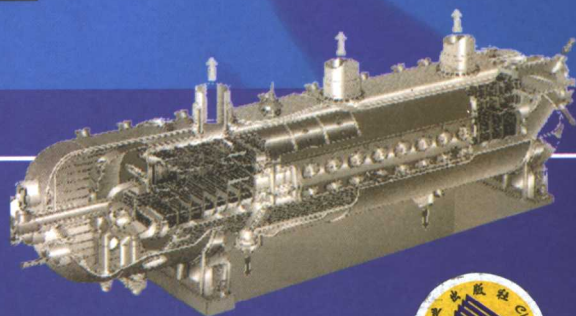


GUOLU YALI RONGQI

HANJIE JISHU PEIXUN JIAOCAI

锅炉压力容器焊接技术 培训教材

主编 杨松
主审 高增福



锅炉压力容器焊接技术培训教材

主 编 杨 松

副主编 樊险峰 李世魁

王建伟 赵玉虹

主 审 高增福



机械工业出版社

本书是为提高锅炉压力容器焊接技术人员的焊接技术水平和焊工的操作技能,根据锅炉压力容器有关法规、标准和焊工考试规则等要求,由相关专家等编写的。

全书共13章2个附录。前6章介绍了锅炉压力容器、金属学、焊接基础、弧焊电源、焊材和锅炉压力容器常用钢材等方面的基础知识;后7章着重介绍锅炉压力容器的常用焊接方法、工艺、设备和焊接操作技术,常见结构及工艺的焊接应力和变形,焊接缺陷,焊接工艺设计和生产管理,主要部件及典型产品结构的制造以及检验,焊接安全技术等方面的内容。附录部分列出了《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》和焊缝代号及图样识别,便于查找使用。

本书主要取材自锅炉压力容器生产实际,具有较强的实用性和先进性。可作为锅炉压力容器焊工的培训教材;也可供焊接技术人员、焊接技师、焊工培训教师及焊接专业大专院校、高职高专、技校师生以及有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉压力容器焊接技术培训教材/杨松主编. —北京:机械工业出版社, 2005.7

ISBN 7-111-16471-7

I. 锅... II. 杨... 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(2005)第036523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:俞逢英

责任编辑:俞逢英 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年6月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·31.5印张·782千字

0 001—5 000册

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

焊接是用于材料连接的一种低成本的、可靠的工艺方法。焊接质量直接关系到产品质量和使用寿命。焊接工程的失效和恶性事故，国内外时有发生，其中很多是由于焊接接头质量问题造成的，特别是锅炉压力容器的焊接。因此，无论现在还是将来，焊接都是锅炉压力容器和压力管道制造的主导工艺和关键技术。只有按照正确的焊接工艺指导生产，由考试合格的焊工进行焊接，才能生产出合格的焊接产品。为提高焊接技术人员的焊接技术水平和焊工的焊接操作技能，我们编辑、出版了本书。

由于焊接技术是综合性工程技术，同时焊接工艺和焊接操作技能是影响焊接质量的两大因素，本书以锅炉压力容器焊接工艺和焊接技能为两条主线，从金属学的一般知识、焊接基础知识、锅炉和压力容器用原材料到焊接设备、焊接材料、焊接方法、焊接接头和坡口、焊接工艺制定、焊接操作过程、焊后热处理、检验和焊接缺陷等众多技术过程都作了必要的叙述。

本书注重实际应用，作者根据多年从事锅炉和压力容器焊接技术的实践，参阅国外焊接技能培训资料，吸取了众多焊工高手的操作技巧，对有关焊接方法、不同焊接位置和各种焊接接头形式的操作技能都有较详细的叙述，图文并茂、要领突出。在基础理论知识的叙述方面，则力求简明扼要、通俗易懂。为便于焊接人员所需要的各种数据资料，本书附录还列出了《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》及“焊缝代号和图样识别等，以供参考。

本书第一章由樊险峰、李国继负责编写；第二章由林海燕负责编写；第三章由李宜男负责编写；第四章由李景世负责编写；第五章由赵玉虹负责编写；第六章由王建伟负责编写；第七章由杨松负责编写；第八章由高增福负责编写；第九章由王萍负责编写；第十章由孙国辉、冯希庆负责编写；第十一章由李世魁、龙友松负责编写；第十二章由施文忠、杜宁负责编写；第十三章由于江涛、王富州负责编写。全书由杨松主编，高增福同志主审。对在本书编写过程中给予大力支持的丁冶、唐丽萍、王常华、马东华、史青松、吕海惠、徐佳、祁广杰以及所参考并引用的有关书籍、手册、文献资料和插图的作者，编者在此深表感谢。

