

热能动力工程专业本科系列教材

电站锅炉原理

张 力 主编



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

电站锅炉原理

张 力 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书按照能源动力类教学指导委员会锅炉原理教学大纲的要求,密切结合专业教学的需要,以超临界燃煤锅炉为主干,全面系统地阐述大容量电站锅炉的工作原理和主要设备及系统。全书共分12章,内容包括锅炉本体结构及工作过程、燃料与煤粉制备、燃烧基本理论与燃烧设备、热力计算的基本原理及方法、水循环与水动力学、运行和调节等。内容反映了电站锅炉现状及国内外新技术、新成果,并采用了最新的国家标准。

本书可作为高等院校热能动力工程专业本科学生的“锅炉原理”课程教材,也可供其他相应专业及大型火力发电厂的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电站锅炉原理/张力主编. —重庆:重庆大学出版社,
2009.3

ISBN 978-7-5624-4814-3

I. 电… II. 张… III. 火电厂—锅炉—高等学校—教材
IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 033032 号

电站锅炉原理

张 力 主 编

责任编辑:周 立 版式设计:周 立
责任校对:张洪梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:20.25 字数:505千

2009年3月第1版 2009年3月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4814-3 定价:32.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

随着科学技术的快速发展,人类社会对环保和节能要求的不断提高,火力发电厂锅炉设备发生了前所未有的巨大变化,超临界机组正成为今后发展的主流。为适应本专业现代教学需要,我们针对高等学校热动力类相关专业编写了此书。

我们根据长期课程教学和指导实践性环节的经验,将自己的教学体会融合到教材内容中,使学生在对电站锅炉有一个整体概念;尤其在阐述锅炉工作基本原理和分析方法的基础上,注重与电站锅炉系统相联系,做到理论分析密切结合实际对象。

本书全面系统地阐述电站锅炉的工作原理,突出教学内容的先进性和实用性,反映我国大型电厂锅炉的现状,吸取国内外锅炉方面科学研究的新成果和新技术,介绍大型电站锅炉设备及系统。其主要特点有:采用了最新国家标准;阐述了锅炉机组热平衡试验方法;重点介绍了双进双出低速钢球磨煤机的主要特点和典型的制粉系统;介绍了循环流化床、“W”形火焰等新型燃烧技术;分析了强制流动锅炉的水动力特性;阐述了超临界直流锅炉的运行和调节等。章节内容与题目更加鲜明化和具体化,便于教学中掌握要点,易于自学。

本书由重庆大学张力教授担任主编,编写了第1、2、3、6章;蒲舸编写第7、8章;冉景煜编写第4、5、11章;唐强编写第9、10、12章。闫云飞进行了部分图表处理和资料整理工作。

本书由华北电力大学刘石教授主审,在编写过程中并得到了西安热工研究院有限公司聂剑平教授级高工的帮助,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中不足之处和错误在所难免,恳请读者批评指正。

张 力

2009年3月于重庆

主要符号表

拉丁字母符号

A ——燃料的工业分析灰分, %
 a ——黑度
 飞灰占总灰分的质量份额, %
 B ——燃料消耗量, t/h (kg/s)
 b ——煤粉细度系数
 Bo ——波尔兹曼准则数
 c ——比热容
 D ——水量, 锅炉蒸发量, t/h
 DT ——灰分的变形温度, $^{\circ}\text{C}$
 E ——活化能, $\text{kW} \cdot \text{h/t}$
 F ——炉膛水冷壁面积, m^2
 FT ——灰分的流动温度, $^{\circ}\text{C}$
 FC ——燃料的工业分析固定碳, %
 G ——工质流量, kg/s
 H ——受热面积, 有效辐射面积, m^2
 h ——高度, m
 I ——焓, kJ/kg
 K ——循环倍率, 燃料的可磨性系数, 磨损指数
 传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
 l ——长度, m
 L_0 ——质量来表示的理论空气量, kg/kg
 M ——燃料的工业分析水分, %
 N ——管数
 n ——转速, r/s
 均匀性指数
 p ——压力, Pa
 排污率, %
 Pr ——普朗特准则数
 Q ——热量, kJ
 燃料发热量, kJ/kg
 流量, m^3/s
 q ——热负荷, kW/m^2 , kW/m^3

