



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工业锅炉设备

丁崇功 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工业锅炉设备

主编 丁崇功
参编 寇广孝 丁华嵘 顾炜莉 孙建平
常冰 叶勇军
主审 张永照 官燕玲



机械工业出版社

本书是建筑环境与设备工程本科专业的教科书,也可作为热能工程专业专业的教科书。

本书系统地阐述了燃煤、燃油、燃气工业锅炉(含特种工业锅炉)及其辅助设备的结构、工作原理、相关计算、热工试验及环境监测、运行维护及自动控制、锅炉水处理、烟气净化、锅炉燃料及其供应系统、施工安装以及工业锅炉房设计等内容。

全书内容密切结合国内、外工业锅炉的现状和发展,取材面广,充分反映了当代工业锅炉设备的先进科技成就和水平。

书中内容以我国最新的锅炉标准、规程和规范为依据,具有较强的工程实用性和实践性。因此,本书亦可供从事热能工程设计、施工安装、运行维护、热工试验、环境监测和技术管理等领域的工程技术人员参考。

本书配有电子课件,免费提供给选用本教材的授课教师。课件索取方式参见书末信息反馈表。

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉设备/丁崇功主编. —北京:机械工业出版社, 2009.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-25354-9

I. 工… II. 丁… III. 工业锅炉-高等学校-教材
IV. TK229

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第160428号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘涛 责任校对:陈延翔

封面设计:王伟光 责任印制:邓博

北京双青印刷厂印刷

2009年2月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·35.25印张·1插页·684千字

标准书号:ISBN 978-7-111-25354-9

定价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379720

封面防伪标均为盗版

序

发展国民经济和提高人民生活水平，都需要以充足、安全、可持续的能源供应为基础。因此，全世界包括中国都十分重视能源的生产和消费。中国是能源生产和消费大国，经过过去几个五年计划的努力，各方面都有了很大的发展，以绝对值计算，中国的一次能源、电力等生产和消费已居世界前列，有的已达首位。但是，中国人口众多，能源领域中的各项人均指标（例如人均一次能源、人均电力消费等），均低于世界平均水平很多。因此，能源安全十分严峻，此外，能源开发造成的环境污染严重，能源利用效率低下，能源管理落后等均严重制约着能源的科学持续发展，这些问题将成为今后能源进一步发展的重点，也是亟待解决的问题。

工业锅炉及其设备是能源生产和消费中的一个关键设备。目前，它的总能量供应能力已是电站锅炉的一倍。工业锅炉又因其量大面广、涉及生产领域多，与人民生活密切相关等，在发展经济和创造良好人居环境等方面尤显其重要性。因此，提高工业锅炉的安全性和效率，改善环境污染和科学管理等将是今后长期要努力解决的问题。往后十年或更长，工业锅炉设备应以节能优先，效率为本；煤为基础，多元发展；科学管理，保障安全；减少污染，保护环境为发展的原则，使工业锅炉及其设备形成良性发展，更好地为发展生产和提高人民生活水平服务。

全国高等工科学校多年来为我国经济持续高速发展和建设培养了大批高素质技术人才。建筑环境与设备工程专业也已经和正在为工业锅炉及其设备的设计、制造、安装、运行、测试、环境监测等方面输

送技术人才。在人才培养过程中，教材建设是很重要的基础。机械工业出版社组织、长安大学丁崇功教授主编的《工业锅炉设备》，是一本密切结合国内、外工业锅炉发展和现状，取材先进，涉及面广，反映了当代工业锅炉设备科学技术成就和水平的教材。编写人员理论基础扎实，具备丰富的教学经验，同时又具有长期工程实践能力。所编教材科学体系完整，工程教育和实践知识内容丰富，能培养学生的综合能力，满足我国建设事业对专业人才的要求。同时，该书也是一本从事工业锅炉设备各方面的工程技术人员较好的参考书。深信本书的编写和出版，将对我国建筑环境与设备工程及相近专业培养人才产生积极作用，从而为我国经济建设和健康、和谐的人居环境作出贡献。

