
| 第二节 锅炉压力容器的分类 .....             | 3         |
| 第三节 锅炉压力容器的结构 .....             | 7         |
| 第四节 锅炉压力容器压力管道的制造质量 .....       | 10        |
| <b>第二章 锅炉压力容器压力管道用钢 .....</b>   | <b>12</b> |
| 第一节 钢的性能 .....                  | 12        |
| 第二节 钢的组织与化学成分 .....             | 18        |
| 第三节 铁碳合金相图 .....                | 23        |
| 第四节 钢的热处理 .....                 | 26        |
| 第五节 钢材基本知识 .....                | 28        |
| 第六节 锅炉压力容器压力管道用钢简介 .....        | 33        |
| <b>第三章 焊接材料 .....</b>           | <b>39</b> |
| 第一节 电弧焊焊条 .....                 | 39        |
| 第二节 埋弧焊用焊接材料 .....              | 48        |
| 第三节 钨极氩弧焊焊接材料 .....             | 55        |
| 第四节 气焊焊接材料 .....                | 58        |
| <b>第四章 焊接设备和工具 .....</b>        | <b>60</b> |
| 第一节 弧焊电源 .....                  | 60        |
| 第二节 焊条电弧焊设备和器具 .....            | 72        |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 第三节        | 埋弧自动焊设备 .....             | 77         |
| 第四节        | 手工钨极氩弧焊设备 .....           | 82         |
| 第五节        | 气焊设备 .....                | 87         |
| <b>第五章</b> | <b>焊接方法及熔焊原理 .....</b>    | <b>100</b> |
| 第一节        | 常用焊接方法的基本原理及特点 .....      | 100        |
| 第二节        | 焊接电弧 .....                | 104        |
| 第三节        | 气焊火焰 .....                | 108        |
| 第四节        | 焊接热循环 .....               | 113        |
| 第五节        | 熔焊原理 .....                | 115        |
| <b>第六章</b> | <b>焊接工艺和常用钢材的焊接 .....</b> | <b>121</b> |
| 第一节        | 坡口制备和焊前准备 .....           | 121        |
| 第二节        | 焊接工艺参数 .....              | 126        |
| 第三节        | 焊接操作技术 .....              | 141        |
| 第四节        | 预热、后热和焊后热处理 .....         | 149        |
| 第五节        | 低碳钢的焊接工艺特点及典型工艺 .....     | 153        |
| 第六节        | 低合金钢的焊接工艺特点及典型工艺 .....    | 154        |
| 第七节        | 低温钢的焊接工艺特点及典型工艺 .....     | 155        |
| 第八节        | 奥氏体不锈钢的焊接工艺特点 .....       | 156        |
| 第九节        | 异种钢的焊接工艺特点 .....          | 157        |
| 第十节        | 不锈钢复合板焊接工艺特点 .....        | 158        |
| 第十一节       | 焊接工艺评定 .....              | 160        |
| <b>第七章</b> | <b>焊接接头的组织和性能 .....</b>   | <b>162</b> |
| 第一节        | 焊接接头的组成及特点 .....          | 162        |
| 第二节        | 焊缝的组织和性能 .....            | 163        |
| 第三节        | 熔合区的组织和性能 .....           | 170        |
| 第四节        | 热影响区的组织和性能 .....          | 171        |

|             |                            |            |
|-------------|----------------------------|------------|
| 第五节         | 焊接接头性能的影响因素及控制方法 .....     | 175        |
| <b>第八章</b>  | <b>焊接应力与焊接变形 .....</b>     | <b>182</b> |
| 第一节         | 焊接应力与变形产生的原因 .....         | 182        |
| 第二节         | 焊接变形 .....                 | 185        |
| 第三节         | 焊接应力 .....                 | 193        |
| <b>第九章</b>  | <b>焊接缺陷 .....</b>          | <b>202</b> |
| 第一节         | 焊接缺陷分类 .....               | 202        |
| 第二节         | 焊接缺陷产生的原因和防止措施 .....       | 212        |
| 第三节         | 焊接缺陷的危害 .....              | 218        |
| 第四节         | 焊接缺陷的返修 .....              | 219        |
| <b>第十章</b>  | <b>焊接质量控制与焊接质量检验 .....</b> | <b>222</b> |
| 第一节         | 焊接质量控制 .....               | 222        |
| 第二节         | 常用的焊接检验方法 .....            | 226        |
| 第三节         | 常用无损检测方法 .....             | 230        |
| <b>第十一章</b> | <b>焊接接头形式与焊缝代号 .....</b>   | <b>232</b> |
| 第一节         | 焊接接头的形式与标注方法 .....         | 232        |
| 第二节         | 焊缝代号表示方法 .....             | 234        |
| <b>第十二章</b> | <b>有色金属的焊接 .....</b>       | <b>243</b> |
| 第一节         | 铝及铝合金的焊接 .....             | 243        |
| 第二节         | 铜及铜合金的焊接 .....             | 256        |
| 第三节         | 钛及钛合金的焊接 .....             | 263        |
| <b>第十三章</b> | <b>焊接安全生产 .....</b>        | <b>274</b> |

