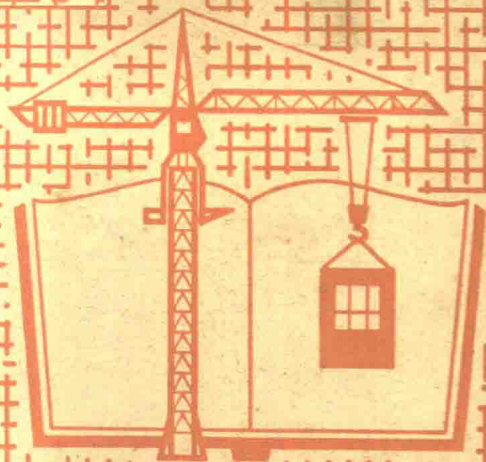


# 锅炉及锅炉房设备

同 济 大 学 编  
湖 南 大 学  
重 庆 建 筑 工 程 学 院



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

# 锅炉及锅炉房设备

同 济 大 学  
湖 南 大 学 编  
重 庆 建 筑 工 程 学 院

中 国

本书系高等学校供热通风专业“锅炉及锅炉房设备”课程试用教材。针对专业需要，以供热锅炉(工业锅炉)为对象，全书共分十二章。其中第一章为基本知识；第二~九章包括燃料及燃烧计算、热平衡、常用典型燃烧设备及锅炉的构造与特点、热力计算及通风计算方法、水循环与汽水分离以及锅炉强度计算的知识；第十~十二章包括给水处理、运煤、除灰渣和除尘以及锅炉房布置方面的内容。

本书也可供有关专业工程技术人员参考。

高等学校试用教材  
**锅炉及锅炉房设备**  
同 济 大 学  
湖 南 大 学 编  
重庆建筑工程学院

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：19¼ 字数：466 千字  
1979年12月第一版 1981年9月第二次印刷  
印数：12,141—33,740册 定价：2.00元  
统一书号：15040·3737

## 前 言

《锅炉及锅炉房设备》是供热通风专业的主要专业课程之一。本书系根据1978年4月在同济大学召开的讨论会所制定的编写大纲编写。

本书在取材上，尽量注意结合我国实际情况和充分反映先进技术。譬如在燃料分类、典型锅炉及锅炉房工艺布置的介绍等方面，皆以国内现行或新订标准、型谱、规范为依据；而在热力计算、气体动力计算方法等方面，也采用了最新资料；同时，还反映了国内在沸腾炉、水处理方法等方面的一些新成果。

考虑到供热锅炉种类繁多，一些设计计算又袭用大型锅炉的方法，同时本专业还须掌握锅炉房设备方面的知识。因此，在编写过程中力求少而精，并还采取了一些技术措施：譬如在通风计算、强度计算等章节中，尽量采用概括共性、综合引述的方式；对一些计算图表，也结合小型锅炉的需要，有所删减；至于例题的选用，则以SHL10-13/350型锅炉为对象，并相应地配合锅炉房布置，使之前后呼应，联贯始终，但只选了重点段落，避免了求全。

考虑到要加强基础理论学习的要求，同时又鉴于锅炉本体的热力计算是其他计算的依据，因此，本书较系统地介绍了“标准计算方法”，在炉子黑度等方面进行了必要的引述或推导。另外，对锅炉金属的腐蚀机理和强度计算中第三强度理论等也做了简介。

此外，考虑到国内目前在锅炉行业中还习惯于沿用常用工程单位制，为便于向国际单位制过渡，本书采用附录换算表的方式，以便读者参考。

本书以原同济大学所编的讲义为基础，吸取西安冶金建筑学院、湖南大学、重庆建工学院、太原工学院合编的教材的特点，并学习了哈尔滨工业大学、西安交通大学等院校所编工业锅炉及锅炉改造方面的教材的优点。

本书在编写过程中，曾蒙上海工业锅炉研究所、上海工业设计院、六机部第九设计院及上海机械学院和有关锅炉厂的大力支持和协助，提供了宝贵的资料和意见，有的同志还参加了审稿，在此我们谨致谢意。

参加本书编写工作的同志有：同济大学肖友瑟、奚士光、吴味隆、陈黔及蒋君衍（一、四、五、六、七、十章），湖南大学邵锡奎（二、三、九章），重庆建工学院关正安、马孝聪（八、十一、十二章）等。并由肖友瑟、奚士光两同志主编，西安冶金建筑学院解鲁生同志主审。