张永明

于西安交通大学

前 言

“工业锅炉设备”是普通高等学校建筑环境与设备工程本科专业的重要专业课程。随着教学改革的深化，专业口径的进一步拓宽和大学毕业生就业双向选择等举措的实施，建筑环境与设备工程专业已经在工业锅炉的工程设计、施工安装、运行维护、测试、环境监测和技术管理等多个领域，占有很重要的位置，多年来，向这些领域输送了大量的毕业生，成为这些领域的科技主力军。为了更好的适应建设事业对高素质人才的需求，在校本科生的培养过程中，教材建设是至关重要的。

《工业锅炉设备》是根据目前国内外工业锅炉的现状和发展，紧密围绕国家的能源和环保政策而组织编写的。本书系统地阐述了工业锅炉及辅助设备、系统结构、工作原理和基本计算方法，同时，列举了应用这些理论和计算方法分析和演算的例题、复习题以及工程设计实例，以便加深学生对本书中基本内容的理解。本书编者的基本思路是力求做到理论与实践相结合，通过本门课程的教学，培养学生既掌握工业锅炉设备的基本理论，又学会从事工业锅炉设备的工程设计、施工安装、运行维护、测试及技术管理等方面的能力。

本书取材面广，内容包括绪论、锅炉燃料、工业锅炉热工计算、工业锅炉本体结构、工业锅炉燃烧设备、工业锅炉水动力工况及蒸汽净化、工业锅炉受热面热力计算、锅炉受压元件强度计算、锅炉大气污染物的排放与控制、工业锅炉热工试验及环境监测、工业锅炉的汽水系统、工业锅炉烟风阻力计算、工业锅炉的燃料供应及除灰渣系统、

工业锅炉安装、工业锅炉的运行调整及自动控制、工业锅炉房设计等。因此，本书既是建筑环境与设备工程本科专业的教科书，也可作为热能工程专业的教科书。

全书共分十六章，由长安大学丁崇功（第1章、第3章、第4章、第5章、第6章、第8章8.5、第9章、第11章、第12章12.7、第14章），西安市建筑设计研究院丁华嵘（第2章、第10章、第16章），南华大学顾炜莉（第7章），湖南工业大学寇广孝（第8章8.1~8.4），南华大学叶勇军、寇广孝（第12章12.1~12.6），五邑大学孙建平（第13章），石家庄铁道学院常冰（第15章）编写。全书由丁崇功任主编。

全国著名锅炉专家、西安交通大学张永照教授为本书作序。本书由张永照教授、长安大学官燕玲教授主审，承蒙他（她）们详细审阅书稿，提出了许多宝贵的指导性和修改意见，编者在此谨致诚挚的谢意。

本书引用了其他书籍中的许多资料（数据、图、表等），谨向有关文献的作者，表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限，书中难免存在遗漏、疏忽和不足之处，敬请专家和读者批评指正，编者不胜感谢。

编者

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 锅炉设备的构成、分类和工作过程	1
1.2 工业锅炉参数系列和技术经济指标	8
1.3 工业锅炉产品型号	14
复习题	18
第 2 章 锅炉燃料	19
2.1 固体燃料——煤炭	19
2.2 液体燃料——燃料油	39
2.3 气体燃料——燃气	44
2.4 生物质能	53
复习题	55
第 3 章 工业锅炉热工计算	57
3.1 煤和燃料油的燃烧计算及燃烧工况监测	57
3.2 气体燃料的燃烧计算及燃烧工况监测	70
3.3 烟气焓的计算	80
3.4 锅炉机组的热平衡	83
3.5 锅炉热工计算示例	93
复习题	98
第 4 章 工业锅炉本体结构	99
4.1 锅炉发展简史	99
4.2 锅壳锅炉	102
4.3 水管锅炉	108
4.4 热水锅炉	116
4.5 特种工业锅炉	130
4.6 工业锅炉受热面	145
4.7 工业锅炉的安全附件	157
复习题	162
第 5 章 工业锅炉的燃烧设备	163
5.1 燃料的燃烧过程	165
5.2 层燃燃烧设备	169
5.3 流化床燃烧设备	194