q_1 ——锅炉有效利用的热量, %
 q_2 ——排烟热损失, %
 q_3 ——可燃气体不完全燃烧热损失, %
 q_4 ——固体不完全燃烧热损失, %
 q_5 ——锅炉散热损失, %
 q_6 ——其他热损失, %
 R ——热阻, $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$
 半径, m
 通用气体常数
 Re ——雷诺准则数
 R_F ——沾污特性指标
 R_J ——煤的燃尽特性指数
 R_w ——着火稳定性指数
 R_x ——煤粉细度, %
 R_z ——煤灰的结渣特性指数
 r ——汽化潜热, J/kg
 S ——含硫量, 硫分, %
 含盐量, mg/kg
 节距, m
 s ——辐射层厚度, m
 ST ——灰分的软化温度, $^{\circ}\text{C}$
 T ——热力学温度, K
 V ——容积, m^3
 v ——比容, m^3/kg
 w ——流速, m/s
 w_i ——化学反应速度, mol/s
 x ——质量含汽率, %
 α ——角系数

希腊字母符号

α ——过量空气系数, 夹角, 硝酸生成热的比例系数
 放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$
 β ——燃料特性系数

δ ——厚度,mm
 ε ——煤粉细度调节系数
 ζ ——管子的局部阻力系数
 污染系数
 η ——效率,热效率,燃烧效率,%
 热不均系数
 Θ ——无量纲温度
 θ ——烟气温度,℃
 λ ——导热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
 沿程摩擦阻力系数
 μ ——动力黏性系数, $Pa \cdot s$
 飞灰浓度,%
 ν ——运动黏度, m^2/s
 ξ ——局部阻力系数
 ρ ——密度, kg/m^3
 σ_0 ——绝对黑体的辐射常数, $kW/(m^2 \cdot K^4)$
 τ ——时间,s
 φ ——保热系数
 ψ ——热有效系数
 ω ——蒸汽湿度,%

角标符号

ad 空气干燥基
 ar 收到基
 bq 饱和蒸汽
 cf 粗粉分离器
 cr 临界
 d 干燥基,动力段
 daf 干燥无灰基
 ed 额定
 f 辐射
 fh 飞灰
 fl 汽水分离器,分配联箱
 g 汽包,工质,给水
 gl 锅炉
 gr 高位,过热器
 gs 给水,锅水,管束
 gy 干烟气

h 汽水混合物,结构
 hl 汇入联箱
 hq 含汽段
 hy 火焰
 hz 灰渣
 j 计算值
 jb 局部
 js 加速,金属
 jw 减温器
 jx 界限
 k 空气
 km 可磨
 ky 空气预热器
 l 炉,炉膛
 ld 露点
 lf 漏风
 lj 临界
 lk 冷空气
 ls 炉水
 lz 炉渣,流动阻力
 max 最大值
 mf 煤粉系统
 min 最小值
 ms 磨损
 net 低位
 p 屏,偏差管
 pj 平均值
 pw 排污
 py 排烟
 q 气体,蒸汽
 r 燃料,燃烧,燃烧器
 rs 热水段
 sb 水冷壁
 sm 省煤器,省煤段
 ss 上升
 wh 雾化
 wr 外来热源
 xf 细粉分离器

xh	循环
xj	下降
xt	系统
y	烟气
yd	运动
yh	烟道灰
yx	有效

zf	制粉系统,蒸发段
zh	着火
zj	最佳
zq	蒸汽
zr	再热,再热器
zs	折算,真实
zx	再循环

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 锅炉的构成及工作过程	1
1.2 锅炉的容量、参数与分类	3
1.3 锅炉的基本型式	4
1.4 锅炉的技术经济及环保指标	7
1.5 大容量电站锅炉的发展趋势	9
第2章 锅炉燃料及特性	11
2.1 锅炉燃料	11
2.2 煤的化学组成与分析	11
2.3 煤的发热量	15
2.4 煤的灰渣特性	17
2.5 煤的分类和燃烧特性	20
2.6 液体燃料	26
2.7 气体燃料	27
第3章 燃料燃烧计算与锅炉热平衡	29
3.1 空气量及烟气量的计算	29
3.2 空气焓和烟气焓的计算	33
3.3 烟气成分分析与计算	36
3.4 锅炉热平衡与热损失	40
3.5 锅炉热效率与热平衡试验	45
第4章 燃烧理论基础	49
4.1 燃烧化学反应速度与基本定律	49
4.2 着火与燃烧机理	55
4.3 煤和焦炭燃烧	56
4.4 煤粉气流的完全燃烧	60

