

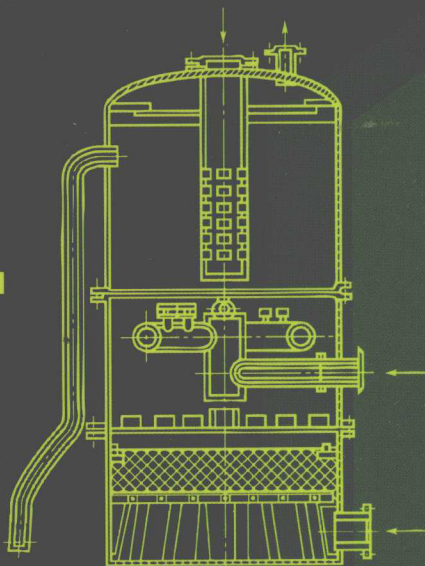


高等院校建筑环境与设备工程专业

规划教材 >>>>

GUOLU JI GUOLUFANG SHEBEI
锅炉及锅炉房设备

刘艳华 杨春英 编 曹子栋 审



化学工业出版社

高等院校建筑环境与设备工程专业规划教材

锅炉及锅炉房设备

刘艳华 杨春英 编
曹子栋 审



化学工业出版社

·北京·

全书共 14 章,第 1 章主要介绍锅炉的发展、基本构造及工作过程、参数系列与型号等;第 2 章介绍锅炉燃料的分类、组成及基本性质;第 3 章介绍锅炉的物质平衡与热平衡;第 4 章简要介绍燃料燃烧的基础理论、我国目前常用的锅炉燃烧设备及锅炉的结构形式等;第 5 章介绍锅炉的送引风系统及计算;第 6 章介绍燃料供应及除灰渣系统;第 7 章介绍了锅炉的水循环及蒸汽净化;第 8 章介绍了锅炉房水处理设备及汽水系统;第 9、10 章介绍了工业锅炉房设计及锅炉运行与管理等方面的相关知识;第 11 章介绍常用的工业锅炉房热工试验方法;第 12、13 章介绍了锅炉的热力计算和强度计算;第 14 章介绍能够供热的其他热源设备与系统,包括电热锅炉、余热锅炉、地热技术及热泵技术等。

本书加大了对燃油、燃气设备及系统的基础理论及专业知识的介绍,精减了锅炉热力计算内容,以我国标准 GB/T 9222—2008 为主,讲述了锅炉强度计算的方法。此外还讲述了其他如电能、余热利用、太阳能及热泵等当今被广泛关注的热源设备。

本书可作为高等本专科学校及高等职业学校建筑环境与设备工程专业的教学用书,也可供相关工程技术人员在进行锅炉房工艺设计、施工及运行管理时参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉及锅炉房设备/刘艳华,杨春英编. —北京:化学工业出版社,2010.1
高等院校建筑环境与设备工程专业规划教材
ISBN 978-7-122-07163-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 241072 号

责任编辑:陶艳玲
责任校对:陈静

文字编辑:余纪军
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 424 千字 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.80 元

版权所有 违者必究

前 言

“锅炉及锅炉房设备”是高等学校建筑环境与设备工程专业的重要专业课程之一。本书系统阐述了锅炉及锅炉房设备与系统的组成、工作原理、设计及计算的方法等方面的基础理论及专业知识。全书共 14 章，第 1 章主要介绍锅炉的发展、基本构造及工作过程、参数系列与型号等；第 2 章介绍锅炉燃料的分类、组成及基本性质；第 3 章介绍锅炉的物质平衡与热平衡；第 4 章简要介绍燃料燃烧的基础理论、我国目前常用的锅炉燃烧设备及锅炉的结构形式等；第 5 章介绍锅炉的送引风系统及计算；第 6 章介绍燃料供应及除灰渣系统；第 7 章介绍了锅炉的水循环及蒸汽净化；第 8 章介绍了锅炉房水处理设备及汽水系统；第 9、10 章介绍了工业锅炉房设计及锅炉运行与管理等方面的相关知识；第 11 章介绍常用的工业锅炉的热工试验方法；第 12、13 章介绍了锅炉的热力计算和强度计算；第 14 章介绍能够供热的其他热源设备与系统，包括电热锅炉、余热锅炉、地热技术及热泵技术等。

由于城市环境保护方面的要求，许多城市均在一定程度上限制燃煤锅炉的使用，本书加大了对燃油、燃气设备与系统的基础理论及专业知识的介绍，精减了锅炉热力计算内容，以我国标准 GB/T 9222—2008 为主，介绍了锅炉强度计算的方法。此外还介绍了其他如电能、余热利用、太阳能及热泵等当今被广泛关注的热源设备。全书除了基础理论的介绍，还注重常用及先进设备与技术的阐述并注意引导学生关注国家的政策导向。本书的内容调整及章节划分，尽可能体现理论及技术知识的系统性及连贯性。

本书由刘艳华教授、杨春英副教授编写，其中第 1、2、3、4、11、12、13、14 章由西安交通大学刘艳华教授编写，第 5、6、7、8、9、10 由哈尔滨工程大学杨春英副教授编写，全书由刘艳华统稿，由西安交通大学曹子栋教授审读，并提出了宝贵意见，在此表示深切感谢！