《锅炉及锅炉房设备》编写组

一九七九年三月

# 基本符号

## 一、主体符号

- $A$ ——灰分，%；碱度，毫克当量/升
- $a$ ——黑度
- $A_c$ ——残留碱度，毫克当量/升
- $A_p$ ——锅水允许碱度，毫克当量/升
- $a_{lz}$ 、 $a_{lm}$ 、 $a_{lh}$ ——灰渣、漏煤、飞灰中灰量占燃料总灰量的份额
- $a_{Na}$ ——流经钠离子交换器的水量份额
- $B$ ——燃料消耗量，公斤/时；还原理论耗盐量，公斤/次
- $b$ ——还原时食盐的单位耗量，克/克当量，刮板宽度，米
- $B_j$ ——计算燃料消耗量，公斤/时
- $B_0$ ——炉内传热相似准则或波尔兹曼准则
- $b_0$ ——海平面大气压，公斤/米<sup>2</sup>
- CO——烟气中一氧化碳的容积百分数，%
- $C^v$ 、 $C^l$ 、 $C^o$ 、 $C^r$ ——燃料应用基、分析基、干基、可燃基的含碳量，%
- $c$ ——比热，千卡/标米<sup>3</sup>·°C；附加壁厚，毫米；修正、校正系数
- $D$ ——锅炉蒸发量，吨/时；总软化水量，米<sup>3</sup>/时
- $D_{ps}$ ——排污水量，吨/时
- $D_q$ ——排污扩容器中形成的二次蒸汽量
- $d$ ——湿空气的含湿量，克/公斤干空气；直径，米
- [ $d$ ]——未加强孔的最大允许直径，毫米
- $d_h$ ——烟气中灰粒的平均直径，微米
- $E$ ——交换剂的工作能力，克当量/米<sup>3</sup>
- $E_1$ ——石灰的纯度，%
- $E_2$ ——纯碱的纯度，%
- $E_0$ ——离子交换器的软化能力，克当量
- $E'_0$ ——每小时需要的克当量数，克当量/时
- $E_t$ —— $t$  温度下的恩氏粘度，°E
- $e$ ——焊脚高度，毫米
- $F$ ——面积、截面积，米<sup>2</sup>
- $F_b$ ——炉膛壁面积，米<sup>2</sup>
- $F_{bz}$ ——炉膛总壁面面积，米<sup>2</sup>
- $F_l$ ——炉膛包复面积，米<sup>2</sup>
- $f$ ——流通截面积，米<sup>2</sup>
- $G$ ——热水锅炉加热水量，公斤/时；循环水量，公斤/时；补给水量，吨/时；重量，公斤
- $G_1$ ——反洗用水量，吨；生石灰消耗量，克/时
- $G_2$ ——配制盐液理论用水量，吨；纯碱消耗量，克/时
- $G_3$ ——正洗用水量，吨

- $G_{wh}$ ——雾化每公斤重油耗用的蒸汽量, 公斤  
 $G_y$ ——烟气重量, 公斤/标米<sup>3</sup>  
 $g$ ——交换剂重量, 吨  
 $H$ ——受热面积, 米<sup>2</sup>; 高度, 米; 硬度, 毫克当量/升; 风压, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $H_f$ ——有效辐射受热面积, 米<sup>2</sup>  
 $H_{FT}$ ——生水中非碳酸盐硬度, 毫克当量/升  
 $H_{Mg}$ ——生水中镁盐硬度, 毫克当量/升  
 $H_T$ ——生水中碳酸盐硬度, 毫克当量/升  
 $H^o, H', H'', H^r$ ——燃料应用基、分析基、干基、可燃基的含氢量, %  
 $h$ ——高度, 米  
 $h_d$ ——动压头, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $h_{zs}$ ——自生风, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $h_l$ ——炉膛真空度, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $\Delta H$ ——阻力、压降, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $\Delta H_{s,l}^o$ ——烟道总阻力, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $\Delta h$ ——流动阻力, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $\Delta h_{m,c}^i$ ——每米长度的摩擦阻力, 公斤/米<sup>2</sup>·米  
 $\Delta h_{j,b}$ ——烟囱出口阻力, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $\Delta h_{s,d}$ ——速度损失, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $\Delta h_{s,l}$ ——介质流动阻力, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $I_k^o$ ——理论空气量的热焓, 千卡/公斤  
 $I_y^o, I_y$ ——理论、实际烟气量的热焓, 千卡/公斤  
 $i$ ——热焓, 千卡/公斤; 料斗的容积, 米<sup>3</sup>; 烟囱内壁的平均斜度  
 $\Delta I_k$ ——过量空气量的热焓, 千卡/公斤  
 $K$ ——传热系数, 千卡/米<sup>2</sup>·时·°C; 循环倍率; 换算系数; 水中凝聚剂的加药量, 毫克当量/升; 考虑到锅炉房将来发展系数; 容积富裕系数  
 $k_c$ ——焦炭粒的减弱系数, 1/米·公斤/厘米<sup>2</sup>  
 $k_h$ ——灰粒的减弱系数, 1/米·公斤/厘米<sup>2</sup>  
 $k_g$ ——三原子气体的减弱系数, 1/米·公斤/厘米<sup>2</sup>  
 $k_{t,h}$ ——炭黑粒子的减弱系数, 1/米·公斤/厘米<sup>2</sup>  
 $k_d$ ——管壁粗糙度影响系数  
 $L$ ——距离, 米  
 $l$ ——长度, 米  
 $M$ ——煤的储备天数, 天  
 $m$ ——钢管壁厚最大负偏差, 运输不平衡系数  
 $N$ ——功率, 千瓦; 考虑煤堆过道占用面积的系数  
 $N_2$ ——烟气中氮气的容积百分数, %  
 $N^o, N', N'', N^r$ ——燃料应用基、分析基、干基、可燃基的含氮量, %  
 $n_b$ ——抗拉强度的安全系数  
 $n_d$ ——10<sup>5</sup>小时耐久强度的安全系数  
 $n_s$ ——屈服限或条件屈服限的安全系数  
 $n$ ——管子数, 根  
 $O_2$ ——烟气中氧气的容积百分数, %

