

焊工培训指南

—锅炉压力容器的焊接—

抚顺市锅炉检验研究所 编



中国农业机械出版社

内 容 提 要

本书是为配合锅炉、压力容器制造厂焊工考试取证工作,为提高锅炉、压力容器的制造质量,适应各地培训焊工的需要而编写的。全书共十二章,介绍了锅炉、压力容器的基础知识、钢材的基本知识、焊接材料、设备、工艺、焊接接头性能、检验及焊接安全等基础理论知识,并结合有关规程、标准,着重讲述了锅炉、压力容器从原材料、加工、成品检验等一系列环节所涉及的具体技术标准要求等。为与焊工理论培训配套,特另出版《焊工单面焊双面成型操作技术》一书。

本书可用作培训焊工的教材,亦可供从事锅炉、压力容器质量管理、检验的工作人员学习之用,并可作为初级技术人员的学习参考材料。

焊 工 培 训 指 南

——锅炉压力容器的焊接——

抚顺市锅炉检验研究所 编

*

中国农业机械出版社出版 (北京东直门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

河北省承德县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行,新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $8 \frac{1}{8}$ · 字数 188 千字
1986年5月北京第一版 · 1986年5月北京第一次印刷
印数 00,001—18,700 · 定价 1.65 元

*

统一书号: 15216 · 249

前 言

锅炉及压力容器是广泛使用的具有爆炸危险的承压设备。锅炉、压力容器的制造质量（主要是焊接质量），对于设备的安全运行起着决定性的作用。

为提高锅炉、压力容器的制造质量，提高焊工的技术素质，适应各地培训焊工的需要，根据《锅炉压力容器焊工考试规则》关于理论考试的要求，我们结合有关规程、标准、技术条件等编写了这本《焊工培训指南》（锅炉压力容器的焊接）一书。该书可作为焊工培训的教材，亦可供初、中级技术人员、质量管理与检验人员学习参考之用。

本书由抚顺市锅炉检验研究所刘廷贵同志主编。其中第三章由抚顺市机械厂苏文彪同志编写，第四章由抚顺市容器厂孟昭坤同志编写，第十章由抚顺石油学院丁启敏同志与刘廷贵同志合写，第十一章由抚顺石油学院代国兴同志编写，其余各章由刘廷贵同志编写，全书由沈阳机电学院顾玉蕙和上海机电工程技术大学顾曾迪同志审稿。

在编写过程中，曾得到沈阳机电学院王永明、何世海同志，抚顺市金属结构厂张敦怡同志等的大力帮助，得到抚顺市劳动局、锅炉检验所有关领导的支持，并提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于水平有限，书中漏误之处请批评指正。

编者

一九八五年六月

目 录

前言

第一章 锅炉、压力容器基础知识	1
一、锅炉基础知识	1
二、压力容器基础知识	7
第二章 钢的基本知识	11
一、金属的结构、合金组织、铁碳合金状态图及热处理	11
二、钢的分类及编号	18
三、合金结构钢的分类及特性	25
四、钢的机械性能和焊接性	29
五、锅炉、压力容器常用钢材	38
第三章 焊接材料	43
一、手工电弧焊焊条	43
二、焊条的分类及牌号编制	51
三、埋弧焊焊接材料	55
四、钨极氩弧焊焊接材料	58
五、气焊焊接材料	60
六、锅炉、压力容器用焊接材料的要求	64
第四章 焊接设备	67
一、电弧焊电源	67
二、交流弧焊机	70
三、整流式弧焊机	73
四、直流弧焊发电机	76
五、手弧焊电源的使用及维护	79

六、埋弧自动焊机	82
七、手工钨极氩弧焊机	85
八、气焊与气割设备	88
第五章 焊接工艺	92
一、焊接电弧、焊接热循环及线能量	92
二、手工电弧焊	97
三、埋弧自动焊	106
四、手工钨极氩弧焊	113
五、气焊规范	117
第六章 焊接接头的性能	120
一、焊接接头的组成与焊接过程	120
二、焊缝的性能	121
三、热影响区的组织与性能	127
四、影响焊接接头性能的因素	133
第七章 焊接应力与变形	139
一、焊接应力与变形	139
二、焊接残余变形的分类	145
三、影响焊接变形的因素	151
四、防止和矫正焊接变形的的方法	153
五、焊接应力	158
第八章 焊接缺陷	166
一、缺陷的种类、产生原因和预防措施	166
二、缺陷的危害性和返修	179
第九章 焊接接头的型式和焊接代号	182
一、焊接接头的型式和坡口	182
二、手工电弧焊接接头的基本型式与尺寸	186
三、埋弧焊接接头的基本型式与尺寸	186
四、焊缝代号	186
第十章 锅炉、压力容器的制造	214