# 第一章 锅炉压力容器压力 管道基础知识

## 第一节 锅炉压力容器的特殊性

### 一、锅炉压力容器的定义

#### 1. 压力容器的定义

压力容器是容器的一种,从广义上讲,凡承受一定流体介质压力的密闭设备均可称为压力容器。

对应实行安全监察的压力容器,在国务院颁发《特种设备安全监察条例》和国家技术监督局颁发《锅炉压力容器安全技术监察规程》中做了具体规定,即:

(1) 最高工作压力( $p_w$ )大于或等于 0.1 MPa(不含液体静压力,下同);

(2) 内直径(非圆形截面指断面最大尺寸)大于等于 0.15 m,且容积( $V$ )大于等于 0.025 m<sup>3</sup>;

(3) 盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度高于等于标准沸点的液体。

#### 2. 锅炉的定义

锅炉也应属于压力容器,是一种直接利用燃料燃烧热或工业中的余热来产生蒸汽或热水的热力设备。生产蒸汽的叫蒸汽锅炉,生产热水的叫热水锅炉。由于锅炉直接接受火焰加热,因此,在结构设计、材料选用、运行维护等方面都有其特殊要求。所以,把锅炉从压力容器类中划出,单独进行安全监察。

## 二、锅炉的工作特点

### 1. 锅炉工作条件恶劣

(1) 压力: 锅炉承受一定压力, 同时还在高温条件下运行, 锅炉受热面内外接触烟、火、灰、水、汽等物质, 这些物质在一定条件下对锅炉各元件起着严重地腐蚀作用, 并承受不同的内、外压力而产生相应的应力;

(2) 温度: 由于工作温度的不同, 热胀冷缩程度不同而产生附加应力。随着负荷和燃烧及锅内水循环来冷却受热面的变化而产生应力, 这种应力也发生变化, 使部分受压元件产生疲劳破坏;

(3) 其他因素: 缺水、结水垢、水循环破坏, 传热发生障碍等, 都可能使高温区的受热面烧损、鼓包、开裂。另外, 飞灰造成磨损、渗漏引起的腐蚀等都将使锅炉设备损坏。综上所述, 锅炉的工作条件比较恶劣。

### 2. 具有爆炸的危险

锅炉是一种密闭承压受热的特殊容器, 在运行中因某种因素的变化而引发突然爆炸。引发爆炸的因素很多, 归纳起来主要有两种:

(1) 内部压力升高, 超过允许工作压力, 而安全附件失灵, 未能及时报警与泄压, 致使锅炉内部压力继续升高, 当压力超过某一受压元件所能承受的极限压力时, 锅炉就发生爆炸;

(2) 设备附件或材料因素, 在正常工作压力下, 由于受压元件本身有缺陷或使用后造成损坏, 或钢材疲劳失效, 而不能承受原来允许的工作压力时, 也能突然破裂爆炸。

锅炉爆炸其破坏性很大。由于锅炉爆炸时, 锅炉内压力急骤降低, 高温饱和水也因此快速汽化, 其体积成百倍的膨胀, 形成巨大的冲击波, 不但使锅炉本体或构件被炸毁, 而且会冲垮建筑物, 造成严重的破坏与人身伤亡。

### 3. 锅炉使用广泛

锅炉的使用十分广泛, 工农业和人民日常生活都离不开它。它是火力发电厂的“心脏”, 是石油、化工、纺织、轻工等行业中的关键性设备。锅炉一般是连续运行不同于其他设备, 可以随时停车检修。因此,