编 者

目 录

前言

第一章 锅炉压力容器基本知识 1

第一节 锅炉的分类、型号、参数及

主要技术经济指标 1

一、锅炉的分类 1

二、锅炉的参数、主要技术经济指标和

型号 2

第二节 电站锅炉的结构 5

一、亚临界锅炉的总体结构 6

二、超临界锅炉的总体结构 10

三、循环流化床锅炉的总体结构 12

四、联合循环余热锅炉的总体结构 13

第三节 压力容器的分类及基本

结构 15

一、压力容器的分类 15

二、圆柱形压力容器的结构 18

第四节 典型压力容器概述 21

一、球形压力容器 21

二、换热器 22

三、塔器 24

四、反应器 25

五、厚壁高压容器 26

第二章 金属学的一般知识 28

第一节 金属的特点及分类 28

一、按基本元素分类 28

二、按密度分类 28

第二节 金属的晶体结构及合金的

组织 28

一、金属的晶体结构 28

二、合金的组织 29

第三节 金属材料的性能及试验 30

一、金属材料的物理性能 31

二、金属材料的力学性能 31

三、金属材料的常规力学性能试验 32

第四节 铁碳合金 34

一、铁碳合金相图和铁碳合金的组织 34

二、奥氏体等温转变曲线图 36

第五节 钢材的冶炼及分类 36

一、钢材的冶炼 36

二、钢材的分类 38

第六节 常用钢材牌号表示方法 39

一、我国锅炉压力容器常用钢材牌号 39

二、国外钢材牌号的表示方法 42

第七节 钢的热处理 46

一、淬火 46

二、回火 46

三、退火 47

四、正火 48

第三章 焊接基础知识 49

第一节 金属焊接方法的分类及焊接

热源 49

一、金属焊接的定义 49

二、焊接方法的分类 49

三、焊接热源 50

第二节 熔焊热过程 50

一、焊接热效率 50

二、焊接热过程 51

三、焊接热循环 52

第三节 熔池保护和焊缝金属中元

素的控制 54

一、焊接熔池 54

二、焊接区金属的保护 54

三、焊缝金属中的氧、硫、磷及其

控制 55

四、焊缝金属的合金化 57

第四节 焊接熔池的结晶和焊缝

组织 58

一、焊接接头的组成及特点 58

二、焊缝金属的一次结晶组织 59

三、焊缝金属的二次结晶组织 61



四、焊缝金属组织与性能的关系	63	三、弧焊电源的型号	100
第五节 熔合区和热影响区的组织和性能	63	第五节 各种弧焊电源的基本原理介绍	101
一、不易淬火钢	63	一、交流弧焊电源	101
二、易淬火钢	64	二、直流弧焊电源	104
三、不锈钢	65	三、脉冲弧焊电源	108
第六节 坡口、焊接接头和焊缝的形式	66	四、逆变式弧焊电源——弧焊逆变器	110
一、坡口形式	66	五、数字控制式智能弧焊电源和数字化弧焊电源	112
二、焊接接头形式	67	第六节 弧焊电源的选择	114
三、焊缝形式	68	一、根据焊接方法选择	114
第七节 焊接性和焊接性试验方法	69	二、根据生产工艺和施工条件选择	116
一、金属材料的焊接性	69	第五章 焊接材料	117
二、工艺焊接性试验方法	70	第一节 焊接材料的定义、要求	117
三、使用焊接性试验方法	74	一、焊接材料的定义	117
第八节 焊接工艺内容概述	80	二、对焊接材料的基本要求	117
一、电特性参数	80	第二节 焊条的组成、分类、型号及牌号	118
二、温度参数	80	一、焊条的组成	118
三、焊接操作技术	81	二、焊条的分类	120
四、焊接位置	81	三、焊条的型号及牌号	121
五、焊后热处理	83	第三节 焊丝的分类、型号及牌号	129
第四章 弧焊电源	85	一、焊丝的分类	129
第一节 焊接电弧的特性及其分类	85	二、实芯焊丝的牌号及型号	129
一、焊接电弧的电特性	85	三、药芯焊丝的型号	131
二、电弧的力学特性	86	第四节 焊剂的分类、型号及牌号	135
三、焊接电弧的分类	87	一、焊剂的分类	135
第二节 电弧的偏吹	89	二、焊剂的牌号	135
一、电弧偏吹的产生机理	89	三、焊剂的型号	137
二、焊接电弧磁偏吹的产生原因	90	第五节 焊接用气体和钨极	139
三、电弧偏吹的消除及防止措施	92	一、氩气	139
第三节 对弧焊电源电气性能的基本要求	93	二、氧气	140
一、对弧焊电源外特性的要求	93	三、二氧化碳	140
二、对弧焊电源调节性能的要求	95	四、焊接用钨极	141
三、对弧焊电源动特性的要求	97	第六节 焊接材料的使用及管理	142
第四节 弧焊电源的分类、特点和用途	98	一、焊接材料的采购与验收	142
一、常用弧焊电源的特点及应用	98	二、焊接材料的保管	142
二、按电源外特性控制方式不同分类的弧焊电源特点及应用	99	三、焊接材料的烘干	143
		四、焊接材料的发放与回收	144
		第七节 国内外焊接材料简介	145