第 5 章 煤粉制备及制粉系统	64
5.1 煤粉基本特性	64
5.2 煤的可磨性和磨损指数	67
5.3 磨煤机	69
5.4 给煤机和给粉机	77
5.5 煤粉分离器	82
5.6 制粉系统	86
第 6 章 锅炉燃烧设备及燃烧技术	92
6.1 煤粉炉燃烧设备	92
6.2 燃烧器出口风粉射流特性	97
6.3 直流燃烧器与旋流燃烧器	100
6.4 低 NO_x 煤粉燃烧技术	115
6.5 W 形火焰燃烧方式	117
6.6 循环流化床燃烧技术	122
第 7 章 电站锅炉受热面与整体布置	128
7.1 水冷壁	128
7.2 过热器与再热器	136
7.3 省煤器与空气预热器	159
7.4 锅炉的整体布置	168
第 8 章 锅炉热力计算基本原理及方法	172
8.1 主要参数选定原则	172
8.2 锅炉热力计算步骤及方法	175
8.3 炉膛传热基本原理与计算方法	178
8.4 对流受热面的传热计算	191
第 9 章 锅炉水循环与水动力学	204
9.1 锅炉水循环过程	204
9.2 自然循环基本原理	209
9.3 两相流体参数与计算	211
9.4 自然循环水动力计算与安全	217
9.5 强制流动锅炉的水动力特性	225
第 10 章 锅炉蒸汽品质及蒸汽净化	239
10.1 蒸汽品质	239
10.2 蒸汽污染的原因	241

10.3	蒸汽净化	246
10.4	给水净化与排污	253
第 11 章	锅炉受热面的沾污、磨损与腐蚀	262
11.1	锅炉受热面沾污、结渣及腐蚀现象	262
11.2	炉膛沾污、结渣及高温腐蚀	262
11.3	过热器和再热器的沾污、结渣及高温腐蚀	269
11.4	锅炉尾部受热面的积灰、磨损和低温腐蚀	271
第 12 章	锅炉的运行和调节	280
12.1	概述	280
12.2	自然循环锅炉的启动和停炉	282
12.3	直流锅炉启动和停炉	285
12.4	锅炉的静态及动态特性	295
12.5	锅炉调节原理与运行调整	301
参考文献		310

第 1 章

绪 论

1.1 锅炉的构成及工作过程

电站锅炉是一种为汽轮发电机组提供合格蒸汽的设备,它通过煤、油或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,产生规定参数(温度、压力)和品质的蒸汽,再通过汽轮发电机组转换为电能。锅炉是火力发电厂的主要设备之一。

1.1.1 锅炉的构成

锅炉由锅炉本体和辅助设备组成,是进行燃料燃烧、烟气向工质传热、工质受热汽化三种过程的综合装置。

锅炉本体是锅炉的主要组成部分,由燃烧系统和汽水系统两大部分组成。锅炉燃烧系统由炉膛、烟道(水平烟道和垂直烟道)、燃烧器、空气预热器等组成,其主要作用是使燃料在炉内良好燃烧,放出热量。锅炉汽水系统由省煤器、汽包、下降管、联箱、水冷壁、过热器、再热器等组成,其主要任务是有效吸收燃料放出的热量,使锅水蒸发并形成具有一定温度和压力的过热蒸汽。此外,锅炉本体还包括连接管道、炉墙和构架。连接管道用于烟道与风道的连接,炉墙用来构成封闭的炉膛和烟道,构架用来支承和悬吊汽包、锅炉受热面、炉墙等。

锅炉的辅助设备主要包括燃料供应设备(系统)、制粉设备、通风设备、水处理及给水设备、除尘除灰设备、脱硫设备、仪表及自动控制设备等。

①燃料供应设备主要包括燃料装卸和运输机械等,其主要作用是将燃料由储煤场送到锅炉房;

②制粉设备主要包括原煤斗、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉风机及煤粉输送管道等,其主要作用是将原煤干燥并磨制成合格的煤粉;

③通风设备主要包括送风机、引风机、烟道、风道和烟囱等,其主要作用是提供燃料燃烧和煤粉干燥所需的空气,并将燃烧生成的烟气排出炉外;

