

特种设备作业人员培训丛书

# 锅炉压力容器压力管道焊接

## 安全技术

武汉市锅炉压力容器检验研究所 编



GUOLU YALIRONGQI YALIGUANDAO  
HANJIE ANQUAN JISHU

湖北科学技术出版社



# 锅炉压力容器压力管道焊接 安全技术

GUOLU YALI RONGQI YALIGUANDAO HANJIE ANQUAN JISHU

武汉市锅炉压力容器检验研究所 编

ISBN 7-5352-3644-8



9 787535 236449

定价：29.00 元

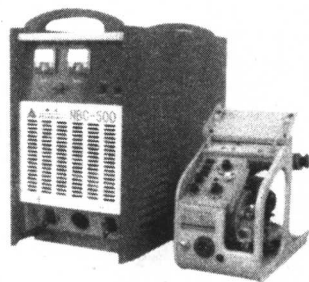
特种设备作业人员培训丛书

# 锅炉压力容器压力管道焊接 安全技术

GUOLUYALIRONGQIYALIGUANDAO HANJIE ANQUAN JISHU

武汉市锅炉压力容器检验研究所 编

湖北科学技术出版社



图书在版编目(CIP)数据

锅炉压力容器压力管道焊接安全技术/武汉市锅炉压力容器检验研究所主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2006.11

ISBN 7-5352-3644-8

I. 锅… II. 武… III. ①锅炉-焊接-安全技术②压力容器-焊接-安全技术③压力管道-焊接-资格考核-安全技术 IV. TK226

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 105104 号

锅炉压力容器压力管道焊接安全技术

© 武汉市锅炉压力容器检验研究所 主编

责任编辑:赵襄玲

封面设计:戴 旻

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:87679468

地 址:武汉市雄楚大街 268 号  
湖北出版文化城 B 座 12-13 层

邮编: 430070

印 刷:武汉农家女百事通杂志印刷厂

邮编: 430100

850 毫米 × 1168 毫米 32 开 14.875 印张

365 千字

2006 年 11 月第 1 版

2006 年 11 月第 1 次印刷

定价:29.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换



# 前 言

《特种设备安全监察条例》(以下简称《条例》)已于2003年3月11日以国务院第373号令颁布,自2003年6月1日起执行。《条例》的制订和颁布,是我国特种设备安全工作的一项重大成就,是特种设备安全监察法制建设的新的里程碑。《条例》的实施,将进一步推动特种设备安全监察工作的依法开展,确保安全生产,防止和减少事故,保障人民生命财产安全,促进经济健康发展,为构建和谐社会作出贡献。

根据《条例》规定,特种设备作业人员及其相关管理人员,应当按照国家有关规定,经特种设备安全监督管理部门考核合格,取得国家统一格式的特种设备作业人员证书,方能从事相应的操作或管理工作。

我所从多年培训的实践中体会到,为达到良好的培训教学质量,选用与专业的持续发展相适应的培训教材,是重要的因素之一。为此,我所专门成立了由蔡昌全(教授级高级工程师)任主任委员,黄君安、钱智清、王跃华(高级工程师)、孙仁凡(工程师)任副主任委员,并组织相关专业技术人员参加的特种设备作业人员培训教材编写委员会,编写了特种设备作业人员培训丛书,以指导作业人员实际操作和满足当前培训工作的需要。这套材料在吸收以往教材有益内容的基础上,着重注意以下两点,其一是尽量采用新技术、新工艺、新概念,以弥补以往教材的不足;其二是采用最新的国家安全技术法规。教材内容注重理论联系实际,在论述相关基础理论和专业技术时,突出安全技术和操

作技能，力求做到内容的知识性、专业性、系统性和实用性。由于教材内容把安全技术和专业技能融为一体，因此，既可作为专业人员上岗取证的培训教材，亦可作为其技能鉴定培训的学习资料，还可供安全监察管理人员参考。