本书引用了许多国内权威资料（数据、图表、例题、工程设计及标准等），由于教材的特殊性以及时间仓促，本书没有在文中具体位置标明所引用资料的具体出处，仅将所引用文献集中于书后列出，这里向各位作者表示歉意。另外，书中如有疏忽或漏引之处，还望有关文献的作者能及时指正，以便修改。由于作者水平和经验有限，不妥之处在所难免，也请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月

目 录

第 1 章 概论	1	3.1.2 燃烧生成的烟气量计算	36
1.1 锅炉的历史、现状与发展	1	3.2 锅炉的热平衡	39
1.2 锅炉的基本组成及工作过程	3	3.2.1 锅炉输入热量	40
1.2.1 锅炉的基本组成	3	3.2.2 锅炉有效利用热	41
1.2.2 锅炉的工作过程	5	3.2.3 锅炉热效率	41
1.3 工业锅炉分类	5	3.2.4 锅炉燃料消耗量	42
1.4 工业锅炉参数及型号	6	3.2.5 锅炉热损失	42
1.4.1 工业锅炉参数系列	6	3.3 空气及烟气的焓	45
1.4.2 锅炉型号	8	3.4 燃烧温度	47
1.5 锅炉的经济性指标	9	3.5 锅炉物质平衡及热平衡算例	48
复习思考题	9	3.6 燃烧方程及烟气分析	50
第 2 章 锅炉燃料	11	3.6.1 燃烧方程	50
2.1 燃料的分类与组成	11	3.6.2 烟气分析	52
2.1.1 燃料的分类	11	复习思考题	53
2.1.2 燃料的组成与特性	11	第 4 章 锅炉燃烧设备及结构形式	55
2.1.2.1 气体燃料的组成与特性	11	4.1 燃料燃烧的基本知识	55
2.1.2.2 液体和固体燃料的组成与特性	12	4.1.1 着火与燃烧	55
2.1.3 燃料成分的基准与换算	13	4.1.2 燃烧方式	56
2.2 气体燃料	15	4.1.3 完全燃烧条件	57
2.2.1 天然气燃料	15	4.1.4 燃烧质量的评价	57
2.2.2 人工气体燃料	15	4.2 燃烧设备	57
2.2.3 气体燃料的特点	17	4.2.1 燃气炉	57
2.2.4 气体燃料的基本性质	17	4.2.1.1 气体燃料的燃烧	57
2.3 液体燃料	21	4.2.1.2 燃气炉的构造与特性	59
2.3.1 锅炉用燃料油的分类及特点	21	4.2.1.3 燃烧器的分类与技术要求	59
2.3.2 燃料油的基本性质	22	4.2.1.4 常用燃烧器	60
2.4 固体燃料	26	4.2.2 燃油炉	64
2.4.1 煤的分类	26	4.2.2.1 油的燃烧	64
2.4.2 煤的分析及其燃烧特性	27	4.2.2.2 油喷嘴	64
2.4.2.1 煤的分析	27	4.2.2.3 配风器	67
2.4.2.2 煤的燃烧特性	28	4.2.2.4 稳焰器	69
2.4.3 工业锅炉常用的其他固体燃料	31	4.2.2.5 对燃油燃烧器的技术要求	69
2.4.3.1 植物性燃料	31	4.2.3 燃煤炉	69
2.4.3.2 城市生活垃圾	31	4.2.3.1 固体燃料的燃烧	69
复习思考题	31	4.2.3.2 层燃炉	70
第 3 章 锅炉的物质平衡与热平衡	33	4.2.3.3 流化床锅炉	78
3.1 锅炉的物质平衡	33	4.2.3.4 煤粉炉	80
3.1.1 燃烧所需的空气量计算	33	4.3 工业锅炉的结构形式	82
3.1.2 燃烧生成的烟气量计算	36	4.3.1 烟管锅炉	82
3.2 锅炉的热平衡	39	4.3.2 水管锅炉	84
3.2.1 锅炉输入热量	40		
3.2.2 锅炉有效利用热	41		
3.2.3 锅炉热效率	41		
3.2.4 锅炉燃料消耗量	42		
3.2.5 锅炉热损失	42		
3.3 空气及烟气的焓	45		
3.4 燃烧温度	47		
3.5 锅炉物质平衡及热平衡算例	48		
3.6 燃烧方程及烟气分析	50		
3.6.1 燃烧方程	50		
3.6.2 烟气分析	52		
复习思考题	53		

