

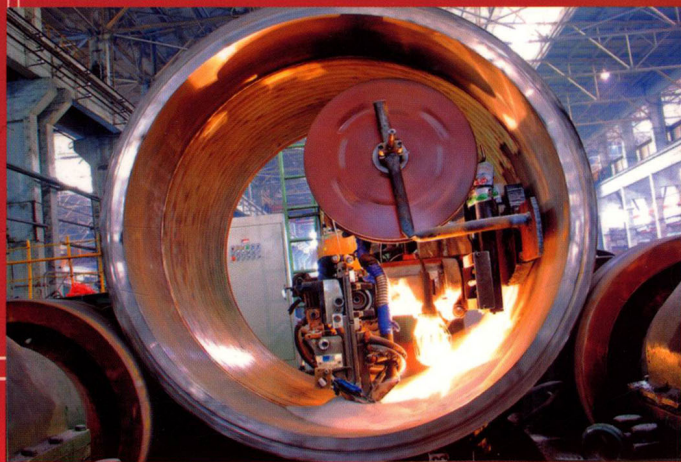
GUOLUYALI RONGQI

HANJIE JISHU PEIXUN JIAOCAI

锅炉压力容器焊接技术 培训教材

第2版

主编 杨 松 李宜男



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

锅炉压力容器焊接技术 培 训 教 材

第 2 版

主 编	杨 松	李宜男
副主编	王晓辉	李世魁
	赵玉虹	李长宝
参 编	孙国辉	程 悦
	于 溟	陈 怡
	张亚奇	刘 海
主 审	高增福	



机 械 工 业 出 版 社

根据国家颁布的 TSG G0001—2012《锅炉安全技术监察规程》和 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》等新法规和新标准对锅炉和压力容器的材料、设计、制造和检验试验所提出的新要求,根据锅炉压力容器焊接技术的新发展,修订了 2005 年版《锅炉压力容器焊接技术培训教材》。这次修订保持了原教材的总体结构,在内容上进行了调整和跟进。

本教材共分十三章,并含两个附录。前六章介绍了与锅炉压力容器产品的基本知识以及与焊接技术相关的金属学、焊接基础、焊接设备、焊接材料和锅炉压力容器常用材料焊接等方面的基本知识;后七章着重介绍了锅炉压力容器常用焊接方法、焊接应力及变形、焊接缺欠、焊接工艺设计及管理,焊接检验、焊接安全技术等方面的内容,并对锅炉压力容器通用工艺,典型产品或部件的专用工艺作了较详细描述。附录部分列出了《特种设备焊接操作人员常用操作技能评定项目代号说明及适用焊件范围》和《焊缝符号表示法》简介,便于查询和使用。

本教材主要取材于锅炉压力容器的生产实际,具有较强的实用性和先进性。既可作为焊工、焊接技师、焊工培训教师的培训教材,又可作为一般工艺员、焊接工艺员、现场施工人员的学习课本,同时也可供焊接专业大专院校、高职高专、技校师生参考。

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,李宜男主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2013.10

ISBN 978-7-111-43925-7

I. ①锅… II. ①杨… ②李… 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. ①TK226

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 202613 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 侯宪国 责任编辑:俞逢英 侯宪国

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:张 静 责任印制:李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·2 插页 30 印张·755 千字

0 001—5000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43925-7

定价:69.80 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

网络服务

社 服 务 中 心:(010) 88361066 教 材 网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

第2版前言

《锅炉压力容器焊接技术培训教材》一书，自2005年由机械工业出版社出版以来，广受焊接技术人员和焊工的好评与欢迎，并应用于实际工作，已多次重印，发行量超过20 000册。

近年来随着锅炉、压力容器制造业的发展，锅炉及压力容器制造的相关法规，以及原材料和焊接材料的相关标准都有了较大的变化。为了使原教材更切合当前实际，更具指导意义，经与机械工业出版社商定，对原教材进行修订再版。