5.4 室燃燃烧设备	210
5.5 工业锅炉燃烧设备的热力特性	224
复习题	227
第6章 工业锅炉的水动力工况及蒸汽净化	229
6.1 工业锅炉的水动力工况	229
6.2 工业锅炉蒸汽净化	236
复习题	245
第7章 工业锅炉受热面热力计算	246
7.1 辐射受热面热力计算	246
7.2 对流受热面热力计算	255
7.3 工业锅炉受热面热力计算示例	265
复习题	268
第8章 锅炉受压元件强度计算	269
8.1 锅炉受压元件强度计算参数的确定	269
8.2 承受内压力的圆筒形元件的强度计算	273
8.3 承受内压力的封头强度计算	279
8.4 孔的加强计算	283
8.5 锅炉受压元件强度计算示例	287
复习题	291
第9章 锅炉大气污染物的排放与控制	292
9.1 锅炉大气污染物	292
9.2 工业锅炉除尘技术	297
9.3 锅炉烟气脱硫技术	313
9.4 锅炉烟气脱氮技术	318
复习题	320
第10章 工业锅炉热工试验	321
10.1 煤与灰渣的试验分析	321
10.2 气体燃料的试验分析	333
10.3 烟气分析	345
10.4 锅炉烟尘浓度试验分析	349
10.5 锅炉热效率试验	352
第11章 工业锅炉的汽水系统	361
11.1 工业锅炉给水系统	362
11.2 工业锅炉用水指标	366
11.3 石灰水处理软化除碱	371
11.4 离子交换水处理	373
11.5 隔膜分离除盐技术	391
11.6 锅内水处理技术	396
11.7 水的除气	399

11.8	工业锅炉蒸汽系统	405
11.9	工业锅炉排污系统	406
11.10	锅炉水处理计算示例	410
	复习题	413
第 12 章	工业锅炉烟风阻力计算	415
12.1	锅炉通风的方式	415
12.2	锅炉通风阻力计算基本方法	416
12.3	锅炉烟道的阻力计算	425
12.4	锅炉风道的阻力计算	431
12.5	锅炉烟囱的计算	434
12.6	风机的选择计算	438
12.7	工业锅炉烟风阻力计算示例	440
	复习题	447
第 13 章	工业锅炉的燃料供应及除灰渣系统	448
13.1	工业锅炉的运煤系统	448
13.2	工业锅炉的除灰渣系统	452
13.3	工业锅炉的燃料油供应系统	456
13.4	工业锅炉的燃气供应系统	460
	复习题	463
第 14 章	工业锅炉安装	464
14.1	锅炉基础验收、划线、处理	465
14.2	锅炉钢架和平台安装	466
14.3	锅筒、集箱安装	467
14.4	锅炉燃烧设备安装	470
14.5	锅炉受热面安装	476
14.6	锅炉整体水压试验	489
14.7	锅炉炉墙施工	491
14.8	烘炉、煮炉、试运行及竣工验收	497
	复习题	502
第 15 章	工业锅炉的运行调整及自动控制	504
15.1	工业锅炉的起动与停运	504
15.2	工业锅炉的运行调整	507
15.3	工业锅炉的停炉保养	509
15.4	工业锅炉的事故及事故处理	510
15.5	工业锅炉的自动控制	512
	复习题	514
第 16 章	工业锅炉房设计	515
16.1	设计原始资料	516
16.2	锅炉房规模的确定	517

16.3 锅炉房总图设计	519
16.4 锅炉房建筑设计	522
16.5 锅炉房热动力设计	524
16.6 锅炉房其他专业设计	526
16.7 工业锅炉房设计实例	530
参考文献	548

第 1 章

绪 论

1.1 锅炉设备的构成、分类和工作过程

锅炉是一种将煤炭、石油、可燃气体和生物质(木材、甘蔗渣、桔梗、城市垃圾……)等所储藏的化学能以及工业生产中的余热或其他热源,转化为一定温度和压力的水或蒸汽的换热设备。