第六章 锅炉压力容器常用钢材的焊接	154	二、焊条电弧焊的设备	214
第一节 锅炉压力容器常用碳素结构钢的焊接	154	三、焊条的选择及性能	215
一、锅炉压力容器常用碳素结构钢	154	四、焊条电弧焊的基本焊接参数	219
二、低碳钢的焊接特点	157	五、焊条电弧焊的基本操作技术	220
第二节 锅炉压力容器常用低合金高强度钢的焊接	160	六、焊条电弧焊各种焊接位置的操作技术	224
一、锅炉压力容器常用低合金高强度钢	160	第二节 熔化极气体保护电弧焊	231
二、低合金高强度钢的焊接特点	165	一、熔化极气体保护电弧焊的原理、分类及应用	231
第三节 锅炉压力容器常用低、中合金耐热钢的焊接	168	二、熔化极气体保护焊的特点	232
一、锅炉压力容器常用低、中合金耐热钢	168	三、熔化极气体保护焊设备	233
二、低、中合金耐热钢的焊接特点	169	四、熔化极气体保护焊熔滴过渡形式	236
第四节 锅炉压力容器常用不锈钢的焊接	176	五、熔化极气体保护焊焊接材料	237
一、锅炉压力容器常用不锈钢	176	六、熔化极气体保护焊的焊接参数	239
二、锅炉压力容器常用不锈钢的焊接特点	177	七、半自动熔化极气体保护焊的基本操作技术	242
第五节 压力容器常用低温钢的焊接	189	八、半自动熔化极气体保护焊各种焊接位置的操作技术	246
一、低温钢的用途、分类	189	第三节 钨极惰性气体保护电弧焊	250
二、常用低温钢的焊接特点	189	一、钨极惰性气体保护电弧焊的原理、分类及应用	250
第六节 锅炉压力容器常用异种金属的焊接	192	二、钨极惰性气体保护电弧焊设备	251
一、异种金属焊接的分类	192	三、钨极氩弧焊的焊接参数	257
二、异种金属焊接的特点	193	四、手工钨极氩弧焊的基本操作技术	258
三、异种钢的焊接	194	五、手工钨极氩弧焊常见接头形式的操作要点	260
第七节 锅炉压力容器常用有色金属的焊接	198	第四节 埋弧焊	264
一、容器用铝材的焊接	198	一、埋弧焊的原理	264
二、容器用钛材的焊接	203	二、埋弧焊的分类、特点及应用	264
三、镍基合金的焊接	207	三、埋弧焊设备	266
四、铜及铜合金的焊接	210	四、埋弧焊的焊接材料	268
第七章 锅炉压力容器制造常用焊接方法	213	五、埋弧焊的主要焊接参数	271
第一节 焊条电弧焊	213	六、埋弧焊的操作技术	274
一、焊条电弧焊原理、特点及应用	213	七、窄间隙埋弧焊	276
		八、带极埋弧堆焊	279
		第五节 电渣焊	283
		一、电渣焊的基本原理	283
		二、电渣焊的分类及应用	283
		三、电渣焊的特点及局限性	284
		四、电渣焊的设备及辅助机具	285
		五、电渣焊的焊接参数	286
		六、电渣焊的操作技术	289



