



中国焊接协会会员读物之二十一

锅炉压力容器焊接 实用手册

中国焊接协会 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中国焊接协会会员读物之二十一

锅炉压力容器焊接 实用手册

中国焊接协会 编



机械工业出版社

本手册是由中国焊接协会组织锅炉压力容器行业的众多专家编写的。首先介绍了有关锅炉压力容器的分类、结构等基础知识；接着阐述了承压设备常用的焊接方法、焊接设备、焊接材料和焊接工艺；然后给出了锅炉压力容器用钢材的焊接知识。同时，还介绍了锅炉压力容器焊接的新技术、新设备，并着重介绍了锅炉压力容器的焊接工程管理和承压设备典型的生产装置的焊接实例。

本手册可以使读者对锅炉压力容器设备及其焊接有较全面的了解，为焊接从业者解决锅炉压力容器焊接工程中遇到的各种复杂问题提供参考。也可供从事锅炉压力容器制造的设计、研究、生产、管理、检验等工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

锅炉压力容器焊接实用手册/中国焊接协会编. —北京：
机械工业出版社，2016.5
ISBN 978-7-111-53764-9

I. ①锅… II. ①中… III. ①锅炉—焊接—技术
手册 ②压力容器—焊接—技术手册 IV. ①TK226—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 103787 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：何月秋 责任编辑：何月秋 王彦青
责任校对：陈延翔 封面设计：马精明
印刷厂印刷

2016 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·22.75 印张·6 插页·560 千字
0001— 册
标准书号：ISBN 978-7-111-53764-9
定价： 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务

服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com

编写委员会

主 任	何 实	中国焊接协会 机械科学院哈尔滨焊接研究所	副会长 所长
副主任	李连胜	中国焊接协会 机械科学院哈尔滨焊接研究所	秘书长 副所长
	杨 松	哈尔滨锅炉厂有限责任公司 哈电集团（秦皇岛）重装公司	副总经理 副总经理
	杨春乐	中广核工程公司设备采购与成套中心 核岛主设备设计及成套所	副经理 所长
	亓安芳	上海锅炉厂有限公司	副总工程师
委 员	(按姓氏拼音顺序排名)		
	鲍云杰	北京时代科技股份有限公司	总经理
	柴月华	山东索力得焊材有限公司	总经理
	崔晓东	北京金威焊接材料公司	总经理
	李汉宏	唐山开元特种焊接设备有限公司	总经理
	李建华	张家港市亨昌焊材有限公司	总经理
	李乃健	宁波金凤焊割机械制造有限公司	总经理
	刘跃庆	江苏九洲金属制品公司	总经理
	苏振峰	洛阳牡丹焊材集团有限公司	总经理
	吴 军	无锡肯克重工设备有限公司	总经理
	吴 峥	上海电力修造总厂有限公司	副总工程师
	徐 锴	哈尔滨威尔焊接有限责任公司	总经理
	于静伟	哈尔滨威德焊接自动化公司	总经理
	郑伊洛	昆山京群焊材公司	常务董事

编写人员名单

主 编	杜 森	中国焊接协会秘书处	秘书
	徐 锴	哈尔滨威尔焊接有限责任公司	总经理
副 主 编	房务农	合肥通用机械研究院	技术顾问
	李宜男	哈尔滨锅炉厂有限责任公司重容分厂	厂长
	李树勋	甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司	质管处处长
主 审	林三宝	哈尔滨工业大学焊接国家重点实验室	副主任
副 主 审	胡希海	抚顺机械设备制造有限公司	副总工程师
参编人员	(按姓氏拼音顺序排名)		
	鲍云杰	北京时代科技股份有限公司	总经理
	郭为民	中石化洛阳工程有限公司	副总工程师
	郭晓春	大庆油田工程建设公司建材公司石油石化设备厂	副总工程师
	李汉宏	唐山开元特种焊接设备有限公司	总经理
	刘明亮	大连市锅炉压力容器检验研究院	检验一室副主任
	罗永飞	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	工艺部副部长
	王金光	中国石化工程建设有限公司	副总工程师
	谢育辉	中国石油工程建设公司华东设计分公司	副总工程师
	杨永强	中石化十公司	
	于静伟	哈尔滨威德焊接自动化公司	总经理

前 言

近十年来，我国特种设备的设计、生产及制造得到了较快的发展，产量从 2005 年的 376.2 万台增长到 2014 年的 1036.46 万台。锅炉及压力容器制造在特种设备制造业中占有相当大的比重，截至 2014 年底，我国锅炉及压力容器制造规模以上企业 1297 家，其中 ASME 持证厂家达到 890 家，仅次于美国，排在全球第二位。