④水处理及给水设备由水处理设备、给水泵和给水管路组成,其主要作用是防止锅炉水汽系统结垢、积盐和腐蚀,可靠地向炉内提供符合标准品质、安全的给水;

- ⑤除尘、除灰设备的主要任务是清除烟气中的飞灰和燃料燃烧后的灰渣；
- ⑥脱硫设备的主要任务去除烟气中的二氧化硫，减少污染排放；
- ⑦仪表及自动控制设备主要包括热工测量仪表、自动控制设备、工业电视及计算机技术的应用等，主要作用是测量和控制汽、水、烟等工质的各项参数，维持电厂锅炉的安全高效运行。

1.1.2 锅炉的工作过程

锅炉内部的过程比较复杂，以图 1.1 具有中间再热、配直吹式制粉系统的煤粉锅炉为例来说明锅炉的工作过程。

原煤斗 1 中的煤靠自重落下，经过给煤机 2 进入磨煤机 3 中，煤在磨煤机中被由空气预热器 23 来的热风干燥，磨制成合格的煤粉。通过排粉风机 4 经燃烧器 5，煤粉被喷入炉膛 8 的空间中燃烧放热，燃烧产生的高温火焰和烟气在炉膛 8 和烟道中，以不同的换热方式依次将热量传递给水冷壁 9（辐射换热）、屏式过热器 10（半辐射、半对流换热）、高温过热器 11（对流换热）、再热器 16（对流换热）、低温过热器 17（对流换热）、省煤器 20（对流换热）和空气预热器 23（对流换热）。烟气离开锅炉时，温度已经较低，然后进入电除尘器 24 除去绝大部分灰粒，经引风机 25 进入脱硫装置 26 除去大部分 SO_2 ，最后通过烟囱 27 排至大气中。

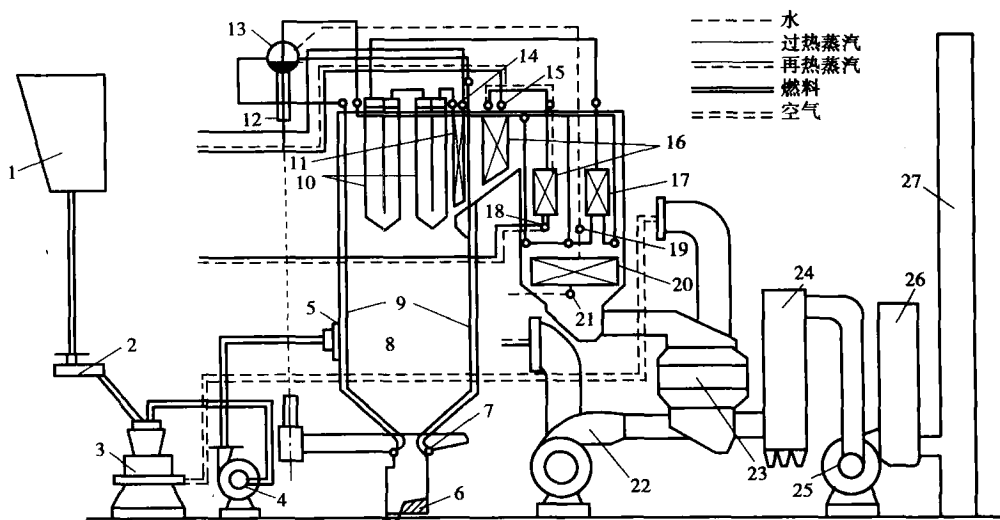


图 1.1 电站锅炉设备及工作过程示意图

- 1—原煤斗；2—给煤机；3—磨煤机；4—排粉风机；5—燃烧器；6—排渣装置；7—下联箱；8—炉膛；9—水冷壁；10—屏式过热器；11—高温过热器；12—下降管；13—汽包；14—过热器出口联箱；15—再热器出口联箱；16—再热器；17—低温过热器；18—再热器进口联箱；19—省煤器出口联箱；20—省煤器；21—省煤器进口联箱；22—送风机；23—空气预热器；24—电除尘器；25—引风机；26—脱硫装置；27—烟囱

