

普通高等教育“十二五”规划教材

# 锅炉原理

张力 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS





# 普通高等教育“十二五”规划教材

燃烧学	徐通模
流体力学(少学时)	何川
热力发电厂	冉景煜
锅炉原理	张力
制冷压缩机 第2版	吴业正 等
空调制冷装置与系统仿真	刘忠宝 等
工程流体力学	周云龙
内燃机原理	黄荣华
低温工艺与装置	王立
制冷与低温工艺	程有凯
汽轮机原理	丰镇平
制冷与低温设备	张华
能源环境技术及评价	杨昭 等
流体机械原理	王军
热力系统与设备	严俊杰
热能与动力工程概论	吕太
能源科学与技术导论	郭烈锦
锅炉原理	陈学俊
电厂燃气轮机概论	付忠广
食品冷冻冷藏原理与设备 第2版	周国燕 华泽钊
可再生能源	汪建文
工程流体力学	闻建龙
制冷空调科技英语阅读与写作	孙晗

地址:北京市百万庄大街22号  
电话服务  
社服务中心:(010)88361066  
销售一部:(010)68326294  
销售二部:(010)88379649  
读者购书热线:(010)88379203

邮政编码:100037  
网络服务  
门户网:<http://www.cmpbook.com>  
教材网:<http://www.cmpedu.com>  
封面无防伪标均为盗版

● ISBN 978-7-111-33297-8  
● 策划:蔡开颖/封面设计:张静

定价:44.00元

ISBN 978-7-111-33297-8



9 787111 332978 >

普通高等教育“十二五”规划教材

# 锅炉原理

主 编 张 力  
副主编 吕 太 蒲 舸  
参 编 唐 强 朱全利 王恩宇  
主 审 周怀春

机械工业出版社

本书是按照教育部能源动力类教学指导委员会锅炉原理教学大纲编写的。本书结合锅炉行业的现状和发展趋势,全面阐述了电站锅炉和工业锅炉的工作原理和主要设备及系统,重点介绍了锅炉的燃烧技术与燃烧设备、本体结构特征及受热面布置方式、热力计算方法和水动力学原理及计算方法、锅炉用钢和强度计算方法,反映了国内外锅炉的新技术、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生的锅炉原理课程教材(48~64学时),也可供其他相关专业学生及从事锅炉设计制造和运行工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

锅炉原理/张力主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 10  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-111-33297-8

I. ①锅… II. ①张… III. ①锅炉—高等学校—教材 IV. ①TK22

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第017330号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 张丹丹

版式设计:张世琴 责任校对:刘怡丹

封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·544千字

标准书号:ISBN 978-7-111-33297-8

定价:44.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是按照教育部能源动力类教学指导委员会锅炉原理教学大纲，针对普通高等学校热能动力类相关专业编写的。

本书的特点是结合国内外锅炉的现状和发展趋势，吸取国内外锅炉研究的新成果和新技术，突出教学内容的先进性和实用性，全面阐述了电站锅炉和工业锅炉的工作原理和主要设备及系统，重点介绍了锅炉的燃烧技术与燃烧设备、本体结构特征及受热面布置方式、热力计算方法和水动力学原理及计算方法、锅炉用钢和强度计算方法，符合工程类“应用型”本科的专业教学需要。其章节内容与题目鲜明、具体，便于教学中掌握要点，宜于自学。

重庆大学张力担任本书主编，编写第1、4章；东北电力大学吕太为副主编，编写第12、13、14章；重庆大学蒲舸为副主编，编写第7、9章；重庆大学唐强编写第10、11章；武汉大学朱全利编写第6、8章；河北工业大学王恩宇编写第2、3、5章。重庆大学闫云飞协助完成部分图表处理和资料整理工作。