锅炉广泛应用于现代社会国民经济的各个领域,我国现阶段 70% 以上的电能是利用蒸汽推动汽轮发电机组发电而获得的,工农业(如纺织、化工、造纸、机械、农产品加工工业等)生产工艺过程中也都离不开蒸汽,供热通风、空气调节工程以及生活热水供应所需要的热能也都是来自于高温热水或蒸汽。因此,锅炉已成为现代社会生产和人民生活不可缺少的特种重要设备。

1.1.1 锅炉设备的构成

锅炉设备由锅炉本体和辅助设备两大部分构成。

1. 锅炉本体

锅炉本体是由“锅”(接受高温烟气的热量并将其传给工质的受热面系统)和“炉”(将燃料的化学能转变为热能的燃烧系统)两大部分组合在一起构成的。以图 1-1 所示双锅筒横置式链条炉排锅炉为例阐述。

“锅”是指承受内部或外部作用压力、构成封闭系统的各种部件,包括锅壳、锅筒(蒸汽锅炉的上锅筒又称汽包)、下降管、集箱(联箱)、水冷壁、凝渣管、锅炉管束、汽水分离装置、汽温调节装置、排污装置、蒸汽过热器、省煤器等。

“炉”是指构成燃料燃烧场所的各组成部件,包括炉膛(燃烧室)和炉前煤斗、煤闸门、炉排(炉篦)、除渣板、分配送风装置等组成的燃烧设备。

2. 锅炉辅助设备

(1) 燃料供应系统设备 燃料供应系统设备的作用是保证供应锅炉连续运行

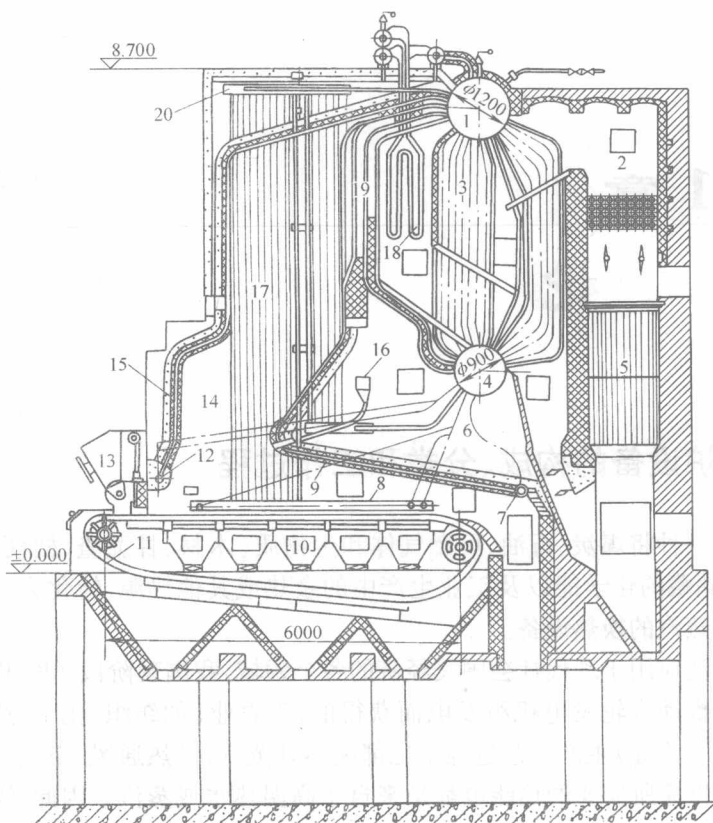


图 1-1 SHL 型锅炉

- 1—上锅筒 2—省煤器 3—锅炉管束 4—下锅筒 5—空气预热器 6—下降管
 7—后墙水冷壁下集箱 8—侧墙水冷壁下集箱 9—后墙水冷壁 10—风仓
 11—链条炉排 12—前墙水冷壁下集箱 13—炉前煤斗 14—炉膛
 15—前墙水冷壁 16—二次风管道 17—侧墙水冷壁 18—蒸汽
 过热器 19—凝渣管 20—侧墙水冷壁上集箱