一、锅炉、压力容器的焊接方法	214
二、压力容器的制造	215
三、锅炉汽包及其管件的焊接	232
第十一章 焊接质量检验	234
一、焊接接头的质量检验方法及内容	235
二、表面探伤	240
三、射线探伤和超声波探伤	242
第十二章 焊接安全技术	250
一、焊接设备安全技术	250
二、劳动保护	254
附表	258
附表一 常用交流弧焊机主要技术数据	258
附表二 常用整流式弧焊机主要技术数据	260
附表三 常用直流弧焊机主要技术数据	261
附表四 常用埋弧自动焊机主要技术数据	263
附表五 射吸式焊炬主要技术数据	264
附表六 割炬主要技术数据	264
参考文献	265

第一章 锅炉、压力容器基础知识

一、锅炉基础知识

锅炉是一种生产热水或蒸汽的设备，它把燃料的化学能经过燃烧变为热能来加热水或使水转变成蒸汽（饱和或过热的），从而作为动力或热力使用。锅炉广泛应用于电力、交通、化工、石油、轻工、机械等部门，也用于取暖。

1. 锅炉结构

锅炉由两大部分组成，一是燃烧燃料的部分，通常称为炉；二是吸收燃烧热，将水变成热水或蒸汽的受压部分，统称为锅。根据结构锅炉可分为火管锅炉（或锅壳式锅炉）和水管锅炉两种。

火管锅炉的结构是属于“水包火”，高温火焰、烟气在管内流动放热，水在管外流动、吸热。火管锅炉的结构类型图如图1-1所示。

水管锅炉的结构是“火包水”，水和汽在锅筒和水管中作循环流动，吸收外部热量，火焰和烟气在管外空间冲刷并放热。水管锅炉的结构类型如图1-2所示。

锅炉本体的主要受压部件有锅筒、水冷壁、对流管束、烟火管等。

锅筒一般由12~40毫米厚的锅炉钢板制造，属于圆筒形压力容器。水冷壁一般用直径51~63.5毫米的锅炉钢管制成，是水管锅炉的主要受热面，直接受火焰加热。对流管束

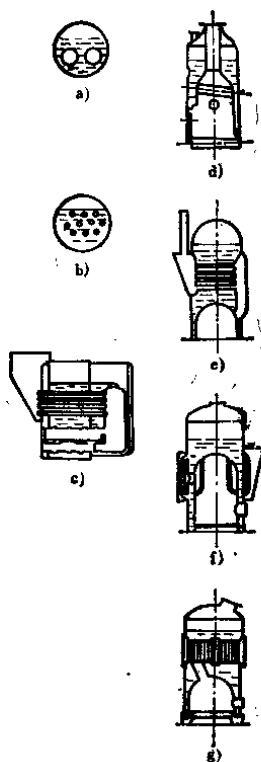


图1-1 火管锅炉结构类型图

- a) 双火管锅炉 b) 烟管锅炉 c) 烟火管锅炉 d) 立式蒸汽水管锅炉
 e) 立式蒸汽火管锅炉 f) 立式蒸汽水管锅炉 g) 立式直水管锅炉

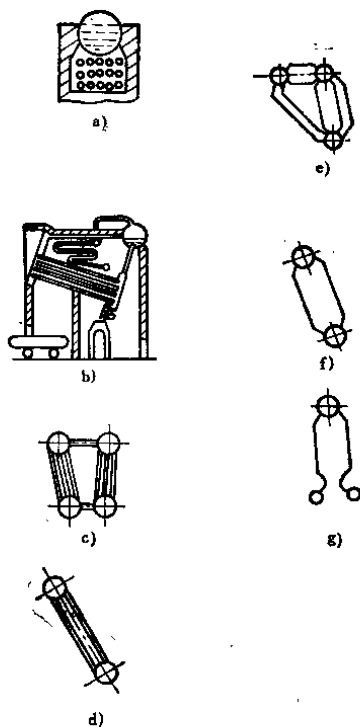


图1-2 水管锅炉结构类型图

a) 整联箱横水管锅炉 b) 横锅筒分联箱直水管锅炉 c) 多锅筒直水管锅炉 d) 双锅筒直水管锅炉 e) 三锅筒弯水管锅炉 f) 双锅筒弯水管锅炉 g) 单锅筒弯水管锅炉

