



高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

锅炉及锅炉房设备 (第五版)

Boiler and Boiler – room Equipment

吴味隆 等编著



中国建筑工业出版社

高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材

锅炉及锅炉房设备

Boiler and Boiler-room Equipment

(第五版)

吴味隆 等编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉及锅炉房设备/吴味隆等编著. —5 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2014. 8
高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材
ISBN 978-7-112-16865-1

I. ①锅… II. ①吴… III. ①锅炉-高等学校-教材
②锅炉房-设备-高等学校-教材 IV. ①TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 100449 号

本书为高等学校原供热通风空调及燃气工程专业“锅炉及锅炉房设备”课程的推荐教材, 是在 2006 年第四版的基础上修订而成的。

本书以供热锅炉(工业锅炉)为对象, 较为系统地阐述了锅炉设备、工作原理和设计计算基础与方法, 密切联系我国锅炉行业的实际, 及时反映国内外锅炉技术的新进展、新技术和新成果。本次修订保持原有特色和框架结构, 但在内容上作了较多的增删更新, 特别突出了能源“节约优先”和环境“保护优先”的理念, 如增补了燃油、燃气供应系统、诸如余热锅炉、冷凝锅炉、生物质锅炉和垃圾锅炉等一类特种锅炉; 重写了“烟气净化”, 较为详细地介绍了烟气脱硫、脱氮技术的原理和具体方法; 更新和贯彻了与锅炉有关的国家标准和规范等。此外, 各章选编有复习思考题和习题(附参考答案), 书末还附有两个已投入运行的燃油、燃气锅炉房工艺设计工程实例。

本书也可供其他相关相近专业的师生和热能工程技术人员参考。

* * *

责任编辑: 姚荣华 张文胜
责任校对: 姜小莲 刘 钰

高等学校建筑环境与能源应用工程专业规划教材
锅炉及锅炉房设备
(第五版)
吴味隆 等编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 31 $\frac{1}{4}$ 插页: 6 字数: 794 千字
2014 年 11 月第五版 2014 年 11 月第四十次印刷

定价: 65.00 元

ISBN 978-7-112-16865-1
(25646)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第五版前言

本书是高等学校原供热通风空调及燃气工程学科专业指导委员会评选、审定的“锅炉及锅炉房设备”课程的推荐教材，它与辅助教材《锅炉习题实验及课程设计》配合使用。因其紧扣该课程教学大纲，框架体系较为合理，注重理论与实践结合，内容寓理深刻而讲解通俗、透彻，较好地满足了设置有该专业的全国数十所院校的日校教学和函授等远程业余教学的需要，同时也受到其他相关专业的师生和技术人员的普遍欢迎。自初版至今，它已印刷了39次，总共发行了22万余册，基本上满足了各方面的实际需要。

锅炉是供热之源。它对我国社会经济的持续发展和人民生活的日益提高起着极为重要的作用。但这是以消耗大量宝贵的燃料资源和排放大量大气污染物为代价的。我国社会经济发展与资源和环境的矛盾日益突出，逼迫我们重视并处理好这一问题，不然资源支撑不住，环境容纳不下，社会承受不起，经济发展将难以为继。因此，我国政府以法律法规明确能源“节约优先”和环境“保护优先”，显然它将是建筑环境与能源应用专业师生面对的两大课题。这也正是本版修订工作的指导思想和内容增删、变动的依据。

本书保留原有特色和框架体系，注重理论与实践相结合，及时反映锅炉技术国内外的新进展、新技术和新成果，更好地适应教学和工程的实际需要。相比于第四版，本次修订在第五章中新增特种锅炉一节，对余热锅炉、真空锅炉、冷凝锅炉、生物质锅炉、垃圾锅炉、导热油锅、电热锅炉及核能锅炉等的结构、原理及其特点逐一作了介绍，探求节约能源和提高能源利用率的新途径，以开阔学生视野；在第九章中新增膜分离水处理一节；在第十章，增加燃油供应系统和燃气供应系统两节，以满足现代城市建设的需要并强化清洁能源代替燃煤的趋势；重写了“烟气净化”，用较大篇幅系统地介绍了烟气脱硫、脱氮技术的原理和具体方法，注重大气环境质量，以进一步提高学生的环境保护意识；考虑到专业的实际，删除了“锅炉受压元件的强度计算”一章。此外，与时俱进地更新和贯彻了与锅炉及锅炉房设计相关的国家标准和规范规程。