所需要的符合质量要求的燃料。

1) 燃料的储存设备包括煤场、原煤仓、煤粉仓、储油罐、工作油箱等。

2) 燃料的运输设备包括带式输送机、埋刮板输送机、多斗提升机、电动葫芦吊煤罐、单斗提升机、给煤机、给粉机、桥式抓斗起重机、推煤机、油泵、输油管道、输气管道、过滤器、调压器等。

3) 燃料的加工设备包括破碎机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉风机、型煤机等。

(2) 送、引风设备 送、引风设备的作用是给炉子送入燃烧所需要的空气

或给磨煤系统输送热空气干燥剂,并从炉膛内引出燃烧产物——烟气,以保证锅炉正常燃烧。送、引风设备包括送风机、引风机、冷风道、热风道、烟道和烟囱等。

(3) 汽、水系统设备 汽、水系统包括蒸汽、给水、排污等三大系统。

蒸汽系统的作用是将合格的蒸汽送往用户或锅炉自用汽。蒸汽系统设备包括蒸汽管、附件、分汽缸等。

给水系统的作用是将经过水处理后的符合锅炉水质要求的给水送入锅炉,以保证锅炉正常运行。给水设备包括锅炉给水泵,水箱,给水管,再生液管,水的除硬、除碱、除盐和除气设备等。

除污系统的作用是将锅水中的沉渣和盐分杂质排除掉,使锅水符合锅炉水质标准。除污系统设备包括排污管、附件、连续排污膨胀器、定期排污膨胀器、排污降温池等。

(4) 除灰渣设备 除灰渣设备的作用是将锅炉的燃烧产物——灰渣,连续不断地除去并运送到灰渣场。除灰渣设备包括马丁除渣机、叶轮除渣机、螺旋除渣机、刮板除渣机、重型链条除渣机、水力除灰渣系统、沉灰池、渣场、渣斗、桥式抓斗起重机、推灰渣机等。

(5) 烟气净化系统设备 烟气净化系统包括烟气的除尘、脱硫、脱硝设备,它们的作用是除去锅炉烟气中夹带的固体微粒——飞灰和二氧化硫、氮氧化物等有害物质,改善大气环境。除尘、脱硫、脱硝设备包括重力除尘器、惯性力除尘器、离心力除尘器、水膜除尘器、布袋过滤除尘器、电除尘器、二氧化硫吸收塔、脱硝装置等。

(6) 仪表及自动控制系统设备 仪表及自动控制系统设备的作用是对运行的锅炉进行自动检测、程序控制、自动保护和自动调节。仪表及自动控制系统设备包括微型计算机,温度、压力、水位、流量、负压等仪表,烟气氧量表,自动调节阀以及控制系统等。

1.1.2 锅炉分类

锅炉用途广泛,种类繁多,很难用一种统一的分类方法来表述,往往从不同角度来分类。

1. 按用途分类

(1) 工业锅炉 用于工业生产、采暖通风、空气调节工程和生活热水供应的锅炉。大多为低参数、小容量锅炉,蒸汽锅炉额定蒸发量在 $0.1 \sim 65\text{t/h}$ 的范围内,热水锅炉额定热功率在 $0.1 \sim 174.0\text{MW}$ 的范围内,常压锅炉额定热功率在 $0.05 \sim 2.8\text{MW}$ 的范围内。