锅炉压力容器广泛应用于国民经济建设中的重要领域，如石化、火电、煤化工、化肥、医药、冶金等。随着国内承压设备应用范围的逐渐扩大，业内对锅炉压力容器的制造要求不断提高，同时对制造过程中的焊接技术以及各种工作参数的要求也不断提高。现代压力容器也已发展成典型的全焊结构，焊接已成为锅炉压力容器制造过程中最重要、最关键的一个环节，焊接质量的好坏直接影响到了承压设备的质量、造价以及生产效率等诸多方面。为了保证焊接产品的质量，扩大焊接在锅炉压力容器制造中的应用，中国焊接协会组织编写了这本《锅炉压力容器焊接实用手册》。

本手册介绍了锅炉压力容器的分类、结构；承压设备常用的各种焊接方法、焊接设备、焊接材料和焊接工艺；锅炉压力容器用钢材料的焊接基本知识等内容，目的是使焊接从业者对锅炉压力容器设备以及其焊接能够有较全面的了解。同时在各章的相关内容中逐渐介绍了锅炉压力容器焊接的一些新技术，着重介绍了焊接工程管理和典型承压设备生产装置的制造焊接实例，为焊接从业者解决锅炉压力容器焊接工程中遇到的各种复杂焊接问题提供了参考。本手册可供锅炉压力容器制造企业的设计、研究、管理、检验等工程技术人员参考使用。

本书在编写过程中，得到了中国焊接协会能源装备工作委员会、全国锅炉及压力容器标准化技术委员会、哈尔滨工业大学国家焊接重点实验室和机械工业出版社的关心和大力支持，特此表示感谢。由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 锅炉压力容器的基础知识	1
1.1 锅炉的分类	1
1.1.1 按用途分类	1
1.1.2 按锅炉设备级别及额定工作压力分类	1
1.1.3 按燃烧方式分类	2
1.1.4 按排渣方式分类	2
1.1.5 按燃料或能源分类	2
1.2 电站锅炉的结构	2
1.2.1 亚临界锅炉的总体结构	2
1.2.2 超临界及超超临界锅炉的总体结构	6
1.2.3 循环流化床锅炉的总体结构	9
1.2.4 联合循环余热锅炉的总体结构	11
1.3 压力容器的分类及基本结构	13
1.3.1 压力容器的分类	13
1.3.2 圆柱形压力容器的结构	15
1.4 典型压力容器概述	19
1.4.1 球形压力容器	19
1.4.2 换热器	20
1.4.3 塔器	23
1.4.4 反应器	24
1.4.5 厚壁高压容器	25
1.5 锅炉压力容器的发展趋势	25
1.5.1 逐渐向大型化、极端化方向发展	25
1.5.2 承受介质日益苛刻化带来的影响	26
1.5.3 长周期运行已经成为客观需求	26
1.5.4 重型承压设备的轻量化	27
第 2 章 压力容器的焊接方法及设备	28
2.1 常用焊接方法及设备	28
2.1.1 熔焊设备	29
2.1.2 自动化设备	41
2.2 典型焊接设备简介	51

2.2.1 窄间隙埋弧焊装备	51
2.2.2 带极堆焊设备	57
2.2.3 马鞍形切割机	61
2.2.4 马鞍形焊接机	66
2.2.5 小管径直管对接机	70
2.2.6 集箱窄间隙热丝 TIG 焊接机	74
2.2.7 小管内壁堆焊机	81
2.2.8 立向管道堆焊机	83
2.2.9 膜式壁自动焊接机	84
2.2.10 管板焊机	85
第3章 锅炉压力容器焊接材料的选用	88
3.1 焊接材料简介及分类	88
3.1.1 焊条	88
3.1.2 埋弧焊用焊丝和焊剂	93
3.1.3 气体保护焊用焊丝和气体	99
3.1.4 耐蚀堆焊用不锈钢焊带	108
3.2 锅炉压力容器焊接材料标准	110
3.3 锅炉压力容器焊接材料的选择及性能要求	111
3.3.1 锅炉压力容器对焊接材料的基本要求	111
3.3.2 锅炉压力容器焊接材料的选用原则	112
3.3.3 锅炉压力容器焊接材料的质量管理、保管和检测	113
3.4 锅炉压力容器焊接材料的发展趋势	115
3.4.1 我国锅炉压力容器焊接材料与发达国家的差距	115
3.4.2 我国锅炉压力容器焊接材料的发展趋势	115
第4章 锅炉压力容器材料的焊接	117
4.1 碳钢的焊接	117
4.1.1 碳钢的焊接特点	118
4.1.2 碳钢的焊接工艺要点	118
4.2 低合金高强度结构钢的焊接	119
4.2.1 低合金高强度结构钢的焊接性	121
4.2.2 低合金高强度结构钢的焊接工艺要点	121
4.3 耐热钢的焊接	124
4.3.1 低合金耐热钢的焊接性	125
4.3.2 低合金耐热钢的焊接工艺要点	126
4.4 低温钢的焊接	128
4.4.1 低温钢的焊接性	129
4.4.2 低温钢的焊接工艺要点	130

