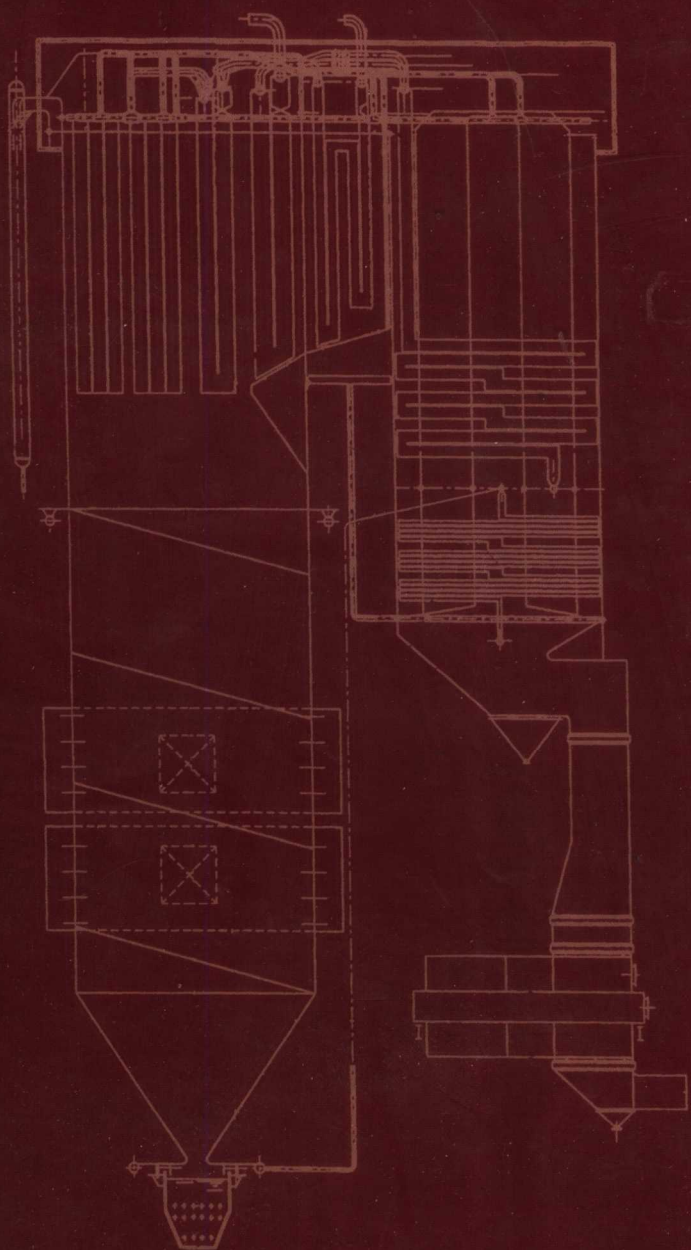


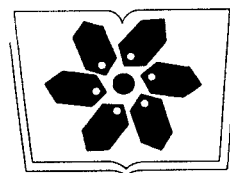
锅炉原理及计算

(第三版)

冯俊凯 沈幼庭 杨瑞昌 主编



科学出版社
www.sciencep.com



中国科学院科学出版基金资助出版

锅炉原理及计算

(第三版)

冯俊凯 沈幼庭 杨瑞昌 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是1988年荣获“国家优秀教材奖”的第一版和1997年荣获“国家级教学成果奖二等奖”的第二版的继续。

由于近几年来锅炉工业技术发展很快,第二版的内容已显得陈旧,加上计算技术发展迅速,因此,决定根据国内外锅炉技术的发展出版第三版。在内容上增加了超大容量锅炉的设计和计算、新发展的循环流化床燃烧技术、燃烧的污染控制,以及超临界参数锅炉的有关内容及参考资料等。此外,为适应使用计算机计算和设计的要求,还增加了适合计算机计算的拟合公式。

全书由第二版的十七章增加到本版的二十一章,共五篇。第一篇为锅炉基本知识;第二篇为燃料的燃烧和燃烧设备;第三篇为对流受热面的传热和受热面设计;第四篇为锅内过程;第五篇为锅炉其他问题。书末的七个附录,包括比较完整的锅炉设计的例题和适合计算机应用的拟合公式等。

本书可作为高等院校热能与动力工程、电厂热能动力、锅炉等专业的教材或教学参考书,也可以供锅炉设计、热力发电厂的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉原理及计算/冯俊凯,沈幼庭,杨瑞昌主编. —3版. —北京:科学出版社,2003
ISBN 7-03-010383-1

I. 锅… II. ①冯…②沈…③杨… III. ①锅炉-理论②锅炉-热力计算
IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026773 号

责任编辑:刘宝莉 / 责任校对:柏连海
责任印制:刘士平 / 封面设计:张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

西源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1979年9月第 一 版 开本:A4 890×1240
1992年7月第 二 版 印张:44 1/2
2003年7月第 三 版 字数:1 466 000
2003年7月第七次印刷 印数:61 338—64 338