燃料燃烧需要的空气，经送风机 22 送入空气预热器 23，被烟气加热成热空气后分成两部分，其中一部分通过燃烧器 5 直接送入炉膛 8，主要起混合、强化燃烧的作用，称为二次风。另一部分进入磨煤机 3，用于干燥和输送煤粉，这股携带煤粉的空气称为一次风。燃料燃烧后生成灰渣，灰渣由炉膛下部的排渣装置 6 排出，较细的飞灰由烟道尾部的电除尘器 24 收集，收集的干灰可以综合利用，也可与渣一起经灰渣泵送往灰场。

给水经给水泵升压后送入锅炉省煤器 20, 被烟气加热, 然后进入汽包 13。汽包里的水沿下降管 12 至水冷壁的下联箱 7 再进入水冷壁 9, 水在水冷壁中吸收炉内高温火焰和烟气的辐射热量, 部分水变成水蒸气, 在水冷壁管子中形成汽水混合物。汽水混合物向上流入汽包, 在汽包中由汽水分离装置进行汽水分离。分离出来的水留在汽包下部, 与连续送入汽包的给水一起再下降, 又进入水冷壁吸热, 形成自然循环。

而分离出的饱和蒸汽进入过热器, 被进一步加热成过热蒸汽。过热蒸汽经过蒸汽管道进入汽轮机高压缸做功, 蒸汽在汽轮机高压缸做功后, 温度、压力都下降, 又引回锅炉再热器 16, 再次加热达到规定参数后送往汽轮机的中压缸继续做功。

现代电站锅炉是一个十分复杂、具有高度技术水平的设备, 各部分的组成决定于锅炉的容量、蒸汽参数和燃料的性质, 也决定于工作的可靠性、经济性以及自动化水平。

1.2 锅炉的容量、参数与分类

1.2.1 锅炉容量

锅炉容量或额定蒸发量, 是指锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度和使用设计燃料, 并保证热效率时的最大连续蒸发量, 常以每小时供应蒸汽的吨数来表示(t/h)。

1.2.2 锅炉的蒸汽参数

锅炉的蒸汽参数是指锅炉过热器和再热器出口的额定蒸汽压力和额定蒸汽温度。

额定蒸汽压力是指蒸汽锅炉在规定的给水压力和规定的负荷范围内, 长期连续运行时应保证的过热器和再热器出口的蒸汽压力。

额定蒸汽温度是指蒸汽锅炉在规定的负荷范围内、额定蒸汽压力和额定给水温度下长期运行所必须保证的过热器和再热器出口的蒸汽温度。

中国电站锅炉的蒸汽参数及容量情况见表 1.1。

表 1.1 中国电站锅炉的蒸汽参数及容量

参 数			最大连续蒸发量 /($t \cdot h$)	发电功率 /MW
蒸汽压力/MPa	蒸汽温度/ $^{\circ}C$	给水温度/ $^{\circ}C$		
2.5	400	105	20	3
3.9	450	145 ~ 155	35, 65	6, 12
		165 ~ 175	130	25
9.9	540	205 ~ 225	220, 410	50, 100
13.8	540/540	220 ~ 250	420, 670	125, 200
16.8	540/540	250 ~ 280	1 025	300
17.5	540/540	260 ~ 290	1 025, 2 008	300, 600
25.4	571/569	282	1 913	600
27.46	605/603	298	2 950	1 000

1.2.3 给水温度

锅炉的给水温度是指省煤器进口的给水温度,无省煤器时即指锅筒进水温度。

1.2.4 锅炉的分类

按用途可以分为工业锅炉、船舶锅炉和电站锅炉。

按蒸汽压力可以分为低压锅炉(出口蒸汽表压 ≤ 2.45 MPa),中压锅炉(表压 $2.94 \sim 4.90$ MPa),高压锅炉(表压 $7.84 \sim 10.8$ MPa),超高压锅炉(表压 $11.8 \sim 14.7$ MPa),亚临界压力锅炉(表压 $15.7 \sim 19.6$ MPa),超临界压力锅炉(表压高于 $24.0 \sim 28.0$ MPa),超超临界机组(表压达到 28.0 MPa 以上或主蒸汽温度和再热蒸汽温度为 593 °C 及以上)。