第六节 螺柱焊	292	消除	319
一、螺柱焊的分类及基本原理	292	一、焊接应力的控制	319
二、螺柱焊方法的选择及应用	294	二、焊接应力的消除	321
三、电弧螺柱焊的材料	295	三、焊接变形的控制与矫正	321
四、电弧螺柱焊的设备	296		
五、电弧螺柱焊的工艺	296		
第七节 摩擦焊	298	第九章 焊接缺陷	324
一、摩擦焊的分类及特点	298	第一节 常见焊接缺陷及其分类	324
二、连续驱动摩擦焊的原理及设备	300	一、焊接缺陷与焊接缺陷	324
三、连续驱动摩擦焊的焊接参数	302	二、常见焊接缺陷	324
第八节 等离子弧焊	303	三、焊接缺陷的分类	324
一、等离子弧的产生、类型和特点	303	第二节 裂纹	333
二、等离子弧焊的分类及应用	305	一、裂纹按形成机理分类	333
三、等离子弧焊的类型	306	二、裂纹按方向和所在位置分类	335
四、等离子弧焊的设备	306	第三节 气孔	338
五、等离子弧焊的焊接材料	308	一、气孔的形成机理	338
六、等离子弧焊的焊接参数	308	二、气孔的分类	338
第九节 药芯焊丝气体保护电弧焊	309	第四节 其他常见焊接缺陷及钢熔化	
一、药芯焊丝熔化极气体保护焊的原		焊接头的缺陷分级	339
理	309	一、其他常见焊接缺陷	339
二、药芯焊丝熔化极气体保护焊的特点		二、钢熔化焊接头的缺陷分级	341
及应用	310		
三、药芯焊丝熔化极气体保护焊的焊		第十章 焊接工艺设计与管理	344
接参数	311	第一节 焊接工艺设计的依据	344
四、药芯焊丝熔化极气体保护焊的操		一、产品设计图样	344
作技术	312	二、产品的设计、制造及检验法规和	
		标准	344
第八章 焊接应力及变形	313	三、产品专用技术条件和焊接专用标	
第一节 焊接应力和变形的一般		准	347
概念	313	四、制造企业的设备能力和工艺水平	348
一、金属的变形和应力概述	313	五、各种焊接试验数据	348
二、焊接应力及焊接变形的产生原因	314	第二节 焊接工艺准备阶段	348
第二节 焊接应力和焊接变形的		一、产品图样焊接工艺性审查	348
分类	314	二、制定产品的焊接方案	353
一、焊接应力的分类	314	三、提出新的焊接工艺评定项目	354
二、焊件加热、冷却后残余应力和变形		四、编制新的焊接材料采购规程	355
产生的简单原理	315	五、提出焊工考试项目	355
三、中厚板对接焊接结构中残余应力的		第三节 焊接工艺评定试验	355
典型分布规律	316	一、焊接工艺评定概述	356
四、焊接残余变形的分类	317	二、焊接工艺评定规则	356
五、焊接应力和变形的危害	318	三、焊接工艺评定试件的检验项目及合	
第三节 焊接应力和变形的控制与		格标准	358
		四、焊接工艺评定报告的内容	359



五、焊接工艺评定的一般程序	360	四、不锈钢的焊接特点	384
第四节 焊接工艺文件的制定	361	五、不锈钢的酸洗和钝化处理	385
一、焊接工艺规程(焊接工艺指导书)	361	六、制造实例	385
二、产品的焊缝识别卡	362	第七节 复合板容器的制造特点	386
第五节 焊接工艺设计及生产管理	363	一、复合板的切割下料	386
一、焊接工艺设计管理及生产管理流程	363	二、不锈钢复合板的热加工要求	387
二、焊接生产管理措施	365	三、不锈钢复合板的焊接特点	387
四、制造实例	389	第八节 锅炉锅筒的制造工艺	392
第九节 锅炉集箱的制造工艺	398	一、锅筒的结构	392
一、集箱的结构简介	398	二、锅筒受压件的材料	392
二、集箱的制造	398	三、锅筒的制造工艺简介	392
第十节 锅炉受热面管件的制造工艺	406	第九节 锅炉集箱的制造工艺	398
一、受热面管件的制造工艺简介	406	一、集箱的结构简介	398
二、膜式水冷壁管屏的制造	408	二、集箱的制造	398
三、蛇形管管屏的制造	415	第十节 锅炉受热面管件的制造工艺	406
第十一章 锅炉压力容器的制造工艺	366	一、受热面管件的制造工艺简介	406
第一节 锅炉压力容器的通用制造工艺	366	二、膜式水冷壁管屏的制造	408
一、坡口制备	366	三、蛇形管管屏的制造	415
二、板材的成形	366	第十二章 焊接检验	420
三、管子的弯曲	368	第一节 焊接检验的目的和方法	420
第二节 圆筒形储罐的制造工艺	370	一、焊接检验的目的	420
一、储罐零部件的加工	370	二、常用的焊接检验方法	420
二、储罐的组装	370	第二节 外观检验	422
三、制造实例	371	一、焊缝的目视检验	422
第三节 热交换器的制造工艺	373	二、焊缝外形尺寸的检验	423
一、壳体的制造	373	第三节 无损检测	426
二、管板的制造	373	一、射线检测(缩写 RT)	428
三、水室的制造	374	二、超声波检测(缩写 UT)	434
四、管系的组装工艺	374	三、磁粉检测(缩写 MT)	441
五、制造实例	377	四、渗透检测(缩写 PT)	444
第四节 塔器的制造工艺	379	五、涡流检测(缩写 ET)	446
一、塔器的制造工艺特点	379	第四节 产品整体性能和产品接头的表面性能检验	447
二、制造实例	379	一、耐压检验	447
第五节 球形容器的制造工艺	382	二、密封性检验	450
一、球瓣的压制	382	三、产品接头的表面性能检验	451
二、球瓣坡口的加工	382	第五节 焊接接头的破坏性检验	451
三、球壳的组装	382	一、破坏性检验的项目	451
四、球瓣的焊接特点	383		
五、制造实例	383		
第六节 奥氏体不锈钢容器的制造特点	384		
一、不锈钢的切割下料	384		
二、圆筒形不锈钢容器的成形	384		
三、不锈钢封头的冲压	384		