4.4 锅炉辅助受热面	89	8.1.2 工业锅炉水质标准	140
4.4.1 过热器	90	8.1.3 水处理系统的分类及水处理 设备	141
4.4.2 省煤器	90	8.1.3.1 水处理工艺	141
4.4.3 空气预热器	91	8.1.3.2 水处理设备	144
4.5 锅炉安全附件	91	8.2 水的除气	146
复习思考题	93	8.3 供热锅炉的排污系统及排污计算	149
第5章 送引风系统及计算	95	8.4 给水系统	150
5.1 通风的作用和方式	95	8.5 蒸汽系统与排污系统	153
5.2 风、烟管道的设计及阻力计算	96	8.5.1 蒸汽系统	153
5.2.1 风、烟管道的结构	96	8.5.2 排污系统	154
5.2.2 风、烟管道的截面面积	96	复习思考题	155
5.2.3 风、烟管道的阻力计算	97	第9章 工业锅炉房设计	156
5.3 烟囱的构造及计算	102	9.1 工业锅炉房设计	156
5.4 送、引风机的选择与布置	106	9.1.1 工业锅炉房的设计原则	156
5.5 烟气净化设备	110	9.1.2 锅炉房工艺设计程序	156
5.5.1 锅炉烟气组成及排放标准	110	9.1.3 锅炉房设计文件的构成	157
5.5.2 锅炉除尘器	112	9.2 燃气锅炉房设计	159
5.5.3 锅炉烟气特性及其对除尘效率的 影响	113	9.2.1 锅炉房的位置	159
复习思考题	116	9.2.2 锅炉房建筑设计要求	159
第6章 燃料供应及除灰渣系统	117	9.2.3 调压站的位置	160
6.1 锅炉房燃气供应系统	117	9.2.4 调压站站房的设计要求	160
6.2 锅炉房燃油油供应系统	118	9.3 燃油锅炉房设计	161
6.3 锅炉房运煤系统	120	9.3.1 燃油锅炉房区域各建筑和构筑物 的布置	161
6.3.1 储煤量的确定	121	9.3.2 燃油锅炉房热负荷计算	161
6.3.2 储煤场面积的确定	121	9.3.3 燃油锅炉房位置选择和布置	162
6.3.3 煤的制备	121	9.3.4 油库位置的选择及布置	163
6.3.4 运煤设备	122	9.3.5 油泵房选择和布置	164
6.3.5 运煤系统的选择	124	9.4 燃煤锅炉房设计简介	164
6.4 锅炉房除灰渣系统	124	9.4.1 设计原始资料	165
6.4.1 锅炉房除灰方式	125	9.4.2 锅炉房容量的确定	165
6.4.2 除灰渣设备	125	9.4.3 锅炉房位置的选择	166
6.4.3 灰渣场	127	9.5 锅炉房设计与有关专业的协作关系	166
复习思考题	128	9.5.1 与土建专业的协作内容	166
第7章 锅炉的水循环及蒸汽净化	129	9.5.2 与电气及自控仪表专业的协作 内容	167
7.1 锅炉的水循环	129	9.5.3 与暖通专业（或建筑环境与设备 专业）协作的内容	168
7.2 蒸汽品质及蒸汽带水	132	9.5.4 与给排水专业协作的内容	168
7.2.1 蒸汽品质	132	9.5.5 与其他专业的协作	169
7.2.2 蒸汽带水的影响因素	133	9.6 锅炉房布置及汽水系统	170
7.3 汽水分离装置	133	9.6.1 锅炉房及设备布置	170
7.3.1 汽水分离原理	133	9.6.2 锅炉房主机设备的选择	172
7.3.2 汽水分离装置介绍	134	9.6.3 锅炉房布置实例	173
复习思考题	137		
第8章 锅炉水处理及汽水系统	138		
8.1 锅炉给水处理及设备	138		
8.1.1 水质及水质标准	138		

第 10 章 锅炉运行与管理	179	12.2.5 辐射放热系数	215
10.1 锅炉运行与维护保养	179	12.2.6 传热温压	216
10.1.1 锅炉点火前的检查	179	12.2.7 对流换热面传热计算步骤	216
10.1.2 锅炉点火前的准备	180	12.2.8 对流换热面传热计算举例	217
10.2 锅炉的安全管理	182	复习思考题	221
复习思考题	184	第 13 章 锅炉强度计算	222
第 11 章 工业锅炉的热工试验	185	13.1 受压元件强度计算的主要参数	222
11.1 燃料发热量的测定	185	13.1.1 许用应力	222
11.1.1 气体燃料发热量测定	185	13.1.2 计算壁温	224
11.1.2 固体及液体燃料发热量测定	187	13.1.3 计算压力	226
11.2 锅炉运行特性试验	189	13.2 强度计算的基本理论	227
11.2.1 烟气分析	189	13.3 各种受压部件的强度计算	227
11.2.2 炉渣、漏煤及飞灰含碳量 分析	191	13.3.1 管子和管道的强度计算	227
11.3 锅炉燃料特性测定	192	13.3.2 锅筒与集箱强度计算	230
11.3.1 气体燃料特性测定	192	13.3.3 封头与端盖的强度计算	233
11.3.1.1 火焰传播速度测量	192	13.3.3.1 凸形封头	233
11.3.1.2 可燃气体爆炸极限测量	193	13.3.3.2 平端盖及盖板	234
11.3.2 液体燃料特性测定	195	13.4 孔的补强计算	235
11.3.2.1 恩氏黏度的测量	195	13.4.1 未补强孔及其最大允许 直径 $[d]$	236
11.3.2.2 闪点与燃点的测量	196	13.4.2 孔的补强结构	236
11.3.3 固体燃料特性测定	198	13.4.3 单孔补强	236
11.3.3.1 煤样的采集	198	13.4.4 孔桥补强	238
11.3.3.2 仪器设备	198	复习思考题	239
11.3.3.3 水分测定	199	第 14 章 其他供热设备及系统	240
11.3.3.4 灰分的测定	200	14.1 电热锅炉	240
11.3.3.5 挥发分的测定	201	14.1.1 电热锅炉的工作原理	240
11.3.3.6 固定碳的计算	201	14.1.2 电热锅炉的特点	241
复习思考题	201	14.1.3 电热锅炉的使用条件	242
第 12 章 锅炉受热面热力计算	203	14.2 余热锅炉	243
12.1 辐射受热面热力计算	203	14.2.1 余热锅炉的分类	243
12.1.1 炉膛传热计算基本公式	203	14.2.2 余热锅炉参数的选择	245
12.1.2 经验系数 M 的确定	204	14.2.3 余热锅炉的应用	245
12.1.3 热有效系数及污染系数	204	14.3 地热技术	248
12.1.4 炉膛黑度	205	14.4 太阳能供热设备	249
12.1.5 理论燃烧温度 T_{11}	208	14.4.1 太阳能	249
12.1.6 烟气的平均比热容 VC_{pj}	208	14.4.2 太阳能集热器	249
12.1.7 辐射换热面传热计算步骤	208	14.4.3 太阳能供热装置	251
12.1.8 炉胆传热计算的简化	208	14.5 热泵技术	252
12.1.9 炉胆传热计算举例	209	14.5.1 热泵的分类	252
12.2 对流受热面的传热计算	210	14.5.2 热泵的工作原理	252
12.2.1 对流受热面传热的基本方程	210	14.5.3 热泵的应用	255
12.2.2 传热系数 K	211	复习思考题	257
12.2.3 对流放热系数	212	参考文献	258
12.2.4 流速与计算截面积	214		