一般用直径38~51毫米的锅炉钢管组成，受高温烟气加热，是中、小型水管锅炉的主要受热面。烟管是水、火管锅炉的主要受热面，一般装在锅壳内。火管又称炉胆，是小型内燃式锅炉的燃烧室，呈圆筒形。

2. 锅炉的分类

根据锅炉的用途、装配形式、压力、蒸发量等，可有不同的分类方法。

(1) 根据安装位置 分为固定式锅炉和移动式锅炉（移动式锅炉如蒸汽机车、船舶用锅炉）两种。

(2) 按装配形式 分为快装（整装）式、组装式和散装式锅炉。

(3) 按出口介质 分为蒸汽锅炉，热水锅炉两种。

(4) 按用途 分为电站锅炉、工业锅炉、船舶锅炉和生活锅炉。

(5) 按压力 分为低压锅炉，工作压力 ≤ 25 公斤力/厘米²⊖（表压）；中压锅炉，工作压力为26~60公斤力/厘米²（表压）；高压锅炉，工作压力 > 60 公斤力/厘米²（表压）和超高压锅炉。

(6) 按蒸发量 分为小型锅炉（蒸发量 < 20 吨/时）、中型锅炉（蒸发量为20~75吨/时）、大型锅炉（蒸发量 > 75 吨/时）。

3. 锅炉参数

蒸汽锅炉产生蒸汽的数量和质量，分别以蒸发量和蒸汽参数（压力和温度）来衡量。这些参数是表征锅炉基本特性的指标。

(1) 蒸发量 锅炉每小时产生蒸汽的数量，称为蒸发

⊖ 1公斤力/厘米² = 1工程大气压 = 98.06千帕，下同。

量。蒸发量又叫做“出力”或“容量”，以符号“D”表示，单位是“吨/时”。蒸发量又分为最大蒸发量、经济蒸发量和额定蒸发量。新锅炉铭牌上标示出的蒸发量是额定蒸发量。

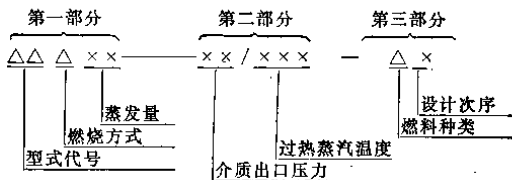
(2) 工作压力 锅炉的工作压力，以“工程大气压”为单位计量。锅炉铭牌上的设计压力，是额定表压力（表压力，是以当地大气压力为测量起点），又称为“额定出口蒸汽压力”。对于有过热器的锅炉，指过热器出口处的蒸汽压力；无过热器时，指锅筒内的蒸汽压力。

(3) 蒸汽温度 锅炉铭牌上的蒸汽温度，以摄氏温度计算。对于小型锅炉，是指该锅炉在工作压力下的饱和蒸汽温度；有过热器的锅炉，指过热器后主汽阀出口处的过热蒸汽温度。

4. 锅炉的规格型号

(1) 锅炉规格 为满足工业生产需要，并利于辅机的配套生产，工业锅炉实行系列化和通用化生产。锅炉规格（系列参数）应符合《工业蒸汽锅炉参数系列》(GB1921-80)标准。

(2) 锅炉型号 工业锅炉产品型号由三部分组成，各部分之间用短横线相连，具体表示如下：



型号的第一部分表示，锅炉型式、燃烧方式和额定蒸发量。共分三段：第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉总体型

表1-1 火管锅炉代号

锅炉整体型式	代 号
立式水管	L S(立、水)
立式火管	L H(立、火)
卧式内燃	W N(卧、内)

表1-2 水管锅炉代号

锅炉整体型式	代 号
单锅筒立式	D L(单、立)
单锅筒纵置式	D Z(单、纵)
单锅筒横置式	D H(单、横)
双锅筒纵置式	S Z(双、纵)
双锅筒横置式	S H(双、横)
纵横锅筒式	Z H(纵、横)
强制循环式	Q X(强、循)