二、理化性能检验	451	三、通风	458
三、产品试板的破坏性检验	453	四、消防措施	458
第十三章 焊接安全与卫生	455	五、灭火	458
第一节 焊接过程中的有害因素	455	六、封闭空间内的安全要求	459
一、电对人体的危害	455	七、公共展览及演示时的安全技术	460
二、辐射线的危害	455	八、警告标志	460
三、热源的危害	455	第四节 焊接安全操作	460
四、噪声的危害	456	一、电弧焊安全操作	460
五、焊接烟尘与气体的危害	456	二、其他焊接方法安全操作	462
第二节 焊接烟尘及噪声的控制	456	三、气焊（割）安全操作	463
一、烟尘与气体	456	附录 A 《锅炉压力容器压力管道焊	
二、噪声	456	工考试与管理规则》国质检	
第三节 焊接安全及防护	456	锅 [2002] 109 号	466
一、工作区域的防护	456	附录 B 焊缝代号及图样识别	486
二、人身防护	457	参考文献	494

第一章 锅炉压力容器基本知识

第一节 锅炉的分类、型号、参数及主要技术经济指标

一、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。蒸汽直接供给生产中所需的热能，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。锅炉用途广泛，形式众多，主要有以下几种分类方法：

(一) 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。燃料主要在炉排上燃烧（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。

(二) 按锅炉出口工质压力分类

1. 低压锅炉 一般压力小于 1.275MPa (13kgf/cm²)。

2. 中压锅炉 一般压力为 3.825MPa (39kgf/cm²)。

3. 高压锅炉 一般压力为 9.8MPa (100kgf/cm²)。

4. 超高压锅炉 一般压力为 13.73MPa (140kgf/cm²)。

5. 亚临界压力锅炉 一般压力为 16.67MPa (170kgf/cm²)。

6. 超临界压力锅炉 一般压力大于 22.13MPa (225.65kgf/cm²)。

(三) 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、高效率的燃烧各种燃料，特别是低质和高硫煤，并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技术。

(四) 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。

(五) 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。

二、锅炉的参数、主要技术经济指标和型号

(一) 锅炉参数及主要技术经济指标

1. 锅炉参数 锅炉参数一般指锅炉容量、蒸汽压力、蒸汽温度和给水温度等。

(1) 额定蒸发量 工业蒸汽锅炉和电站锅炉的容量用额定蒸发量表示。其额定蒸发量是指锅炉在额定蒸汽压力、蒸汽温度、规定的锅炉效率和给水温度的情况下,连续运行时所必须保证的最大蒸发量,通常以每小时提供的以吨计的蒸汽量来表示,单位为 t/h。

(2) 额定供热量 热水锅炉的容量用额定供热量表示,单位为 kW (MW)。

(3) 锅炉蒸汽压力和温度 锅炉蒸汽压力和温度是指过热器主蒸汽阀出口处的过热蒸汽的压力和温度,对于无过热器的锅炉,用主蒸汽阀出口处的饱和蒸汽压力和温度来表示,压力的单位为 MPa,温度的单位为 K 或 ℃。

(4) 锅炉给水温度 锅炉给水温度是指进入省煤器的给水温度,无省煤器的锅炉是指进入锅筒的给水温度,单位为 K 或 ℃。

我国常用的电站锅炉额定蒸汽压力和额定蒸汽温度见表 1-1,工业蒸汽锅炉出口蒸汽压力和出口蒸汽温度见表 1-2,热水锅炉额定出水压力和额定出口/进口水温度见表 1-3。

表 1-1 常用的电站锅炉额定蒸汽压力和额定蒸汽温度

额定蒸汽压力/MPa	3.82	9.80	13.72	17.50	25.4 ^①	27.46 ^②
额定蒸汽温度/℃	450	540	541/541 ^③		566/566 ^③	605/603 ^③

① 超临界锅炉过热器主蒸汽出口压力。

② 超超临界锅炉过热器主蒸汽出口压力。

③ 前者为过热蒸汽温度,后者为再热蒸汽温度。

表 1-2 常用工业蒸汽锅炉出口蒸汽压力和出口蒸汽温度

出口蒸汽压力/MPa	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
出口蒸汽温度/℃	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400

表 1-3 常用热水锅炉额定出水压力和额定出口/进口水温度

额定出口/进口水温度/℃	95/70		115/70		130/70		150/90		180/110	
额定出水压力(表压)/MPa	0.4	0.7	1.0	0.7	1.0	1.0	1.25	1.25	1.6	2.5