第 1 章 概 论

锅炉是利用燃料或其他能源的热能，把水加热成为热水或蒸汽的设备。锅炉中产生的热水或蒸汽可直接为生产和生活提供所需要的热能，也可通过蒸汽动力装置转换为机械能，或再通过发电机将机械能转换为电能。提供热水的锅炉称为热水锅炉，产生蒸汽的锅炉称为蒸汽锅炉。

锅炉由“锅”和“炉”两部分组成。“锅”是指被加热的盛水和蒸汽的容器，其作用是吸收燃料在炉中释放的热能，将水加热成热水或蒸汽。“炉”是锅炉中燃料燃烧的场所，其作用是将燃料的化学能转化为热能。“锅”与“炉”以换热表面分开，一侧是“锅”，另一侧则是“炉”。为了保证锅炉的正常、安全运行，还需要配置必要的附件、仪表、自控装置和辅助设备。

1.1 锅炉的历史、现状与发展

据考证，最早利用水蒸气的装置可追溯到公元前 200 年，当时古希腊一位叫希罗（Hero）的人发明了一种可供宫廷欣赏之用的装置，如图 1-1 所示。位于容器下部的水受热后转变为蒸汽，在反冲力的作用下会使位于上方的圆球旋转。该装置被认为是最早的锅炉。

此后直到工业革命之前，蒸汽利用装置（锅炉）几乎没有发展。工业革命在英国迅速发展后，瓦特（Watt）在纽卡门（Newcomen）发明的基础上，完善了蒸汽机。当时用于产生蒸汽的锅炉的结构形式如图 1-2 所示，汽锅主要为圆筒形，加热方式为筒外加热，受热面积小。