表1-3 燃烧方式代号

燃 烧 方 式	代 号	燃 烧 方 式	代 号
固定炉排	G (固)	下饲炉排	A (下)
活动手摇炉排	H (活)	往复推倒炉排	W (往)
链条炉排	L (链)	沸腾炉	F (沸)
抛煤机	P (抛)	半沸腾炉	B (半)
倒转炉排加抛煤机	D (倒)	室燃炉	S (室)
振动炉排	Z (振)	旋风炉	X (旋)

式，分别见表1-1，1-2。第二段用汉语拼音字母代表燃烧方式，见表1-3。第三段表示蒸发量(吨/时)(热水锅炉指出水有效带热量)。第二部分和第三部分从略。

如：LHG 1-5，表示立式横火管(考克兰)固定炉排，蒸发量1吨/时，设计工作压力5公斤力/厘米²，饱和温度，原型设计的锅炉。

WNG1-8-A, 表示卧式内燃固定炉排, 蒸发量1吨/时, 设计工作压力8公斤力/厘米², 饱和温度, 燃用烟煤, 原型设计锅炉。

二、压力容器基础知识

在石油化学工业部门中, 用于贮存气态或液态的原料、中间产品或成品(如原油、乙稀、液氨等)的设备或其他设备的外壳, 通常称为容器。容器可分为常压容器和压力容器两大类。压力容器和常压容器的压力分界是人为规定的。按照《锅炉压力容器安全监察暂行条例》, 工作压力在一个表压以上者, 属于压力容器。

压力容器广泛应用于石油、化工、机械、轻工、航天、军事等工业部门, 在炼油、化肥、医药、农药、无机化工、有机合成、制糖、造纸等工业部门中, 压力容器是主要生产设备。军事上, 各类动力火箭的外壳是高温、高压容器。

1. 压力容器的分类

压力容器可作为一种简单的盛装容器——贮罐。也可为化工单元操作提供压力空间, 这就是反应容器、分离容器及各种塔器等。

压力容器的分类方法很多, 可按压力、制造方法、外形、介质及操作工况来分类。

按照容器的外形不同, 可分为球形、圆筒形、组合形容器。按承压方式, 可分为内压容器和外压容器。按结构制造, 又可分为整体式(单层)及组合式(多层)容器。此外还有立式容器、卧式容器、低温容器(工作温度 $\leq -20^{\circ}\text{C}$)及高温容器(工作温度 $\geq 450^{\circ}\text{C}$)等, 以及各种气瓶。

根据《压力容器安全监察规程》, 为便于安全管理和监

督检查，对容器作如下分类：

(1) 按容器的工作压力（用 P 表示）的大小，可分为如下几种：

- 1) 低压容器： $1 \leq P < 16$ 公斤力/厘米²；
- 2) 中压容器： $16 \leq P < 100$ 公斤力/厘米²；
- 3) 高压容器： $100 \leq P < 1000$ 公斤力/厘米²；
- 4) 超高压容器： $P \geq 1000$ 公斤力/厘米²。

(2) 按容器在生产工艺过程中的作用原理分：

1) 反应容器 用来完成介质的物理、化学反应，如反应釜、发生器、合成塔等。

2) 换热容器 用来完成介质的热量交换，如冷凝器、换热器、蒸压釜、废热锅炉等。

3) 分离容器 用于介质的分离和净化，如吸收塔、缓冲器、集油器等。

4) 贮运容器 用于盛装生产和生活用气体、液体、液化气体等，如槽车（铁路、公路槽车）、各种贮槽等。

(3) 按容器压力高低、介质危害程度及其重要程度可分为如下三类：

1) 属于下列情况之一者为一类容器 非易燃或无毒介质的低压容器、易燃或有毒介质的低压分离容器和换热容器。

2) 属于下列情况之一者为二类容器 中压容器、剧毒介质的低压容器。

易燃或有毒介质的低压反应容器和贮运容器、内径小于 1 米的低压废热锅炉。

3) 属于下列情况之一者为三类容器 高压、超高压容器。

剧毒介质的低压容器 ($P_{最高} \times V \geq 2000$ 升·公斤力/厘米²)

或中压容器(式中 P 为最高工作压力。 V 为容积,单位为升);

易燃或有毒介质的中压反应容器($P_{最高} \times V \geq 5000$ 升·公斤力/厘米²)或中压贮运容器($P_{最高} \times V \geq 50000$ 升·公斤力/厘米²);