2. 锅炉主要技术经济指标 锅炉的技术经济指标通常用锅炉热效率、锅炉成本及锅炉可靠性来表示。优质锅炉应具有热效率高、成本低及运行可靠等特点。

(1) 锅炉热效率 锅炉热效率是一项重要的节能指标,主要是指送入锅炉的全部热量中被有效利用的百分数,现代电站锅炉的热效率都在 90% 以上。

(2) 锅炉成本 锅炉成本一般用一个重要的经济指标钢材消耗率来表示。钢材消耗率的定义为锅炉单位蒸发量所用的钢材重量,单位为 t·h/t。锅炉参数、循环方式、燃料种类及锅炉部件结构对钢材消耗率都有影响。锅炉蒸汽参数高、容量小、燃煤、采用自然循环、采用管箱式空气预热器和钢柱构架可增大钢材消耗率;蒸汽参数低、容量大、采用直流锅炉、燃油或燃气、采用回转式空气预热器和钢筋混凝土柱构架可降低钢材消耗率。



工业锅炉的钢材消耗率一般在 $5 \sim 6t \cdot h/t$ 左右，电站锅炉的钢材消耗率一般在 $2.5 \sim 5t \cdot h/t$ 的范围内，在保证锅炉安全、可靠、运行经济的基础上应合理降低钢材消耗率，尤其是高强度耐热合金钢、不锈钢等高等级钢材的消耗率。

(3) 锅炉可靠性 锅炉的可靠性一般用下列三种指标来衡量：

1) 连续运行时间 = 两次检修之间的运行时间，单位为小时

2) 事故率 = 事故停用时间 / (运行总时间 + 事故停用时间) $\times 100\%$

3) 可用率 = (运行总时间 + 备用总时间) / 统计的总时间 $\times 100\%$

目前我国规定，电站锅炉可靠性较好一般需达到的指标为，连续运行时间在 4000h 以上，可用率约为 90%，年运行时间大于或等于 6000h。

(二) 锅炉的型号

锅炉型号是对锅炉一种十分重要的标识方法，它体现着锅炉的主要技术信息以及锅炉的种类，锅炉型号主要包括产地、锅炉参数、结构形式和燃料种类等信息。下面对我国的锅炉型号进行简要介绍。

1. 电站锅炉型号 电站锅炉型号由三部分组成，如图 1-1。第一部分表示锅炉的制造厂家（见表 1-4）；第二部分表示锅炉参数，分为两段，中间用斜线隔开，前一段为锅炉额定蒸发量，后一段为锅炉额定蒸汽压力；第三部分表示设计燃料种类及设计次序（见表 1-5）。

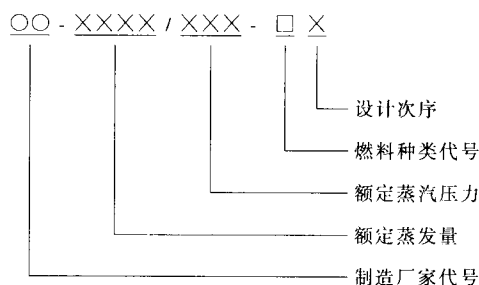


图 1-1 电站锅炉型号

表 1-4 锅炉制造厂代号

锅炉制造厂	代号	锅炉制造厂	代号	锅炉制造厂	代号
北京锅炉厂	BG	杭州锅炉厂	NG	武汉锅炉厂	WG
东方锅炉厂	DG	上海锅炉厂	SG	济南锅炉厂	YG
哈尔滨锅炉厂	HG	无锡锅炉厂	UG		

注：采用联合设计图样制造的电站锅炉，可在型号的第一部分制造厂家代号后加 L 表示。

表 1-5 设计燃料种类代号

设计燃料	代号	设计燃料	代号	设计燃料	代号
燃煤	M	燃气	Q	燃煤和燃油	MY
燃油	Y	其他	T	燃油和燃气	YQ

表 1-5 中燃煤的种类分为以下几种，见表 1-6。

例如：HG-1025/18.2-YM11 表示制造厂家为哈尔滨锅炉厂、额定蒸发量为 1025t/h、额定蒸汽压力为 18.2MPa、设计燃料为烟煤、第 11 次改型设计；DG-670/13.7-MY 表示东方锅炉厂制造、额定蒸发量 670t/h、额定蒸汽压力 13.7MPa、设计燃料为油煤两用、原型设计。



表 1-6 燃煤的种类

设计燃料	代号	设计燃料	代号
烟煤	YM	无烟煤	WM
褐煤	HM	贫煤	PM

2. 工业锅炉的型号 我国工业锅炉的型号是依据机械行业标准 JB1626—1992 的规定编制，由于工业锅炉一般按其出口介质的不同，大体分为两大类，即工业蒸汽锅炉和热水锅炉，其锅炉型号的表示方式分别如图 1-2 和图 1-3 所示。