定价:66.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

第三版前言

本书第二版于1993年出版,出版至今将近10年。在这10年中,我国在改革开放政策指引下,工业和科学技术都有了极大的发展,在锅炉技术上也有了重要的发展。我国已经能制造2023t/h亚临界参数、发电功率达600MWe的锅炉,在超大型锅炉的设计中也掌握了许多技术问题。在燃烧技术上我国除了更好地掌握传统的煤粉燃烧技术并加以改进以外,在循环流化床燃烧技术的开发上也取得了可喜的进步,创建出多种适合我国国情的新型循环流化床燃烧锅炉,而且对这种锅炉有了自己的计算方法。鉴于本书第二版的内容有些陈旧,有必要将其内容更新。

近年来许多教师在有关锅炉技术的研究上取得了较好的、新的成果,有必要加以介绍,因此特请他们参与本书第三版的编写。另外,本书第二版在使用过程中也发现了一些错误,主要是在例题的计算中的错误,在本版的编写中作了改正。

近年来我国计算机应用已经很普及,广泛地用于锅炉设计、计算、试验中。为了适应这种情况,有必要对过去用手工计算的焓-温表等问题加以改进,因此在本书中增加了空气、烟气的有关热物理特性的拟合计算公式,以便使用计算机计算。但因各种计算机软件不尽相同,因此仅提供使用计算机计算时所需要的拟合公式。为了使本书能适应更广泛读者的需要,本书的例题仍主要采用焓-温表、手算的计算方法。

另外,人们对环境的污染问题更加关注,因此这一版特别加强了这方面内容的介绍,增加了有关污染控制一章。

本书第二版曾在1997年获得国家级教学成果奖,主要是参加该版编写的教师深入锅炉厂、电站了解实际情况,注意用深入浅出的语言介绍有关的理论,用结合实际的例题来说明理论如何用于实际工作。虽然参加本版编写的年轻教师较多,但本版既保持了传统的特色,又纳入了不少新的教学经验和科研成果,希望能满足读者的要求。

本版像过去一样,得到哈尔滨锅炉厂、上海锅炉厂、东方锅炉厂、北京巴威锅炉厂、西安热工研究院、华北电力设计院等的大力帮助,他们既提供了大量的宝贵资料,又对本书的编写提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

本书共五篇:第一篇介绍锅炉基础知识;第二篇介绍燃料成分及燃烧设备;第三篇介绍对流受热面的传热和设计;第四篇介绍锅内过程;第五篇介绍锅炉的通风系统、受压元件强度问题及其他问题等。书末的附录I~VII则介绍一台锅炉的比较完整的设计计算例题和必要的参考资料。

本版由冯俊凯、沈幼庭、杨瑞昌主编,参加编写的有祁海鹰、吕俊复、路霁鹁、吴学安、李彦、焦树建等教师。此外,本版中仍采用了在第二版中李天铎、毛健雄、曾瑞良、李瑶珠等编写的有关章节的部分内容。

限于作者水平,本书存在的不足、错误和遗漏之处在所难免,衷心地希望读者给予指正。

主 编

2003年4月于清华园

第二版序言

本书第一版于1976年脱稿,1979年出版。在编写中作者注意根据多年的教学经验,力图使内容深入而易于掌握,并在书中给出较多的实例和设计参考数据,使读者使用方便。所作努力收到一定效果,该版问世后受到读者的欢迎,不少院校选它作为教材或教学参考书,许多锅炉工作者也把它用作参考书。前后印刷了三次,共发行5万余册。1988年本书第一版荣幸地被评为国家优秀教材,并授予国家优秀教材奖。

第一版自1976年脱稿至今已15年。在此期间,锅炉技术有了很大的发展,有些计算方法已经更新,很多技术要求、规范、标准也已由新的代替。在改革、开放政策的指引下,我国的锅炉制造工业,不论在所生产的锅炉单位容量上,还是在性能上、型式上都有了很大的发展。我国已能制造发电容量达600MW、2008t/h的锅炉,在锅炉设计方法上也有了很大的进步,在锅炉运行技术上也有同样的提高。在煤燃烧技术上、煤粉制备设备有了较多的更新;煤粉炉稳燃技术、减少氮氧化物的生成、在燃烧中脱硫或烟气脱硫等都取得了不少经验,有了重要的发展。泡床流化燃烧技术已累积了较多的经验。高效低污染的循环流化床燃烧技术的开发工作在我国也得到了可喜的进展,正对它的大型化问题展开研究。在技术标准及规范方面,煤样分析和动力用煤分类方法都有了新标准;蒸汽净化的规范也作了更新;我国锅炉工作者自行制订的《电站锅炉水动力计算方法》于1983年经机械工业部批准,通过实际应用考验,证实它是既可靠又方便的计算方法;承压元件强度计算标准也已经更新。

从以上的发展与变化看来,第一版的内容已落后于目前国内外的技术水平与实际情况,显得陈旧。此外,第一版中缺少有关锅炉热平衡、动态特性等内容,显然不够完整。因此决定在保持原书特点的原则下改写、更新大部分内容,并增添欠缺的内容,出版第二版。