图 1-1 Hero 发明的装置

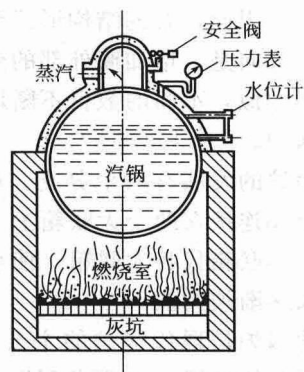


图 1-2 最简单的锅炉

随着工业的发展，对动力的需求日益增大，为了增加受热面积，锅炉向两个方向发展，如图 1-3 所示。

第一个方向是，在锅壳中加装火筒，在火筒前端烧火，烟气从火筒后面出来，通过砖砌

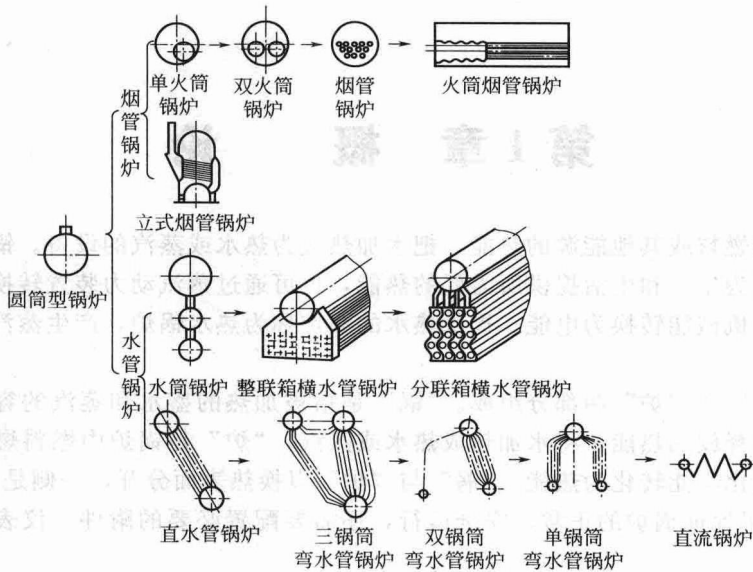


图 1-3 锅炉发展过程简图

的烟道排向烟囱并对锅壳的外部进行加热，称为火筒锅炉。开始只装一个火筒，称为单火筒锅炉，后来加到两个火筒，称为双火筒锅炉，再后来发展到多个火筒。火筒中装有炉排，是组织燃料燃烧的场所。1830 年左右，在掌握了优质钢管的生产和胀管技术之后出现了烟管锅炉。这种锅炉采用数目众多的细烟管代替了直径大的火筒，增加了锅筒的受热面积。该种锅炉的炉膛在锅筒外部，由耐火砖砌成，燃烧产生的烟气从烟管中流过。后来又出现了烟管-火筒组合锅炉，即烟火管锅炉，在直径大的火筒中安装炉排组成炉膛。这种锅炉的锅筒可立式放置，也可卧式放置。显而易见，这类锅炉的炉膛一般都较矮小，炉膛四周又被作为辐射受热面的筒壁围住，炉内温度低，燃烧条件较差；烟气纵向冲刷壁面，传热效果差，排烟温度很高，热效率低。此外，锅筒直径大，不宜提高蒸汽压力，蒸发量也受到限制。这类锅炉也有一定的优点，如结构简单，维修方便；水容积大，能较好地适应负荷变化；对水质的要求低等。因此，有的结构形式至今仍被采用。

第二个方向是，增加筒外部的受热面积，即增加水筒的数目，燃料在筒外燃烧。与火管锅炉的发展相似，水筒的数目不断增加，发展成为很多小直径的水管。由于水在管中流动，称为水管锅炉。

水管锅炉的发展有两个分支：横水管锅炉和竖水管锅炉。横水管锅炉早期是整联箱锅炉，水管全部连接在两个大联箱上。由于联箱很大，故承压低。后来发展为横水管分联箱锅炉，由很多小联箱代替大联箱，使承压能力提高。但由于横水管接近水平放置，水的流动性不好，后来逐渐被淘汰。

竖水管锅炉是现代锅炉的主要形式。它出现于 1900 年，初期采用直水管。20 世纪初期，汽轮机开始发展，它要求配以容量和蒸汽参数较高的锅炉。直水管锅炉已不能满足要求。随着制造工艺和水处理技术的发展，出现了弯水管式锅炉。为了布置更多的受热面，锅筒的数目也随之增多。随着传热学的发展，证实炉膛中设置的水冷壁管吸收火焰的辐射传热，比一般对流管束的吸热强度高得多。尽可能增加水冷壁的数量，减少对流管束的数量，导致锅筒的数目也随之减少，既节约了金属材料，又有利于提高锅炉的压力、温度、容量和

效率。现在已出现了单锅筒的大容量锅炉和无锅筒的直流锅炉。

总之，锅炉的发展史就是为了增加蒸发量、提高蒸汽参数、减少煤耗、节省钢材和改进工艺过程的历史。

在过去的 50 多年里，我国工业锅炉技术水平取得了长足进步。特别是最近发展起来的燃油燃气锅炉，其技术水平与国外同类产品差距不大。然而，我国燃煤锅炉与国外产品相比还存在较大差距。主要表现是锅炉的热效率偏低，污染物的排放浓度偏高。

我国在用工业锅炉中将近 85% 是燃煤锅炉。燃煤工业锅炉以层燃为主，并且以链条炉排锅炉为主，锅炉设计效率一般在 72%~80% 之间。但实际运行时普遍存在负荷较锅炉额定负荷低、炉渣含碳量高、过量空气系数大、排烟温度高等问题，热效率一般低于设计效率。我国工业锅炉每年烟尘排放量约 $600 \times 10^4 \sim 800 \times 10^4 \text{t}$ ，占全国烟尘总排放量的 33%； SO_2 排放量约 500~600t，占全国总排放量的 21%； CO_2 排放量约 $6 \times 10^8 \text{t}$ 。未来工业锅炉产品市场发展除了受我国国民经济的发展速度和投资规模等因素影响外，越来越受到能源政策和节能、环保要求的制约。今后大中城市的小容量燃煤锅炉的比重将会显著下降，循环流化床锅炉等采用清洁燃烧技术的锅炉将得到较快的发展，燃用生活垃圾和生物质的锅炉市场潜力较大，蓄热式电热锅炉系统随着电力工业改革和发展其市场将进一步拓宽。因此采用清洁燃料和洁净燃烧技术的高效、节能、低污染工业锅炉将是工业锅炉产品发展的趋势，并向高端和高附加值的产品市场发展。

1.2 锅炉的基本组成及工作过程

1.2.1 锅炉的基本组成

锅炉由一系列设备组成，这些设备可分为锅炉本体设备和辅助设备两类。

通常所说的“锅炉”一般指的是锅炉本体，如图 1-4 所示。锅炉本体主要指由锅筒（又

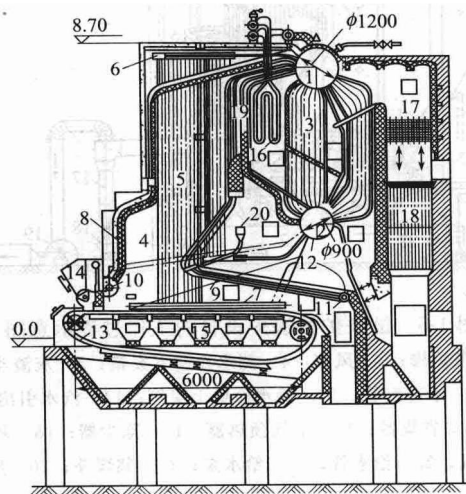


图 1-4 SHL 型锅炉

- 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—加煤斗；15—风仓；16—蒸汽过热器；17—省煤器；
- 18—空气预热器；19—烟窗及防渣管；20—二次风管