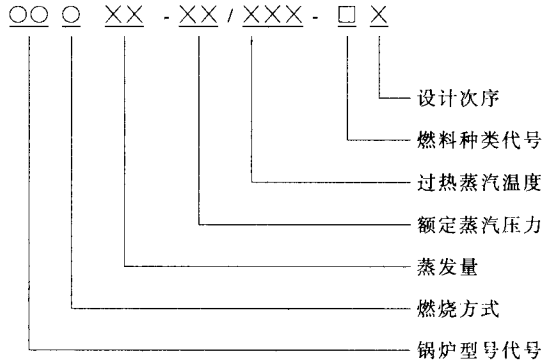


图 1-2 工业蒸汽锅炉型号形式

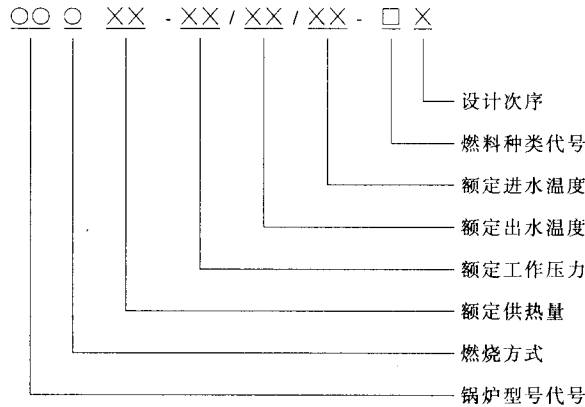


图 1-3 热水锅炉型号形式

从图 1-2 和图 1-3 中看出工业锅炉的型号也由三部分组成，各部分用短横线连接。

第一部分分三段，前两段分别由汉语拼音字母代号表示锅炉型式和燃烧方式，见表 1-7 和表 1-8。第三段用阿拉伯数字表示锅炉参数，表示蒸发量时，单位为 t/h；热水锅炉时为供热量，单位为 MW；余热锅炉以受热面积表示，单位为 m²。

第二部分表示工质参数，对工业蒸汽锅炉，分额定蒸汽压力和额定蒸汽温度两段，中间用斜线隔开，常用单位为 MPa 和 ℃，蒸汽温度为饱和温度时第二部分只体现额定蒸汽压力；对于热水锅炉，第二部分由三段组成，每段之间用斜线隔开，分别表示额定压力、出水温度和进水温度。

第三部分表示设计燃料种类和设计次序，共两段；第一段用汉语拼音字母代号表示燃料种类，见表 1-9；第二段用阿拉伯数字表示设计次序，原型设计时无第二段。



表 1-7 工业锅炉型式代号

锅炉型式	代号	锅炉型式	代号
立式水管	LS (立、水)	单锅筒横置式	DH (单、横)
立式火管	LH (立、火)	双锅筒纵置式	SZ (双、纵)
卧式内燃	WN (卧、内)	双锅筒横置式	SH (双、横)
单锅筒立式	DL (单、立)	纵横锅筒式	ZH (纵、横)
单锅筒纵置式	DZ (单、纵)	强制循环式	QX (强、循)
快装式水管锅炉	K (快)	快装纵横锅筒式锅炉	KZ (快、纵)
快装强制循环式锅炉	KQ (快、强)		

表 1-8 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)	往复推饲炉排	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)

表 1-9 燃料种类代号

燃料种类	代号	燃料种类	代号
无烟煤	W (无)	气	Q (气)
贫煤	P (贫)	木柴	M (木)
烟煤	A (烟)	稻壳	D (稻)
劣质烟煤	L (劣)	甘蔗渣	G (甘)
褐煤	H (褐)	煤矸石	S (石)
油	Y (油)	油页岩	YM (油母)

注：1. 如同时燃用几种燃料，则将主要燃料的代号放在前面。

2. 余热锅炉无燃料代号。

工业蒸汽锅炉型号举例：DZL4-1.25-W 表示单锅筒纵置式链条炉排炉，蒸发量为 4t/h，压力 1.25MPa，饱和温度，燃用无烟煤，原型设计；SHS10-1.25/250-A2 表示双锅筒横置式室燃锅炉，蒸发量为 10t/h，压力 1.25MPa，过热蒸汽温度 250℃，燃用烟煤，第二次改型设计。

热水锅炉型号举例：QXW2.8-0.7/95/70-A2 表示强制循环式往复炉排热水锅炉，额定供热量 2.8MW，额定工作压力 0.7MPa，额定出水温度 95℃，额定进水温度 70℃，燃用烟煤，第二次改型设计。

第二节 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，这些受压元件结构各异，制造工艺也不同。但对于各种等级的电站锅炉，如高压、超高压、亚临界以及超临界的锅炉来说，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，并且由于锅炉的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。

一、亚临界锅炉的总体结构

图 1-4 所示为某台国产亚临界压力自然循环电站锅炉的结构简图，锅炉一般为露天布置，整体外形呈口型，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。