为了反映10多年来锅炉技术的进步与变化,在改编中除了增加燃料、燃料燃烧产物、锅炉热平衡和锅炉动态特性诸章以外,燃烧设备、蒸汽净化、锅炉水循环、强制循环及直流锅炉、锅炉钢材及强度计算等章都参考了新资料、新标准、新文献,基本上重新撰写(例如有关燃烧设备的内容根据我国目前的技术及设备的进展与变化已全部更新。书中介绍了我国目前通用的煤粉制备设备,新的燃烧方法等。同时根据环境保护的要求,介绍了低污染的燃烧技术,包括循环流化床燃烧技术和脱硫技术。此外也介绍了水煤浆燃烧技术等)。锅炉热力计算、受热面设计等部分也增加了新内容。空气动力计算、炉墙构架等内容也作了少量的修改。附录中的例题也相应地更新。这样,我们希望本书第二版基本上能反映20世纪80年代后期及90年代初期国内外的锅炉技术水平。

为了方便读者,附录中增添了国际单位制单位与工程单位的换算表,以及空气、烟气、水蒸气、水的热力学特性的计算公式。

本书第二版由冯俊凯、沈幼庭主编,参加编写的还有李天铎、李瑶珠、毛健雄、曾瑞良、杨小昭等。具体分工如下:冯俊凯撰写第一至四章,第七、八、九、十四、十七章;沈幼庭撰写第十二章,第九章9-16节;李天铎撰写第十三章;李瑶珠撰写第十、十一章,附录I、II;毛健雄撰写第六章;曾瑞良撰写第五章;杨小昭撰写第十五章。此外,陈昌和、吴学安、李彦也参加了部分内容的编写。第十六章炉墙构架沿用了第一版徐旭常所编写的内容,只作了少量的修改。

在编写本书第二版中,得到哈尔滨锅炉厂、上海锅炉厂、东方锅炉厂、北京锅炉厂、华北电力设计院、电力部电力技术情报研究所的大力帮助。他们提供了大量必要的资料,对改编工作也提出了宝贵的意见,编者谨在此表示衷心的感谢。国外著名的锅炉厂,如德国巴高克锅炉厂、美国福斯特·惠勒锅炉厂等也提供了一些资料,我们一并在此致谢。

在第二版的编写中,主编及编写人员都是在教学、科研任务繁忙的情况下进行的,难免有遗漏、失误之处,我们恳切希望广大读者予以指正。

主 编

1991年4月于清华园

第一版前言

本书介绍了中、大型锅炉的工作原理及计算方法,是在清华大学锅炉专业多年使用的教材的基础上编写而成的。

全书共十三章,包括热力计算、燃烧设备、蒸汽净化、水的自然循环、强制循环锅炉及直流锅炉、空气动力计算、锅炉钢材及强度计算、炉墙和构架等内容。

为便于自学,本书编入了较多的实例。通过这些例题,读者可以较具体地理解所介绍的基本原理和掌握所介绍的计算方法。为便于初学者联系实际,本书内容的编排次序大致与一般锅炉设计进行的顺序相同。书末列有附录,比较系统地给出了某 130t/h 油炉的热力计算、空气动力计算、水循环计算、强度计算的例题。此外,也适当地编入了锅炉计算中所必需的资料和数据,可供从事锅炉设计、制造、运行和检修人员参考。

本书的编写得到哈尔滨锅炉厂、上海锅炉厂、北京锅炉厂、吴泾热电厂、杨树浦电厂、北京热电厂、高井电厂等单位的大力支持,并提供了有关资料,有的单位还对初稿提出了宝贵的意见。在此,我们表示衷心的感谢。

限于我们的水平,书中一定会有不少缺点和错误,希望读者指正。

清华大学电力工程系锅炉教研室

1976年7月

主要符号

变量

A 燃料工业分析灰分, %	p 压力, MPa;
a 炉膛、锅炉宽度, m;	排污率, %
黑度	Q 热量, kJ;
B 燃料消耗量, kg/s(t/h)	燃料发热量, kJ/kg
b 炉膛、烟道深度, m	q 热量百分比, %;
C 常数, 改正系数	热通量, W/m ² ;
D 蒸汽产量, 锅炉蒸发量, kg/s(t/h);	热负荷(热释放率), kW/m ² , kW/m ³
锅筒、管子、联箱直径, mm	R 炉排面积, m ² ;
d 管直径, mm	煤粉筛分中筛上残余量, %;
DT 灰开始变形温度, °C	弯曲半径, m
E 能耗, kWh/t, kJ/t	r 汽化潜热, kJ/kg;
F 面积(炉墙面积, 烟道流通截面积), m ²	一、二、三次风率, %
FC 燃料工业分析中的固定碳, %	S 蒸汽、炉水, 给水含盐量, mg/kg;
FT 灰熔化温度, °C	锅筒、管子、联箱的壁厚, mm
f 管流通截面, m ²	ST 灰开始软化温度, °C
G 流量, kg/s	s 管距, mm;
H 辐射或对流受热面面积, m ²	辐射层厚度, m
HGI 哈氏可磨度	T 绝对温度, K
h 高度, m	t 温度, °C
I 空气、烟气焓, kJ/kg	U 通道截面周界长度, m
i 工质(水、蒸汽)焓, kJ/kg	V 容积, m ³ ;
K 循环倍率	燃料工业分析中的挥发物, %
k 传热系数, W/(m ² · °C);	v 比容, m ³ /kg
辐射减弱系数, 1/(MPa · m)	w 流速, m/s
L 空气质量, kg/kg	X 质量含汽率, %
l 长度, m	x 水冷壁, 受热面角系数
M 燃料工业分析中的水分, %	Z 屏式受热面屏数;
N 功率, kW	单位高度的阻力系数
n 管数	z 对流受热面管排数