按燃料种类可以分为燃煤锅炉、燃油锅炉和燃气锅炉等。

按燃烧方式可以分为火床炉、室燃炉、旋风炉、流化床炉等。目前,电站锅炉以燃烧煤粉为主,称为室燃炉。

按工质在蒸发受热面中的流动方式可以分为自然循环锅炉和强制流动锅炉两个大类。强制流动锅炉可以进一步分为控制循环锅炉和直流锅炉。

1.3 锅炉的基本型式

电站锅炉蒸发受热面内工质流动方式存在差异,因而其循环方式不同,可以分为自然循环锅炉、强制循环锅炉、直流锅炉和复合循环锅炉等,本节主要介绍电站锅炉中常用的自然循环锅炉和直流锅炉。

1.3.1 自然循环锅炉

自然循环锅炉中,汽水主要依靠下降管中的水和上升管中汽水混合物的密度差产生的压头而循环流动。锅炉的工作压力越低,密度差越大,循环越可靠。在高压、超高压锅炉中,只要适当地设计锅炉的循环回路,汽水循环是很可靠的。甚至到了亚临界压力时,虽然汽包中压力已达到 18.5 MPa 左右,水和蒸汽的密度差已经很小,但只要按照炉内热负荷的分布规律,合理地设计循环回路,仍然可以采用自然循环。图 1.2 是 2209 t/h 亚临界压力自然循环锅炉的本体结构示意图。

该锅炉为亚临界自然循环锅炉,单炉膛对冲燃烧,配低氮型 DS 旋流分级燃烧器。采用一次中间再热,固态机械除渣和正压气力除灰系统。制粉系统为双进双出钢球磨煤机一次风正压直吹式制粉系统。燃烧器前后墙对冲布置共 24 只,前后墙各 3 排,每排 4 只,垂直错列布置。设计燃料为无烟煤。

给水经升压后送入布置在锅炉后烟道下部的省煤器。在省煤器中的水自下而上流动,与烟气流动方向相反,被加热后进入汽包。汽包里的水沿下降管经下联箱进入水冷壁,水在水冷壁中吸收热量形成汽水混合物。汽水混合物向上流入汽包,在汽包中由汽水分离装置进行汽水分离。分离出来的水留在汽包下部,与连续送入汽包的给水一起再下降,又进入水冷壁吸热,形成自然循环。而分离出的饱和蒸汽依次进入屏式过热器、低温过热器、高温过热器,被进