华中科技大学周怀春教授担任本书主审，并提出了很多宝贵的意见和建议，使编者在本书修改过程中受益匪浅，在此表示诚挚的感谢。

本书可作为高等院校热能动力工程专业本科生的锅炉原理课程教材（48~64学时），也可供其他相关专业学生及从事锅炉设计制造和运行工作的工程技术人员参考。

本书的编写得到了华北电力大学刘石教授和西安热工研究院聂剑平教授级高工的帮助，参考了所列参考文献作者们的宝贵资料，在此表示衷心的感谢。

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。

编者  
于重庆

# 主要符号表

## 拉丁字母符号

- $A$ ——燃料的工业分析灰分, %  
面积,  $m^2$   
系数
- $AI$ ——煤的磨损指数,  $mg/kg$
- $A_1$ ——炉膛水冷壁面积,  $m^2$
- $A_h$ ——流通面积,  $m^2$
- $A_s$ ——锅炉散热面积,  $m^2$
- $A_w$ ——受热面积, 有效辐射面积,  $m^2$
- $a$ ——黑度  
宽度,  $m$   
飞灰占总灰分的质量份额, %  
分配系数
- $B$ ——燃料消耗量,  $kg/h$   
倾角系数
- $Bi$ ——毕渥数
- $b$ ——煤粉细度系数  
宽度  
深度,  $m$
- $c$ ——比热容,  $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$
- $D$ ——水量, 锅炉蒸发量,  $kg/h$   
直径,  $m$
- $DT$ ——灰分的变形温度,  $^\circ C$
- $d$ ——直径,  $m$
- $E$ ——活化能,  $kJ/mol$   
肋片有效系数
- $FC$ ——燃料的工业分析固定碳, %
- $FT$ ——灰分的流动温度,  $^\circ C$
- $g$ ——重力加速度,  $m/s^2$
- $H$ ——焓,  $kJ$
- $HT$ ——灰分的半球温度,  $^\circ C$
- $h$ ——高度,  $m$
- $K$ ——循环倍率, 燃料的可磨性系数  
传热系数,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$   
轴向动量,  $kg \cdot m/s$
- $K_c$ ——煤的冲刷磨损指数
- $k$ ——蒸汽的携带系数, %  
火焰辐射减弱系数,  $1/(m \cdot MPa)$   
玻耳兹曼常数
- $L$ ——动量矩,  $kg \cdot m^2/s$
- $l$ ——长度,  $m$
- $M$ ——燃料的工业分析水分, %  
摩尔质量,  $g/mol$
- $n$ ——转速,  $r/s$   
旋流强度  
均匀性系数
- $Pr$ ——普朗特数
- $p$ ——压力,  $Pa$   
真空度
- $Q$ ——热量,  $kJ$   
燃料发热量,  $kJ/kg$
- $q$ ——热负荷,  $kW/m^2$ ,  $kW/m^3$
- $q_m$ ——质量流量,  $kg/s$
- $q_v$ ——体积流量,  $m^3/s$   
炉膛容积热负荷,  $kW/m^3$
- $q_1$ ——有效利用热占输入锅炉热量的百分率, %
- $q_2$ ——排烟热损失, %
- $q_3$ ——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,  $m^2 \cdot ^\circ C/W$   
半径,  $m$   
结构阻力系数  
摩尔气体常数
- $Re$ ——雷诺数
- $R_f$ ——灰沾污指数
- $R_J$ ——煤的燃尽特性指数
- $R_{vs}$ ——灰粘度结渣指数
- $R_w$ ——着火稳定性指数
- $R_x$ ——煤粉细度, %



$R_z$ ——煤灰的结渣特性指数  
 $r$ ——汽化热, J/kg  
 风率, 烟气再循环率  
 $S$ ——含硫量, 硫分, %  
 $S$ ——含盐量, mg/kg  
 $ST$ ——灰分的软化温度,  $^{\circ}C$   
 $s$ ——辐射层厚度, m  
 滑移比  
 节距, m  
 $T$ ——热力学温度, K  
 磨损量  
 $t$ ——摄氏温度,  $^{\circ}C$   
 孔距, mm

$U$ ——湿周长, m  
 $u$ ——燃烧器区域炉膛周长, m;  
 $V$ ——燃料的工业分析挥发分, %  
 容积,  $m^3$   
 $v$ ——比体积,  $m^3/kg$   
 $w$ ——流速, m/s  
 质量分数, %  
 飞灰速度  
 $w_i$ ——化学反应速度, mol/s  
 $x$ ——质量含汽率, %  
 角系数  
 $Y$ ——压差, Pa  
 $z$ ——曝光不均匀系数

### 希腊字母符号

$\alpha$ ——过量空气系数  
 夹角  
 硝酸生成热的校正系数  
 表面传热系数,  $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$   
 $\beta$ ——燃料特性系数  
 垂直度系数  
 容积含汽率  
 倾角  
 外内径之比  
 $\gamma$ ——一次风所占份额, %  
 $\delta$ ——厚度, mm  
 $\varepsilon$ ——辐射率  
 (对流受热) 污染系数,  $m^2 \cdot ^{\circ}C/kW$   
 $\zeta$ ——(辐射受热) 污染系数  
 $\eta$ ——效率, 热效率, 燃烧效率, %  
 不均系数, 热偏差系数  
 飞灰撞击率  
 $\theta$ ——量纲一的温度  
 $\theta$ ——烟气温度,  $^{\circ}C$   
 $\lambda$ ——热导率,  $W/(m \cdot ^{\circ}C)$   
 沿程摩擦阻力系数