本版修订工作主要由同济大学吴味隆教授完成，参与修订工作的还有肖永伟高级工程师和高丽工程师。此处需要特别说明的是，本书各章之末的思考复习题、习题和附录4锅炉课程设计指导书均移植于由吴味隆任主编的《锅炉习题实验及课程设计》一书，它们分别由同济大学邵锡奎教授和西安建筑科技大学傅裕仁教授执笔。

在本书编写和修订过程中，承蒙中国电器工业协会工业锅炉分会名誉理事长、上海工业锅炉研究所原所长程其耀教授级高级工程师和上海机电设计研究院李玲珍教授级高级工程师给予大力支持和帮助，提供了大量资料和宝贵意见；承蒙徐宏伟高级工程师和张铭高级工程师分别为本书提供了燃油锅炉房和燃气锅炉房工艺设计工程实例，在此表示诚挚的谢忱。对采用过本书并提出宝贵意见、建议的师生和本书所引用的参考文献作者们及所有关心、帮助过本书编写和修订的同志，在此一并表示衷心的感谢！

由于本书内容涉及的专业面较广，虽主观上力图使本书能更好地适应教学和工程实际参考的需要，但因限于编著者的水平，书中一定还存在有疏漏和错误，敬请读者批评指正。

编著者

2014年4月28日于上海

第一版前言

根据高等学校供热通风空调及燃气工程学科专业指导委员会关于今后推荐出版的专业教材采用评选方法产生的决议，同济大学于1990年12月正式提出编写“锅炉及锅炉房设备”课程教材的申请，翌年送交了参评的教材初稿。经审查评选，本书稿在1992年10月召开的专业指导委员会第四次会议上被确定为该课程的推荐教材，并委托该会委员、青岛建筑工程学院解鲁生教授担任主审。依照评审意见，作者多次逐章进行了认真修改，本书于1994年初完稿、审定。

“锅炉及锅炉房设备”是供热通风空调及燃气工程专业的主要专业课之一。本书系根据专业所制订的该课程教学大纲编写而成，其内容和份量力图符合教学基本要求。

本书较为系统地阐述了锅炉工作过程的基本理论和设计的计算基础及基本方法。在取材上，尽量注意结合我国锅炉工业的实际，同时充分反映国内外先进的科技成果。在编排上，本书基本保持由同济大学、湖南大学和重庆建筑工程学院合编的原试用教材《锅炉及锅炉房设备》的结构和风格。但就其内容而言，本书在试用教材使用了15年的教学实践基础上，作了许多重大修改和更新。譬如，锅炉系列、燃料品种代号、锅炉强度计算、锅炉大气污染物排放、水质指标的单位及标准等均改用了国家新标准或规定；锅炉热力计算则采用我国编制的《层状燃烧及沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法》；在锅炉型谱中，新增了角管锅炉、循环流化床锅炉等最新发展；在锅炉房工艺布置和设计方面，则以最新颁布的《锅炉房设计规范》为依据。

全书共分十二章，由同济大学奚士光教授（第一、三、七、十章）、吴味隆教授（第二、四、五、六章）和蒋君衍副教授（第八、九、十一、十二章）编写，奚士光教授负责主编。

本书承蒙主审解鲁生教授详细审阅，并结合自己长期积累的教学经验提出了许多宝贵意见，在此谨致诚挚的谢意。

在本书的编写过程中，还得到哈尔滨建筑大学、重庆建筑大学、上海工业锅炉研究所、上海机电设计院等单位及有关同志的大力支持和帮助，提供了宝贵的资料，在此一并致以衷心的感谢。