修订版的章节安排基本上保持了原教材的框架结构，对各章节内容作了适当的调整与增删，并结合与锅炉、压力容器制造有关的新法规与新标准对本教材的第一章~第三章、第五章、第六章、第七章、第九章、第十章、第十二章及附录进行了全面修订，对第四章、第八章、第十一章和第十三章进行了局部修订。

第2版的内容不仅保持了第1版实用性、先进性的特点，而且还补充了与锅炉、压力容器制造有关的新材料、新工艺、新方法及新设备方面的最新资料，以适应锅炉、压力容器制造业的发展，满足广大焊接技术人员和焊工的需要。

本教材由杨松、李宜男任主编，王晓辉、李世魁、赵玉虹、李长宝任副主编，孙国辉、程悦、于湜、陈怡、张亚奇、刘海参与编写，全书由高增福主审。

对在本教材修订过程中给予大力支持的同仁以及所参考并引用的有关书籍、手册、文献资料和图稿的作者、编者深表感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

第1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、检验和焊接缺欠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

第2版前言

第1版前言

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 6

- 一、亚临界锅炉的总体结构 6
- 二、超临界及超超临界锅炉的总体结构 11
- 三、循环流化床锅炉的总体结构 14
- 四、联合循环余热锅炉的总体结构 14

第三节 压力容器的分类及基本 结构 16

- 一、压力容器的分类 17
- 二、圆柱形压力容器的结构 19

第四节 典型压力容器概述 23

- 一、球形压力容器 23
- 二、换热器 23
- 三、塔器 26
- 四、反应器 27

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 30

第三节 金属材料的性能及试验 31

- 一、金属材料的物理性能 31
- 二、金属材料的力学性能 32
- 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、奥氏体等温转变图 36

第五节 钢材的冶炼及分类 37

- 一、钢材的冶炼 37
- 二、钢材的分类 39

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 熔焊焊接热过程 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 55
- 三、焊缝金属中的氧、硫、磷及其
控制 55
- 四、焊缝金属的合金化 58

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	三、弧焊电源的型号	101
四、焊缝金属组织与性能的关系	63	第五节 各种弧焊电源的基本原理	
第五节 熔合区和热影响区的组织和性能	64	介绍	104
一、不易淬火钢	64	一、交流弧焊电源	104
二、易淬火钢	64	二、直流弧焊电源	108
三、不锈钢	65	三、脉冲弧焊电源	112
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	114
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	116
二、焊接接头的形式	67	第六节 弧焊电源的选择	118
三、焊缝的形式	69	一、根据焊接方法选择	118
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	119
一、金属材料的焊接性	70	第五章 焊接材料	121
二、工艺焊接性试验方法	71	第一节 焊接材料的定义和基本要求	121
三、使用焊接性试验方法	75	一、焊接材料的定义	121
第八节 焊接工艺内容概述	79	二、对焊接材料的基本要求	121
一、电特性参数	79	第二节 焊条的组成、分类及型号	123
二、温度参数	80	一、焊条的组成	123
三、焊接操作技术	80	二、焊条的分类	124
四、焊接位置	81	三、焊条的型号及牌号	125
五、焊后热处理	84	第三节 焊丝的分类、型号及牌号	130
第四章 弧焊电源	86	一、焊丝的分类	130
第一节 焊接电弧的特性及其分类	86	二、实芯焊丝的型号及牌号	131
一、焊接电弧的电特性	86	三、药芯焊丝的型号	132
二、电弧的力学特性	87	第四节 焊剂的分类、型号及牌号	137
三、焊接电弧的分类	88	一、焊剂的分类	137
第二节 电弧的偏吹	90	二、焊剂的牌号	137
一、电弧偏吹的产生机理	90	三、焊剂的型号	138
二、焊接电弧磁偏吹的产生原因	91	第五节 焊接用气体和钨极	141
三、电弧偏吹的消除及防止措施	93	一、氩气	141
第三节 对弧焊电源电气性能的基本要求	94	二、氧气	142
一、对弧焊电源外特性的要求	94	三、二氧化碳	142
二、对弧焊电源调节性能的要求	96	四、焊接用钨极	143
三、对弧焊电源动特性的要求	98	第六节 焊接材料的采购、验收及管理	144
第四节 弧焊电源的分类、特点和用途	99	一、焊接材料的采购与验收	144
一、常用弧焊电源的特点及应用	99	二、焊接材料的保管	145
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	100	三、焊接材料的烘干	146
		四、焊接材料的发放与回收	147
		第七节 国内外焊接材料简介	148