希腊字母符号

α 过量空气系数;	δ 厚度, mm
倾斜角, °;	ε 灰污层热阻, m ² · °C/W
放热系数, W/(m ² · °C)	ζ 辐射受热面灰污系数;
β 容积含汽率;	局部阻力系数
管外径与内径的比值	η 效率, %;
Δ 差值符号	热不均系数

Θ	无量纲温度	σ	材料强度,应力,Pa; 表面张力,N/m
θ	烟气温度,℃	σ_0	玻耳兹曼辐射系数, $W/(m^2 \cdot K^4)$
λ	热导率, $W/(m \cdot ^\circ C)$; 沿程摩擦阻力系数	τ	时间,s
μ	动力黏度, $Pa \cdot s, (N \cdot s)/m^2$; 烟气中飞灰浓度,kg/kg; 热散漫系数	φ	保热系数; 截面含汽率,空泡份额; 辐射传热中角系数
ν	运动黏度, m^2/s	ψ	辐射受热面热有效性系数; 汽水混合物沿程摩阻改正系数
ξ	局部阻力系数	Ω	旋流强度系数
Π	改正系数	ω	受热面冲刷不均系数; 蒸汽中水分含量(湿度),%
π	圆周率		
ρ	密度, kg/m^3 ; 层燃炉炉排面积与炉膛周界面积之比值		

脚 标 符 号

a	理论值	hd	灰斗
ad	空气干燥(分析)基	hz	灰渣
ar	收到基(应用基)	j	焦炭; 计算值
b	管壁	jl	节流
bh	饱和	k	空气
ch	传热	ky	空气预热器
ck	出口	l	炉; 层流
cr	临界	ld	露点
d	对流; 较大值; 干燥基; 顶部	lk	冷空气
daf	干燥无灰基(纯燃基)	lq	冷却
dl	当量	lt	炉膛
dp	顶棚	lx	联箱
f	辐射	mf	煤粉系统
fg	发光	n	内径
fh	飞灰	nl	逆流
fj	附加	net, p	低位定压(发热量,即低位发热量)
gb	管壁	nz	凝渣管簇
gd	高度	o	基本值
gr	过热	p	屏
gr, v	高位定容(发热量,即氧弹发热量)	pc	偏差
gr, p	高位定压(发热量,即高位发热量)	ph	热平衡
gs	给水	pj	平均值
gt	固体	py	排烟
gz	管组	q, qt	气体
h	火焰; 汽水混合物	qp	鳍片
		r	燃料,燃烧,燃烧器
		rk	热空气,入口

s 管距
sl 顺流
sld 酸露点
sm 省煤器,省煤段
ss 上升
t 湍流
th 热的
tsy 碳酸盐
w 物性的
x 较小值
xj 下降

y 烟气
yc 沿程;
引出
yr 引入
yx 有效
z 管排数
z 再热器
zf 制粉系统
zh 着火
zs 折算

目 录

第三版前言

第二版序言

第一版前言

主要符号

第一篇 锅炉基本知识

第一章 绪论	1
1-1 锅炉在国民经济中的重要性	1
1-2 锅炉及其辅助设备的简介	1
1-3 锅炉型式简介	2
1-4 我国锅炉的容量及参数系列	4
1-5 我国锅炉制造工业及技术的发展	4
第二章 燃料及其燃烧产物	7
2-1 锅炉的燃料	7
2-2 煤的成分及煤的分类	7
2-3 煤的燃烧特性	12
2-4 煤的折算成分	13
2-5 油页岩、重油与煤气	15
2-6 燃料的理论空气量	15
2-7 固体和液体燃料的燃烧产物	16
2-8 气体燃料的燃烧产物	21
2-9 空气和燃烧产物、水蒸气的热物性	22
参考文献	23
第三章 锅炉热平衡	24
3-1 锅炉热平衡的基本概念	24
3-2 燃料的热量	24
3-3 有效吸收热量	25
3-4 固体未完全燃烧损失	26
3-5 气体未完全燃烧损失	26
3-6 排烟损失	27
3-7 锅炉外部冷却损失	28
3-8 灰渣物理热损失	29
3-9 锅炉热平衡试验	29
3-10 锅炉设计中热平衡的估算	32
3-11 以高位发热量为准的锅炉热平衡计算	32
参考文献	37
第四章 锅炉设计方案的选择、总体布置及锅炉设计的辅助计算	38
4-1 概述	38
4-2 锅炉蒸汽参数对锅炉蒸发受热面型式及受热面布置的影响	38
4-3 燃烧方法选择	42
4-4 锅炉的总体布置	42

4-5	锅炉的设计步骤	44
4-6	燃料数据的分析和整理	45
4-7	空气平衡	46
4-8	空气、烟气的体积和焓-温表	48
4-9	锅炉效率和燃料消耗量的估算	52
	参考文献	55