$O^s, O', O^o, O^r$ ——燃料应用基、分析基、干基、可燃基的含氧量, %

$P$ ——锅炉压力, 大气压

$[P]$ ——允许工作压力, 公斤/厘米<sup>2</sup>

$P_A$ ——按碱度计算的排污率, %

$P_o, P_j$ ——锅炉、集箱中的静压, 公斤/米<sup>2</sup>

pH——水呈酸碱性的指标

$P_r$ ——普朗特数

$P_s$ ——按含盐量计算的排污率, %

$\Delta P$ ——水力流动阻力, 公斤/米<sup>2</sup>

$Q$ ——热水锅炉产热量, 千卡/时; 烟气对受热面的放热量, 千卡/公斤; 流量, 米<sup>3</sup>/时

$Q_1, q_1$ ——锅炉有效利用热, 千卡/公斤、%

$Q_2, q_2$ ——锅炉排烟热损失, 千卡/公斤、%

$Q_3, q_3$ ——气体不完全燃烧热损失, 千卡/公斤、%

$Q_4, q_4$ ——固体不完全燃烧热损失, 千卡/公斤、%

$Q_5, q_5$ ——散热损失, 千卡/公斤、%

$Q_6, q_6$ ——灰渣带走的物理热损失, 千卡/公斤、%

$Q_{cr}$ ——受热面的传热量, 千卡/公斤

$Q_{dw}$ ——燃料低位发热值, 千卡/公斤

$Q_j$ ——受热面从炉膛辐射或前烟气空间辐射所得的热量, 千卡/公斤

$Q_{gl}$ ——锅炉每小时有效吸热量, 千卡/时

$Q_{hw}$ ——燃料高位发热值, 千卡/公斤

$Q_k$ ——燃烧所需空气带进炉内的热量, 千卡/公斤

$Q_l$ ——燃料在炉内有效放热量, 千卡/公斤

$Q_{lg}$ ——烟道自然冷却散热损失, 千卡/时

$Q_r$ ——一公斤燃料送入炉膛热量, 千卡/公斤

$Q_{rb}$ ——从热平衡方程求得烟气放热量, 千卡/公斤

$q_R$ ——炉排可见热强度, 千卡/米<sup>2</sup>·时

$q_V$ ——炉膛容积可见热强度, 千卡/米<sup>3</sup>·时

$q_R$ ——炉膛断面热强度, 千卡/米<sup>2</sup>·时

$q_j$ ——辐射受热面平均热强度, 千卡/米<sup>2</sup>·时

$q_{s,a}$ ——烟道单位面积的散热损失, 千卡/米<sup>2</sup>·时

$R$ ——炉排有效面积, 米<sup>2</sup>; 曲率半径, 毫米

Re——雷诺数

$R_{hz}, R_{lm}, R_{jh}$ ——灰渣、漏煤、飞灰中所含有的可燃物质的重量百分数, %

$RO_2$ ——烟气中二氧化碳和二氧化硫之和的容积百分数, %

$R_s$ ——蒸发面负荷, 米<sup>3</sup>/米<sup>2</sup>·时

$R_V$ ——锅筒汽空间容积负荷, 米<sup>3</sup>/米<sup>3</sup>·时

$R_o$ ——扩容器中单位容积的蒸汽分离强度

$S$ ——管距, 米; 有效辐射层厚度, 米; 有效压头, 公斤/米<sup>2</sup>; 含盐量, 毫克/升; 真空度, 公斤/米<sup>2</sup>; 壁厚, 毫米