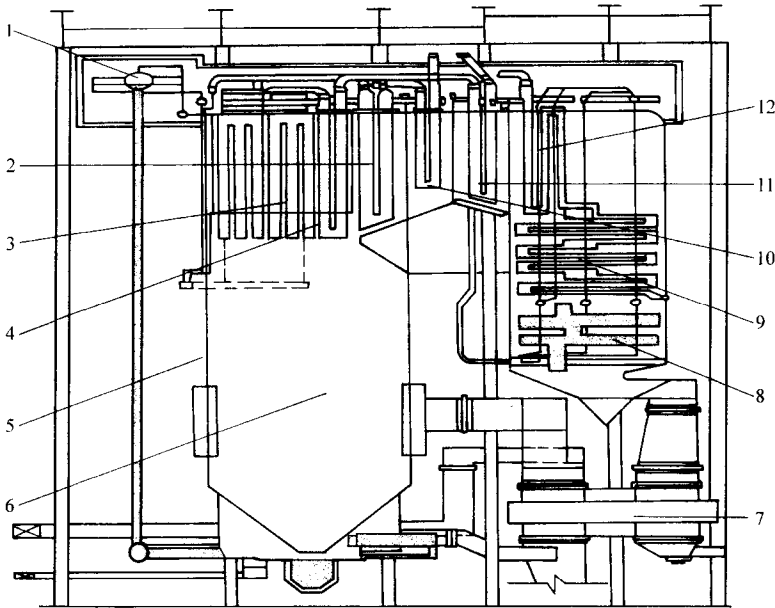


图 1-4 1025t/h 燃煤亚临界自然循环锅炉的结构简图

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

(一) 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、筒体和内部设备组成。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。筒体上装有大直径 ($\phi 710\text{mm} \times 135\text{mm}$) 的下降管、给水管及紧急放水管、蒸汽引出管及汽水引入管、起吊耳板和外部附件等。如图 1-5 所示。锅筒内部布置有 80 多个直径为 $\phi 254\text{mm}$ 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 $\phi 1778\text{mm}$ ，筒体壁厚 200mm，筒体长度 18000mm，两侧封头为半球形封头，封头最小壁厚为 127mm，锅筒总长 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、壁温测点预焊件、下

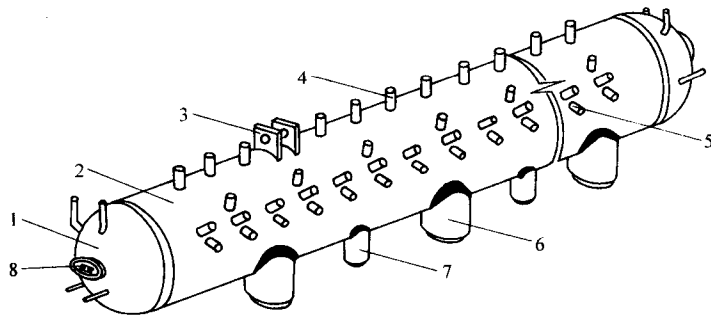


图 1-5 锅炉锅筒结构简图

- 1—半球形封头 2—筒体 3—起吊耳版 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

降管接头上装焊的安装附件等。

(二) 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。由于受到制造场地、设备以及运输条件等几方面的限制，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，如图 1-6 所示。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，再组装成锅炉的整台炉膛。国内设计制造的电站锅炉的炉膛水冷壁，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 耐热钢。近年来随着国内锅炉产品的发展，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 15CrMo 、 12Cr1MoV 、 1Cr18Ni9Ti 、SA-213T91 (T91) 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 、 10mm 。图 1-6 中亚临界自然循环炉的水冷壁管屏由外径 $\phi 63.5\text{mm}$ 的管子 (局部采用内螺纹管) 和 6mm 厚的扁钢组成，管子节距为 76.2mm 。在管屏上可布置有看火孔、测温孔、人孔等开孔，在后水上部组成的折烟角等位置，管屏上还带有成排弯头，单屏上最多有 3 只成排弯头。

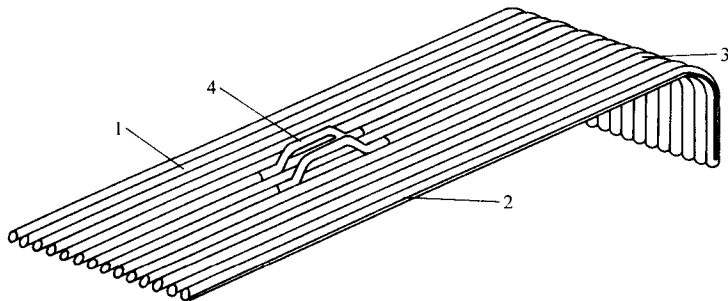


图 1-6 水冷壁管屏

- 1—管子 2—扁钢 3—成排弯头 4—孔弯管