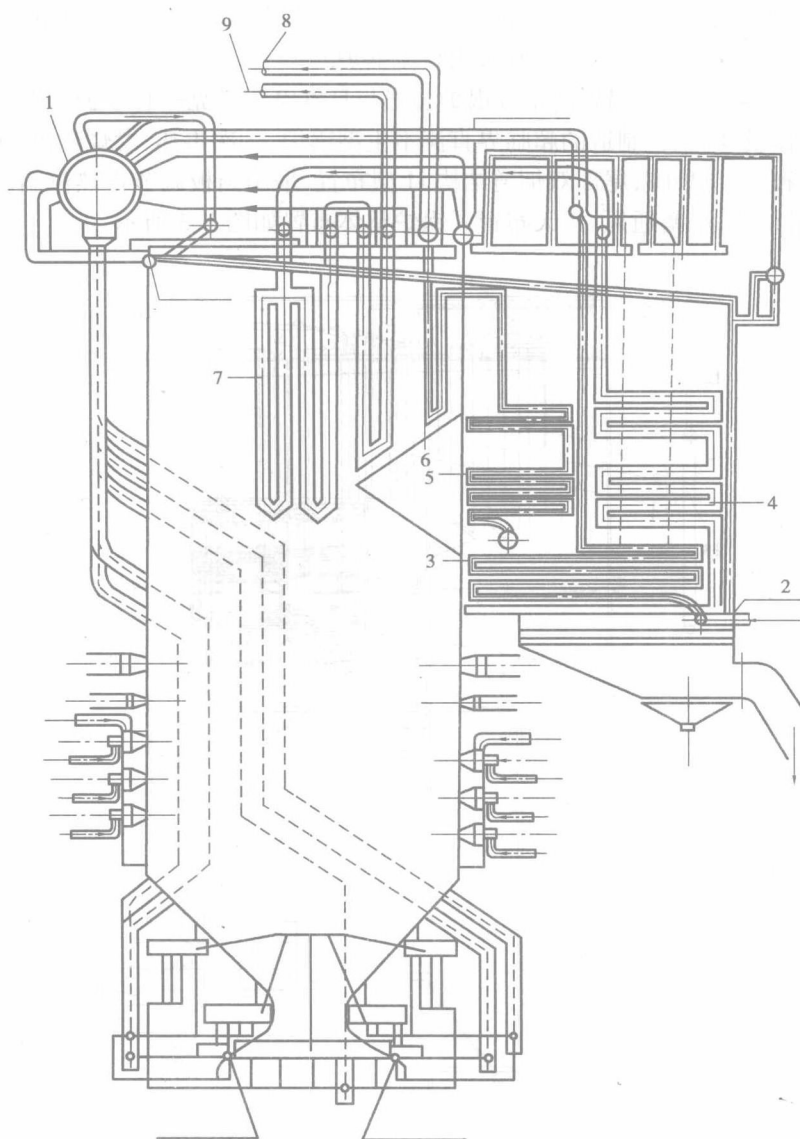


图 1.2 2 209 t/h 亚临界压力自然循环锅炉

1—汽包;2—低温过热器进口;3—省煤器;4—低温过热器;5—再热器;
6—高温过热器;7—屏式过热器;8—再热器出口;9—过热器出口

一步加热成过热蒸汽。过热蒸汽经过蒸汽管道进入汽轮机高压缸做功,蒸汽在汽轮机高压缸做功后,又引回锅炉再热器,再次加热达到规定参数后送往汽轮机的中压缸继续做功,再热气温利用分隔烟道挡板来调节。

1.3.2 直流锅炉

直流锅炉中的工质——水、汽水混合物和蒸汽是由给水泵的压力而一次经过全部受热面,因此称为直流锅炉。它只有相互连接的受热面,没有汽包。由于这种锅炉对给水品质和自动

控制要求高,给水泵消耗功率较大,因此一般用于高压及以上锅炉。当压力超过临界压力时,由于汽水不可能用汽包进行分离,只有采用直流锅炉。

DG 1900/25.4—Ⅱ2 型锅炉由东方锅炉公司与日本巴布科克—日立公司及东方—日立锅炉有限公司合作设计、联合制造的超临界直流本生型锅炉,一次再热,燃烧烟煤,采用旋流燃烧器前后墙对冲布置,单炉膛,尾部双烟道结构Ⅱ型布置,采用挡板调节再热汽温,固态排渣,全钢构架,全悬吊结构,平衡通风,露天布置。锅炉整体布置如图 1.3 所示。

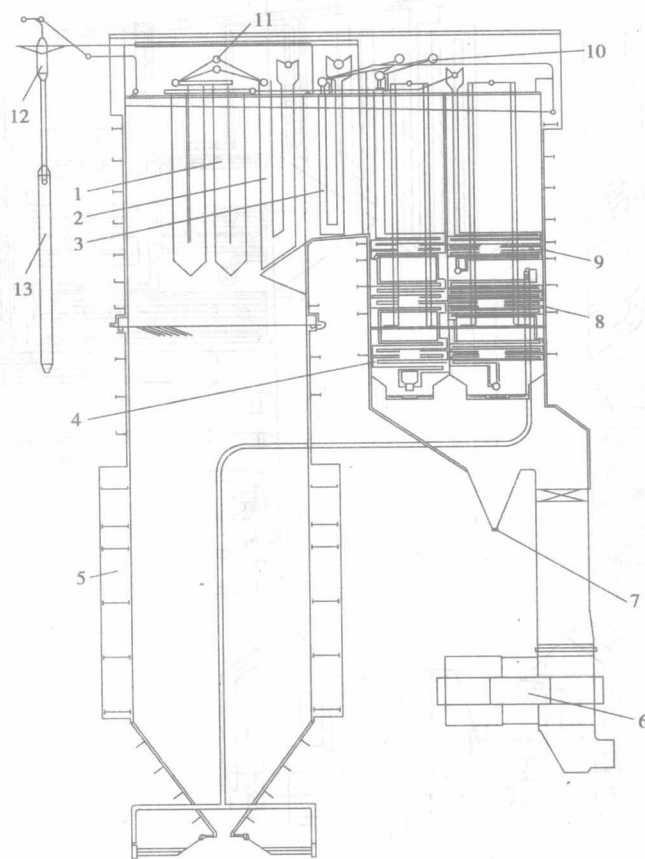


图 1.3 DG1900/25.4—Ⅱ2 型锅炉

- 1—屏式过热器;2—高温过热器;3—高温再热器;4—低温再热器;5—燃烧器;
6—空气预热器;7—省煤器灰斗;8—省煤器;9—低温过热器;10—再热减温器;
11—过热器二级减温器;12—汽水分离器;13—储水罐