$\mu$ ——动力粘度,  $Pa \cdot s$   
 热量均流系数  
 $\nu$ ——运动粘度,  $m^2/s$   
 $\xi$ ——局部阻力系数  
 利用系数  
 修正系数  
 $\rho$ ——密度,  $kg/m^3$   
 $\sigma$ ——应力, Pa  
 相对节距  
 $\sigma_0$ ——绝对黑体的辐射常数,  $kW/(m^2 \cdot K^4)$   
 $\tau$ ——时间, s  
 温差,  $^{\circ}C$   
 切应力, Pa  
 $\varphi$ ——保热系数  
 减弱系数  
 截面含汽率  
 $\psi$ ——摩擦阻力校正系数  
 热有效系数  
 温压修正系数  
 $\omega$ ——蒸汽湿度, %

### 角标符号

act 实际  
 ad 空气干燥基  
 ar 收到基  
 b 炉壁, 壁面, 弹筒  
 b, w 排污

c 出口  
 cr 临界  
 d 干燥基, 动力段  
 d, a 烟道灰  
 daf 干燥无灰基

## ►► 锅炉原理

---

dl 对流, 当量  
eh 恶化  
ex 试验  
f 辐射  
fg 发光  
fh 飞灰  
fl 汽水分离器, 分配集箱  
fo 外来的  
g 烟气  
gl 过冷, 锅炉  
gr 高位, 过热, 过热器  
gz 工质  
g, d 干烟气  
h 汽水混合物, 灰粒, 焊缝  
hl 汇集集箱  
hq 含汽段  
hy 火焰  
in 输入  
j 计算值, 静, 焦炭, 介质  
jb 局部  
jl 节流  
js 加速  
jx 界限  
k 空气, 空容积, 空间  
ks 扩散  
ky 空气预热器  
l 炉, 炉膛, 露点  
le 肋  
lf 漏风  
lk 冷空气  
lp 炉排  
lq 冷却  
ls 炉水  
lz 炉渣, 流动阻力  
m 面

max 最大值  
mc 摩擦  
mf 煤粉  
min 最小值  
nb 内壁  
net 低位  
nl 逆流  
p 屏, 偏差管  
pj 平均值, 屏间  
py 排烟  
q 气体, 蒸汽  
r 入口, 燃料, 燃烧器  
rat 额定  
rk 热空气  
rs 热水段  
sd 速度  
sl 顺流, 水力, 水露点  
sm 省煤器, 省煤段  
ss 上升  
st 标准  
w 水蒸气  
xj 下降  
xt 系统  
y 烟气  
yc 烟囱, 引出管  
yd 运动, 烟道  
yf 引风  
yx 有效, 允许  
z 中心  
zh 着火  
zr 再热, 再热器  
zs 折算, 自生  
zw 重位  
zx 再循环  
zy 自用