《锅炉压力容器压力管道焊接安全技术》一书是特种设备作业人员培训丛书中的一种，由武汉市锅炉压力容器检验研究所编写。参加人员钱智清（高级工程师）编写第一章，梁上勤（高级工程师）编写第五、八、十二章、十三章，范骏（高级工程师）编写第三、四、十一章，凌俊（高级工程师）编写第六、七、十章，虞宏（高级工程师）编写第二、九章，詹必可（高级工程师）编写第十四、十五章，姚勇（工程师）编写第十六、十七章，梁上勤、钱智清主编，蔡昌全（教授级高级工程师）主审。

本书在编写过程中得到国家质量技术监督总局领导的重视和支持，武汉市质量技术监督局领导及锅炉压力容器安全监察处给予了具体指导，在此谨表示谢忱。

由于编者水平所限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评斧正。

武汉市锅炉压力容器检验研究所

2006年8月

# 目 录

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| <b>第一章 锅炉压力容器压力管道基本知识</b> ..... | (1)  |
| 第一节 锅炉压力容器压力管道概述 .....          | (1)  |
| 第二节 锅炉压力容器的结构 .....             | (4)  |
| 第三节 锅炉压力容器的分类 .....             | (17) |
| 第四节 压力管道的分类与构成 .....            | (20) |
| <b>第二章 金属材料的基础知识</b> .....      | (28) |
| 第一节 金属材料的分类及编号 .....            | (28) |
| 第二节 金属材料的性能 .....               | (34) |
| 第三节 金属学及热处理的一般知识 .....          | (40) |
| <b>第三章 焊接材料</b> .....           | (51) |
| 第一节 焊接材料概述 .....                | (51) |
| 第二节 焊条 .....                    | (52) |
| 第三节 焊丝、焊剂与保护气体 .....            | (60) |
| 第四节 焊接材料的选用原则和保管使用方法 .....      | (64) |
| <b>第四章 焊接冶金过程的基础知识</b> .....    | (68) |
| 第一节 焊条、焊丝的熔化及熔滴过程 .....         | (68) |
| 第二节 焊接化学冶金过程 .....              | (73) |
| 第三节 焊接结晶过程 .....                | (76) |
| 第四节 焊接裂纹 .....                  | (79) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第五章 手工电弧焊</b> .....      | (83)  |
| 第一节 手工电弧焊的原理及特点 .....       | (83)  |
| 第二节 手工电弧焊电源 .....           | (84)  |
| 第三节 手工电弧焊设备 .....           | (89)  |
| 第四节 手工电弧焊的工艺 .....          | (98)  |
| 第五节 手工电弧焊操作技术 .....         | (105) |
| <b>第六章 埋弧自动焊</b> .....      | (116) |
| 第一节 埋弧自动焊电源 .....           | (116) |
| 第二节 埋弧自动焊设备 .....           | (117) |
| 第三节 埋弧自动焊焊接方法的原理及工艺特点 ..... | (120) |
| 第四节 埋弧自动焊工艺规范 .....         | (123) |
| 第五节 埋弧自动焊操作技术 .....         | (128) |
| <b>第七章 钨极氩弧焊</b> .....      | (135) |
| 第一节 钨极氩弧焊电源 .....           | (135) |
| 第二节 钨极氩弧焊设备 .....           | (137) |
| 第三节 钨极氩弧焊焊接方法的原理及工艺特点 ..... | (138) |
| 第四节 钨极氩弧焊工艺规范 .....         | (140) |
| 第五节 钨极氩弧焊操作技术 .....         | (143) |
| <b>第八章 熔化极气体保护焊</b> .....   | (152) |
| 第一节 熔化极气体保护焊基本原理和特点 .....   | (152) |
| 第二节 熔化极气体保护焊保护气体 .....      | (154) |
| 第三节 熔化极气体保护焊工艺及设备 .....     | (156) |
| 第四节 熔化极气体保护焊操作技术 .....      | (175) |
| <b>第九章 堆焊</b> .....         | (184) |
| 第一节 堆焊材料 .....              | (184) |