$S_o$ ——锅水的含盐量, 毫克/升

$S^s, S', S^o, S^r$ ——燃料应用基、分析基、干基、可燃基的含硫量, %

- $S_{y,d}$ ——水循环的运动压头, 公斤/米<sup>2</sup>  
 $T$ ——时间, 小时、分; 绝对温度, K  
 $\bar{T}$ ——火焰的平均有效温度, K  
 $t$ ——时间, 小时、分; 温度, °C; 孔距, 毫米  
 $t_1$ ——灰开始变形温度, °C  
 $t_2$ ——灰软化温度, °C  
 $t_3$ ——灰熔化温度, °C  
 $t_b$ ——壁温, °C  
 $t_{hb}$ ——管壁灰污层外表面温度, °C  
 $\Delta t$ ——传热平均温差, °C  
 $U$ ——湿周周长, 米  
 $u$ ——燃料的蒸发率(煤水比), 公斤/公斤  
 $V$ ——挥发分, %; 烟气、空气容积, 标米<sup>3</sup>/公斤; 容积流量, 米<sup>3</sup>/秒; 锅筒汽空间容积, 米<sup>3</sup>; 反洗强度, 公斤/米<sup>2</sup>·秒  
 $V_{oy}$ ——干烟气体积, 标米<sup>3</sup>/公斤  
 $V_l$ ——炉膛有效容积, 米<sup>3</sup>  
 $V^0$ 、 $V_k$ ——理论、实际空气量, 标米<sup>3</sup>/公斤  
 $V_y^0$ 、 $V_y$ ——理论、实际烟气体积, 标米<sup>3</sup>/公斤  
 $\Delta V$ ——过量空气量, 标米<sup>3</sup>/公斤  
 $v$ ——比容, 米<sup>3</sup>/公斤  
 $W$ ——水分, %  
 $w$ ——流速、速度, 米/秒  
 $w_0$ ——水循环流速, 米/秒  
 $x$ ——有效角系数、介质混合程度系数; 蒸汽干度  
 $Y$ ——形状系数  
 $Z_2$ ——沿气流方向的管子排数  
 $\alpha$ ——过量空气系数; 放热系数, 千卡/米<sup>2</sup>·时·°C; 还原盐液浓度, %; 烟囱的收缩角度(锥度)  
 $\Delta\alpha$ ——漏风系数  
 $\beta$ ——过量空气系数; 燃料特性系数; 外径与内径的比值  
 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ ——流量、压头储备系数  
 $\beta_3$ ——电动机备用系数  
 $\gamma$ ——容重, 公斤/米<sup>3</sup>; 公斤/标米<sup>3</sup>  
 $\epsilon$ ——灰污系数, 米<sup>2</sup>·时·°C/千卡  
 $\zeta$ ——沾污系数; 阻力系数  
 $\zeta_l$ ——每一根管子的阻力系数  
 $\zeta_{jk}$ ——突扩原始局部阻力系数  
 $\zeta_{rw}$ ——弯头原始局部阻力系数  
 $\eta$ ——效率, %; 排污管热损失系数; 修正系数  
 $\eta_l$ ——机械传动效率, %  
 $\eta_x$ ——除尘效率, %  
 $\theta$ ——烟气温度, °C  
 $\theta_{il}$ ——烟气理论燃烧温度, °C



- $\lambda$ ——导热系数, 千卡/米·时·°C; 沿程摩擦阻力系数  
 $\mu_{fh}$ ——飞灰浓度  
 $\nu$ ——动粘度, 米<sup>2</sup>/秒  
 $\xi$ ——利用系数  
 $\rho$ ——燃烧面与炉壁面积之比  
 $\rho_v$ ——烟气的重度, 公斤/米<sup>3</sup>  
 $\sigma$ ——应力, 公斤/毫米<sup>2</sup>  
 $[\sigma]$ ——许用应力, 公斤/毫米<sup>2</sup>  
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——切向、轴向、径向应力, 公斤/毫米<sup>2</sup>  
 $\sigma_b^t$ ——在温度  $t$  °C时的抗拉强度, 公斤/毫米<sup>2</sup>  
 $\sigma_d^t$ ——在温度  $t$  °C时的10<sup>5</sup>小时的持久强度, 公斤/毫米<sup>2</sup>  
 $\sigma_s^t$ ——在温度  $t$  °C时的屈服限或条件屈服限, 公斤/毫米<sup>2</sup>  
 $\tau$ ——剪应力  
 $[\tau]$ ——许用剪应力  
 $\tau_{20}$ ——粘度计常数或水值  
 $\varphi$ ——保热系数; 减弱系数; 充满系数; 堆角系数  
 $[\varphi]$ ——允许最小减弱系数  
 $\varphi_{ke}$ ——扩散系数  
 $\psi$ ——热有效系数  
 $\psi'$ ——有效系数

## 二、上、下角码

- |                 |           |
|-----------------|-----------|
| b——壁, 饱和        | gk——干空气   |
| bcq——侧墙壁面       | gq——过热蒸汽  |
| ldq——炉底壁面       | gr——过热器   |
| bfk——不发光        | gs——给水    |
| bqq——前墙壁面       | gw——高位    |
| bz——标准、炉壁       | gy——干烟气   |
| c(cl)——错列       | h——汽水混合物  |
| ch——烟窗          | hb——灰污层   |
| d——对流、电动机       | hx——横向    |
| dl——当量          | hy——火焰    |
| dt——弹筒          | hz——灰渣    |
| dw——低位          | i——单排     |
| e——额定           | j——计算     |
| f——分析基、辐射、风干、风机 | jb——局部    |
| fh——飞灰          | jk——突扩    |
| fj——附加          | k——空气     |
| fk——发光          | kf——沸腾汽化点 |
| fz——防渣管         | ks——扩散    |
| g——干基、锅炉、锅水     | ky——空气预热器 |
|                 | l——炉膛     |

le—肋  
lk—冷空气  
lm—漏煤  
lq—冷却  
max—最大值  
mc—摩擦  
min—最小值  
n—内  
nl—逆流  
o—理论  
pj—平均  
ps—排污水  
py—排烟、尾部  
q—蒸汽  
r—可燃基、燃料  
rk—热空气  
rs—热水

s—水、散热  
sh—上升管  
sl—顺流  
sm—省煤器  
w—外  
wh—雾化  
xi—下降管  
y—应用基、烟气  
yf—引风  
yz—烟囱  
z—总管  
zh—三通侧支管  
zi—三通直支管  
zs—自生  
zs—折算  
zx—纵向