作者主观上虽力图使本教材更加符合教学规律，以便更好地适应教学和工程实际参考的需要，但限于水平，书中一定尚存在许多漏误之处，恳望广大读者批评指正。

目 录

第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识	1
第一节 概述.....	1
第二节 锅炉的基本构造和工作过程.....	2
第三节 锅炉的基本特性.....	4
第四节 锅炉分类与型号.....	6
第五节 锅炉房设备的组成	11
复习思考题	14
第二章 燃料与燃烧计算	15
第一节 燃料的化学成分	15
第二节 煤的燃烧特性	20
第三节 煤的分类	25
第四节 液体燃料	28
第五节 气体燃料	34
第六节 燃料的燃烧计算	42
第七节 锅炉烟气分析及其结果的应用	53
复习思考题	59
习题	60
第三章 锅炉的热平衡	61
第一节 锅炉热平衡的组成	61
第二节 锅炉热效率	64
第三节 固体不完全燃烧热损失	68
第四节 气体不完全燃烧热损失.....	71
第五节 排烟热损失	72
第六节 散热损失	73
第七节 灰渣物理热损失及其他热损失	75
第八节 燃料消耗量	76
复习思考题	80
习题	80
第四章 燃烧设备	83
第一节 层燃炉	83
第二节 煤粉炉.....	105
第三节 燃油炉.....	112
第四节 燃气炉.....	119

第五节 流化床炉	126
第六节 燃烧设备的工作强度与选型	132
复习思考题	136
习题	137
第五章 供热锅炉	139
第一节 锅炉结构型式的演变	139
第二节 蒸汽锅炉	141
第三节 热水锅炉	157
第四节 特种锅炉	165
第五节 辅助受热面	181
第六节 锅炉安全附件	187
复习思考题	192
第六章 锅炉水循环及汽水分离	194
第一节 锅炉的水循环	194
第二节 蒸汽品质及其影响因素	202
第三节 汽水分离装置	206
复习思考题	210
第七章 锅炉本体的热力计算	211
第一节 炉膛传热过程及计算	211
第二节 对流受热面的传热计算	224
第三节 对流放热系数	228
第四节 辐射放热系数	236
第五节 平均温差	238
第六节 对流受热面传热计算方法提要	242
复习思考题	255
习题	256
第八章 锅炉设备的通风计算	260
第一节 通风的作用和方式	260
第二节 通风计算的原理和基本方法	261
第三节 烟道的阻力计算	275
第四节 风道的阻力计算	279
第五节 烟囱的计算	281
第六节 风机的选型和烟风道布置	284
复习思考题	287
习题	288
第九章 供热锅炉水处理	289
第一节 水中杂质和水质标准	289
第二节 钠离子交换软化	294
第三节 浮动床及流动床离子交换	301

第四节	离子交换除碱	303
第五节	石灰-纯碱水处理	308
第六节	膜分离水处理	311
第七节	锅内加药和其他水处理	316
第八节	锅炉金属的腐蚀	318
第九节	水的除氧	320
第十节	锅炉排污及排污率计算	326
	复习思考题	327
	习题	328
第十章	锅炉燃料供应及除灰渣	330
第一节	锅炉房运煤系统	330
第二节	锅炉房燃油供应系统	337
第三节	锅炉房燃气供应系统	341
第四节	锅炉房除灰渣系统	344
	复习思考题	348
第十一章	锅炉烟气除尘与脱硫脱氮	349
第一节	锅炉大气污染物与排放标准	349
第二节	锅炉烟气除尘	353
第三节	锅炉烟气脱硫	366
第四节	锅炉烟气脱氮	381
	复习思考题	389
第十二章	锅炉房设计及汽水系统	391
第一节	锅炉房设计原则和方法	391
第二节	锅炉房容量及锅炉选择	393
第三节	锅炉房的布置	394
第四节	锅炉房设计与有关专业的协作关系	397
第五节	蒸汽锅炉房的汽水系统	401
第六节	热水锅炉房的热力系统	405
第七节	锅炉房布置及汽水系统举例	407
	复习思考题	409
附录 1	锅炉实验指示书	410
附录 2	锅炉课程设计指导书	444
附录 3	工业锅炉房工艺设计工程实例	471
附录 4	附表	479
	参考文献	485