|             |                   |       |       |
|-------------|-------------------|-------|-------|
| 第二节         | 堆焊方法              | ····· | (185) |
| 第三节         | 典型零件和材料的堆焊工艺      | ····· | (189) |
| <b>第十章</b>  | <b>电渣焊</b>        | ····· | (191) |
| 第一节         | 电渣焊概述             | ····· | (191) |
| 第二节         | 丝极、板极电渣焊工艺及设备     | ····· | (194) |
| 第三节         | 电渣焊接头缺陷及改善接头质量的途径 | ····· | (199) |
| <b>第十一章</b> | <b>其他焊接方法</b>     | ····· | (204) |
| 第一节         | 电弧螺柱焊             | ····· | (204) |
| 第二节         | 摩擦焊               | ····· | (208) |
| 第三节         | 气焊                | ····· | (214) |
| <b>第十二章</b> | <b>金属材料焊接知识</b>   | ····· | (223) |
| 第一节         | 金属材料焊接性的基本概念      | ····· | (223) |
| 第二节         | 低碳钢的焊接            | ····· | (225) |
| 第三节         | 低合金钢焊接            | ····· | (230) |
| 第四节         | 不锈钢的焊接            | ····· | (244) |
| 第五节         | 低温钢的焊接            | ····· | (255) |
| 第六节         | 不锈复合钢板的焊接         | ····· | (258) |
| 第七节         | 异种钢焊接             | ····· | (263) |
| 第八节         | 铝及铝合金的焊接          | ····· | (265) |
| 第九节         | 铜及铜合金的焊接          | ····· | (273) |
| 第十节         | 钛及钛合金的焊接          | ····· | (284) |
| <b>第十三章</b> | <b>焊接工艺评定及实施</b>  | ····· | (292) |
| 第一节         | 焊接工艺评定的目的         | ····· | (292) |
| 第二节         | 焊接工艺评定的过程         | ····· | (293) |
| 第三节         | 焊接工艺评定的规则         | ····· | (295) |



# 第一章 锅炉压力容器压力管道基本知识

## 第一节 锅炉压力容器压力管道概述

### 一、锅炉压力容器压力管道的定义

压力容器，是指所有承受流体介质压力的密闭容器，如各种气瓶、贮罐、反应釜、合成塔等。但是习惯上（人为的规定）它常常不包括盛装着有压力的液体和工作压力小于 0.1MPa 的气体的容器，这主要是从安全技术的角度来考虑的。

锅炉也是一种压力容器，它是利用燃料燃烧释放的热量或其他热源加热给水或其他介质，以获得规定参数（压力、温度）和品质的蒸汽、热水或其他介质的直接受辐射加热的热力设备。生产蒸汽的叫蒸汽锅炉，生产热水的叫热水锅炉。

压力管道是指所有承受流体介质压力的管道。按其用途划分为工业管道、公用管道和长输管道。

### 二、锅炉压力容器压力管道的用途

锅炉主要是用来为工业生产和人民生活提供动力和热能。例如火力发电厂，就是利用锅炉产生的蒸汽推动汽轮机转子旋转，将热能转变为机械能，汽轮机再带动发电机发电，使机械能转变为电能。在工业生产中，如炼油、纺织、印染、医药，化工、酿造等行业，都要利用蒸汽锅炉来获得热能或动力。化工、化肥等行业还有把蒸汽作为生产工艺过程中的原料气的。在日常生活