4.5 不锈钢的焊接	131
4.5.1 不锈钢的焊接方法与焊接材料	134
4.5.2 锅炉压力容器常用不锈钢的焊接特点	136
4.6 材料的表面耐蚀堆焊	141
4.6.1 耐蚀堆焊的焊接特点	141
4.6.2 耐蚀堆焊的焊接工艺	141
4.7 有色金属的焊接（铝、钛、锆、镍）	144
4.7.1 铝及铝合金的焊接	144
4.7.2 钛及钛合金的焊接	148
4.7.3 锆材的焊接	151
4.7.4 镍及镍合金的焊接	154
第5章 锅炉压力容器焊接工程管理	167
5.1 焊接工艺设计的依据及准备	167
5.1.1 焊接工艺设计的依据	167
5.1.2 焊接工艺设计的准备	167
5.2 NB/T 47014《承压设备焊接工艺评定》标准	168
5.2.1 承压设备焊接工艺评定原理	168
5.2.2 NB/T 47014《承压设备焊接工艺评定》简介	171
5.3 焊接工艺文件的制定	200
5.3.1 焊接工艺方案	200
5.3.2 焊接工艺规程	202
5.4 特种设备焊工培训考试	215
5.4.1 总则（管理部分）	215
5.4.2 附件 A（技术部分）	217
5.5 焊接工艺设计及生产管理	226
5.5.1 焊接工艺设计内容	226
5.5.2 焊接工艺设计程序	228
5.5.3 焊接生产管理	228
第6章 典型锅炉压力容器焊接案例	233
6.1 锅炉常见结构的焊接	233
6.1.1 锅筒的焊接	233
6.1.2 锅炉集箱的焊接	240
6.1.3 膜式壁管屏的焊接	247
6.1.4 蛇形管的焊接	255
6.2 加氢反应器的焊接	264
6.2.1 加氢反应器的发展	264
6.2.2 案例	265

6.3 换热器的焊接	267
6.3.1 换热器的发展	268
6.3.2 管壳式换热器	268
6.3.3 案例	270
6.4 焦炭塔的焊接	271
6.4.1 焦炭塔的工艺特点	271
6.4.2 焦炭塔的结构特点	272
6.4.3 焦炭塔的选材	273
6.4.4 焦炭塔的焊接	273
6.4.5 热处理	278
6.4.6 检验	278
6.5 09MnNiDR 钢制 -70℃ 球罐的焊接	279
6.5.1 09MnNiDR 钢焊接性试验	281
6.5.2 09MnNiDR 钢制 2000m ³ 乙烯球罐的建造	292
6.6 尿素合成塔焊接	313
6.6.1 尿素合成塔的结构和特点	313
6.6.2 尿素合成塔的主体材料	314
6.6.3 尿素合成塔的焊接材料	314
6.6.4 尿素合成塔的焊接制造	316
6.7 大型气化炉焊接技术	322
6.7.1 外壳制造工艺	323
6.7.2 内件制造	334
6.7.3 气化炉外壳和内件组装	336
6.8 液化天然气 (LNG) 低温储罐的焊接	338
6.8.1 LNG 低温储罐的选材	338
6.8.2 LNG 低温储罐的焊接	340
6.8.3 LNG 低温储罐的质量标准	347
参考文献	351

第 1 章 锅炉压力容器的基础知识

1.1 锅炉的分类

锅炉是一种生产蒸汽的换热设备。它通过煤、油、天然气等燃料的燃烧释放出化学能，并通过传热过程将能量传递给水，使水转变成蒸汽。蒸汽直接供给生产所需的热能，或通过蒸汽动力机械转换为机械能，或通过汽轮发电机转换为电能。所以锅炉也称为蒸汽发生器。锅炉的用途广泛，形式众多，主要有以下几种分类方法。

1.1.1 按用途分类

(1) 电站锅炉 用于火力发电厂，一般为大容量、高参数锅炉。燃料主要在炉膛空间悬浮燃烧（称为火室燃烧），热效率高，出口工质为过热蒸汽。

(2) 工业锅炉 用于工业生产和采暖，大多为低压低温、小容量锅炉。燃料以炉排上燃烧（称为火床燃烧）居多，热效率较低，出口工质为热水的称为热水锅炉，出口工质为蒸汽的称为蒸汽锅炉。