# 目 录

前言	
主要符号表	
<b>第1章 绪论</b> ..... 1	
1.1 锅炉的构成和一般工作过程 ..... 1	
1.2 锅炉的分类和主要形式 ..... 3	
1.3 锅炉容量和参数 ..... 9	
1.4 锅炉的性能指标..... 10	
1.5 锅炉发展历史和趋势..... 11	
<b>第2章 锅炉燃料</b> ..... 15	
2.1 煤的常规特性及其分类..... 15	
2.2 煤的燃烧、熔融、结渣及沾污特性..... 23	
2.3 液体燃料..... 29	
2.4 气体燃料..... 31	
<b>第3章 燃料燃烧计算及锅炉热平衡</b> ... 33	
3.1 燃料燃烧所需要的空气量计算..... 33	
3.2 燃烧产物及其计算..... 37	
3.3 燃烧温度和烟气焓..... 44	
3.4 锅炉热平衡与热损失..... 48	
<b>第4章 燃烧原理及设备</b> ..... 57	
4.1 燃烧理论基础..... 57	
4.2 层燃炉..... 68	
4.3 煤粉炉..... 75	
4.4 流化床锅炉..... 98	
4.5 燃油炉与燃气炉 ..... 105	
<b>第5章 燃料制备</b> ..... 112	
5.1 煤粉特性 ..... 112	
5.2 磨煤机 ..... 116	
5.3 制粉系统 ..... 122	
<b>第6章 锅炉蒸发受热面</b> ..... 127	
6.1 水冷壁 ..... 127	
6.2 蒸发管束与凝渣管 ..... 132	
6.3 锅炉炉墙 ..... 133	
<b>第7章 过热器及再热器</b> ..... 142	
7.1 过热器与再热器系统布置与结构形式 ..... 142	
7.2 热偏差 ..... 147	
7.3 汽温调节 ..... 151	
7.4 管壁温度计算 ..... 159	
7.5 过热器、再热器的结渣、沾污与腐蚀 ..... 161	
<b>第8章 省煤器及空气预热器</b> ..... 164	
8.1 尾部受热面概述 ..... 164	
8.2 省煤器 ..... 165	
8.3 空气预热器 ..... 169	
8.4 空气预热器的低温腐蚀 ..... 176	
8.5 尾部受热面的积灰 ..... 179	
8.6 省煤器的飞灰磨损 ..... 181	
<b>第9章 锅炉热力计算和整体布置</b> ..... 184	
9.1 炉膛传热计算 ..... 184	
9.2 对流受热面的热力计算 ..... 201	
9.3 锅炉热力计算的步骤和方法 ... 221	
9.4 锅炉整体布置及主要设计参数的选择 ..... 222	
<b>第10章 自然循环锅炉水动力特性</b> ... 229	
10.1 锅炉水循环过程..... 229	
10.2 自然循环基本原理..... 234	
10.3 两相流体参数与计算..... 236	
10.4 自然循环水动力计算与安全..... 243	
<b>第11章 强制流动锅炉水动力学</b> ..... 252	
11.1 强制流动锅炉的传热和水动力计算..... 252	
11.2 蒸发受热面的流动多值性..... 258	
11.3 强制流动蒸发受热面的脉动..... 262	
11.4 蒸发受热面的热偏差和水力	

## ▶▶ 锅炉原理

---

不均.....	264	<b>第 13 章 锅炉通风</b> .....	291
11.5 蒸发受热面的传热恶化和防止.....	270	13.1 锅炉通风计算原理.....	291
<b>第 12 章 锅炉水工况与蒸汽净化</b> .....	282	13.2 烟道及风道通风计算方法.....	309
12.1 锅炉水工况.....	282	13.3 锅炉烟囱及通风设备.....	315
12.2 蒸汽品质.....	283	<b>第 14 章 锅炉用钢与强度计算</b> .....	321
12.3 蒸汽净化.....	285	14.1 锅炉用钢.....	321
12.4 锅炉排污.....	289	14.2 强度计算.....	323
		<b>参考文献</b> .....	342

# 第1章 绪 论

## 1.1 锅炉的构成和一般工作过程

锅炉是一种燃烧化石燃料以产生蒸汽（或热水）的热力设备。在锅炉中，通过燃烧将化石燃料的化学能转变成热能，并通过传热过程将能量传递给水，产生规定参数的蒸汽（或热水），提供给汽轮发电机组（或用热设备）。在火力发电厂，锅炉是三大主机之一。在各种工业企业的供热系统中，锅炉也是重要的组成部分。

### 1.1.1 锅炉的构成

锅炉由锅炉本体和辅助设备组成。

锅炉本体是锅炉的主要组成部分，由燃烧系统、汽水系统，以及连接管道、炉墙和构架等部分组成。燃烧系统由炉膛、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。汽水系统由省煤器、锅筒、下降管、集箱、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，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；构架用来支撑和悬吊锅筒、锅炉受热面、炉墙等。

锅炉辅助设备主要包括燃料供应设备、燃料制备设备、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。

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。燃料制备设备主要包括原煤斗、给煤机、磨煤机、分离器、排粉风机及输送管道等，其主要作用是将原煤干燥并制成合格的人炉燃料。通风设备主要包括送风机、引风机、风道、烟道和烟囱等，其主要作用是提供燃料燃烧和干燥所需的空气，并将燃烧生成的烟气排出炉外。水处理及给水设备由水处理设备、给水泵和给水管路组成，其主要作用是可靠地向炉内提供符合标准品质的给水，并防止锅炉水汽系统结垢、积盐和腐蚀。除尘除灰设备的主要任务是清除燃料燃烧后的灰渣和烟气中的飞灰。脱硫设备的主要任务是去除烟气中的二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ），减少污染排放。仪表及自动控制设备主要包括热工测量仪表、计算机及自动控制设备等，主要作用是测量和调控汽、水、风、烟等工质参数，维持锅炉的安全、高效、经济运行。

### 1.1.2 锅炉的工作过程

锅炉内部同时进行着燃料燃烧、烟气向工质传热、工质受热汽化三个过程。以图 1-1 所示的具有中间再热、配直吹式制粉系统的煤粉锅炉为例，说明锅炉的主要工作过程。

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，燃烧生成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