第二篇 燃料的燃烧和燃烧设备

第五章 燃烧理论	56
5-1 概述	56
5-2 燃烧过程中的化学反应原理	56
5-3 燃烧形式的分类与相互关系	58
5-4 气体燃料燃烧	59
5-5 液体燃料的燃烧	68
5-6 现代燃烧技术控制氮氧化物(NO_x)生成的原理	74
5-7 固体燃料燃烧	76
参考文献	84
第六章 煤气及油的燃烧	85
6-1 锅炉燃烧设备概述	85
6-2 煤气燃烧特性	86
6-3 煤气燃烧器	93
6-4 重油燃烧原理	96
6-5 重油的雾化	99
6-6 配风器的型式和原理	105
6-7 降低重油燃烧污染物的措施	114
参考文献	115
第七章 煤的炉排燃烧	116
7-1 概述	116
7-2 播煤机翻转炉排	116
7-3 链条炉排	117
7-4 链条炉炉膛设计	119
7-5 播煤机倒转炉排	120
参考文献	120
第八章 煤粉制备及煤粉燃烧设备	121
8-1 煤粉的燃烧	121
8-2 煤粉制备	124
8-3 煤粉燃烧器	146
8-4 炉膛热负荷的选用	193
8-5 液态排渣炉和旋风炉	202
8-6 低 NO_x 燃烧器	205
8-7 水煤浆及其燃烧	210
参考文献	214
第九章 循环流化床燃烧技术	215
9-1 概述	215
9-2 流态化基础知识	216
9-3 循环流化床锅炉	218

9-4 循环流化床的流动过程	222
9-5 循环流化床锅炉的燃烧	223
9-6 典型循环流化床锅炉简介	226
参考文献	236
第十章 燃烧污染物排放的控制和环境保护问题	238
10-1 概述	238
10-2 燃烧污染物与燃料的关系	240
10-3 氮氧化物(NO_x)的生成机理和控制技术	241
10-4 二氧化硫(SO_2)的生成机理和控制技术	247
10-5 除尘技术	261
10-6 关于其他燃烧污染物的生成与脱除	265
参考文献	267
第十一章 炉膛设计及炉内传热	268
11-1 煤粉炉和油炉炉膛设计	268
11-2 链条炉炉膛设计	271
11-3 炉膛中辐射受热面的设计	272
11-4 炉内传热的基本概念	277
11-5 炉内传热相似理论解法	278
11-6 大容量锅炉的炉内传热计算	286
11-7 水冷壁灰污系数、热有效性系数及炉膛黑度	287
11-8 超大型锅炉炉膛的设计	288
11-9 炉内过程的数值计算	292
11-10 循环流化床燃烧室中的传热	293
参考文献	297

第三篇 对流受热面的传热和受热面设计

第十二章 对流受热面的传热计算	298
12-1 对流受热面传热计算的基本概念	298
12-2 温压的计算	298
12-3 传热系数	302
12-4 烟气侧对流放热系数	304
12-5 灰污系数、热有效性系数和利用系数	312
12-6 烟气侧辐射放热系数	314
12-7 工质侧对流放热系数	318
12-8 对流受热面的传热计算	320
12-9 屏式受热面的传热计算	324
12-10 转向室的传热计算	330
12-11 锅炉的热力计算	330
参考文献	332
第十三章 对流受热面的设计	333
13-1 对流蒸发管簇和凝渣管簇的设计	333
13-2 过热器的任务、基本型式及运行特性	334
13-3 过热蒸汽温度的调节	335
13-4 过热器的管壁温度和过热器受热面所用的钢材	339
13-5 过热器的热偏差	341
13-6 过热器的设计	345

13-7 再热器(中间过热器)的设计	351
13-8 省煤器的设计	353
13-9 空气预热器	357
13-10 管式空气预热器	358
13-11 回转式空气预热器	362
13-12 省煤器和空气预热器的配合	367
13-13 排烟温度的选择	370
13-14 对流受热面的腐蚀及其防止	371
13-15 对流受热面中的烟气流速	375
13-16 对流受热面的优化设计	379
参考文献	386

第四篇 锅内过程

第十四章 蒸汽的净化	387
14-1 概述	387
14-2 排污及锅水品质	389
14-3 汽水分离	391
14-4 蒸汽的清洗	397
14-5 锅筒汽水分离元件的选择及布置	398
参考文献	401
第十五章 自然循环锅炉的水循环	402
15-1 水循环的基本概念	402
15-2 下降管系统的压差及其计算	405
15-3 上升管系统的压差及其计算	408
15-4 不同循环系统的水循环解法	421
15-5 水循环的故障及其校验	423
15-6 多排管束蒸发受热面的水循环计算及其稳定性分析	432
15-7 锅炉设计中保证水循环安全的措施	435
参考文献	440
第十六章 强制循环锅炉及直流锅炉	441
16-1 强制循环锅炉	441
16-2 直流锅炉	446
16-3 直流锅炉受热面的流动特性	451
16-4 直流锅炉蒸发受热面的沸腾放热问题	463
16-5 直流锅炉炉膛辐射(蒸发)受热面的结构型式	474
16-6 直流锅炉的水力计算	477
16-7 直流锅炉的水工况	479
16-8 复合循环直流锅炉	480
参考文献	485
第十七章 锅炉动态特性	486
17-1 锅炉动态特性的基本原理	486
17-2 锅筒锅炉的动态特性	493
17-3 过热器的动态特性	501
17-4 直流锅炉及单元机组的动态特性	509
17-5 锅炉部件典型动态环节及其特性	518
参考文献	520