(3) 船用、机车用锅炉 用作船舶和机车动力，一般为低、中参数，大多燃油，体积小，重量轻。

1.1.2 按锅炉设备级别及额定工作压力分类

1. A 级锅炉（锅炉额定工作压力 $p \geq 3.8\text{MPa}$ 的锅炉）

1) 超临界锅炉： $p \geq 22.1\text{MPa}$ 。

2) 亚临界锅炉： $16.7\text{MPa} \leq p < 22.1\text{MPa}$ 。

3) 超高压锅炉： $13.7\text{MPa} \leq p < 16.7\text{MPa}$ 。

4) 高压锅炉： $9.8\text{MPa} \leq p < 13.7\text{MPa}$ 。

5) 次高压锅炉： $5.3\text{MPa} \leq p < 9.8\text{MPa}$ 。

6) 中压锅炉： $3.8\text{MPa} \leq p < 5.3\text{MPa}$ 。

2. B 级锅炉

1) 蒸汽锅炉： $0.8\text{MPa} < p < 3.8\text{MPa}$ 。

2) 热水锅炉： $p < 3.8\text{MPa}$ ，且 $t \geq 120^\circ\text{C}$ （ t 为额定出水温度，下同）。

3) 气相有机热载体锅炉： $Q > 0.7\text{MW}$ （ Q 为额定热功率，下同）；液相有机热载体锅炉： $Q > 4.2\text{MW}$ 。

3. C 级锅炉

1) 蒸汽锅炉： $p \leq 0.8\text{MPa}$ ，且 $V > 50\text{L}$ （ V 为设计正常水位水容积）。

2) 热水锅炉： $p < 3.8\text{MPa}$ ，且 $t < 120^\circ\text{C}$ 。

3) 气相有机热载体锅炉： $0.1\text{MW} < Q \leq 0.7\text{MW}$ ；液相有机热载体锅炉： $0.1\text{MW} < Q \leq 4.2\text{MW}$ 。

4. D 级锅炉

1) 蒸汽锅炉： $p \leq 0.8\text{MPa}$ ，且 $30\text{L} \leq V \leq 50\text{L}$ 。

- 2) 汽水两用锅炉: $p \leq 0.04 \text{ MPa}$, 且 $D < 0.5 \text{ t/h}$ (D 为额定蒸发量)。
- 3) 仅用自来水加压的热水锅炉: $t \leq 95^\circ \text{C}$ 。
- 4) 气相或液相有机热载体锅炉: $Q \leq 0.1 \text{ MW}$ 。

1.1.3 按燃烧方式分类

- (1) 火床燃烧锅炉 主要用于工业锅炉, 燃料主要在炉排上燃烧。
- (2) 火室燃烧锅炉 主要用于电站锅炉, 燃料主要在炉膛空间悬浮燃烧。
- (3) 流化床燃烧锅炉 可以稳定、高效地燃烧各种燃料, 特别是低质和高硫煤, 且可以在燃烧过程中控制 SO_x 及 NO_x 的排放, 是一种新型清洁煤燃烧锅炉。

1.1.4 按排渣方式分类

- (1) 固态排渣锅炉 燃料燃烧后生成的灰渣以固态形式排出, 是燃煤锅炉的主要排渣方式。
- (2) 液态排渣锅炉 燃料燃烧后生成的灰渣以液态形式从渣口流出, 在裂化箱的冷却水中裂化成小颗粒后排入水沟中冲走。

1.1.5 按燃料或能源分类

- 1) 固体燃料锅炉。
- 2) 液体燃料锅炉。
- 3) 气体燃料锅炉。
- 4) 余热锅炉。
- 5) 核能锅炉。

1.2 电站锅炉的结构

对于电站锅炉来说, 其受压元件大体上分为: 锅筒、水冷壁、集箱、蛇形管及连接管道等五大类。这些受压元件材料与结构各异, 制造工艺也大不相同。对于各种等级的电站锅炉, 如高压、超高压、亚临界、超临界以及超超临界的锅炉, 同类的受压部件其结构特点基本相似, 制造工艺也相近, 只是在结构尺寸和材料选用上有所不同, 并且由于锅炉各种设计流派的差异, 在某些具体零部件的实际结构上也有所不同。另外, 在超临界及超超临界锅炉、循环流化床锅炉和联合循环余热锅炉中, 由于整体结构布置的不同, 还存在一些特殊结构的受压元件, 其制造工艺与常规锅炉也不相同。

1.2.1 亚临界锅炉的总体结构

图 1-1 所示为 1025t/h 燃煤亚临界自然循环锅炉的结构简图, 锅炉一般为露天布置, 整体外形呈 π 形, 带有一次中间再热, 采用平衡通风、四角切圆燃烧方式, 设计燃料为烟煤。

1. 锅筒

锅筒作为锅炉的心脏, 其作用是进行汽水分离, 保证正常的水循环, 除去盐分, 获得良好的蒸汽品质, 负荷变化时起蓄热和蓄水作用, 在整个锅炉制造工艺中, 占有十分重要的地位。

锅筒一般由封头、筒身和内部设备组成。封头上装有人孔、安全阀接管、加药管、连续排污管、水位表接管、给水调节器接管、水位指示器接管、液面取样器接管等。筒身上装有大直径 ($\phi 710 \text{ mm} \times 135 \text{ mm}$) 下降管、给水管及紧急放水管、蒸汽引出管及汽水引入管、起