中，人们用蒸汽取暖、消毒、洗澡、加工食品等。由此可见，锅炉设备在国民经济中占有重要的地位。

压力容器亦是工业生产和日常生活中的常用设备，这是近代工业发展和生产过程中不可缺少的一种特种设备。它广泛地应用于石油化工、外层空间、海洋科学、能源系统等诸方面。尤其是在石油化学工业中，几乎每一个工艺过程都使用压力容器，而且往往是整个装置生产的核心，如氨、甲醇、尿素的合成塔、重油加氢脱硫塔、加氢裂化器、气体的深冷分离器等。它在科学研究的许多领域中起着极其重要的作用，在人民生活方面也得到了广泛的应用。例如城市煤气、液化气瓶、液化气贮罐及槽罐车等都是压力容器，在食品工业的制冷装置中蒸发器、冷凝器、液体冷冻剂贮罐等都是压力容器，还有医疗、卫生、地质勘探、文教体育等国民经济各领域也大量使用各种压力容器。由此可见，压力容器的应用范围是极为普遍的。

压力管道是工业生产和日常生活中必需的特种设备；在工业生产有蒸汽管道，燃气管道，工艺管道，在人民生活中有煤气，天然气管道和供热管道等。

### 三、锅炉压力容器压力管道的特点

锅炉压力容器都是在承受一定压力和温度的条件下运行，它们的工作条件比一般机械设备恶劣得多。同时它们都具有爆炸危险性。

锅炉是直接受火焰或其他热辐射将水变为蒸汽的热力设备。锅炉受热面内外广泛接触烟、火、灰、水、汽等物质，这些物质在一定的条件下将对锅炉元件起腐蚀作用；同时，由于各受压元件承受不同的内外压力和不同的工作温度，从而产生相应的应力和附加应力，随着负荷和燃烧的变化，应力也发生变化，这就容易使一部分承受集中应力的受压元件发生疲劳破坏。依靠锅炉内流动的水汽来冷却的受热面因缺水、结水垢或水循环破坏使传热

发生故障，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，渗漏引起腐蚀等都会使锅炉设备损坏。

压力容器在人们的印象中，结构并不复杂，尤其是中、低压容器。为什么这么重视它呢？这主要是石油化学工业生产特点决定的，即生产的大多是易燃、易爆、有毒介质，不允许泄漏，更不允许压力容器破裂。其次，压力容器的应力情况和所处的工作条件也是令人关注的。从技术的角度来分析，其主要原因有：

(1) 压力容器局部应力复杂，特别是在开孔附近、转角处以及其他结构不连续处。

(2) 压力容器使用条件比较苛刻，它不仅承受着大小不同的压力载荷，而且有些在酸、碱环境和高温或深冷的条件下运行。现代的压力容器，越来越多地采用中、高强度钢，又大都是焊接结构，在焊接制造中，容易产生微小缺陷，在使用中遇到合适的条件（如使用温度等）就会迅速扩展而突然发生破坏。

(3) 与其他设备比较起来，压力容器比较容易超载而且频繁的开、停工和压力波动。容易产生低周疲劳和超载迅速造成破坏事故。

锅炉、压力容器、压力管道之所以作为特种设备，除了因为它们比较容易发生事故以外，更主要的是事故的后果严重。锅炉、压力容器、压力管道发生爆炸事故，不但使整个设备遭到毁坏，而且还常常破坏周围的设备及建筑物，并造成人身伤亡，因为锅炉、压力容器、压力管道内的介质都是有压力的气体或饱和液体，发生爆炸时，内部的介质即卸压膨胀，瞬时释放出较大的能量，这些能量除了可以使整个设备或其碎块以很高的速度向四周飞散外，还会产生冲击波在大气中传播，从而造成更大的破坏。据计算，一个容积为 $10\text{m}^3$ 、压力为 $0.98\text{MPa}$  ( $10\text{kgf/cm}^2$ ) 的容器，如果盛装空气，爆炸时释放的能量相当于 $3.15\text{kg}$  TNT炸药的爆炸能量，它所产生的冲击波可以毁坏 $30\text{m}$ 以外的门窗玻璃。