第六章 锅炉压力容器常用钢材的

焊接 156

第一节 锅炉压力容器常用碳素结构

钢的焊接 156

一、锅炉压力容器常用碳素结构钢 156

二、碳素结构钢的焊接特点 159

第二节 锅炉压力容器常用低合金高

强度结构钢的焊接 163

一、锅炉压力容器常用低合金高强度结构钢 163

二、低合金高强度结构钢的焊接特点 166

第三节 锅炉压力容器常用低、中

合金耐热钢的焊接 169

一、锅炉压力容器常用低、中合金耐热钢 169

二、低、中合金耐热钢的焊接特点 170

第四节 锅炉压力容器常用不锈钢的

焊接 176

一、锅炉压力容器常用不锈钢 176

二、锅炉压力容器常用不锈钢的焊接特点 177

第五节 锅炉压力容器常用低温钢

的焊接 187

一、低温钢的分类 187

二、常用低温钢的焊接特点 187

第六节 锅炉压力容器常用异种金属

的焊接 190

一、异种金属焊接的分类 190

二、异种金属焊接的特点 190

三、异种钢的焊接 191

第七节 压力容器常用有色金属的

焊接 195

一、容器用铝材的焊接 195

二、容器用钛材的焊接 201

三、容器用镍基合金的焊接 205

四、容器用铜及铜合金的焊接 208

第七章 锅炉压力容器制造常用焊接

工艺方法简介 211

第一节 焊条电弧焊 211

一、焊条电弧焊原理 211

二、焊条电弧焊的设备 211

三、焊条的选择及性能 212

四、焊条电弧焊各种焊接位置的操作技术 215

第二节 熔化极气体保护电弧焊 221

一、熔化极气体保护电弧焊的

原理及分类 221

二、熔化极气体保护焊的特点 222

三、熔化极气体保护焊的设备 223

四、熔化极气体保护焊的熔滴过渡形式 226

五、熔化极气体保护焊的焊接材料 227

六、熔化极气体保护焊的焊接参数 228

七、半自动熔化极气体保护焊各种焊接位置的操作技术 231

第三节 钨极惰性气体保护电弧焊 236

一、钨极惰性气体保护电弧焊的

原理及分类 236

二、钨极惰性气体保护电弧焊电源 238

三、钨极氩弧焊的焊接参数 240

四、手工钨极氩弧焊常见接头形式的操作要点 241

第四节 埋弧焊 246

一、埋弧焊的原理 246

二、埋弧焊的分类、特点及应用 246

三、丝极埋弧焊设备 248

四、埋弧焊的焊接材料 251

五、埋弧焊的主要焊接参数 252

六、埋弧焊的操作技术 255

七、窄间隙埋弧焊 258

八、带极埋弧堆焊 260

第五节 电渣焊 264

一、电渣焊的基本原理 264

二、电渣焊的分类及应用 264

三、电渣焊的特点及局限性 265

四、电渣焊的设备及辅助机具 267

五、电渣焊的焊接参数 268

六、电渣焊的操作技术 270

第六节 螺柱焊 273

一、螺柱焊的分类及基本原理 273

二、螺柱焊方法的选择 276