# 目 录

前 言

基本符号

第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识 .....	1
§ 1-1 概述 .....	1
§ 1-2 锅炉的基本构造和工作过程 .....	1
§ 1-3 锅炉基本特性的表示 .....	3
§ 1-4 锅炉房设备的组成 .....	6
第二章 燃料及燃烧计算 .....	9
§ 2-1 燃料的化学成分 .....	9
§ 2-2 煤的燃烧特性 .....	12
§ 2-3 锅炉燃料 .....	17
§ 2-4 燃料的燃烧计算 .....	20
§ 2-5 锅炉运行时烟气分析及其应用 .....	31
第三章 锅炉的热平衡 .....	37
§ 3-1 锅炉热平衡的组成 .....	37
§ 3-2 锅炉热效率 .....	39
§ 3-3 固体不完全燃烧热损失 .....	41
§ 3-4 气体不完全燃烧热损失 .....	44
§ 3-5 排烟热损失 .....	45
§ 3-6 散热损失 .....	46
§ 3-7 其它热损失 .....	48
§ 3-8 燃料消耗量及蒸发率 .....	49
第四章 燃烧设备 .....	53
§ 4-1 燃料燃烧过程及人工加煤层燃炉——手烧炉 .....	53
§ 4-2 机械化层燃炉 .....	59
§ 4-3 室燃炉 .....	72
§ 4-4 沸腾炉 .....	83
§ 4-5 炉子的工作强度 .....	87
第五章 供热锅炉及其附加受热面 .....	90
§ 5-1 锅炉型式发展简况 .....	90
§ 5-2 火管锅炉 .....	91
§ 5-3 水管锅炉 .....	95
§ 5-4 热水锅炉 .....	100
§ 5-5 锅炉附加受热面 .....	102
§ 5-6 锅炉的安全附件 .....	107
第六章 锅炉水循环及汽水分离 .....	111
§ 6-1 自然循环锅炉的水循环 .....	111

§ 6-2 供热锅炉的汽水分离	117
第七章 锅炉本体的热力计算	123
§ 7-1 炉内传热的特点	123
§ 7-2 炉内传热计算	133
§ 7-3 对流受热面传热计算的基本知识	137
§ 7-4 对流放热系数	141
§ 7-5 辐射放热系数	151
§ 7-6 灰污系数、有效系数和利用系数	154
§ 7-7 平均温差	155
§ 7-8 对流受热面传热计算方法提要	158
第八章 锅炉设备的通风计算	173
§ 8-1 通风的作用和方式	173
§ 8-2 通风阻力计算的原理和基本方法	174
§ 8-3 烟道的阻力计算	194
§ 8-4 风道的阻力计算	198
§ 8-5 烟囱的计算	200
§ 8-6 风机的选择和烟、风道的布置	203
第九章 锅炉受压元件的强度计算	207
§ 9-1 圆筒形元件的应力分析和第三强度理论简介	207
§ 9-2 锅筒、集箱及管子的强度计算	211
§ 9-3 承受内压力的凸形封头及平端盖的计算	218
§ 9-4 孔的加强计算	222
第十章 供热锅炉水处理	231
§ 10-1 水中的杂质和水质指标	231
§ 10-2 钠离子交换软化	235
§ 10-3 离子交换除碱	241
§ 10-4 移动床及流动床离子交换	245
§ 10-5 石灰-纯碱水处理	248
§ 10-6 其它水处理方法简述	251
§ 10-7 锅炉金属的腐蚀	254
§ 10-8 水的除气	255
§ 10-9 锅炉的排污及排污量计算	259
第十一章 运煤、除灰渣及除尘	260
§ 11-1 锅炉房运煤和除灰渣系统	260
§ 11-2 锅炉除尘	272
第十二章 锅炉房布置	280
§ 12-1 锅炉型号及台数选择	280
§ 12-2 锅炉房位置的选择	281
§ 12-3 锅炉房的建筑要求	281
§ 12-4 锅炉房的汽水系统	283
§ 12-5 锅炉房设备布置及举例	288
附录	294

# 第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识

## § 1-1 概 述

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，不仅用来将热能转变成机械能的工质以产生动力，蒸汽（或热水）还广泛地作为工业生产和采暖通风等方面所需热量的载热体。通常，我们把用之于动力、发电方面的锅炉，叫做动力锅炉；把用于工业及采暖方面的锅炉，称为供热锅炉，又称工业锅炉。