(2) 电站锅炉 用于发电,为高参数、大容量锅炉,我国现行电站锅炉标

准参数、容量系列中，最大容量锅炉的额定蒸发量为 2008t/h，其发电功率为 600MW。超临界参数锅炉尚未订入标准。

(3) 船用锅炉 用作船舶动力，大多为低、中参数可移动燃油锅炉。

(4) 机车锅炉 用作机车动力，大多为低参数、小容量、可移动燃煤锅炉。目前已经很少应用。

2. 按锅炉出口工质压力分类

(1) 常压热水锅炉 在任何情况下，锅筒水位线处的表压力为零的锅炉。

(2) 低压锅炉 锅炉额定出口工质压力（表压力） $p \leq 2.5 \text{MPa}$ 的锅炉。

(3) 中压锅炉 锅炉额定出口工质压力（表压力） $p = 3.82 \text{MPa}$ 的锅炉。

(4) 高压锅炉 锅炉额定出口工质压力（表压力） $p = 9.8 \text{MPa}$ 的锅炉。

(5) 超高压锅炉 锅炉额定出口工质压力（表压力） $p = 13.7 \text{MPa}$ 的锅炉。

(6) 亚临界锅炉 锅炉额定出口工质压力（表压力） $p = 16.7 \text{MPa}$ 的锅炉。

(7) 超临界、超超临界锅炉 锅炉额定出口工质压力（表压力） $p > 22.13 \text{MPa}$ 的锅炉。

3. 按所用燃料或能源分类

(1) 燃煤锅炉 以煤为燃料的锅炉。

(2) 燃油锅炉 以轻柴油、重油等液体燃料为燃料的锅炉。

(3) 燃气锅炉 以天然气、液化石油气、人工燃气等气体燃料为燃料的锅炉。

(4) 混合燃料锅炉 以煤、油、气等混合燃料为燃料的锅炉。

(5) 生物质能锅炉 以生物质为燃料的锅炉。如秸秆锅炉、垃圾焚烧锅炉、甘蔗渣锅炉等。

(6) 余热锅炉 以冶金、石油、化工等工业余热、余气为加热介质的锅炉。

(7) 其他能源锅炉 以原子能、太阳能、地热能、电能等为能源的锅炉。

4. 按燃烧方式分类

(1) 火床燃烧（层燃）锅炉 燃料被铺层在炉排上进行燃烧的锅炉。

(2) 火室燃烧（悬浮燃烧）锅炉 燃料被喷入炉膛空间呈悬浮状燃烧的锅炉。

(3) 流化床燃烧（沸腾燃烧）锅炉 燃料在布风板上被由下而上送入的高速空气流托起，上下翻滚进行燃烧的锅炉。

(4) 旋风炉燃烧锅炉 粗煤粉或煤屑被强大的空气流带动在卧式或立式旋风筒内旋转燃烧、液态排渣的锅炉。

5. 按通风方式分类

(1) 自然通风锅炉 利用烟囱中热烟气与外界冷空气的密度差所形成的作用压头来克服空气及烟气流动阻力的锅炉。

(2) 机械送风锅炉 在锅炉送、引风系统中仅设置送风机来克服烟、风道阻力的锅炉。

(3) 机械引风锅炉 在锅炉送、引风系统中仅设置引风机来克服烟、风道阻力的锅炉。

(4) 平衡通风锅炉 在锅炉送、引风系统中同时设置送、引风机来分别克服风道阻力和烟道阻力的锅炉。

6. 按炉膛烟气压力分类

(1) 负压燃烧锅炉 炉膛出口烟气负压维持在 $20 \sim 40\text{Pa}$ 的锅炉。

(2) 微正压燃烧锅炉 炉膛出口烟气表压力为 $2000 \sim 5000\text{Pa}$ 的锅炉。

(3) 增压燃烧锅炉 炉膛出口烟气表压力大于 300kPa 的锅炉。

7. 按循环方式分类

(1) 自然循环锅炉 具有锅筒，利用下降管与上升管中或锅炉管束中工质的密度差产生的作用压力来克服管道流动阻力，促使工质循环流动的锅炉。

(2) 强制循环锅炉 具有锅筒和循环水泵，利用循环回路中工质的密度差产生的压力和循环水泵提供的压力来共同克服管道流动阻力，促使工质循环流动的锅炉。

(3) 直流锅炉 无锅筒，给水靠水泵提供的压力一次通过受热面产生蒸汽的锅炉。

8. 按锅炉结构分类

(1) 锅壳锅炉 具有锅壳，容纳水、汽，烟管受热面布置在锅壳内的锅炉。燃烧室布置在锅壳内部的锅炉，称为内燃锅壳锅炉；燃烧室布置在锅壳外部的锅炉，称为外燃锅壳锅炉（即水火管锅炉）。