三、电弧螺柱焊的材料 276

四、电弧螺柱焊的设备	277	第九章 焊接缺欠	306
五、电弧螺柱焊的工艺	278	第一节 常见焊接缺欠及其分类	306
第七节 摩擦焊	279	一、焊接缺欠与焊接缺陷	306
一、摩擦焊的分类及特点	279	二、常见焊接缺欠	306
二、连续驱动摩擦焊的原理及设备	282	三、焊接缺欠的分类	306
三、连续驱动摩擦焊的焊接参数	283	第二节 裂纹	317
第八节 等离子弧焊	284	一、按形成机理对裂纹分类	317
一、等离子弧的产生、类型和特点	284	二、按裂纹的方向和所在位置对裂纹 分类及概述	320
二、等离子弧焊的分类及应用	286	第三节 气孔	322
三、等离子弧焊的类型	287	一、气孔的形成机理	322
四、等离子弧焊的设备	288	二、气孔的分类	323
五、等离子弧焊的焊接材料	289	第四节 其他常见焊接缺欠	323
六、等离子弧焊的焊接参数	290	第十章 焊接工艺设计与管理	327
第九节 药芯焊丝气体保护电弧焊	291	第一节 焊接工艺设计的依据	327
一、药芯焊丝电弧焊的原理	291	一、产品设计图样	327
二、药芯焊丝熔化极气体保护焊的特点 及应用	292	二、产品的设计、制造和检验法规或 标准	327
三、药芯焊丝熔化极气体保护焊的焊 接参数	292	三、产品专用技术条件和焊接专用标 准	331
四、药芯焊丝熔化极气体保护焊的操 作技术	293	四、制造企业的设备能力和工艺水平	331
第八章 焊接应力及变形	295	五、各种焊接试验数据	331
第一节 焊接应力和变形的一般 概念	295	第二节 焊接工艺准备阶段	331
一、金属的变形和应力概述	295	一、产品图样焊接工艺性审查	331
二、焊接应力及焊接变形的产生原因	296	二、制定产品的焊接方案	336
第二节 焊接应力和焊接变形的 分类	297	三、提出新的焊接工艺评定项目	338
一、焊接应力的分类	297	四、编制新的焊接材料采购规程	338
二、焊件加热、冷却后残留应力和变形 产生的简单原理	297	五、焊工资质的确定	338
三、中厚板对接焊接结构中残留应力的 典型分布规律	298	第三节 焊接工艺评定试验	339
四、焊接残留变形的分类	299	一、焊接工艺评定 (Welding Procedure Qualification) 概述	339
五、焊接应力和变形的危害	301	二、焊接工艺评定规则	339
第三节 焊接应力和变形的控制与 消除	301	三、焊接工艺评定试件的检验项目及合 格标准	341
一、焊接应力的控制	301	四、焊接工艺评定报告包括的内容	343
二、焊接应力的消除	303	五、焊接工艺评定的一般程序	343
三、焊接变形的控制与矫正	303	第四节 焊接工艺文件的制定	344
		一、焊接工艺规程 (焊接工艺指导 书)	345
		二、产品的焊缝识别卡	346
		第五节 焊接工艺设计及生产管理	347