为了提高热机的效率，动力锅炉所生产的蒸汽，其压力和温度都较高，且日趋向高压、高温和大容量方向发展。例如，与30万千瓦汽轮发电机组相配套的国产锅炉，每小时蒸汽产量就有1000吨，蒸汽压力为170大气压，过热蒸汽温度高达555°C。而与本专业紧密相关的供热锅炉，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。无论是工业用户，还是采暖用户，对蒸汽一般都是利用蒸汽凝结而放出汽化潜热，因此大多数供热锅炉都是生产饱和蒸汽的。

随着生产的发展，锅炉设备日益广泛地应用于现代工业的各个部门，成为发展国民经济的重要热工设备之一。从量大面广这个角度来看，除电力以外的各行各业中，运行着的主要是中、小型低压锅炉。因此，如何进一步改进完善这类锅炉以及提高它们的热效率，有重要的意义。这类锅炉，也正是我们所要学习和研究的对象。另外，怎样更好地组织锅炉的经济运行；千方百计地节约燃料和使用地方性劣质燃料；以消烟除尘为目的的锅炉科学技术的研究；挖掘原有设备的潜力——在安全生产的前提下提高锅炉产量以及进一步减轻劳动强度等等，将是我们面临的艰巨任务。

## § 1-2 锅炉的基本构造和工作过程

锅炉，最根本的组成是汽锅和炉子两大部分。燃料在炉子里进行燃烧，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将热量传递给汽锅内温度较低的水，水被加热、进而沸腾汽化，生成蒸汽。现在我们以 SHL10-13/350 型锅炉（即双锅筒横置式、链条炉）（图1-1）为例，简要地介绍锅炉的基本构造和工作过程。

汽锅的基本构造包括锅筒（又称汽包），管束、水冷壁、集箱和下降管等组成的一个封闭汽水系统。炉子包括煤斗、炉排、除渣板、送风装置等组成的燃烧设备。

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、高低水位报警器、压力表、主汽阀、排污阀、逆止阀等。还有用来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。

锅炉的工作包括三个同时进行着的过程：燃料的燃烧过程、烟气向水的传热过程和水的汽化过程。现分述如下：

## 一、燃料的燃烧过程

由图 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。燃料一面燃烧，一面向后移动；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，在炉排末端翻过除渣板（俗称老鹰铁）后排出，这整个过程称为燃烧过程。燃烧过程进行得完善与否，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烧的良好混合。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。

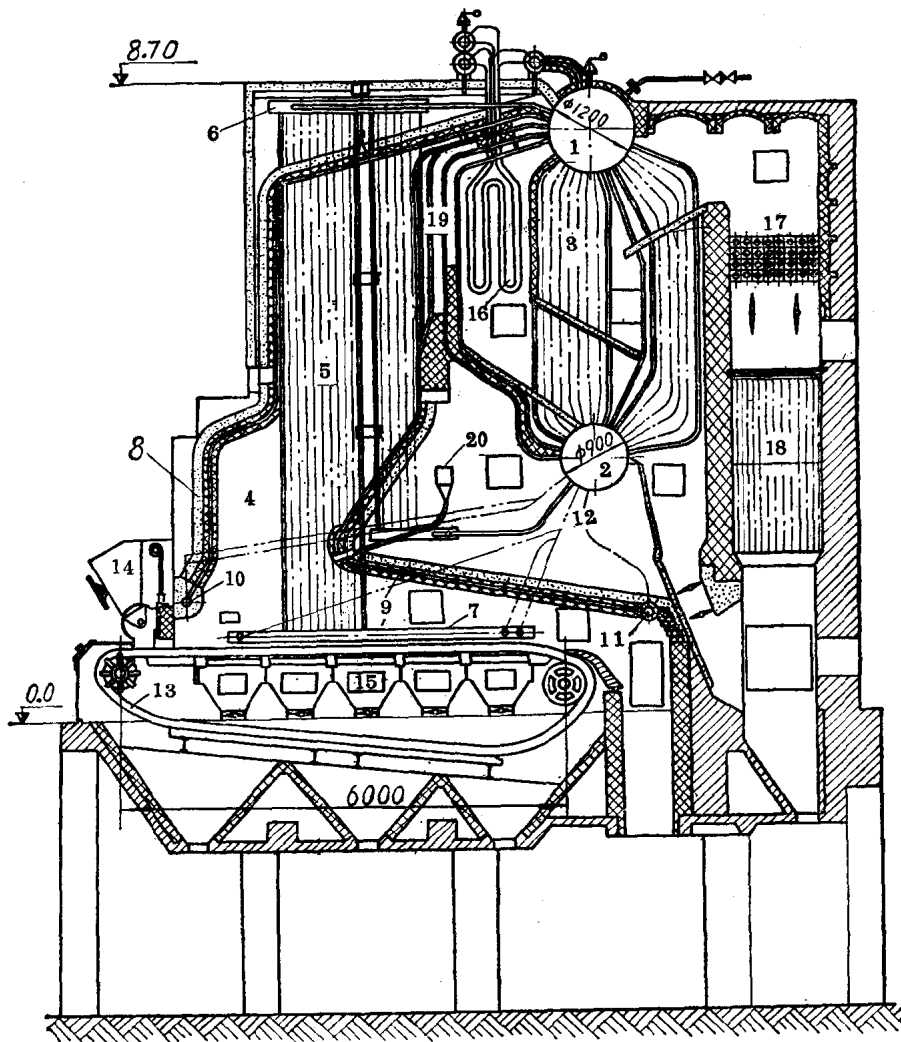


图 1-1 SHL10-13/350型锅炉

- 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—烟囱及防渣管，20—二次风管

## 二、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。烟气出烟窗（炉膛出口）并掠过防渣管后，就冲刷蒸汽过热器——一组垂直放置的蛇形管受热面，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接胀在上、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。