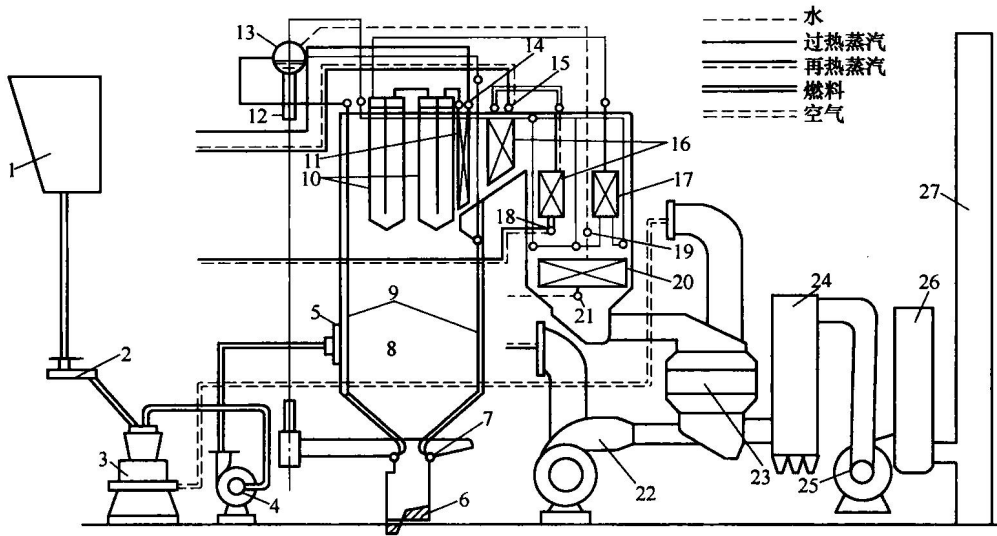


图 1-1 锅炉设备及工作过程示意图

- 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—下集箱  
 8—炉膛 9—水冷壁 10—屏式过热器 11—高温过热器 12—下降管 13—锅筒  
 14—过热器出口集箱 15—再热器出口集箱 16—再热器 17—低温过热器  
 18—再热器进口集箱 19—省煤器出口集箱 20—省煤器 21—省煤器进口集箱  
 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

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  $\text{SO}_2$ ，最后通过烟囱 27 排至大气中。

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，也可与灰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，然后进入锅筒 13。锅筒里的水沿下降管 12 至水冷壁的下集箱 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锅筒，在锅筒中由汽水分离装置进行汽水分离。分离出来的水留在锅筒下部，与连续送入锅筒的给水一起再通过下降管又进入水冷壁吸热，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。

现代锅炉是一个十分复杂、具有高度技术水平的设备，其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 锅炉的分类和主要形式

### 1.2.1 锅炉的分类

按用途锅炉可以分为生活锅炉、工业锅炉和电站锅炉。

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

按燃料种类锅炉可以分为燃煤锅炉、燃油锅炉和燃气锅炉等。

按燃烧方式锅炉可以分为火床炉、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，锅炉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。

### 1.2.2 锅炉的主要形式

#### 1. 层燃燃烧锅炉

低压小容量锅炉一般用于工业生产供热或生活采暖等，多采用层燃燃烧方式（也称火床燃烧方式），有水管式也有火管式。由于压力较低，蒸发需要的热量（汽化热）占 $70\% \sim 92\%$ 。因此布置锅炉管束来增加蒸发受热面，一般在尾部装有铸铁式省煤器以加热给水，同时降低排烟温度，提高锅炉效率。有时为满足生产工艺的要求，也布置过热器。

图1-2所示为国内生产的容量为 $10 \sim 20\text{t/h}$ 的横置双锅筒水管锅炉。蒸发受热面有水冷壁及对流锅炉管束，过热器布置在防渣管之后，有铸铁（或钢管）省煤器和管式空气预热器，一般采用鳞片式链条炉排，锅炉管束、过热器及省煤器都装有蒸汽吹灰装置。

#### 2. 循环流化床锅炉

图1-3所示为 $\text{DC440/13.7}$ 型循环流化床锅炉。该锅炉为超高压带中间再热、单锅筒自然循环、半露天布置、全钢架支吊结构，采用高温汽冷式旋风分离器，锅炉整体呈左右对称布置。