一、焊接工艺设计管理及生产管理 流程	347	五、不锈钢的酸洗和钝化处理	375
二、焊接生产管理措施	347	六、制造实例	375
三、焊工资质的管理	349	第七节 复合板容器的制造特点	377
第六节 TSG Z6002—2010《特种设备焊接 作业人员考核细则》简介	349	一、复合板的切割下料	377
一、焊工技能评定概述	349	二、不锈钢复合板的热加工要求	377
二、焊工技能评定内容	350	三、不锈钢复合板的焊接特点	377
三、焊工操作技能评定规则概述	350	四、制造实例	380
四、焊工技能评定的流程	355	第八节 锅炉锅筒的制造工艺	382
第十一章 锅炉压力容器的制造工艺	356	一、锅筒的结构	382
第一节 锅炉压力容器的通用制造 工艺	356	二、锅筒受压件的材料	382
一、坡口制备	356	三、锅筒的制造工艺简介	383
二、板材的成形	356	第九节 锅炉集箱的制造工艺	388
三、管子的弯曲	358	一、集箱的结构简介	388
第二节 圆筒形储罐的制造工艺	360	二、集箱的制造	389
一、储罐零部件的加工	360	第十节 锅炉受热面管件的制造 工艺	397
二、储罐的组装	361	一、受热面管件的制造工艺简介	397
三、制造实例	361	二、膜式水冷壁管屏的制造	399
第三节 热交换器的制造工艺	363	三、蛇形管管屏的制造	406
一、壳体的制造	363	第十二章 焊接检验	411
二、管板的制造	364	第一节 焊接检验的目的和方法	411
三、水室的制造	364	一、焊接检验的目的	411
四、管系的组装工艺	364	二、常用的焊接检验方法	411
五、制造实例	367	第二节 外观检验	413
第四节 塔器的制造工艺	369	一、焊缝的目视检验	413
一、塔器的制造工艺特点	369	二、焊缝外形尺寸的检验	414
二、制造实例	370	第三节 无损检测	417
第五节 球形容器的制造工艺	372	一、射线检测——Radiographic Testing (缩写 RT)	419
一、球瓣的压制	372	二、超声波检测——Ultrasonic Testing (缩写 UT)	427
二、球瓣坡口的加工	372	三、磁粉检测——Magnetic particle Testing (缩写 MT)	433
三、球壳的组装	372	四、渗透检测——Penetrant Testing (缩写 PT)	437
四、球瓣的焊接特点	373	五、涡流检测——Eddy current Testing (缩写 ET)	439
五、制造实例	373	第四节 产品整体性能和产品接头 表面性能检验	440
第六节 奥氏体型不锈钢容器的制造 特点	374	一、耐压检验	440
一、不锈钢的切割下料	374	二、密封性检验	442
二、圆筒形不锈钢容器的成形	375		
三、不锈钢封头的冲压	375		
四、不锈钢的焊接特点	375		

三、产品接头表面性能检验	443	四、消防措施	450
第五节 焊接接头的破坏性检验	443	五、灭火	450
一、破坏性检验的项目	443	六、封闭空间内的安全要求	451
二、理化性能检验	443	七、公共展览及演示时的安全技术	452
三、产品焊接试件的破坏性检验	445	八、警告标志	452
第十三章 焊接安全与卫生	447	第四节 焊接安全操作	452
第一节 焊接过程中的有害因素	447	一、电弧焊安全操作	452
一、电对人体的危害	447	二、其他焊接方法安全操作	454
二、辐射线的危害	447	三、气焊（割）安全操作	455
三、热源的危害	447	附录	458
四、噪声的危害	448	附录 A 特种设备焊接操作人员常用	
五、焊接烟尘与气体的危害	448	操作技能评定项目代号说明	
第二节 焊接烟尘及噪声的控制	448	及适用焊件范围（依据 TSG	
一、烟尘与气体	448	Z6002—2010）	见书后插页
二、噪声	448	附录 B GB/T 324—2008《焊缝符号	
第三节 焊接安全及防护	448	表示法》简介	458
一、工作区域的防护	449	参考文献	468
二、人身防护	449		
三、通风	450		

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

根据《特种设备安全监察条例》定义：锅炉，是指利用各种燃料、电或者其他能源，将所盛装的液体加热到一定的参数，并对外输出热能的设备。

常见的锅炉通过煤、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。

一、锅炉的分类

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，大多以燃油为燃料，体积小，重量轻。

（二）承压锅炉按锅炉设备级别及额定工作压力分类

承压锅炉的范围规定为容积大于或者等于 30L 的承压蒸汽锅炉；出口水压大于或者等于 0.1MPa（表压），且额定功率大于或者等于 0.1MW 的承压热水锅炉；有机热载体锅炉。

TSG G0001—2012《锅炉安全技术监察规程》规定，承压锅炉按锅炉设备级别及额定工作压力分类：

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

(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℃。

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 $t \cdot h/t$ 。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为 $5 \sim 6t \cdot h/t$ ，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地降低钢材消耗率，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) 锅炉的可靠性 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 $\geq 6000h$ 。

(二) 锅炉的型号

锅炉型号对锅炉是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 所示。第一部分表示锅炉的制造厂家代号（见表 1-1）；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 1-2。