基本符号

一、主体符号

- A ——燃料含灰量, %; 原水碱度, mmol/L
- A_c ——残留碱度, mmol/L
- A_g ——锅水允许碱度, mmol/L
- A_{gs} ——给水碱度, mmol/L
- a ——灰量占燃料总灰量的份额
- a_h ——火焰黑度
- a_l ——炉膛的系统黑度
- a_y ——烟气黑度
- a_{Na} ——流经钠离子交换器的水量份额
- B ——燃料消耗量, kg/h; 还原耗盐量, kg/次
- B' ——燃料消耗量, kg/s
- B_j ——计算燃料消耗量, kg/h
- B'_j ——计算燃料消耗量, kg/s
- Bo ——炉内传热相似准则或波尔茨曼准则
- b ——还原时食盐耗量, g/mol; 刮板宽度, m; 当地平均大气压力, Pa
- b_0 ——海平面大气压, Pa
- b_{pj} ——烟气的平均压力, Pa
- C ——燃料含碳量, %
- CO ——烟气中一氧化碳的体积百分数, %
- c ——比热容, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; 修正、校正系数
- D ——锅炉蒸发量, t/h
- D_{ps} ——排污水量, t/h
- D_q ——排污扩容器的二次蒸汽量, kg
- D_z ——总软化水量, m^3/h
- d ——湿空气的含湿量, g/kg; 直径, m
- d_{dl} ——当量直径, m
- d_h ——火焰中灰粒平均直径, μm
- E_g ——交换剂的工作能力, mol/m^3
- E_t —— t 温度下的恩氏黏度, $^\circ\text{E}$
- F ——面积、截面积, m^2
- F_b ——炉膛壁面积, m^2
- F_{bz} ——炉膛总壁面面积, m^2

- F_l ——炉膛周界（包覆）面积， m^2
 f ——流通截面积， m^2
 G ——加水量， kg/h ；循环水量， kg/h ；补给水量， t/h
 G_1 ——生石灰消耗量， g/t
 G_2 ——配制盐液用水量， t ；纯碱消耗量， g/t
 G_f ——反洗用水量， t
 G_z ——正洗用水量， t
 G_{wh} ——雾化重油耗汽量， kg/kg
 G_y ——烟气质量， kg/kg
 g_R ——交换剂质量， t
 H ——受热面积， m^2 ；燃料含氢量， $\%$ ；高度， m ；原水总硬度， $mmol/L$ ；风压， Pa
 H_f ——有效辐射受热面积， m^2
 H_{FT} ——生水中非碳酸盐硬度， $mmol/L$
 H_{Mg} ——生水中镁盐硬度， $mmol/L$
 H_T ——生水中碳酸盐硬度， $mmol/L$
 h ——比焓， kJ/kg ；高度， m
 h_d ——动压头， Pa
 h_{zs} ——自生风， Pa
 H_k^0 ——理论空气量的焓， kJ/kg
 H_y^0, H_y ——理论、实际烟气量的焓， kJ/kg
 H_{py} ——排烟的焓， kJ/kg
 ΔH_k ——过量空气量的焓， kJ/kg
 ΔH ——阻力、压降， Pa
 ΔH_{sl}^y ——烟道总阻力， Pa
 Δh ——流动阻力， Pa
 Δh_{hx} ——横向冲刷阻力， Pa
 Δh_{mc} ——沿程摩擦阻力， Pa
 Δh_{mc}^i ——摩擦阻力， Pa/m
 Δh_{jb} ——局部阻力， Pa
 Δh_{sd} ——速度损失， Pa
 Δh_{sl} ——介质流动阻力， Pa
 K ——传热系数， $kW/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；循环倍率；换算系数；凝聚剂加药量， $mmol/L$ ；容积富裕系数
 k_h ——灰粒的减弱系数， $1/(m \cdot MPa)$
 k_g ——固体颗粒减弱系数， $1/(m \cdot MPa)$
 k_q ——三原子气体的减弱系数， $1/(m \cdot MPa)$
 k_Δ ——管壁粗糙度影响系数
 L ——距离， m