炉膛采用全膜式水冷壁结构，炉膛上部沿宽度方向分别布置有6片屏式过热器和4片屏式再热器。炉膛底部是由水冷壁管弯制围成的水冷风室。

锅炉采用前墙集中给煤方式，6台气力播煤装置均匀布置在前墙水冷壁下部。石灰石采用气力输送，3个石灰石给料口布置在炉膛下部。炉底布置有床下点火油燃烧器，用于锅炉起动点火和低负荷稳燃。2台风水冷流化床选择性排灰冷渣器布置在炉膛两侧。

在2台高温旋风分离器下各布置一台回料器。由旋风分离器分离下来的物料经回料器直接返回炉膛。

尾部采用双烟道结构，上部被中隔墙过热器分为前烟道和后烟道，前烟道中布置有低温再热器，后烟道中布置有高温过热器及低温过热器，上部烟道被膜式包墙过热器所包覆，下部为单烟道，自上而下依次布置有省煤器及空气预热器，省煤器管束采用顺列布置，管式空气预热器采用卧式布置。



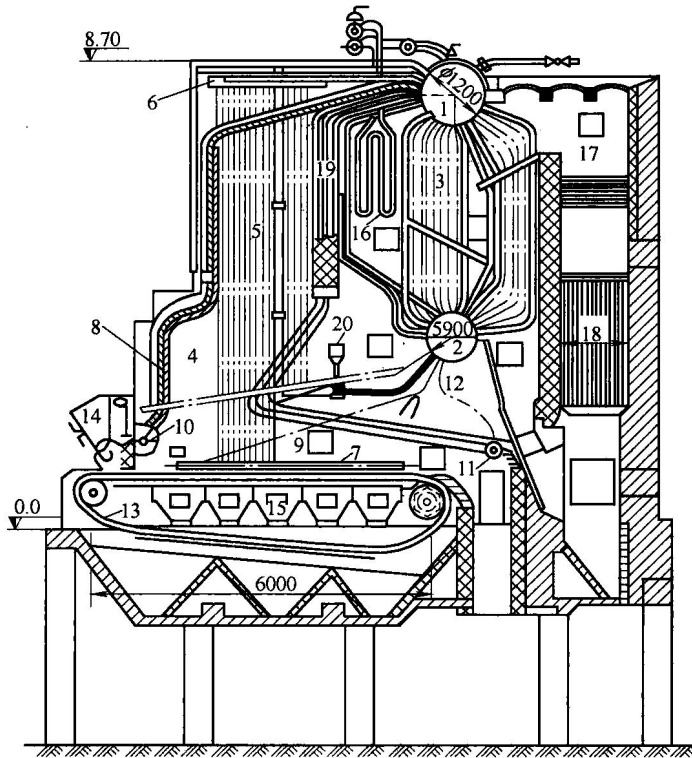


图 1-2 横置双锅筒水管锅炉

- 1—上锅筒 2—下锅筒 3—对流管束 4—炉膛 5—侧墙水冷壁 6—侧墙水冷壁上集箱  
 7—侧墙水冷壁下集箱 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—煤斗 15—风仓  
 16—蒸汽过热器 17—省煤器 18—空气预热器 19—防渣管 20—二次风管

### 3. 自然循环煤粉锅炉

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差而循环流动。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，虽然锅筒中压力已达到 18.5MPa 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 1-4 所示是 2209t/h 亚临界压力自然循环锅炉的本身结构示意图。