称汽包)、集箱、受热面及其间的连接管道、燃烧设备、炉墙和构架等部件组成的整体。锅炉的受热面包括水冷壁、对流管束、过热器、省煤器及空气预热器等。锅炉本体的主要部件及其作用如下。

① 炉膛 提供燃料燃烧及辐射受热面布置的空间, 保证燃料燃尽并使出口烟气温度的冷却到对流受热面能安全工作的数值。

② 燃烧设备 将燃料和燃烧所需空气送入炉膛并使燃料及时着火和稳定燃烧。

③ 锅筒 连接锅炉各受热面, 组成水循环回路; 实现汽、水分离; 适应负荷变化。

④ 水冷壁 吸收炉膛辐射热并保护炉墙。

⑤ 对流管束 以对流方式吸收烟气热量, 加热工质水使之汽化。

⑥ 过热器 将饱和蒸汽加热成过热蒸汽。

⑦ 省煤器 吸收锅炉尾部烟气的热量加热给水, 以降低排烟温度, 节约燃料。

⑧ 空气预热器 加热燃烧用的空气, 改善炉内燃料的着火和燃烧; 降低排烟温度, 提高锅炉效率。

锅炉运行还需要有其他设备或机械配合, 这些配合锅炉本体工作的设备或机械统称为锅炉的辅助设备。锅炉的辅助设备通常包括送、引风设备, 燃料供应及除灰渣设备, 给水设备, 水处理设备, 烟气除尘、脱硫及脱硝设备, 如图 1-5 所示。锅炉辅助设备及其作用如下。

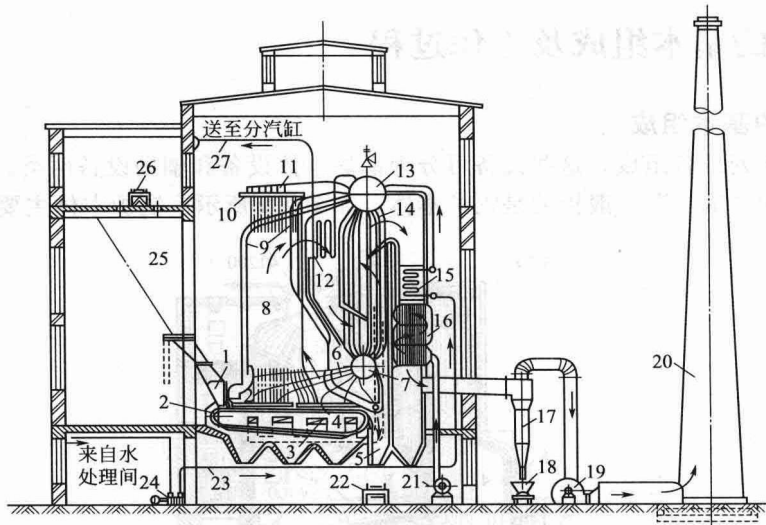


图 1-5 链条炉排锅炉设备的工作过程示意图

1—煤斗; 2—链条炉排; 3—风室; 4—侧水冷壁下集箱; 5—灰渣斗; 6—下降管;

7—下锅筒; 8—炉膛; 9—水冷壁管; 10—侧水冷壁上集箱; 11—汽水引出管; 12—蒸汽过热器;

13—上锅筒; 14—对流管束; 15—省煤器; 16—空气预热器; 17—除尘器; 18—灰车; 19—引风机; 20—烟囱;

21—送风机; 22—灰渣输送机; 23—给水管; 24—给水泵; 25—储煤斗; 26—皮带输煤机; 27—主蒸汽管

① 送风设备 将燃料燃烧所需要的空气送入燃烧设备。

② 引风设备 将燃烧产生的烟气引出燃烧设备。

③ 燃料供应设备 储存和运输燃料。

④ 除灰渣设备 从锅炉中除去灰渣并运走。

⑤ 给水设备 向锅炉供应给水。

- ⑥ 水处理设备 除去水中杂质，保证锅炉给水品质，避免汽锅及受热面内结垢及腐蚀。
- ⑦ 除尘、脱硫及脱硝设备 除去锅炉烟气中的飞灰以及硫与氮的氧化物，减轻环境污染。
- ⑧ 监测仪表及自动控制设备 监督、调节和控制锅炉的运行。

1.2.2 锅炉的工作过程

锅炉的工作大致分为三个同时进行的过程，即燃料的燃烧过程、烟气向工质（水）的传热过程和工质的吸热过程。

(1) 燃料的燃烧过程

在这个过程中，燃料中的化学能被释放出来并转化成为被烟气携带的热能。

图 1-5 给出的是链条炉排锅炉设备的工作过程示意图。煤由输煤设备送入锅炉储煤斗，储煤斗中的煤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由送风机压入空气预热器，升温后再进入炉排下面的分段送风室。热风穿过炉排，与炉排上的煤层接触，进行强烈的燃烧反应，产生高温烟气。燃料被烧尽后残余的灰渣，随炉排移动进入灰渣斗，再由灰渣输送机排出，整个过程即称为燃料的燃烧过程。

(2) 传热过程

在这个过程中，烟气所携带的热能通过锅炉的各种受热面传递给锅炉的工质。

在炉膛中，高温烟气以辐射换热的方式，向敷设在燃烧室四周的水冷壁传递热量，而后高温烟气经炉膛出口掠过凝渣管，冲刷蒸汽过热器和锅炉管束，以对流换热方式将热量传递给对流受热面内的工质。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，将部分热量传递给锅炉给水，冲刷空气预热器将热量传给燃料燃烧所需要的空气，再由除尘器除去飞灰后由引风机抽出送入烟囱排往大气。