第五篇 锅炉其他问题

第十八章 锅炉的通风系统及空气动力计算	521
18-1 概述.....	521
18-2 锅炉烟、风道的流阻计算.....	522
18-3 锅炉受热面的流阻计算.....	533
18-4 自生通风力计算.....	541
18-5 送、吸风机的选择与调节.....	543
参考文献.....	544
第十九章 锅炉受压元件强度计算	545
19-1 概述.....	545
19-2 受压元件钢材的强度性能.....	545
19-3 锅炉受压元件的热应力.....	552
19-4 锅炉受压元件的残余应力.....	553
19-5 锅炉钢材的种类.....	554
19-6 安全系数及许用应力.....	554
19-7 圆筒形受压元件的强度计算公式.....	556
19-8 孔的加强计算.....	563
19-9 圆筒体受压元件强度计算步骤.....	567
19-10 封头的强度计算.....	568
参考文献.....	572
第二十章 锅炉的炉墙和构架	573
20-1 锅炉炉墙及其结构.....	573
20-2 炉墙材料及其性能.....	579
20-3 炉墙的传热计算.....	584
20-4 锅炉构架和平台、扶梯.....	588
第二十一章 锅炉技术的发展趋势	593
21-1 推动锅炉技术发展的动力.....	593
21-2 锅炉在蒸汽参数和容量上的发展.....	593
21-3 燃气-蒸汽联合循环电站的锅炉.....	594
21-4 锅炉燃烧技术的发展.....	600
21-5 科学技术的发展促进了锅炉技术的发展.....	601
21-6 高温空气燃烧技术的应用.....	601
参考文献.....	604
附录	606
I 36.1kg/s(130t/h)中参数燃煤锅炉的热力计算例题.....	606
II 36.1kg/s(130t/h)中参数燃煤锅炉的水循环计算例题.....	637
III 36.1kg/s(130t/h)中参数燃煤锅炉空气动力计算例题.....	663
IV 36.1kg/s(130t/h)中参数燃煤锅炉的强度计算例题.....	670
V 国际单位制(SI)单位及其与工程单位换算.....	677
VI 水蒸气、空气、烟气性质表及计算公式.....	679
VII 基本物理量及符号简介.....	693

第一篇 锅炉基本知识

第一章 绪 论

1-1 锅炉在国民经济中的重要性

锅炉是国民经济中重要的供应蒸汽的设备。电力、机械、冶金、化工、纺织、造纸、食品等工业都需要大量的蒸汽。但各种工业的规模不同,生产性质也不同,因此所需要的供应蒸汽的锅炉的容量、蒸汽参数、结构、性能也不相同。

现代电力工业是规模巨大、发展迅速的先行工业。电站锅炉一般容量巨大、蒸汽参数(压力、温度)高,要求性能好,是火力发电站中的主要设备之一。我国电力工业在改革开放以来发展更加迅速,1999年底总装机容量已经达到三亿零七百万千瓦,居世界前列。其中容量的大约75%是火力发电。我国在电站锅炉的设计、制造、运行等方面都达到很高的水平。我国已经能设计、制造、运行容量巨大的,每小时蒸发量达2000 t/h的、发电容量达600MWe的巨型电站锅炉。

除电力工业外,化工、纺织等工业规模也比较大,都常有既供电又供热(蒸汽或热水)的自备电厂,也称为电热联产电站。这种自备电站的规模也很大,可以和中型火力发电站相比,所用锅炉的容量和参数与电站锅炉相差不大。

小型工业所需的锅炉容量较小、参数较低,这种锅炉称为工业锅炉。由于容量较小,工业锅炉在结构上、燃烧方法上与电站锅炉相差很多。

本书主要介绍电站锅炉的原理及计算方法。不过,所介绍的原理及计算方法也可以应用于一些工业锅炉上。

1-2 锅炉及其辅助设备的简介

图1-1中示有一中型电站锅炉及其辅助设备。燃煤从煤斗1靠重力下落到给煤机2,给煤机再将煤送入磨煤机3中,经过空气预热器4预热的空气也由排粉风机5送入磨煤机,磨煤机的滚轮将送入的煤磨碎成煤粉,由热空气将它烘干并携带它出磨煤机,进入燃烧器6,并从燃烧器喷入炉膛7燃烧。煤粉燃烧所需空气一部分就是携带它的空气,另一部分(份额较大),是从空气预热器4直接通到燃烧器的空气,也从燃烧器喷入炉膛参加燃烧。

在炉膛中煤粉的燃烧非常强烈,炉膛中心的温度高达1300~1400℃。燃烧所形成的火焰及生成的烟气在高温下以辐射方式把热传给密布在炉膛四壁上的,称为水冷壁8的辐射受热面管子,其中加入工质——水。因而火焰及烟气在炉膛中受到辐射受热面的冷却,在离开炉膛时,已经被冷却到1000℃上下。

