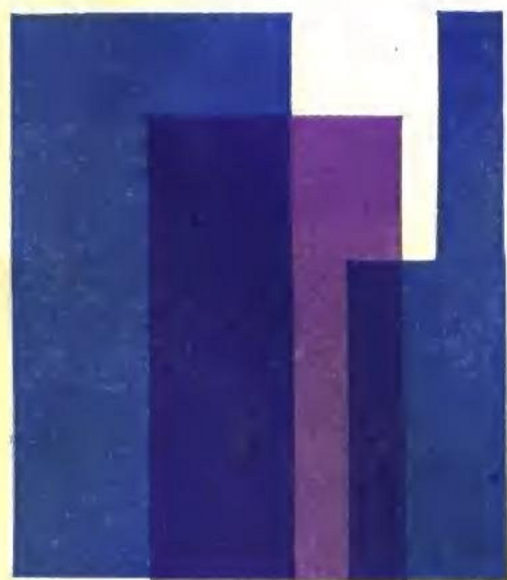


高等学校试用教材

# 锅炉 及 锅炉房设备

(第二版)

同 济 大 学  
湖 南 大 学 编  
重 庆 建 筑 工 程 学 院



中国建筑工程工业出版社

本书系高等学校供热通风专业“锅炉及锅炉房设备”课程试用教材的第二版。本书以供热锅炉（工业锅炉）为对象，共分十二章。第一章为基本知识；第二～九章介绍燃料及燃烧计算、热平衡、典型锅炉的构造与特点、水循环及汽水分离、热力计算、空气动力计算及强度计算；第十～十二章介绍水处理、运煤、除渣和除尘以及锅炉房布置。在保持原有特色的同时，本版作了较多的增删更新，充分反映了本领域的新成果，并改用了法定计量单位。

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**  
(第二版)  
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：19 $\frac{1}{2}$ 字数：476千字  
1986年7月第二版 1986年7月第四次印刷  
印数：52,341—70,640册 定价：2.65元  
统一书号：15040·5030

## 第二版前言

1983年3月,在苏州召开的供热通风及燃气类教材编审委员会会议上,根据实际需要,决定《锅炉及锅炉房设备》一书修订再版。据此,1984年10月,我们在上海召开了本书的修订会议,与会同志通过回顾总结,充分讨论,认为本书自1979年3月第一版出版发行以来,已印行五万多册,基本上满足了各方面的需要,这次得以修订再版,是对编者很大的鼓励和鞭策。会上确定了修订的原则是:既应保持原有特色,不增篇幅,又要敢于增删更新,使之更换新颜。

在保持原有特色方面,修订时仍以原订教学大纲为基础,章节与“骨架”,基本上与第一版一致,仍由原执笔同志进行修订,各章节取材的深广度与相应的字数也基本不变。

在增删更新方面,修订了下列内容:1.本版在单位选用上,除个别地方,因国内现行规范,尚未改变为法定计量单位,仍只能暂时使用工程单位外,从总体上来说,已全部改用了法定计量单位;2.对国内在技术改革中涌现出的新成果、新产品,尽量收集引用,力求第二版能反映锅炉行业的新成就;3.通过几年来的教学实践,对读者反映较难理解的一些章节,按照循序渐进,由浅入深的原则,进行了全面加工改写。

我们深深感到,要编写出一本较为理想的教材,确非易事,按编者主观愿望,力争使第二版能更好地适应教学及各方面实际参考的需要。这一主观愿望是否能经得住客观的检验,还有待于读者广泛地批评指正,使本书不断更新,不断前进,逐渐成熟。

参加本次修订工作的有:同济大学肖友瑟、奚士光、吴味隆、蒋君衍(第一、四、五、六、七、十章及前言和附录等),湖南大学邵锡奎(第二、三、九章),重庆建筑工程学院关正安、马孝聪(第八、十一、十二章)。全书仍由肖友瑟、奚士光主编,西安冶金建筑学院解鲁生主审。