(3) 工质的吸热过程

在这个过程中，工质吸收热量被加热到所期望的温度。以水为工质时，水吸收热量被加热成热水或蒸汽。

经过水处理的锅炉给水由给水泵加压，经过给水管进入省煤器，在省煤器中预热后进入上锅筒。上锅筒中的工质是处于饱和状态下的汽水混合物。位于低温区域的对流管束，受热较弱，汽水工质的密度较大，工质往下流入下锅筒；位于烟气高温区的水冷壁和对流管束，因受热强烈，其内部的汽水混合物的密度较小，向上流入上锅筒，因此形成了锅水的自然循环。在炉墙外设有不受热的下降管，将工质引入水冷壁的下集箱。上锅筒内装设有汽水分离设备，使汽水混合物分离并将蒸汽在上锅筒顶部引出，送入蒸汽过热器，再送至分汽缸。分离下来的水继续参与锅炉内的水循环。

在锅炉工作的过程中，锅炉本体设备和辅助设备及系统同时完成相互之间不可替代的任务。

1.3 工业锅炉分类

工业锅炉的分类方法很多。

按锅炉提供的工质状态可分为热水锅炉和蒸汽锅炉。

按工质出口的压力可分为常压锅炉、低压锅炉、中压锅炉和高压锅炉。常压锅炉的表压为零；低压锅炉的压力一般小于 1.275MPa；中压锅炉的压力一般为 3.825MPa；高压锅炉

的压力一般为 9.8MPa。

按锅筒数目可分为单锅筒和双锅筒锅炉，锅筒可纵向或横向布置。

按蒸发受热面内工质的流动方式可分为自然循环锅炉、强制循环锅炉和直流锅炉。自然循环锅炉具有锅筒，利用下降管和上升管中工质的密度差产生工质循环。强制循环锅炉在循环回路的下降管与上升管之间设置了循环泵辅助水循环并作强制流动。

按管内流动介质可分为火管锅炉和水管锅炉。

按燃烧方式可分为火床燃烧（层燃）锅炉、火室燃烧（悬浮燃烧）锅炉和流化床燃烧锅炉等。

按炉膛烟气的压力可分为负压锅炉、微正压锅炉和增压锅炉。负压锅炉中炉膛压力保持负压，是燃煤锅炉的主要形式。微正压锅炉中炉膛表压力为 2~5kPa，宜于低氧燃烧。增压锅炉中炉膛表压力大于 0.3MPa。

按所用燃料或能源可分为燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉、余热锅炉、废料锅炉及其他能源锅炉，如以太阳能、地热能、电能等能源为热源的锅炉。

按锅炉出厂形式可分为快装锅炉、组装锅炉和散装锅炉。小型锅炉一般为快装形式。

1.4 工业锅炉参数及型号

1.4.1 工业锅炉参数系列

锅炉参数是指锅炉容量、工作压力和工质温度等。

蒸汽锅炉用额定蒸发量表征其容量的大小。所谓额定蒸发量是指蒸汽锅炉在额定蒸汽参数（压力、温度）及额定给水温度，使用设计燃料并保证规定热效率时，每小时连续最大的蒸汽产量。锅炉铭牌上所标的蒸汽产量就是锅炉的额定蒸发量。蒸汽锅炉的额定蒸发量常用符号“D”表示，单位为 t/h。工业锅炉的蒸发量一般在 0.1~65t/h 之间。

热水锅炉用额定热功率来表征其容量的大小。所谓额定热功率是指热水锅炉在额定参数（额定压力、额定出口水温和额定进口水温）和保证达到规定的热效率时，每小时连续最大的产热量，用符号“Q”表示，单位为 MW。

表 1-1 为我国工业蒸汽锅炉的参数系列。表 1-2 为我国热水锅炉的参数系列。

表 1-1 工业蒸汽锅炉参数系列 (GB/T 1921—2004)

额定蒸发量 (t/h)	额定蒸汽压力(表压力)/MPa											
	0.1	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额定蒸汽温度/℃											
	饱和	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
0.1	△	△										
0.2	△	△	△									
0.3	△	△	△									
0.5	△	△	△	△								
0.7		△	△	△								
1		△	△	△								
1.5			△	△								
2			△	△	△			△				
3			△	△	△			△				

1.4.2 锅炉型号

为了规范锅炉的表示方法，国家制订了工业锅炉产品型号编制方法（JB/T 1626—2002）。我国工业锅炉产品型号由三部分组成，各部分用短横线相连。见图 1-6 和图 1-7。

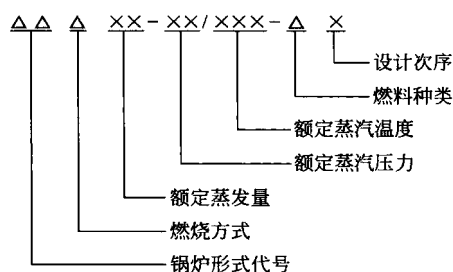


图 1-6 工业蒸汽锅炉型号表示

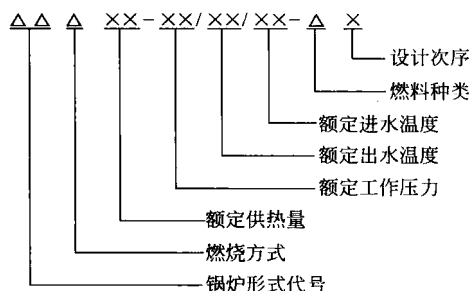


图 1-7 热水锅炉型号表示

第一部分分三段，分别表示锅炉的形式（代号见表 1-3）、燃烧方式（代号见表 1-4）和容量（用阿拉伯数字表示，蒸汽锅炉为额定蒸发量，单位为 t/h；热水锅炉为额定供热量，单位为 MW）。