要求锅炉必须安全经济运行。

### 三、压力容器的工作特点

#### 1. 压力容器的工作条件恶劣

压力容器一般在承受较高的压力下工作,有时还处于高温或低温下工作,有的容器还盛有有毒、易燃、易爆或腐蚀性介质,这些介质对容器的安全运行和使用寿命影响很大。一旦容器在运行过程中损坏或泄漏,除了造成爆炸事故外,还可能发生由于内部介质向外扩散,引起化学爆炸、着火燃烧、有毒气体污染环境。如果发生事故或爆炸,将在瞬间猛烈地释放出巨大的能量,其摧毁力是惊人的,后果不堪设想。

#### 2. 具有爆炸危险

压力容器的结构看似简单,但受力情况较复杂,特别是设备开孔附近和结构不合理处,会引起各种不同的附加应力,有的甚至会引起应力集中。此外,由于压力容器工作条件恶劣,因此,在设计、选材、制造、检验及使用管理上一旦存在问题,在一定条件下就会引发爆炸事故。

#### 3. 应用广泛

压力容器的用途极为广泛,在工农业、军工及民用等许多部门,在科学研究的许多领域都起着重要作用,尤其在石油化学工业应用更为普遍。

## 第二节 锅炉压力容器的分类

### 一、锅炉的分类和锅炉参数

#### 1. 锅炉的分类

根据锅炉特点和作用,以及压力的高低和蒸发量的大小,可按以下几个方面进行分类:

(1) 按安装位置可分为固定式锅炉、移动式锅炉(如蒸汽机车、船舶和压路机上用的锅炉)。

(2) 按安装方式可分为快装(整装)式锅炉、组装式和散装式锅炉。

(3) 按出口介质可分为蒸汽锅炉、热水锅炉。

(4) 按用途可分为电站锅炉、工业锅炉、船舶锅炉和生活锅炉。

(5) 按工作压力( $p$ )可分为:

1) 小型和常压热水锅炉:

① 小型汽水两用锅炉(额定蒸发量不超过 0.5 t/h、额定蒸汽压力不超过 0.04 MPa 的锅炉);

② 小型热水锅炉(额定出水压力不超过 0.1 MPa 的热水锅炉, 自来水加压的热水锅炉);

③ 小型蒸汽锅炉(水容积不超过 50L 且额定蒸汽压力不超过 0.7 MPa 的蒸汽锅炉);

④ 小型铝制承压锅炉(本体选用铝质材料制造, 额定出口蒸汽压力不超过 0.04 MPa, 且额定蒸发量不超过 0.2 t/h 的锅炉)。

2) 低压锅炉(工作压力  $p \leq 2.45$  MPa);

3) 中压锅炉(工作压力  $2.55 \leq p < 5.88$  MPa);

4) 高压锅炉(工作压力  $5.88 \leq p < 100$  MPa);

5) 超高压锅炉(工作压力  $p > 100$  MPa)。

(6) 按蒸发量可分为小型锅炉(蒸发量小于 20 t/h), 中型锅炉(蒸发量为 20~75 t/h), 大型锅炉(蒸发量大于 75 t/h)。

(7) 按烟气在锅炉管的内部或外部流动可分为火管式锅炉和水管式锅炉。

(8) 按锅炉制造许可证级别划分为:

A 级允许制造的锅炉, 额定蒸汽压力  $p$  不限(表压, 下同);

B 级允许制造的锅炉  $p < 9.81$  MPa;

C 级允许制造的锅炉  $p \leq 2.45$  MPa;

D 级允许制造的锅炉  $p \leq 1.57$  MPa。

## 2. 锅炉参数

反映锅炉工作特性的常见的基本参数有锅炉蒸发量、工作压力、蒸汽温度、供热量和锅炉热效率等。

(1) 蒸发量

锅炉每小时所产生蒸汽的数量, 称为锅炉的蒸发量。蒸发量又称

为“出力”或“容量”，以符号“D”来表示，单位是 t/h。蒸发量有最大蒸发量、经济蒸发量与额定蒸发量。锅炉标牌上标出的蒸发量为额定蒸发量。

### (2) 工作压力

锅炉的设计工作压力，是按照国家颁布的有关强度计算标准，对各个受压元件分别进行计算，从中选出一个所能承受压力的最低值，作为这台锅炉的最高允许使用压力。锅炉设计工作压力又可称为“额定出口蒸汽压力”，对有过热器的锅炉，是指过热器出口处的蒸汽压力；对无过热器的锅炉，是指锅筒内的蒸汽压力或干汽室出口处的蒸汽压力。