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。设计燃料为无烟煤。

### 4. 控制循环锅炉

图 1-5 所示为哈尔滨锅炉厂有限责任公司（简称哈尔滨锅炉厂）采用 CE 技术设计制造的亚临界压力控制循环锅炉 HG2008/18.3—M。

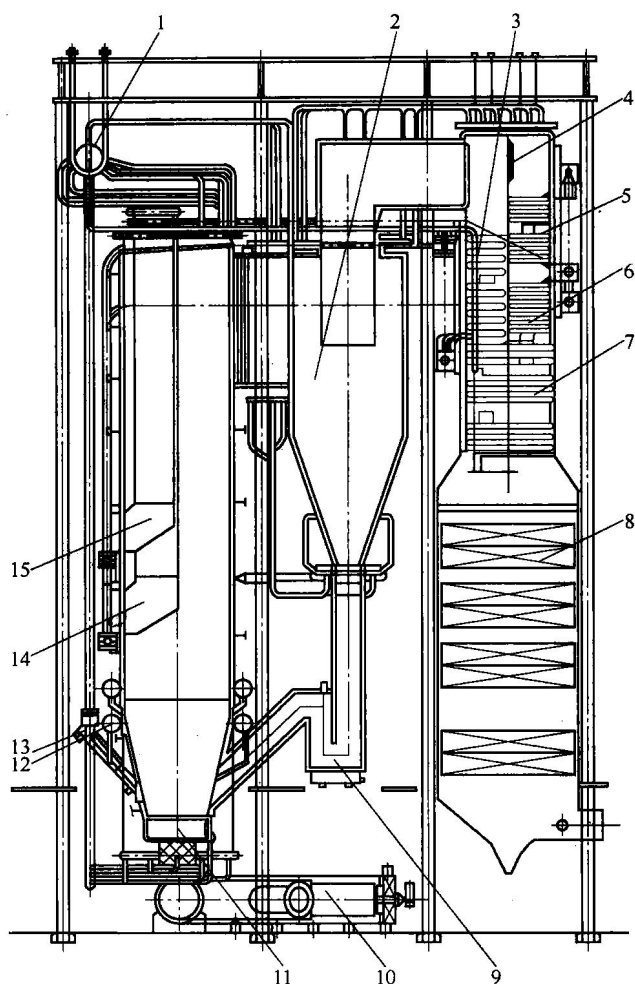


图 1-3 DG440/13.7 型循环流化床锅炉

- 1—锅筒 2—高温旋风分离器 3—低温再热器 4—中隔墙过热器 5—高温过热器  
6—低温过热器 7—省煤器 8—空气预热器 9—回料阀 10—床下点火油燃烧器  
11—水冷风室 12—二次风口 13—播煤机 14—屏式再热器 15—屏式过热器

炉膛上部布置有墙式辐射再热器和大节距的分隔屏过热器。折焰角之前布置了后屏过热器，水平烟道中依次布置了后屏再热器、末级再热器和末级过热器。在尾部竖井烟道中顺序布置有立式及水平式低温过热器和省煤器。所有屏式和对流过热器、再热器和省煤器的管子均为顺列布置。两台 CE 型的三分仓容克式空气预热器对称地布置于尾部竖井下方。

### 5. 超临界直流锅炉

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，没有锅筒。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。当压力超过临界压力时，由于汽水不可能用锅筒进行分离，只有采用直流锅炉。