离开炉膛后,烟气就流入对流受热面9、10、11、12,逐步将热以对流方式传给这些受热面中的蒸汽和水;同时,烟气也逐渐被冷却到较低的温度;最后,烟气流到空气预热器4,将热传给来预热的空气。烟气离开空气预热器时已经被冷却到较低的温度,约一百几十度(摄氏度)。然后再通过除尘器13,将所携带的绝大部分的细灰粒(飞灰)除掉,由吸风机14将它送进烟囱15,并排入大气。

锅炉受热面中的工质——水,是很纯净的。这种经过化学处理,除去硬度和氧的水,也称为给水。给水是由给水泵送来的,到滚轮之前,已经在汽轮机车间受到低压、高压加热器加热。给水进入滚轮以后先经过省煤

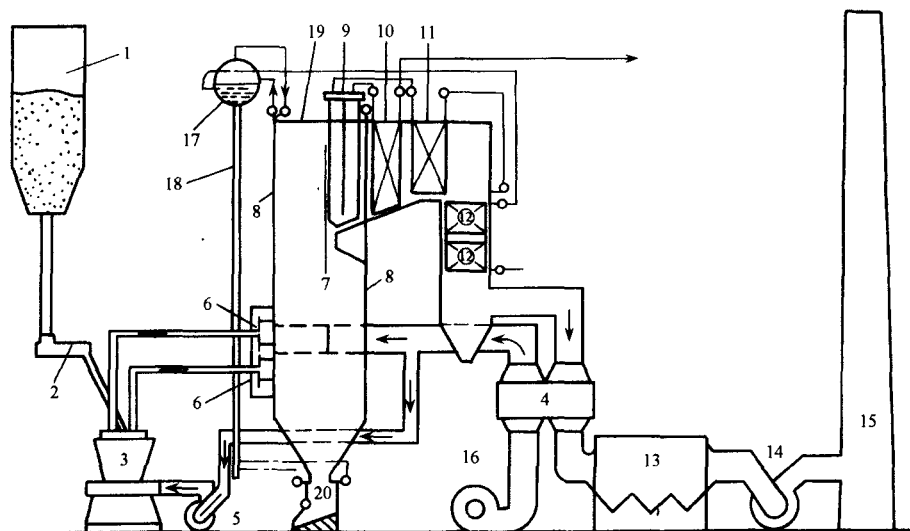


图 1-1 锅炉及其辅助设备系统简图

1. 煤斗; 2. 给煤机; 3. 磨煤机; 4. 空气预热器; 5. 排粉风机; 6. 燃烧器; 7. 炉膛; 8. 水冷壁; 9. 屏式过热器; 10. 高温过热器; 11. 低温过热器; 12. 省煤器; 13. 除尘器; 14. 吸风机; 15. 烟囱; 16. 送风机; 17. 锅筒; 18. 下降管; 19. 顶棚过热器; 20. 排渣室

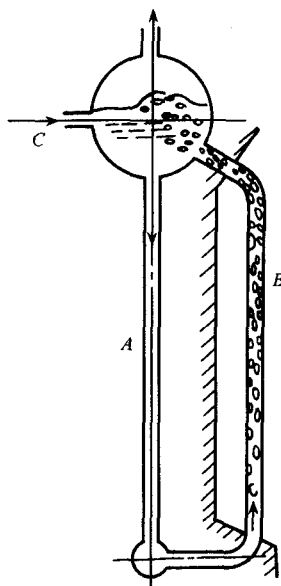


图 1-2 锅炉的水循环系统

- A. 下降管; B. 上升管; C. 给水

器 12 进一步受到加热, 然后送入锅筒 17, 与锅筒中原有的循环着的水混合, 沿下降管 18 流入水冷壁受热面, 吸收炉膛的辐射热, 部分地蒸发成蒸汽, 称为汽水混合物, 上升到锅筒中, 蒸汽在锅筒中与水分离后, 从顶部流出, 经过敷设在炉顶上的过热器 19 流向后方, 进入低温过热器 11, 再流入在炉膛出口的屏式过热器 9, 然后再经高温过热器 10 被加热到预定的温度后, 进入主汽管流向汽轮机, 推动汽轮机运转, 从而带动发电机发电。

锅炉开始运行时, 先注入温度较低的水, 达到锅筒中的正常水位。开始点火后, 水温逐渐升高, 蒸汽压力也随之升高, 在蒸汽压力超过大气压时, 蒸汽就由过热器出口的排汽阀排入大气。在工质水吸收的热量大于排汽所带走的热量时, 水温上升, 压力也相应地上升。逐渐加大锅炉所燃烧燃料的量, 增加工质吸热, 即可使过热器出口的蒸汽压力、温度达到额定值。此时可将通向汽轮机的主汽门打开, 供汽给汽轮机; 此时, 放汽阀即应关闭。运行中锅炉中水不断蒸发, 需不断地由给水泵补充已经蒸发而送出的工质, 保持锅炉中水位正常。

在运行中锅炉蒸发受热面和锅筒中的水是不不断地循环着的。图 1-2 中示有简化的锅炉水循环系统。下降管 A 是不受热的, 上升管——炉内蒸发受热面 B 则在炉膛中受热, 其中水不断蒸发, 在管中有很多气泡上升, 由于气泡的密度小于水的密度, 因此下降管 A 中的水柱与上升管 B 中的汽水混合物柱之间有一个压差, 这个压差就是推动回路中的水不断循环的动力。上升管 B 不断受热, 水也不不断地循环。这种水循环方式称为自然循环, 采用这种循环方式的锅炉称为自然循环锅炉。