### (3) 蒸汽温度

锅炉铭牌上标明的蒸汽温度，是以摄氏温度标出的，对于小型锅炉，是指该锅炉工作压力下的饱和蒸汽温度；对有过热器的锅炉，是指过热器后主汽阀出口处的过热蒸汽温度。

### (4) 供热量

热水锅炉每小时产出的热量，称为锅炉的供热量。符号用“Q”表示，单位为 MW。热水锅炉产生 0.7 MW ( $60 \times 10^4$  kW/h) 的热量，大体相当于蒸汽锅炉产生 1 t/h 蒸汽的热量。

### (5) 锅炉热效率

指燃料燃烧所放出的热量被锅炉有效利用的程度。即：锅炉产生的蒸汽所具有的热量与同时进入锅炉的燃料所拥有热量的百分比。例如，一台锅炉的热效率是 75%，其含意是指进入锅炉的燃料所拥有的热量有 75% 转化为蒸汽热量，所以锅炉热效率又称锅炉效率。

## 二、压力容器的分类和工艺参数

### 1. 压力容器的分类

(1) 按压力容器承受的压力( $p$ )分可分为低压、中压、高压、超高压容器：

- 1) 低压容器(代号 L)  $0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$ ;
- 2) 中压容器(代号 M)  $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10 \text{ MPa}$ ;
- 3) 高压容器(代号 H)  $10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$ ;

4) 超高压容器(代号 U)  $p \geq 100 \text{ MPa}$ 。

(2) 按容器的设计温度可分为低温、常温和高温三类;当设计温度低于等于  $-20^\circ\text{C}$  时为低温容器;设计温度高于  $450^\circ\text{C}$  时为高温容器;设计温度在  $-20^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$  之间为常温容器。

(3) 按承压方式可分为内压容器和外压容器。

(4) 按制造方法可分为焊接容器、铆接容器、铸造容器、锻造容器和组合式容器等。

(5) 按照容器的外形可分为球形、圆筒形(又称圆柱形)、矩形、锥形和组合形容器。

(6) 按生产工艺中的用途可分为反应容器、换热容器、分离容器、储存容器等。

(7) 按管理可分为:

1) 一类压力容器

① 非易燃、易爆、无毒介质的低压容器;

② 易燃、易爆、有毒介质的低压分离容器和换热容器。

2) 二类压力容器

① 中压容器;

② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和储存容器;

③ 毒性程度为极度和高度危害介质的低压容器;

④ 低压管壳式余热锅炉;

⑤ 低压搪玻璃压力容器。

3) 三类压力容器

① 毒性程度为极度和高度危害介质的中压容器和  $p \times V$  大于等于  $0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的低压容器;

② 易燃或毒性程度为中度危害介质且  $p \times V$  大于等于  $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的中压反应容器和  $p \times V$  大于等于  $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$  的中压储存容器;

③ 高压、中压管壳式余热锅炉;

④ 高压容器;

⑤ 材料的抗拉强度规定下限大于等于  $540 \text{ MPa}$  的压力容器;

⑥ 介质为液化气体、低温液体的铁路罐车和汽车罐车；

⑦ 容积大于  $5 \text{ m}^3$  的低温液体储藏容器和容积大于  $50 \text{ m}^3$  的球形储藏罐。

## 2. 压力容器主要工艺参数

压力容器的工艺参数是压力容器设计、制造、检验等方面的主要依据,为保证压力容器的使用安全,满足工艺生产的要求,必须根据容器工艺参数要求确定设计参数。各国的压力容器设计规范和安全生产法对工艺参数规定了严格的定义。并要求设计、制造、检验和运行管理部门共同遵守。

### (1) 设计压力

系指在相应设计温度下用以确定容器壳体(或换热器的壳体及其他受压元件)厚度的压力,其值不得小于最高工作压力。

### (2) 工作压力

系指在正常操作情况下,容器(或换热器的壳体、管程或外压容器的夹套)顶部位置上所测得的表压力,常用单位为 MPa(兆帕)、Pa(帕斯卡)。

### (3) 最高工作压力

系指在正常情况下,容器(或换热器的壳程、管程或外压容器的夹套顶部)可能出现的最高压力。

### (4) 设计温度

系指容器(或换热器)在正常操作情况,在相应设计压力下,设定的受压元件的金属温度,其值不得低于元件金属可能达到的最高金属温度。对于  $0^\circ\text{C}$  以下的金属温度,则设计温度不得高于元件金属可能达到的最低金属温度。容器的设计温度是指容器壳体的金属温度。

## 第三节 锅炉压力容器的结构

### 一、锅炉基本结构

锅炉是一种把燃料燃烧后释放的热能传递给容器内的水,使水达