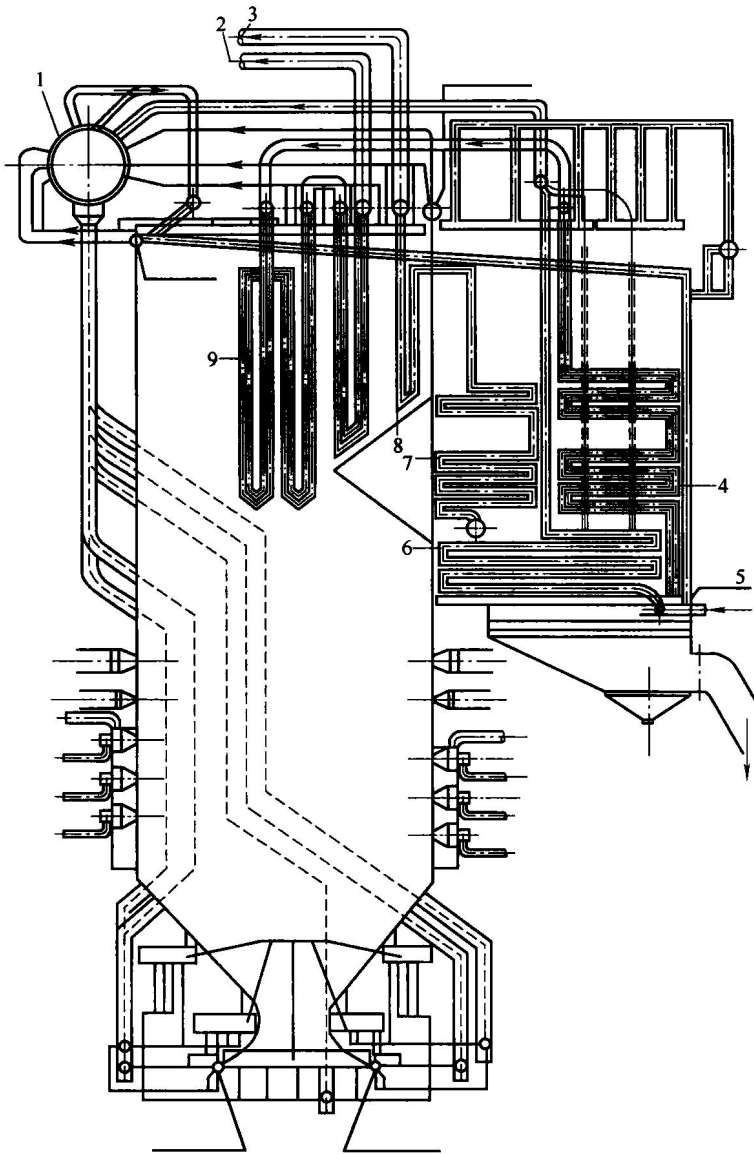


图 1-4 2209t/h 亚临界压力自然循环锅炉

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

DG1900/25.4—II 型超临界直流本生型锅炉，由东方锅炉（集团）股份有限公司与巴布科克-日立公司合作设计制造，锅炉整体布置如图 1-6 所示。该锅炉燃烧烟煤，Π 形布置，旋流燃烧器前后墙对冲布置，单炉膛，尾部双烟道结构，一次再热，采用挡板调节再热汽温，固态排渣，全钢构架悬吊结构，露天布置。

锅炉循环系统由起动分离器、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  $\geq 25\%$  锅炉最大连续蒸发量后，直流运行，一次上升，起动分离器入口具有一定的过热度。

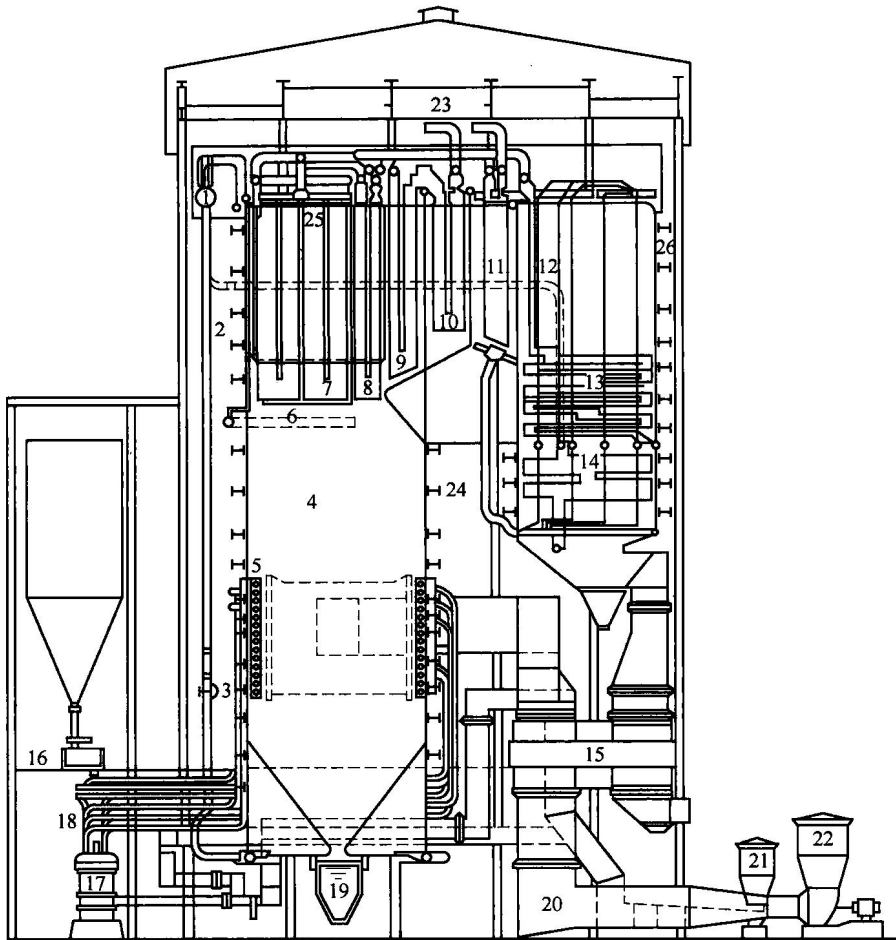


图 1-5 HG2008/18.3—M 型锅炉

- 1—锅筒 2—下降管 3—循环泵 4—水冷壁 5—燃烧器 6—墙式辐射再热器  
 7—分隔屏过热器 8—后屏过热器 9—后屏再热器 10—末级再热器 11—末级过热器  
 12—立式低温过热器 13—水平低温过热器 14—省煤器 15—容克式空气预热器  
 16—给煤机 17—磨煤机 18—煤粉管道 19—水封式除渣装置 20—风道  
 21—一次风机 22—送风机 23—锅炉构架 24—刚性梁 25—顶棚管 26—包墙管

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，下部水冷壁采用内螺纹管的全焊接螺旋上升膜式管屏。

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。

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

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。设有起动油枪 12 只，点火油枪 36 只，总输入热量相当于 30% B—MCR 锅炉负荷，用于起动和维持低负荷燃烧。