1-3 锅炉型式简介

现代锅炉的型式很多, 不论是从蒸发受热面中工质流动的方式, 或是从燃料及其燃烧方式来分, 都可以分成不同的类型。

从蒸发受热面中水的流动方式来看, 除前面已介绍的自然循环外, 一种是在下降管上装设循环泵, 用泵的压头来使蒸发受热面中的水循环, 称为强制循环。采用这种循环方式的锅炉称为强制循环锅炉, 见图 1-3(a)。

有的锅炉没有锅筒, 给水从省煤器进入锅炉, 流经蒸发受热面, 再经过过热器后流出, 成为所要求的压力和温度的蒸汽。这种没有水循环的锅炉称为直流锅炉, 见图 1-3(b)。

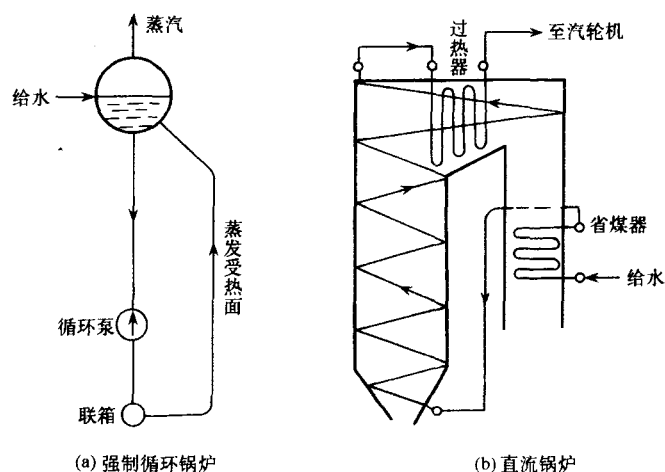


图 1-3 强制循环及直流锅炉

从水流动情况及受热面结构来说,还有各种型式的直流锅炉,将在本书后面的有关章节中一一介绍。

锅炉所用燃烧方式也因燃料不同、锅炉容量不同而有差异。如图 1-4 所示,对气体及液体燃料来说,都采用悬浮燃烧,也称室燃。对固体燃料——煤而言,在锅炉容量小时,多采用层燃,就是将煤块放在炉排上成层地燃烧;在锅炉容量大时,多把煤磨成煤粉悬浮燃烧,这样的锅炉称为煤粉炉。近年来流化床燃烧技术发展很快,已开始在电站锅炉中采用。图 1-4 中示有不同的燃烧方式的简图。

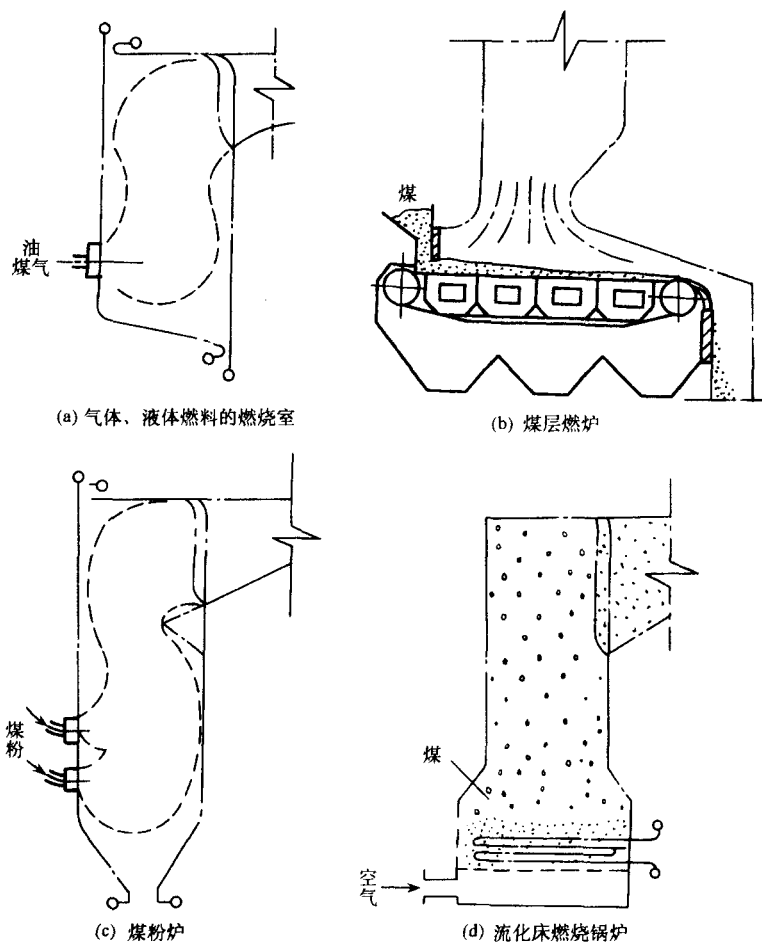


图 1-4 锅炉的各种燃烧方法

我国电站锅炉的燃料以煤为主,因此本书将主要介绍煤粉燃烧问题,而限于篇幅,其他燃烧方式只作比较简单的介绍。