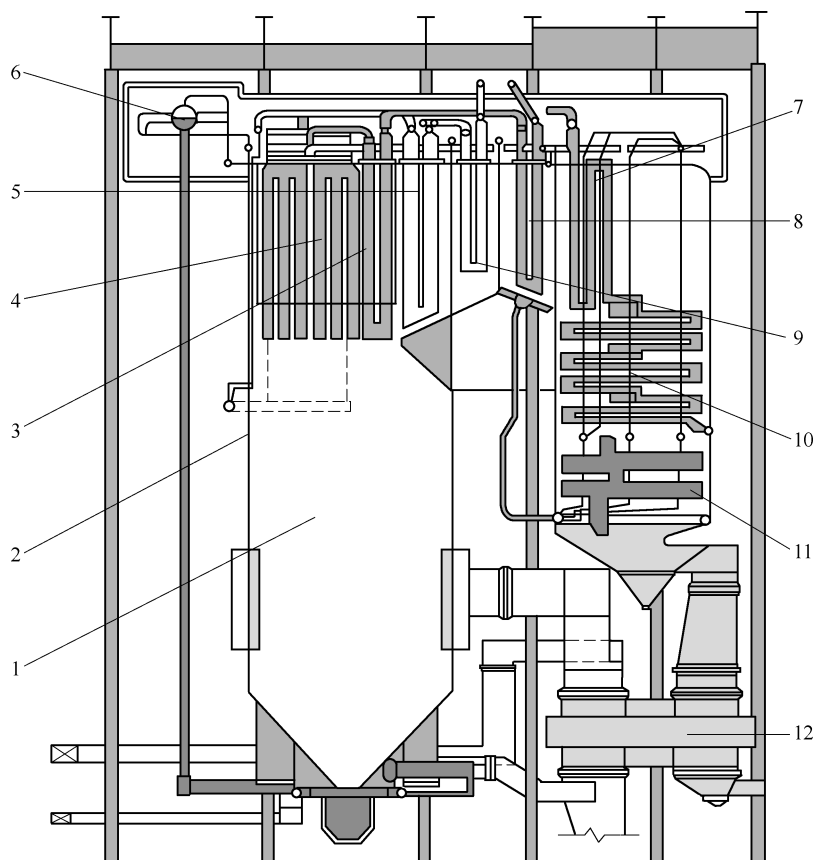


图 1-1 1025t/h 燃煤亚临界自然循环锅炉的结构简图

- 1—炉膛 2—水冷壁 3—后屏过热器 4—分隔屏 5—后屏再热器 6—锅筒
7—立式低温过热器 8—末级过热器 9—末级再热器 10—水平低温过热器
11—省煤器 12—回转式空气预热器

吊耳板和外部附件等。锅炉锅筒结构简图如图 1-2 所示。锅筒内部布置有 80 多个直径为 $\phi 254\text{mm}$ 的轴流式旋风分离器作为一次分离元件，二次分离元件为波形板分离器，三次分离元件为顶部立式百叶窗分离器。典型的亚临界自然循环锅炉的锅筒，内径为 $\phi 1778\text{mm}$ ，筒身壁厚为 178mm ，筒身长度为 18000mm ，两侧封头为半球形封头，封头壁厚为 152.4mm ，锅筒总长为 20184mm ，总重 204t ，用 SA-299 材料制成。锅筒外部焊接附件包括起吊耳板、水位表支架、壁温测点的预焊件、下降管接头上装焊的安装附件等。

2. 受热面管件

锅炉的受热面管件包括膜式水冷壁和蛇形管。

(1) 膜式水冷壁 大型电站锅炉的炉膛水冷壁都是由管子加扁钢经焊接而成的气密性膜式壁。由于受制造场地、设备以及运输条件等方面的限制，一般要把炉膛四面墙的膜式壁管屏分成若干小片水冷壁管屏分别来制造，每一小片管屏的外形尺寸一般不大于 $22\text{m} \times 3.2\text{m}$ （长 $\times$ 宽）。等到电厂安装时，再一片一片地组装成锅炉的整台炉膛。膜式壁管屏的管子外径一般在 $\phi 42 \sim \phi 63.5\text{mm}$ 之间，管子壁厚在 $4.5 \sim 8\text{mm}$ 之间。管子有光管