## 第二节 锅炉压力容器的结构

### 一、锅炉结构

锅炉，顾名思义是由“锅”与“炉”两部分组成。所谓“锅”，就是锅炉设备中的汽水系统即受压部分。水进入锅炉后，在汽水系统中吸热变成饱和蒸汽，被引出应用；有的锅炉根据需要还把饱和蒸汽继续加热成过热蒸汽，再引出应用。所谓“炉”，就是锅炉设备中的风煤烟系统（包括燃料燃烧部分）。在这一系统中，燃料与空气中的氧气燃烧化合放热，产生高温火焰和烟气，烟气在炉膛和烟道中流动时，不断把热量传递给汽水系统，使本身温度逐渐降低，最后经烟囱排出。

#### （一）锅炉主要受压元件

锅炉结构形式很多，制造的难易程度也差别较大，但它们主要由以下几部分受压元件组成。

##### 1. 锅筒

它是用来汇集、贮存、分离汽水和补充给水的。在水管锅炉上，一般上面有一个锅筒，又称为汽包，下面有1~2个锅筒。锅筒两端由平板封头或凸形封头组成，锅筒上开有许多管孔，用来连接水冷壁管、对流管束、下降管以及安装其他管道阀门。上下锅筒的一端封头上还开有人孔。锅筒是锅炉设备中最重要的受压部件，因为它的直径大、汽水容积大、筒壁也厚，制造工艺复杂，也容易发生事故，而且事故造成的损失也最大，所以设计、制造和检验锅筒时应严格执行有关规程标准。

##### 2. 锅壳

它是锅壳式锅炉中“包围”汽水、风烟、煤燃烧系统的外壳，又称筒壳。常用20g、16Mng等锅炉钢板卷成圆筒形后再对接双面焊成。在锅壳上还开有进水孔、水位表孔、手孔等。

### 3. 封头

它在立式锅炉中称炉顶，卧式锅炉中称管板，起联接锅壳、炉胆和冲天管的作用。一般用与锅壳相同的材料压制而成，周围板边与联接件对接双面焊。

### 4. 炉胆

又称火筒，是燃料燃烧的地方，它有直筒型和锥型两种。炉胆多用整块钢板卷焊而成，由于承受外压，它与正圆型的偏差，在任何水平截面上都不许超过直径的1%。炉胆下部与锅壳的联接型式有U型和S型两种。

### 5. 炉胆顶

它的式样与封头相同，有平型和凸型两种。一般用整块钢板制成，周围板边与炉胆连接，中部与冲天管联接。

### 6. 联箱

又称集箱，按其用途分为水冷壁联箱、过热器联箱、省煤器联箱等。按其所处位置分为上联箱、下联箱或进口联箱、出口联箱。水冷壁上联箱是用来汇集汽水混合物，然后通过导管引入上锅筒。下联箱接受锅筒或下降管的供水并分配给水冷壁管，同时通过底部的排污口，定期将沉积泥渣排出。联箱由较大直径的锅炉钢管和两个端盖焊接而成。

### 7. 下降管

它是将锅筒内的水引到下联箱内的一段较粗的管子，由锅炉钢管制成。下降管一般布置在炉外，不受热。

### 8. 水管和烟管

管内流水或汽水混合物、管外受热的叫水管，管内走烟气管外被水冷的叫烟管。它们都是锅炉的主要传热面，用锅炉钢管制成。

### 9. 冲天管

它是立式横水管锅炉上安装在炉胆顶与封头之间的一段较粗的管子，管内走烟气。用锅炉钢板卷焊或无缝钢管制成，焊缝应



朝向人孔或检查孔，以便检修。

## 10. 过热器

它是把锅筒内出来的饱和蒸汽进行再加热，从而提高蒸汽温度，增加蒸汽含热量，使蒸汽在锅炉工作压力下，具有超过饱和蒸汽的温度和热量，以满足工艺的要求。过热器按传热方式分，有对流式、辐射式和半辐射式三种，按放置方式分立式和卧式两种。过热器的蛇型管都是用无缝钢管弯制而成。