## 三、水的汽化过程

它也是蒸汽的产生过程，主要包括水循环和汽水分离过程。经过水处理的锅炉给水是由水泵加压，先流经省煤器而得到预热，然后进入汽锅。

锅炉工作时，汽锅中的工质是处于饱和状态下的汽水混合物。位于烟温较低区段的对流管束，因受热较弱，汽水工质的重度较大；而位于烟气高温区的水冷壁和对流管束，因受热强烈，相应地工质的重度较小，从而重度大的工质则往下流入下锅筒而重度小的向上流入上锅筒，形成了锅水的自然循环。此外，为了组织水循环和进行输导分配的需要，一般还设有置于炉墙外的不受热的下降管，借以将工质引入水冷壁的下集箱，而通过上集箱上的汽水引出管将汽水混合物导入上锅筒。

借助上锅筒内装设的汽水分离设备，以及在锅筒本身空间中的重力分离作用，使汽水混合物得到了分离；蒸汽在上锅筒顶部引出后进入蒸汽过热器中去，而分离下来的水仍回落到上锅筒下半部的水空间。汽锅中的水循环，也保证了与高温烟气相接触的金属受热而得以冷却而不会烧坏，是锅炉能长期安全可靠运行的必要条件。而汽水混合物的分离设备则是保证蒸汽品质和蒸汽过热器可靠工作的必要设备。

## § 1-3 锅炉基本特性的表示

为区别各类锅炉构造、燃用燃料、燃烧方式、容量大小、参数高低以及运行经济性等特点，我们常用下列的锅炉基本特性来说明。

### 一、蒸发量

指蒸汽锅炉每小时所生产的额定<sup>①</sup>蒸汽量，用以表征锅炉容量的大小。蒸发量常用符号 $D$ 来表示，单位是吨/时，供热锅炉蒸发量一般从0.1到65吨/时。

采暖用热水锅炉则用额定产热量来表征容量大小，常用符号 $Q$ 来表示，单位是千卡<sup>②</sup>/时，目前生产的热水锅炉容量有10、60、120、 $200 \times 10^4$ 千卡/时等几种。

产热量与蒸发量之间的关系，可由下式表示：

$$Q = D(i_q - i_{g_s}) \times 10^3 \quad \text{千卡/时} \quad (1-1)$$

- ① 锅炉额定蒸发量和额定产热量统称额定出力，它是指锅炉在额定参数（压力、温度）和保证一定效率下的最大连续蒸发量（产热量）。
- ② 1千卡(kcal) = 4.1868千焦耳(KJ)。

式中  $D$ ——锅炉的蒸发量，吨/时；

$i_a, i_g$ ——分别为蒸汽和给水的焓，千卡/公斤。

对于热水锅炉：

$$Q = G(i''_r - i'_r) \times 10^3 \text{ 千卡/时} \quad (1-2)$$

式中  $G$ ——热水锅炉每小时送出的水量，吨/时；

$i'_r, i''_r$ ——锅炉进、出热水的焓，千卡/公斤。

## 二、蒸汽（或热水）参数

锅炉产生蒸汽的参数，是指锅炉出口处蒸汽的额定压力（表压力）和温度。对生产饱和蒸汽的锅炉来说，一般只标明蒸汽压力；对生产过热蒸汽（或热水）的锅炉，则需标明压力和蒸汽（或热水）温度。

供热锅炉的容量、参数，既要满足生产工艺上对蒸汽的要求，又要便于锅炉房的设计，锅炉配套设备的供应以及锅炉本身的标准化，因而要求有一定的锅炉参数系列，如表 1-1 所列，是我国目前所用的锅炉参数系列。

锅 炉 参 数 系 列

表 1-1

额 定 出 力  (吨/时)	额 定 出 口 蒸 汽 压 力 (表 大 气 压)①										
	4	7(8)	10	13	13	13	16	16	16	25	25
	额 定 出 口 蒸 汽 温 度 (°C)										
	饱 和	饱 和	饱 和	饱 和	250	350	饱 和	250	350	饱 和	400
0.1	△										
0.2	△										
0.5	△	△									
1	△	△	△								
1.5	△	△	△								
2	△	△	△	△							
4		△	△	△						△	
6		△	△	△	△	△			△	△	△
10		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
15			△	△	△	△	△	△	△	△	△
20			△	△	△	△	△	△	△	△	△
35				△	△	△	△	△	△	△	△
65				△	△	△	△	△	△	△	△