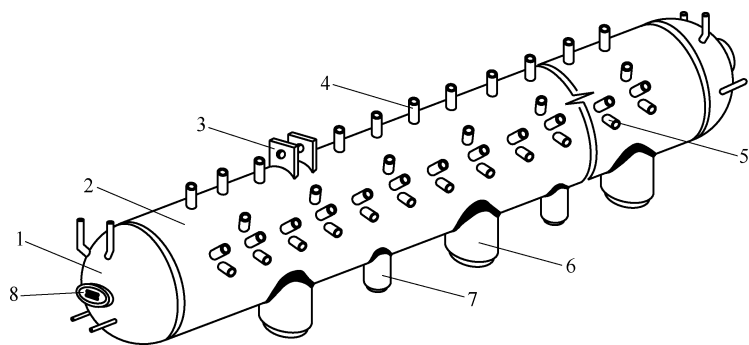


图 1-2 锅炉锅筒结构简图

- 1—半球形封头 2—筒身 3—起吊耳板 4—蒸汽引出管接头 5—汽水引入管接头
6—下降管 7—给水管 8—人孔装置

和内螺纹管两种形式。扁钢的厚度通常为 6mm。管子和扁钢的材质一般均为碳钢，但在大容量、高参数的电站锅炉中也会采用 Cr-Mo 钢。水冷壁管屏如图 1-3 所示。近年来随着锅炉产品的发展、锅炉参数等级的提高，一些新型锅炉在国内得以普及应用，如循环流化床锅炉、超临界及超超临界锅炉等，炉膛水冷壁的管径选取越来越趋向于小口径管，材料等级也逐步提高，例如出现了 $\phi 28\text{mm}$ 、 $\phi 32\text{mm}$ 、 $\phi 38\text{mm}$ 等规格的管径，管子材质选取到 SA-213T12（简称 T12）、15CrMoG、12Cr1MoVG、SA-213T91（简称 T91）、1Cr18Ni9Ti 等，扁钢的材质也相应地随之变化，但厚度上变化不大，仅在个别产品中出现 4mm、8mm 和 10mm 等。

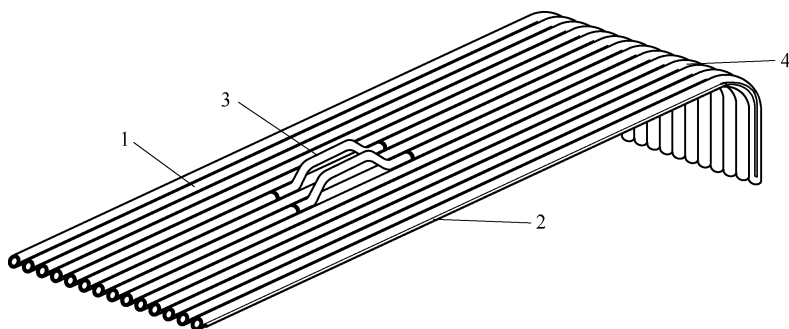


图 1-3 水冷壁管屏

- 1—管子 2—扁钢 3—孔弯管 4—成排弯头

(2) 蛇形管 蛇形管主要由管子、连接附件及吊挂装置组成。锅炉中蛇形管结构的部件一般包括锅炉的过热器、再热器和省煤器等。

过热器的作用是将饱和的蒸汽加热成为一定温度的过热蒸汽。根据其布置位置和传热方式的不同，过热器又分为后屏过热器、末级过热器、立式低温过热器和水平低温过热器等。

再热器一般用于高压大型电站锅炉，作用是将在汽轮机高压缸做过部分功的蒸汽送回锅炉中重新加热，然后再送回汽轮机的中、低压缸继续做功。根据其传热方式与布置位置的不同又分为墙式辐射再热器、后屏再热器、末级再热器、立式低温再热器和水平低温再热器等。

省煤器安装在锅炉尾部的烟道内，作用是利用烟气的余热对给水加热，达到节约燃料的目的。

蛇形管一般由长短不一、同种或不同种规格与材质的管子经焊接而成，管子规格为 $\phi 32 \sim \phi 70\text{mm}$ 、壁厚为 $3 \sim 12.7\text{mm}$ ，接长后长度范围可在 $20 \sim 70\text{m}$ 之间，再通过来回弯曲，使之成为蛇形管，在同一根管上可以有不同的弯曲半径，将不同长度和节距的蛇形管套装在一起形成蛇形管组件或管屏。

锅炉蛇形管屏的结构，按照在锅炉中的安装方式，大体上分为垂直悬吊式和水平悬吊式两种，如图 1-4 所示。垂直悬吊式蛇形管屏，一般为单层结构，主要应用在过热器和再热器的高温段，管屏端部直接与集箱的管接头相接，在集箱的纵向上吊挂排列，并穿出炉膛的顶棚，通过管屏上的附件与之密封；水平悬吊式蛇形管屏，绝大部分为双层结构，中间用水冷吊挂管来进行固定和吊挂，一般应用在过热器和再热器的低温段，以及省煤器的蛇形管中。