中压废热锅炉或内径大于1米的低压废热锅炉。

2. 压力容器的结构

压力容器的结构形状,有球形、圆筒形、锥形及组合形等。

球形容器由于几何形状呈中心对称,故受力均匀。在相同壁厚条件下,承载能力最高。球形结构是压力容器中最理想的结构形状。

圆筒形容器,其几何形状属于轴对称,受力状态不如球形容器。因外形没有突变,应力较均匀(环向应力是轴向应力的两倍)。比球形容器易于制造,内件便于安排,应用较广。

锥形容器受力状态不好,一般很少应用。只作为收缩器或扩大器与圆筒壳体联在一起,构成组合形容器,如分离器等。

圆筒形容器主要由筒体、封头、开孔和接管、支座等构成。筒体分为整体式(筒壁在厚度方向只有一层连续完整的材料所构成)和组合式(筒壁在厚度方向是由两层或两层以上互不连续的材料构成)两种。当筒体直径较小时(一般小于500毫米),可用无缝钢管制造。

封头有球形、椭圆形、碟形、锥形和平盖几种形状。在压力较高的容器中,封头和筒体焊接时,只能采用球形、椭圆形封头,不允许采用平盖。平盖的受力状态恶劣,主要用于可拆卸的结构场合。

法兰是容器及管道连接中的重要部件,通过螺栓和垫片实行连接与密封,结构简单可靠。

开孔和接管。由于工艺或检修需要,在筒体上(或封头

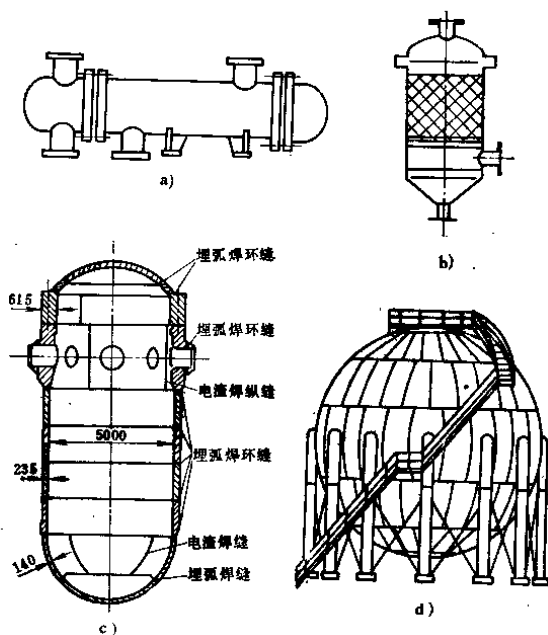


图1-3 几种压力容器的结构

a) 列管式换热器 b) 分离器 c) 原子能反应堆压力容器 d) 球形容器

上) 开设各种孔或安装接管。如人孔、手孔、视镜孔、物料进出口孔, 以及安装压力表、液位计、安全阀等的接管。由于开孔, 筒体强度将被削弱 (有的需要补强), 同时影响容器的疲劳寿命。

支座用于支承容器。卧式容器主要用鞍式支座, 立式容器可用悬挂式、裙式支座等。图1-3为几种容器的结构。

第二章 钢的基本知识

钢被广泛地应用于各工业部门中，锅炉、压力容器的用材主要是钢。

一、金属的结构、合金组织、铁碳合金 状态图及热处理

1. 金属的晶体结构

自然界除少数物质（如普通玻璃、松香、赛璐珞等）外，绝大多数固态的无机物都是晶体。金属也是晶体。晶体的特点：

（1）组成晶体的基本质点（原子、离子或分子）在三维空间按一定规律排列。因此，金属晶体是有一定几何形状规则的，

（2）具有一定的熔点；

（3）各向异性 实际晶体中各原子是按一定几何形状紧密地堆积在一起。但在研究晶体构造时，用一些假想的几何线条将各原子的中心连接起来，就得到一个抽象化的几何空间格架，叫做空间晶格，简称晶格。常见的金属晶格有体心立方、面心立方晶格等，如图2-1所示。

体心立方晶格的晶胞是一正六面体（立方体），立方体的每个顶角上都有一个原子，共八个顶角有八个原子，立方体的中心还有一个原子。面心立方晶格的晶胞也是一个立方体，八个顶角上各有一个原子，在六面体的六个表面中心各有一个原子。