锅炉循环系统由启动分离器、储水罐、下降管、下水连接管、水冷壁上升管及汽水连接管等组成。负荷 $\geq 25\% B-MCR$ 后,直流运行,一次上升,启动分离器入口具有一定的过热度。

炉膛水冷壁分为上下两部分,上部水冷壁采用全焊接的垂直上升膜式管屏,下部水冷壁采用了内螺纹管的全焊接螺旋上升膜式管屏。螺旋管圈水冷壁,带有张力板的垂直搭接板支承系统。

过热器及再热器受热面均为辐射-对流型。过热器系统由在尾部竖井后烟道内的低温过热器、炉膛上部的屏式过热器和水平烟道中的高温过热器组成。过热汽温调节采用二级喷水减温。再热器由低温再热器和高温再热器组成,低温再热器布置于尾部前烟道中,高温再热器

布置于水平烟道高温过热器之后。再热汽温采用烟气挡板调节。

省煤器水平布置于尾部后竖井水平布置低温过热器的下方,空气预热器为三分仓回转式空预器。

燃烧器采用旋流式燃烧器,采用前后墙对冲布置、分级燃烧技术。分三层布置,共设有 36 只燃烧器。上部布置 16 只燃尽风喷口,设有启动油枪 12 只、点火油枪 36 只,总输入热量相当于 30% B-MCR 锅炉负荷,用于启动和维持低负荷燃烧。

该炉采用的制粉系统为辊式中速磨正压直吹式制粉系统,配置 6 台 MPS24 辊式中速磨煤机。

1.4 锅炉的技术经济及环保指标

1.4.1 锅炉的技术经济指标

锅炉的技术经济指标是指:热效率、成本及工作的可靠程度。设计制造的锅炉应该力求效率高,成本低,而且工作可靠。

锅炉效率是指锅炉有效利用的热 Q_1 与燃料输入热量 Q_r 的百分比。

$$\eta_{gl} = \frac{Q_1}{Q_r} \times 100\% \quad (1.1)$$

锅炉尚有很多辅助设备如风机、水泵、吹灰器等,它们要消耗电能和蒸汽。在有效利用能量中减去这些能量消耗则可得到净效率,一般锅炉效率是指前者。

锅炉的成本,除总投资外,还往往利用每吨蒸汽所需的投资数来表示。由于钢材、耐火材料等价格在各个时期可能不同,并且成本受到劳动生产率、工资等影响,为便于比较,往往用占锅炉成本中最主要的一项即钢材消耗量来表示锅炉成本,一般用吨钢/吨蒸汽表示。在设计制造锅炉时,当然希望尽可能降低钢材消耗,特别是各种贵重的耐热合金钢材的消耗量。但另一方面,还要考虑到运行的经济性,使锅炉有比较高的热效率。

锅炉工作的可靠程度是锅炉技术水平的主要标志之一。锅炉的可靠程度可用锅炉连续运行小时数、锅炉可用率及锅炉事故率等指标来表示。锅炉连续运行小时数是指锅炉两次被迫停炉进行检修之间的运行小时数。锅炉的可用率是指在统计期间内,锅炉总运行小时数及总备用小时数之和,与该统计期间总小时数的百分比。锅炉事故率是指在统计期间内,锅炉总事故停炉小时数,与总运行小时数和总事故停炉小时数之和的百分比。随着技术的进步,现在我国电站锅炉的可靠程度较以前已经有了很大的提高。

1.4.2 锅炉的环保指标

电站锅炉燃用大量化石燃料,燃烧过程中产生大量粉尘、 SO_2 、 NO_x 等污染物,电站锅炉是重要的污染源。为贯彻《中华人民共和国大气污染防治法》,防治环境污染,保护和改善生活环境和生态环境,2004 年 1 月 1 日开始执行新的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2003),该标准分三个时段,对不同时期建设的火电厂分别规定了排放控制要求。

各时段火力发电锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度执行表 1.2 规定的限值。