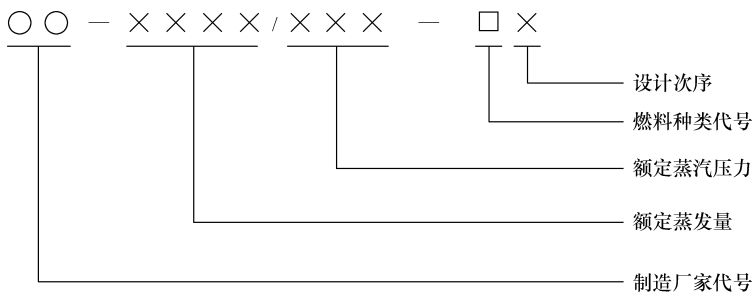


图 1-1 电站锅炉型号

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 $0.1\text{MW} < 0.2\text{MW}$ 。

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 $Q \leq 0.1\text{MW}$ 。

(三) 锅炉按运行时所处的状态分类

1. 固定式锅炉 在运行时锅炉本体处于固定状态的锅炉, 如电站锅炉, 工业锅炉 (热水锅炉和蒸汽锅炉) 等。

2. 移动式锅炉 在运行时锅炉本体处于移动状态的锅炉, 如船舶锅炉, 火车机车锅炉等。

(四) 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、高效率地燃烧各种燃料, 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。

(五) 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。

(六) 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 或 MW 或 kcal/h 。^①

① kcal/h 系非法定单位制, 其换算关系为: $1\text{kcal} = 4186.8\text{J}$, 下同。

表 1-1 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	杭州锅炉集团 (杭州锅炉厂)	NG	武汉锅炉股份有限公司 (武汉锅炉厂)	WG
东方锅炉股份有限公司 (东方锅炉厂)	DG	上海锅炉厂有限公司 (上海锅炉厂)	SG	济南锅炉集团有限公司 (济南锅炉厂)	YG
哈尔滨锅炉厂有限责任公司 (哈尔滨锅炉厂)	HG	江苏无锡锅炉厂	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 1-2 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 1-2 中燃煤的种类分为以下几种，见表 1-3。

表 1-3 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

例如：HG—1025/18.2—YM11 表示制造厂家为哈尔滨锅炉厂有限责任公司、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 表示东方锅炉股份有限公司制造、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。

2. 工业锅炉的型号 我国工业锅炉的型号是依据原机械行业标准 JB/T 1626—2002 的规定而编制，其锅炉型号的表示方式如图 1-2 所示。

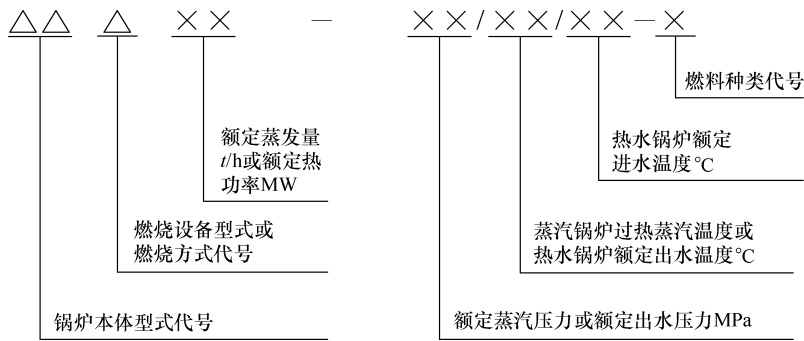


图 1-2 工业锅炉产品型号组成示意图

从图 1-2 中可看出，工业锅炉的型号也由三部分组成，各部分用短横线连接。第一部分分为三段，用两个大写汉语拼音字母代表锅炉本体型式（见表 1-4）；第二段

用一个大写汉语拼音字母代表燃烧设备型式或燃烧方式（见表 1-5）；第三段用阿拉伯数字表示蒸汽锅炉额定蒸发量为若干 t/h，或热水锅炉额定热功率为若干 MW，各段连续书写。