- l ——长度, m
 M ——燃料含水量, %; 煤的储备天数, d
 N ——功率, kW; 燃料含氮量, %
 N_2 ——烟气中氮气的体积百分数, %
 n ——管子数, 根
 O ——燃料含氧量, %
 O_2 ——烟气中氧气的体积百分数, %
 P ——锅炉压力, MPa
 P_l ——按碱度计算的排污率, %
 P_g, P_j ——锅炉、集箱中的静压, Pa
pH——水的酸碱性指标
 Pr ——普朗特数
 P_2 ——按含盐量计算的排污率, %
 ΔP ——水力流动阻力, Pa
 Q ——热水锅炉供热量, MW; 流量, m^3/h ; 发热量, kJ/kg
 Q_1, q_1 ——锅炉有效利用热, kJ/kg, %
 Q_2, q_2 ——锅炉排烟热损失, kJ/kg, %
 Q_3, q_3 ——气体不完全燃烧热损失, kJ/kg, %
 Q_4, q_4 ——固体不完全燃烧热损失, kJ/kg, %
 Q_5, q_5 ——散热损失, kJ/kg, %
 Q_6, q_6 ——灰渣带走的物理热损失, kJ/kg, %
 Q_{cr} ——受热面的传热量, kJ/kg
 Q_r ——受热面从炉膛辐射或前烟气空间辐射所得的热量, kJ/kg
 Q_{gl} ——锅炉每小时有效吸热量, kW
 Q_k ——燃烧所需空气带进炉内的热量, kJ/kg
 Q_l ——燃料在炉内有效放热量, kJ/kg
 Q_{lq} ——烟道自燃冷却散热损失, kW
 Q_r ——1kg 燃料送入炉膛热量, kJ/kg
 Q_{rp} ——从热平衡方程求得烟气放热量, kJ/kg
 q_R ——炉排可见热强度, kW/m²
 q_V ——炉膛容积可见热强度, kW/m³
 q_f ——辐射受热面平均热流密度, kW/m²
 q_{yd} ——烟道单位面积的散热损失, kW/m²
 R ——炉排有效面积, m²; 曲率半径, mm
 Re ——雷诺数
 RO_2 ——烟气中二氧化碳与二氧化硫之和的体积百分数, %
 R_s ——蒸发面负荷, m³/(m²·h)
 R_V ——锅筒汽空间体积负荷, m³/(m³·h)
 S ——燃料含硫量, %; 管距, m; 有效压头, Pa; 含盐量, mg/L; 真空度,

Pa; 壁厚, mm

S_g ——锅水的含盐量, mg/L

S_{gs} ——给水的含盐量, mg/L

S_{yd} ——水循环的运动压头, Pa

T ——时间, h、min; 绝对温度, K

T_b ——水冷壁管外积灰层温度, K

T_u ——理论燃烧温度, K

T_h ——火焰平均温度, K

T_m ——炉膛温度最高值, K

t ——时间, h、min; 温度, °C

t_b ——壁温, °C

t_{gq} ——过热蒸汽温度, °C

t_{hb} ——对流受热面管壁灰污层外表面温度, °C

t_{lk} ——冷空气温度, °C

Δt ——传热平均温差, °C

U ——湿周周长, m

V ——锅筒汽空间容积, m^3 ; 反洗强度, $kg/(m^2 \cdot s)$; 燃料的挥发分, %

V_{gy} ——干烟气量, m^3/kg

V_k^0, V_k ——理论、实际空气量, m^3/kg

V_l ——炉膛容积, m^3

V_R ——交换剂装载量, m^3

V_y^0, V_y ——理论、实际烟气量, m^3/kg

ΔV_k ——过量空气量, m^3/kg

v ——比容, m^3/kg

w ——流速、速度, m/s

w_0 ——水循环流速, m/s

x ——有效角系数; 介质混合程度系数; 蒸汽干度

Z ——高度, m

Z_2 ——沿气流方向的管子排数

α ——过量空气系数; 放热系数, $kW/(m^2 \cdot ^\circ C)$, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; 还原盐液浓度, %