## 11. 省煤器

它是利用锅炉排出烟气的余热来加热给水的一种热交换器。主要是回收锅炉排烟的部分余热，提高给水温度，减少排烟的热损失，从而提高锅炉热效率。省煤器按照给水被加热的程度，可分为非沸腾式和沸腾式两种，按照制造材料的不同可分为铸铁管式和钢管式。铸铁管式省煤器由许多带鳍片的铸铁管构成，各管之间用弯头连接。小型工业锅炉为了增加受热面积，多用铸铁管制造。钢管式省煤器由许多平行的蛇形管组成。

### (二) 几种锅炉结构型式

立式锅壳锅炉有立式大横水管、立式多横水管和立式弯水管等结构型式。这里仅对立式弯水管锅炉作简要介绍。

#### 1. 立式弯水管锅炉结构及特点

立式弯水管锅炉是 20 世纪 70 年代我国自行设计制造的一种小型锅炉，它由锅壳、封头、炉胆、炉胆顶、弯水管等 5 个主要部件组成，各部件均采用焊接结构型式，其连接结构见图 1-1。

这种锅炉的燃烧设备有固定炉排和机械燃烧两种。燃烧时烟气先冲刷炉胆和装置在炉胆上的弯水管，经喉管进入锅壳中部，分两路对装置在锅壳上的耳形弯水管作横向冲刷，然后汇集于前部的烟箱从烟囱排入大气。锅内的水由锅壳壁与炉胆壁之间的空间中部下降，分别沿着炉胆壁、弯水管和受热的锅壳壁上升，进行循环，吸热汽化。其特点有：

(1) 炉胆内装有弯水管，较好地利用了炉膛辐射热。由于该

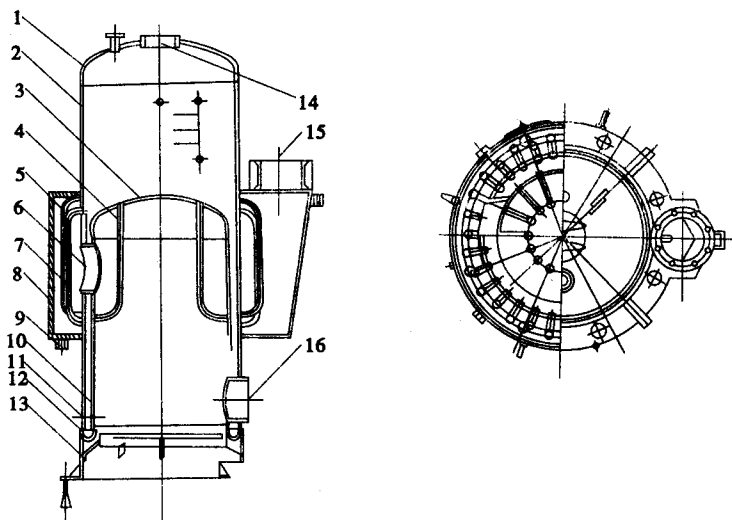


图 1-1 立式弯水管锅炉

1. 封头 2. 锅壳 3. 炉顶胆 4. 水管 5. 鳍片 6. 喉管 7. 耳形水管  
 8. 轻型折焰墙 9. 出灰孔 10. 炉胆 11. 手孔 12. U形下脚 13. 搁脚  
 14. 人孔 15. 烟囱座 16. 炉门

锅炉炉内布置的辐射传热面较多，属于全水冷型炉膛，因而只适用于烧优质煤。

(2) 凡属烟气冲刷的部位均有水的循环冷却，整个锅炉不仅没有干烧的缺点，而且整个结构弹性较好。

(3) 这种锅炉耗用的钢材较少，而传热面积较大。

(4) 水循环较好，升压快，产汽量较大，对适应负荷的变化较为有利。

(5) 这种锅炉除可以燃用煤外，尚适宜于燃用液体和气体燃料。

## 2. 卧式快装锅炉

快装锅炉是将锅炉的各种部件在制造厂全部组装好，整机运往使用单位的一种锅炉，使用最广泛的有 2 种：一种是卧式内燃回火管锅炉（通常称为卧式内燃快装锅炉），另一种是卧式外燃