第二部分表示介质参数，对蒸汽锅炉分两段，中间以斜线相连，第一段用阿拉伯数字表示额定蒸汽压力为若干 MPa；第二段用阿拉伯数字表示过热蒸汽温度为若干℃，蒸汽温度为饱和温度时，型号的第二部分无斜线和第二段。对热水锅炉分为三段，中间也以斜线相连，第一段用阿拉伯数字表示额定出水压力为若干 MPa；第二段和第三段分别用阿拉伯数字表示额定出水温度和额定进水温度为若干℃。

第三部分表示燃料种类，用大写汉语拼音字母代表燃料品种，同时用罗马数字代表同一燃料品种的不同类别与其并列（见表 1-6）。如同时使用几种燃料时，主要燃料放在前面，中间以顿号隔开。

锅炉本体型式、燃烧设备型式或燃烧方式、燃料种类超出表 1-4、表 1-5 和表 1-6 的规定时，企业可参照上述规定自行编制产品型号。

工业蒸汽锅炉型号实例：DZL4—1.25—W II 表示单锅筒纵置式水管或卧式水火管链条炉排，额定蒸发量为 4t/h，额定蒸汽压力为 1.25MPa，蒸汽温度为饱和温度，燃用 II 类无烟煤的蒸汽锅炉；SZS10—1.6/350—Y、Q 表示双锅筒纵置式室燃，额定蒸发量 10t/h，额定蒸汽压力为 1.6MPa，过热蒸汽温度 350℃，燃油、燃气两用，以燃油为主的蒸汽锅炉。

热水锅炉型号实例：QXW2.8—1.25/95/70—A II 表示强制循环式往复炉排，额定热功率为 2.8MW，额定出水压力 1.25MPa，额定出水温度 95℃，额定进水温度 70℃，燃用 II 类烟煤的热水锅炉。如采用管架式（或角管式）结构，可在铭牌上用中文说明，以示其锅炉特点。

表 1-4 锅炉本体型式代号

锅炉类别	锅炉本体型式	代号
锅壳锅炉	立式水管	LS
	立式火管	LH
	立式无管	LW
	卧式外燃	WW
	卧式内燃	WN
水管锅炉	单锅筒立式	DL
	单锅筒纵置式	DZ
	单锅筒横置式	DH
	双锅筒纵置式	SZ
	双锅筒横置式	SH
	强制循环式	QX

注：水火管混合式锅炉，以锅炉主要受热面型式采用锅壳锅炉或水管锅炉本体型式代替，但在锅炉名称中应写明“水火管”字样。

表 1-5 燃烧设备型式或燃烧方式代号

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
固定炉排	G	下饲炉排	A
固定双层炉排	C	往复炉排	W

(续)

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
链条炉排	L	鼓泡流化床燃烧	F
抛煤机	P	室燃炉	S
滚动炉排	D	循环流化床燃烧	X

注：抽板顶采用下饲炉排的代号。

表 1-6 燃料种类代号

燃料种类	代号	燃料种类	代号
Ⅱ类无烟煤	WⅡ	气	Q
Ⅲ类无烟煤	WⅢ	水煤浆	J
贫煤	P	木柴	M
型煤	X	甘蔗渣	G
Ⅰ类烟煤	AⅠ	稻壳	D
Ⅱ类烟煤	AⅡ	褐煤	H
Ⅲ类烟煤	AⅢ	油	Y

3. 特种设备代码 为表明设备的唯一性，国家特种设备安全技术规范中对特种设备代码编号方法进行明确，即由 XXXX（设备基本代码）+ XXXXX（制造单位代号）+ XXXX（制造年份）+ XXXX（制造顺序号）的代码格式组成，中间无空格。以锅炉设备为例，例如，11002301020120089 代码表示黑龙江省一锅炉制造单位 2012 年制造的顺序编号为 89 的承压蒸汽锅炉。

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、蛇形管和连接管道等五大类。这些受压元件的材料与结构各异，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，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。

一、亚临界锅炉的总体结构

图 1-3 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 Π 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。

（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，锅筒将占有十分重要的地位。