α_d ——对流放热系数, $kW/(m^2 \cdot ^\circ C)$

α_f ——辐射放热系数, $kW/(m^2 \cdot ^\circ C)$

α_{fh} ——飞灰灰分比

α_{fz} ——灰渣灰分比

α_{lm} ——漏煤灰分比

$\Delta\alpha$ ——漏风系数

β ——燃料特性系数

β_1, β_2 ——流量、压头储备系数

β_3 ——电动机备用系数
 δ ——有效辐射层厚度, m
 ϵ ——灰污系数, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{kW}$
 ζ ——沾污系数; 阻力系数
 ζ_i ——每一排管子的阻力系数
 ζ_{jk} ——突扩原始局部阻力系数
 ζ_{zw} ——弯头原始局部阻力系数
 η ——机械传动效率, %; 除尘效率, %; 排污管热损失系数; 修正系数
 η_{bl} ——锅炉效率, %
 ϑ ——烟气温度, $^\circ\text{C}$
 ϑ_{py} ——排烟温度, $^\circ\text{C}$
 ϑ_{ll} ——理论燃烧温度, $^\circ\text{C}$
 λ ——导热系数, $\text{kW}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 沿程摩擦阻力系数
 μ_h ——火焰中灰粒的无因次浓度, kg/kg
 ν ——动粘度, m^2/s
 ξ ——利用系数
 ρ ——燃烧面与炉壁面积之比; 密度, kg/m^3
 ρ_k ——空气的密度, kg/m^3
 ρ_y ——烟气的密度, kg/m^3
 σ_0 ——绝对黑体辐射常数, $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
 τ_{20} ——粘度计常数或水值
 φ ——保热系数, 减弱系数; 充满系数
 φ_{ks} ——扩散系数
 ψ ——有效系数
 χ ——炉膛水冷程度

二、上、下角码

ar——收到基	e——额定
ad——空气干燥基	f——辐射, 风干, 风机
b——壁, 饱和	fh——飞灰
bcq——侧墙壁面	fz——防渣管
bdq——炉底壁面	g——锅炉、锅水
bqq——前墙壁面	gr——高位
bz——标准、炉壁	hz——灰渣
c(<i>cl</i>)——错列	l——炉膛
ch——烟囱	le——肋
d——对流, 干燥基, 电动机	lk——冷空气
daf——干燥无灰基	lm——漏煤
dl——当量	lq——冷却
dt——弹筒	max——最大值

mc——摩擦
min——最小值
n——内
nl——逆流
net——低位
o——理论
sl——顺流
sm——省煤器
xi——下降管
y——烟气
yf——引风
pj——平均
ps——排污水
py——排烟，尾部
q——蒸汽
r——燃料
rk——热空气
gk——干空气
gq——过热蒸汽
gr——过热器
gs——给水、管束

gy——干烟气
hb——灰污层
hx——横向
hy——火焰
hz——灰渣
i——单排
j——计算
jb——局部
jk——突扩
k——空气
kf——沸腾汽化点
ks——扩散
ky——空气预热器
rs——热水
s——水、散热
sh——上升管
w——外
wh——雾化
yz——烟囱
zs——自生、折算
zx——纵向

第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识

第一节 概 述

一个供热系统是由热源、热网和热用户组成的。通常利用锅炉及锅炉房设备生产出蒸汽或热水，而后通过热力管道将蒸汽或热水输送至用户，以满足生产工艺和采暖及生活等方面的需要。因此，锅炉是供热之源。锅炉及锅炉房设备的任务，在于安全可靠、经济有效地把燃料的化学能转化为热能，进而将热能传递给水，以生产热水或蒸汽。

蒸汽，不仅用作将热能转变成机械能的工质产生动力，用于发电等；蒸汽（或热水）也用作载热体，为工业生产、采暖通风空调等方面提供所需的热量。通常，把用于动力、发电方面的锅炉，叫做电站锅炉；把用于工业、采暖和生活方面的锅炉，称为供热锅炉，又称工业锅炉。

电能的生产企业称为发电厂。从总体上讲，火力发电是世界电能生产的主要形式。火力发电厂的三大主机——锅炉、汽轮机和发电机中，锅炉是最基本的能量转换设备。为了提高汽轮发电机组的效率，电站锅炉所生产的蒸汽，其压力和温度都很高，且日趋向高压、高温和大容量方向发展。例如，与 1000MW 汽轮发电机组相配套的国产超超临界锅炉，每小时的蒸汽产量就有 3033t，蒸汽压力为 26.25MPa，过热蒸汽的温度达 605℃。而与本专业密切相关的供热锅炉，除生产工艺上有特殊要求外，所生产的蒸汽（或热水）均不需过高的压力和温度，容量也无需过大。而且，无论是工业用户，还是采暖空调和热水供应用户，对蒸汽一般都是利用蒸汽凝结时放出的汽化潜热，因此大多数供热锅炉生产的都是饱和蒸汽。