(2) 水管锅炉 受热面布置在炉墙围护结构空间内，水、汽、汽水混合物等工质在管内流动受热、高温烟气在管外冲刷放热的锅炉。

9. 按所使用的工质分类

(1) 普通工质锅炉 普通工质锅炉是指以水为工质的锅炉。

(2) 特种工质锅炉 特种工质锅炉是指以水银、矿物油及高温有机热载体为工质的锅炉。

10. 按锅筒布置形式分类

(1) 锅筒纵置式锅炉 锅筒纵向中心线与锅炉前后中心线平行的锅炉。

(2) 锅筒横置式锅炉 锅筒纵向中心线与锅炉前后中心垂直的锅炉。

11. 按锅炉出厂形式分类

(1) 快装锅炉 锅炉本体整装出厂的锅炉。

(2) 组装锅炉 锅炉本体出厂时，制造成若干个组合件，在安装现场拼成锅炉整体，称为组装锅炉。

(3) 散装锅炉 锅炉本体出厂时，制造成大量的零件和部件，在安装地点按锅炉厂设计图样进行安装，形成锅炉整体，称为散装锅炉。

1.1.3 锅炉的工作过程

锅炉的工作过程大致可分为同时进行的两大过程：炉内过程和锅内过程。前者包括燃料的燃烧过程和受热面外部烟气侧的炉内的传热过程；后者包括受热面金属与工质之间的传热过程，工质的加热、蒸发与过热过程，工质的流动过程和工质侧的热化学过程（如蒸汽品质、盐分沉淀、受热面结垢和腐蚀等）。工业锅炉的工作过程，如图 1-2 所示。

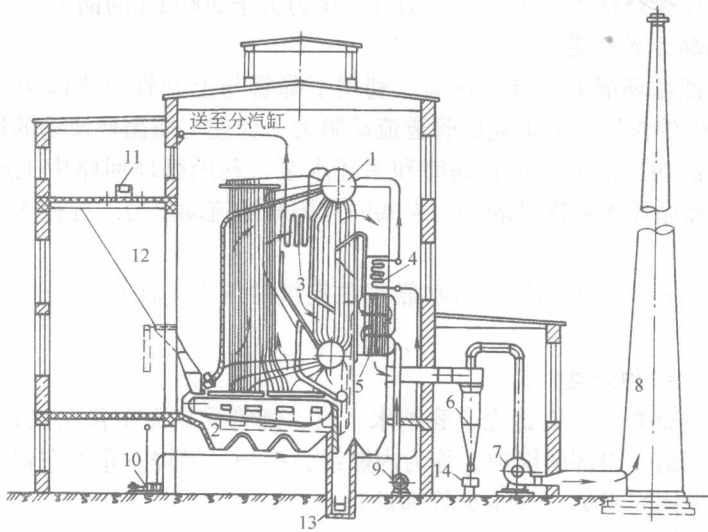


图 1-2 锅炉设备工作过程简图

- 1—锅筒 2—链条炉排 3—蒸汽过热器 4—省煤器 5—空气预热器
6—除尘器 7—引风机 8—烟囱 9—送风机 10—给水泵
11—带式输送机 12—原煤仓 13—重链除渣机 14—灰车

1. 炉内过程

图 1-2 所示的锅炉是以煤为燃料的层燃炉。煤经输煤装置送入锅炉原煤仓，原煤仓中的煤直接靠自重经溜煤管进入炉前煤斗，再落到缓缓向前移动的链条炉排上，经过煤闸门进入燃烧室。燃料燃烧所需要的空气经送风机压入空气预热器，升温后进入炉排下面的分段送风仓，进而与炉排上面的煤充分接触、混合，进行强烈的燃烧反应，产生的高温烟气，以辐射换热的方式，向敷设在燃烧室四周水冷壁内的水或汽水混合物传递热量。继而，高温烟气经烟窗（炉膛出口）掠过凝渣管，冲刷蒸汽过热器，沿着隔火（折烟）墙横向冲刷锅炉管束，以对流换热方式，将热量传递给对流受热面管束内的汽、水、汽水混合物等工质；沿途温度逐渐降低的烟气进入尾部受热面，冲刷省煤器，以对流换热方式，将部分