注：1.带括号的不推荐采用；

2.对6.5吨/时容量参数的原有产品仍暂予保留。

① 1大气压=1公斤力/厘米<sup>2</sup>(kgf/cm<sup>2</sup>)=9.80665×10<sup>4</sup>帕斯卡(Pa)。

## 三、受热面蒸发率、受热面发热率

锅炉受热面是指汽锅和附加受热面等与烟气接触的的金属表面积，即烟气与水（或蒸汽）进行热交换的表面积。受热面的大小，工程上一般以烟气放热的一侧来计算，用符号  $H$  表示，单位为米<sup>2</sup>。

每米<sup>2</sup>受热面每小时所产生的蒸汽量，就叫做锅炉受热面的蒸发率，用  $D/H$ （公斤/米<sup>2</sup>·时）表示，但各受热面所处的烟气温度水平不同，它们的受热面蒸发率也有很大的差异。例如，炉内辐射受热面的蒸发率会达 80 公斤/米<sup>2</sup>·时左右；又如对流管受热面的蒸发



率就只有20~30。因此，对整台锅炉的总受热面来说，这个指标只反映蒸发率的一个平均值。日常见到的锅炉，其运行参数都不尽相同，为了便于比较，往往把锅炉的实际蒸发量  $D$  换算为标准蒸汽（焓值为640千卡/公斤）的蒸发量  $D_{bs}$ ，这样，受热面标准蒸发率就以  $\frac{D_{bs}}{H}$  来表示了，其换算的公式如下：

$$\frac{D_{bs}}{H} = \frac{Q}{640H} = \frac{D(i_q - i_{gs}) \times 10^3}{640H} \quad \text{公斤/米}^2 \cdot \text{时} \quad (1-3)$$

热水锅炉则采用受热面发热率这个指标，即每米<sup>2</sup>受热面每小时能生产的热量，用符号  $Q/H$  表示，单位为千卡/米<sup>2</sup>·时。

一般供热锅炉的  $D/H < 30 \sim 40$  公斤/米<sup>2</sup>·时；热水锅炉的  $Q/H < 20000$  千卡/米<sup>2</sup>·时。

受热面蒸发率或发热率越高，则表示传热好，锅炉所耗金属量少，锅炉结构也紧凑。这一指标常用来表示锅炉的工作强度，但还不能真实反映锅炉运行的经济性；如果锅炉排出的烟气温度很高， $D/H$  值虽大，但未必经济。

#### 四、锅炉的热效率

锅炉的热效率是指每小时送进锅炉的燃料（全部完全燃烧时）所能发出的热量中有百分之几被用来产生蒸汽或加热水，以符号  $\eta_{gt}$  表示。它是一个能真实说明锅炉运行的热经济性的指标，将在第三章中专门予以分析讨论。目前生产的供热锅炉，其  $\eta_{gt} \approx 60 \sim 80\%$ 。

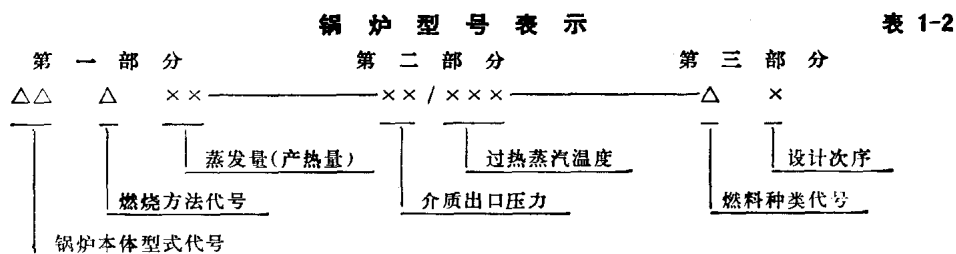
有时为了概略反映或比较锅炉运行的热经济性，常用“煤汽比”或“煤水比”来表示，就是指每一公斤燃煤，能产生多少公斤蒸汽。由于煤质好坏和锅炉种类不同，供热锅炉运行时的煤水比差别很大，将在第三章中叙述。

#### 五、锅炉的金属耗率及耗电率

锅炉不仅要求热效率高，而且也要求金属材料耗量低，运行时耗电量少；但是，这三方面常是相互制约的。因此，衡量锅炉总的经济性应从这三方面综合考虑，切忌片面性。金属耗率，就是相应于锅炉每吨蒸发量所耗用的金属材料的重量（吨），目前生产的供热锅炉这个指标为2~6吨/吨。耗电率则为产生一吨蒸汽耗电的度数（千瓦·时/吨）；耗电率计算时，除了锅炉本体配套的辅机外，还涉及到磨煤机、破碎机、筛煤机等辅助设备的耗电量。

#### 六、锅炉型号表示方法

我国供热（工业）锅炉型号由三部分组成，各部分之间用短横线相连，如下表所示：



型号的第一部分表示锅炉型式，燃烧方式和蒸发量。共分三段：第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉本体型式，其意义见表1-3；第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式（废热锅炉无燃烧方式代号），其意义见表1-4；第三段用阿拉伯数字表示蒸发量为若干吨/时