表 1-3 工业锅炉的形式代号

锅炉形式	代号	锅炉形式	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)

表 1-4 燃烧方式代号

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
固定炉排	G(固)	倒转炉排加抛煤机	D(倒)	沸腾炉	F(沸)
活动手摇炉排	H(活)	振动炉排	Z(振)	半沸腾炉	B(半)
链条炉排	L(链)	下饲炉排	A(下)	室燃炉	S(室)
抛煤机	P(抛)	往复推饲炉排	W(往)	旋风炉	X(旋)

快装式水管锅炉在型号的第一部分用 K（快）代替表 1-3 中的锅筒数量代号。快装纵置锅筒式锅炉用 KZ（快，纵）代号，快装强制循环式锅炉用 KQ（快，强）代号。

常压锅炉的型号在第一部分中增加字母 C。

第二部分表示工质参数，对于蒸汽锅炉来说该部分有两段，分别为额定蒸汽压力和额定蒸汽温度，中间以斜线相隔。当蒸汽温度为饱和温度时，只列额定蒸汽压力，即在型号的第二部分无斜线和第二段。对于热水锅炉，第二部分由三段组成，分别为额定压力、额定出水温度和进水温度，段与段之间用斜线隔开。

第三部分表示燃料种类及设计次序，共两段。第一段表示燃料种类（代号见表 1-5），第二段表示设计次序（用阿拉伯数字表示），原型设计无第二段。

例如：SHS10-1.25/250-A2 表示双锅筒横置式室燃锅炉，额定蒸发量为 10t/h，额定蒸汽压力为 1.25MPa，额定蒸汽温度 250℃，燃用烟煤，第二次设计。DZL4-1.25-W 表示单锅筒纵置式链条炉排炉，额定蒸发量为 4t/h，额定蒸汽压力为 1.25MPa，饱和温度，燃用无烟煤，原型设计。

表 1-5 燃料种类代号

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

注：1. 如同时燃用几种燃料，主要燃料放在前面。
2. 余热锅炉无燃料代号。

1.5 锅炉的经济性指标

工业锅炉的经济性指标主要有热效率、金属耗率及电耗率等。

锅炉的热效率是指送入锅炉的全部热量中被有效利用的百分数，即锅炉有效利用热 Q_1 与单位时间内所消耗燃料的输入热量 Q_r 的百分比。

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_r} \times 100 (\%)$$

锅炉的有效利用热 Q_1 是指单位时间内工质在锅炉中所吸收的总热量，包括水和蒸汽吸收的热量以及排污水和自用蒸汽所消耗的热量。而锅炉的输入热量 Q_r 是指随每 1kg 或每 m^3 燃料输入锅炉的总热量，它包括燃料的收到基低位发热量和显热，以及用外来热源加热燃料或空气时所带入的热量。目前我国燃煤工业锅炉的效率在 50%~80%，燃油、燃气锅炉的效率在 80%~90% 之间。除锅炉效率外，还有一个锅炉净效率。锅炉净效率是指扣除锅炉运行自用能（热能和电能）后的效率。

锅炉的金属耗率定义为锅炉单位蒸发量所耗用的金属材料的质量 (t)，单位为 t/(t/h)。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均有影响。工业锅炉的金属耗率在 5~6t/(t/h) 左右。在保证锅炉安全、可靠、经济运行的基础上应合理降低锅炉的金属耗率。

锅炉的电耗率定义为锅炉单位蒸发量所耗用的电能，单位为 kW/(t/h)。锅炉的电耗包括锅炉本体及锅炉辅助设备的电能消耗，一般为 10kW/(t/h) 左右。

衡量锅炉总的经济性，不仅要求热效率高，而且要求金属耗量低，电耗少。但三者之间是互相制约的。要提高锅炉效率，则要增加受热面积，金属的消耗就要增加。要提高锅炉效率，煤粉就越细越好，但系统的磨煤电耗就要增加。可见，只有综合考虑三方面因素，才能提高锅炉的经济性。

复习思考题

1. 什么是锅炉？锅炉由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
2. 简述锅炉发展史。从锅炉形式的发展来看，为什么要用水管锅炉来代替火管或烟管锅炉？但是为什么现在有些小型锅炉中仍采用了烟管或烟水管组合形式？为什么要从单火筒锅炉演变为烟管锅炉？为什么要从多锅筒水管锅炉演变为单锅筒或双锅筒水管锅炉？
3. 锅炉本体包括哪些部件？各自起什么作用？
4. 锅炉有哪些辅助设备？作用是什么？

5. 锅炉的工作可分为哪几个过程？各过程是怎样进行的？
6. 锅炉的分类方法主要有哪些？
7. 需要哪些参数才能描述一台锅炉？
8. 举例说明我国工业锅炉的型号表示方法。
9. 锅炉的主要经济指标有哪些？