随着我国经济建设的迅速发展，锅炉设备已广泛应用于现代工业的各个部门和生活领域，成为发展国民经济的重要热工设备之一。从量大面广的这个角度来看，除了电力行业以外的各行各业中运行着的主要是中小型低压供热锅炉。截至 2011 年底，全国在用锅炉 62.03 万台^①。随着我国工业现代化和城镇化的推进、城市高层民用建筑的快速崛起和油气资源的大力开发，特别是国家对环保工作要求的提高，近些年来燃油、燃气锅炉的比例正日益增大。尽管如此，但由于我国以煤为主的能源结构，锅炉燃料目前还是以煤为主，燃煤锅炉约占 70%。燃煤供热锅炉的热效率普遍较低，实际运行效率只有 60%~75%，比当前发达国家的供热锅炉效率低 10%~15%，节能潜力很大。而且，它们每年排放大量的烟尘和 SO₂，NO_x，CO₂ 等有害气体，严重污染了大气和环境。因此，我们当前面临的是节能和环境保护两大课题。

能源是国家的重要战略物资，是一个国家经济增长和社会发展的物质基础，关系

^① 详见《2012 年中国工业锅炉行业年鉴》。

着经济社会的可持续发展。到 2020 年，国家要求国内生产总值比 2000 年翻两番，但能源消费只能翻一番。这就需要我们依靠科技进步、通过调整产业结构和采取节能措施等手段来提高能源利用率，切实贯彻《节约能源法》确定的“坚持开发和节约并举，把节约放在首位”的方针。对于量大面广的供热锅炉，如何改进燃烧技术，挖掘潜力提高它们的热效率以节约燃料，有着十分重要的实际意义。同时，面对我国环境保护的巨大压力，国家出台最严格法律^①向污染宣战，首次明确环境“保护优先”的原则。因此，如何积极主动地变终端（烟气）治理为源头（燃料）治理，大力推广和使用优质低硫煤、洗选煤、固硫型煤、水煤浆，并采用清洁燃烧技术和燃煤污染控制技术，包括脱硫、脱氮工艺或低氮燃烧，以保护环境，提高大气环境质量，也是我们义不容辞应承担的责任。

诚然，作为本专业的学员，通过本课程的学习，还需要具有合理选用锅炉及锅炉房设备和运行管理以及进行锅炉房工艺设计的基本训练和初步能力。

第二节 锅炉的基本构造和工作过程

锅炉，顾名思义其最根本的组成是汽锅和炉子两大部分。燃料在炉子里燃烧，将它的化学能转化为热能，高温的燃烧产物——烟气，则通过汽锅受热面把热量传递给汽锅中温度较低的水，水被加热或进而沸腾汽化，产生蒸汽。锅炉房设备是保证锅炉源源不断地生产蒸汽或热水而设置的，诸如输煤除渣机械、储油和加压加热设备、燃气调压装置、送引风机、水泵和量测控制仪表等不可缺少的辅助装置和设备。借此锅炉房成为供热之源，安全可靠、经济有效地为用户提供热量。

一、锅炉的基本构造

图 1-1 所示为一台燃煤的 SHL 型锅炉，也称双锅筒横置式链条炉排锅炉。

汽锅的基本构造包括锅筒（又称汽包）、管束、水冷壁、集箱和下降管等，它是一个封闭的汽水系统。炉子包括煤斗、炉排、炉膛、除渣板、送风装置等，是燃烧设备。

此外，为了保证锅炉的正常工作和安全，蒸汽锅炉还必须装设安全阀、水位表、高低水位警报器、压力表、主汽阀、排污阀、止回阀等；还有为消除受热面上积灰以利传热的吹灰器，以提高锅炉运行的经济性。