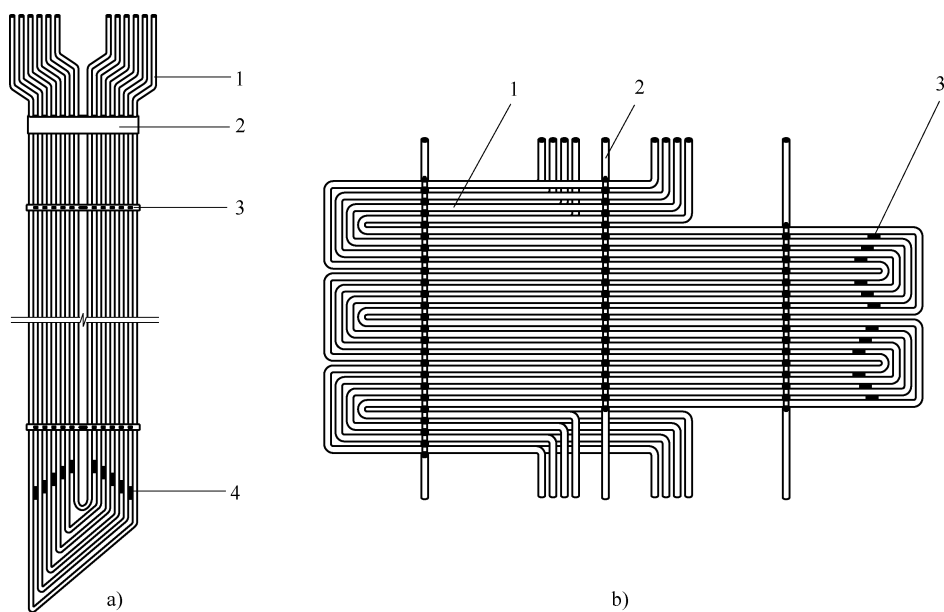


图 1-4 锅炉蛇形管屏

a) 垂直悬吊式

b) 水平悬吊式

1—管子 2—密封板 3—定位板 4—活动夹块

1—管子 2—吊挂管 3—连接钢板

蛇形管材质的选取,对于低温段的过热器和省煤器来说,一般采用碳钢、T12 或 15CrMo 等材料;对于高温段的过热器和再热器来说,可采用 12Cr1MoV、SA-213T22 (简称 T22)、SA-213T91 (简称 T91)、SA-213TP304H (简称 TP304H)、SA213-TP347H (简称 TP347H) 等。但随着超临界、超超临界锅炉的广泛应用,锅炉参数如蒸汽出口压力和温度的逐步提高,受高温或高压的过热器和再热器的材料等级也逐步提高,一些新开发的材料也逐步得到应用,如 SA-213T92 (简称 T92)、SA-213TP347HFG、A-213S30432 (简称 Super304H)、SA-213TP310HCBN (简称 HR3C) 等。

3. 集箱

集箱是锅炉中重要的受压元件之一，起着工作介质的汇集和分配作用，如图 1-5 所示。

集箱的结构一般由筒身、端盖、大小管接头、三通及附件组成，筒身、端盖和三通经过环缝的焊接连接在一起，筒身通过大小不一的开孔与各种管接头相连，形成一个承压容器。筒身都是由大口径厚壁无缝钢管来制造的，管径的范围一般在 $\phi 219 \sim \phi 914\text{mm}$ 之间，壁厚在 $20 \sim 150\text{mm}$ 之间，集箱材质为碳钢、15CrMoG、12Cr1MoVG、SA-335P12（简称 P12）、SA-335P22（简称 P22）、SA-335P91（简称 P91）、SA-335P92（简称 P92）等；集箱端盖的结构一般分为平端盖和半球形端盖两种，平端盖为锻件经机械加工而成，而半球形端盖一般由板材冲压加工而成；集箱管接头外径的分类一般规定在 $\phi 101.6\text{mm}$ 以下为小管接头，其余为大管接头，管径与材质按照集箱不同的布置位置而变化，并与水冷壁、过热器、再热器、省煤器，以及连接管道等相连，相应的各水冷壁管屏、蛇形管屏均吊挂在集箱上；集箱的三通按制造方式一般分为锻造挤压三通、冲焊三通、焊接三通等。

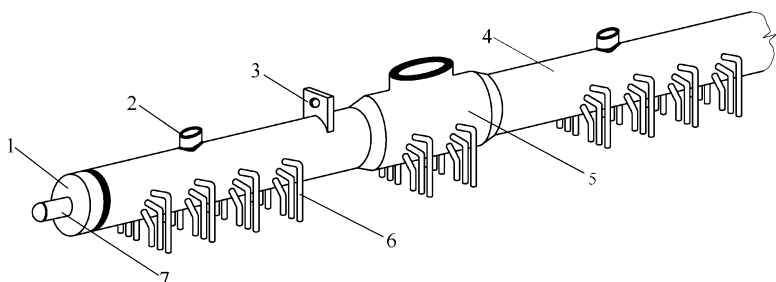


图 1-5 集箱

1—端盖 2—大管接头 3—耳板 4—筒身 5—三通 6—小管接头 7—手孔装置

4. 连接管道

连接管道一般由大口径无缝钢管、弯头、过渡接头等部分组成，主要用在锅炉各系统之间传送介质，例如水冷壁系统与过热器系统之间，过热器系统与再热器系统之间，以及主蒸汽输送管道和再热蒸汽输送管道，筒身直径在 $\phi 406 \sim \phi 813\text{mm}$ 之间、壁厚在 $30 \sim 100\text{mm}$ 之间，材质有 P12、P22、P91、P92、WB36 等多种，此类连接管道上的弯头处壁较厚、半径小，故一般在加热后采用压力机锻压制成单个弯头，然后与大口径无缝钢管对接，焊接工作量较大。压制弯头的弯曲半径分为两种，一种为短半径，即 $R/D = 1$ ；另一种为长半径，即 $R/D = 1.5$ 。对于外径小于 $\phi 406\text{mm}$ 的连接管道，由于管子外径较小、壁厚较薄、弯曲半径变化较大，故一般采用大型机械弯管机或中频感应弯管机进行热弯加工。连接管道如图 1-6 所示。

为保证介质的流动特性，各种连接管道的外径并不一致，在接口处就需要有过渡管接头，即俗称的“大小头”，例如蒸汽出口与汽机相接的管道等。

1.2.2 超临界及超超临界锅炉的总体结构

对于超临界、超超临界锅炉来说，依据所采用燃料特性的不同、锅炉运行方式及习惯的不同、所处地域自然环境的不同，可选用的锅炉结构形式有很多。而国内的发电设备制造厂家，在引进、消化、吸收国外超临界、超超临界锅炉技术的基础上，又经过多年的实践，已经进入到改造、再创新的阶段，但由于当初引进的技术源的不同，也使得在锅炉结构形式上出现了多种多样的变化。一般来说，由于煤种、磨煤机形式的不同，使得锅炉的燃烧方式、燃烧器的布置、炉膛及烟道的结构尺寸与形式都会发生变化。锅炉的整体布置结构形式按照

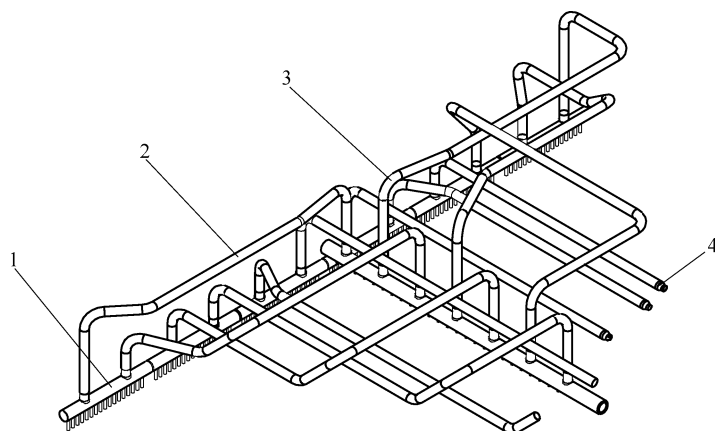


图 1-6 连接管道

1—集箱 2—连接管道 3—直角锻造弯头 4—过渡管接头

炉膛及烟道的布置方式，或者说按照烟气的走向大体上分为两种，即塔式炉和 Π 形炉，在这两种炉型的基础上，依据燃烧器布置方式的不同，又分为以下几种：

1) 墙式切圆燃烧塔式炉，燃烧器布置在炉膛的四面墙上，共八只，形成八角单切圆火焰，一般采用水平浓淡分离式煤粉燃烧器，燃烧器的上部配有高位燃尽风，下部炉膛水冷壁为螺旋管圈式结构，上部炉膛水冷壁为垂直管圈式结构，高温受热面及省煤器沿塔式烟道内纵向依次布置，并且均为水平悬吊结构。

2) 四角切圆燃烧塔式炉，燃烧器布置在炉膛的四个角部，共四只，形成四角单切圆火焰，也采用水平浓淡分离式煤粉燃烧器，并配有高位燃尽风，其他受压部件的布置方式与墙式切圆塔式炉布置的一致。

3) 前后墙对冲燃烧 Π 形炉，燃烧器布置在炉膛前后墙，一般采用旋流式煤粉燃烧器，数量在单台炉 30 只至 36 只之间不等，炉膛四周配有高位燃尽风，下部炉膛水冷壁为螺旋管圈式结构，上部炉膛水冷壁为垂直管圈式结构，中间采用混合集箱过渡，水冷壁下集箱采用缩径管孔，高温过热器、再热器布置在水平烟道内，为垂直悬吊结构；低温过热器、再热器及省煤器布置在尾部垂直烟道内，为水平悬吊结构；尾部烟道为双竖井结构。

4) 墙式切圆燃烧 Π 形炉，燃烧器布置在炉膛四面墙上，采用水平浓淡分离式煤粉燃烧器，并配有高位燃尽燃烧器，火焰切圆有四角单切圆、八角双切圆之分，双切圆一般应用于百万等级的超超临界锅炉，炉膛为双炉膛；炉膛水冷壁有的全部采用垂直管圈，有的采用螺旋管圈加垂直管圈，水冷壁下集箱入口管接头内加装节流孔圈，提高流量调节能力；高温过热器、再热器布置在水平烟道内，为垂直悬吊结构；低温过热器、再热器及省煤器布置在尾部垂直烟道内，为水平悬吊结构；尾部烟道为双竖井结构。

5) 四角切圆燃烧 Π 形炉，锅炉外形结构与亚临界锅炉相似，燃烧器布置在炉膛的四个角部，共四只，单切圆火焰，采用水平浓淡分离式煤粉燃烧器，并配有高位燃尽燃烧器，炉膛下部水冷壁采用螺旋管圈式结构，上部水冷壁为垂直管圈式结构，其余布置方式与墙式切圆燃烧 Π 形炉一致。

6) W 形火焰燃烧 Π 形炉，燃烧器布置在炉膛前后墙水冷壁的肩部炉拱上，使火焰在炉