二、锅炉的工作过程

锅炉的工作，可概括为三个过程，即同时进行着的燃料的燃烧过程、烟气向水的传热过程和水的受热、汽化过程。

1. 燃料的燃烧过程

如图 1-1 所示，锅炉的炉子设置在汽锅的前下方，此种炉子是供热锅炉中应用较为普遍的一种燃烧设备——链条炉排炉。燃料在加煤斗中借自重下落到炉排面上，炉排借电动机通过变速齿轮箱减速后由链轮来带动，犹如皮带运输机，将燃料带入炉内。燃料一边燃烧，一边向后移动；燃烧需要的空气是由风机送入炉排腹中风仓后，向上穿过炉排到达燃料层，进行燃烧反应形成高温烟气。燃料最后烧尽成灰渣，在炉排末端被除渣板（俗称老鹰铁）铲除于灰渣斗后排出，这整个过程称为燃烧过程。燃烧过程进

^① 2014 年 4 月 25 日颁布的《中华人民共和国环境保护法》。

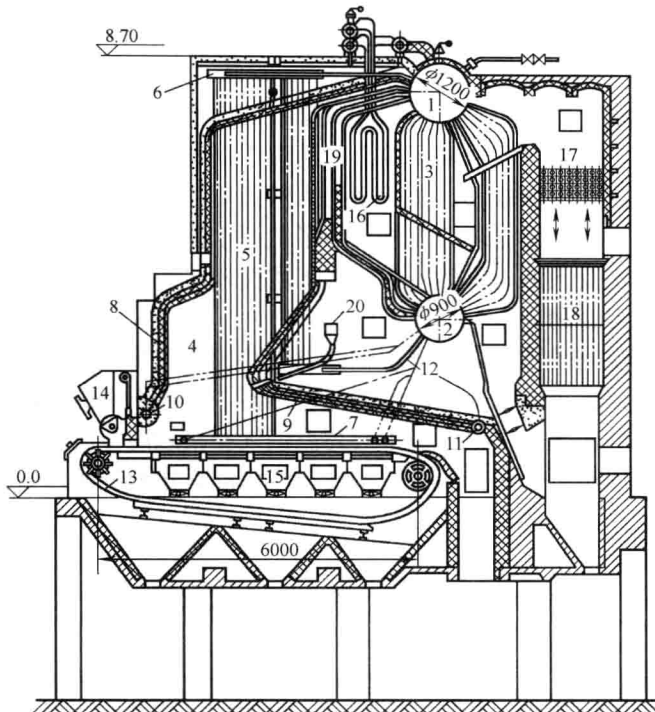


图 1-1 SHL 型锅炉

- 1—上锅筒；2—下锅筒；3—对流管束；4—炉膛；5—侧墙水冷壁；6—侧水冷壁上集箱；7—侧水冷壁下集箱；
8—前墙水冷壁；9—后墙水冷壁；10—前水冷壁下集箱；11—后水冷壁下集箱；12—下降管；13—链条炉排；
14—炉前加煤斗；15—风仓；16—蒸汽过热器；17—省煤器；18—空气预热器；19—烟囱及防渣管；20—二次风管

行得完善与否，是锅炉正常工作的根本条件。要保证良好的燃烧必须要有高温的环境，必需的空气量和空气与燃料的良好混合。当然，为了锅炉燃烧的持续进行，还得连续不断地供应燃料、空气和排出烟气、灰渣。为此，就需配备送、引风设备和运煤出渣设备。

2. 烟气向水（汽等工质）的传热过程

由于燃料的燃烧放热，炉内温度很高。在炉膛的四周墙面上，都布置一排水管，俗称水冷壁。高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射换热，将热量传递给管内工质。继而烟气受引风机、烟囱的引力而向炉膛上方流动。烟气出烟囱（炉膛出口）并掠过防渣管后，冲刷蒸汽过热器——一组垂直布置的蛇形管受热面，使汽锅中产生的饱和蒸汽在其中受烟气加热而得到过热。烟气流经过热器后又掠过胀接在上、下锅筒间的对流管束，在管束间设置了折烟墙使烟气呈“S”形曲折地横向冲刷，再次以对流换热方式将热量传递给管束内的工质。沿途降低着温度的烟气最后进入尾部烟道，与省煤器和空气预热器内的工质进行热交换后，以经济的较低烟温排出锅炉。省煤器实际上是给水预热器，它和空气预热器一样，都设置在锅炉尾部（低温）烟道，以降低排烟温度提高锅炉效率，从而节省了燃料。

3. 水的受热和汽化过程