本书与1984年出版的同济大学等院校编写的《锅炉习题实验及课程设计》协调配合使用,可更好地适应教学及参考上的需要。

编 者

一九八五年七月

## 第一版前言

《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、陈黠及蒋君衍（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,  $\text{mge/l}$   
 $a$ ——黑度  
 $A_c$ ——残留碱度,  $\text{mge/l}$   
 $A_o$ ——锅水允许碱度,  $\text{mge/l}$   
 $a_{hz}, a_{lm}, a_{jh}$ ——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  
 $B$ ——小时燃料消耗量,  $\text{kg/h}$ ;  $B'$ ——每秒燃料消耗量,  $\text{kg/s}$ ; 还原理论耗盐量,  $\text{kg/次}$   
 $b$ ——还原时食盐的单位耗量,  $\text{g/ge}$ ; 刮板宽度,  $\text{m}$   
 $B_j$ ——小时计算燃料消耗量,  $\text{kg/h}$ ;  $B'_j$ ——每秒计算燃料消耗量,  $\text{kg/s}$   
 $Bo$ ——炉内传热相似准则或波尔兹曼准则  
 $b_o$ ——海平面大气压,  $\text{Pa}$   
 $CO$ ——烟气中一氧化碳的容积百分数, %  
 $C', C'', C''', C''''$ ——燃料应用基、分析基、干燥基、可燃基的含碳量, %  
 $c$ ——比热,  $\text{kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ; 附加壁厚,  $\text{mm}$ ; 修正、校正系数  
 $D$ ——锅炉蒸发量,  $\text{t/h}$ ; 总软化水量,  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $D_{ps}$ ——排污水量,  $\text{t/h}$   
 $D_g$ ——排污扩容器中形成的二次蒸汽量,  $\text{kg}$   
 $d$ ——湿空气的含湿量,  $\text{g/kg}$ ; 直径,  $\text{m}$   
 $[d]$ ——未加强孔的最大允许直径,  $\text{mm}$   
 $d_h$ ——烟气中灰粒的平均直径,  $\mu\text{m}$   
 $E$ ——交换剂的工作能力,  $\text{ge/m}^3$   
 $E_1$ ——石灰的纯度, %  
 $E_2$ ——纯碱的纯度, %  
 $E_o$ ——离子交换器的软化能力,  $\text{ge}$   
 $E'_o$ ——每小时需要的克当量数,  $\text{ge/h}$   
 $E_t$ —— $t$  温度下的恩氏粘度,  $^\circ\text{E}$   
 $e$ ——焊脚高度,  $\text{mm}$   
 $F$ ——面积、截面积,  $\text{m}^2$   
 $F_o$ ——炉膛壁面积,  $\text{m}^2$   
 $F_{oz}$ ——炉膛总壁面面积,  $\text{m}^2$   
 $F_l$ ——炉膛包复面积,  $\text{m}^2$   
 $f$ ——流通截面积,  $\text{m}^2$   
 $G$ ——热水锅炉加热水量,  $\text{kg/h}$ ; 循环水量,  $\text{kg/h}$ ; 补给水量,  $\text{t/h}$ ; 重量,  $\text{kg}$

- $G_1$ ——反洗用水量, t, 生石灰消耗量, g/h  
 $G_2$ ——配制盐液理论用水量, t, 纯碱消耗量, g/h  
 $G_3$ ——正洗用水量, t  
 $G_{wh}$ ——雾化每公斤重油耗用的蒸汽量, kg  
 $G_v$ ——烟气重量, kg/Nm<sup>3</sup>  
 $g$ ——交换剂重量, t  
 $H$ ——受热面积, m<sup>2</sup>; 高度, m, 硬度, mge/l, 风压, Pa  
 $H_r$ ——有效辐射受热面积, m<sup>2</sup>  
 $H_{ST}$ ——生水中非碳酸盐硬度, mge/l  
 $H_{Mg}$ ——生水中镁盐硬度, mge/l  
 $H_T$ ——生水中碳酸盐硬度, mge/l  
 $H^s, H^f, H^o, H^r$ ——燃料应用基、分析基、干燥基、可燃基的含氢量, %  
 $h$ ——高度, m  
 $h_d$ ——动压头, Pa  
 $h_{zs}$ ——自生风, Pa  
 $h_v$ ——炉膛真空度, Pa  
 $\Delta H$ ——阻力、压降, Pa  
 $\Delta H_{\Sigma t}$ ——烟道总阻力, Pa  
 $\Delta h$ ——流动阻力, Pa  
 $\Delta h_{mc}^l$ ——每米长度的摩擦阻力, Pa/m  
 $\Delta h_{yb}$ ——烟囱出口阻力, Pa  
 $\Delta h_{sa}$ ——速度损失, Pa  
 $\Delta h_{st}$ ——介质流动阻力, Pa  
 $I_k^0$ ——理论空气量的热焓, kJ/kg  
 $I_k^s, I_k^f$ ——理论、实际烟气量的热焓, kJ/kg  
 $i$ ——热焓, kJ/kg; 料斗的容积, m<sup>3</sup>; 烟囱内壁的平均斜度  
 $\Delta I_k$ ——过量空气量的热焓, kJ/kg  
 $K$ ——传热系数, kW/m<sup>2</sup>·°C; 循环倍率; 换算系数; 水中凝聚剂的加药量, mge/l;  
 $l$ , 考虑到锅炉房未来发展系数; 容积富裕系数  
 $k_c$ ——焦炭粒的减弱系数, 1/m·MPa  
 $k_h$ ——灰粒的减弱系数, 1/m·MPa  
 $k_g$ ——三原子气体的减弱系数, 1/m·MPa  
 $k_{tb}$ ——炭黑粒子的减弱系数, 1/m·MPa  
 $k_d$ ——管壁粗糙度影响系数  
 $L$ ——距离, m  
 $l$ ——长度, m  
 $M$ ——煤的储备天数, day; 炉膛传热计算中燃烧条件影响系数  
 $m$ ——钢管壁厚最大负偏差; 运输不平衡系数  
 $N$ ——功率, kW; 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, %  
 $N^s, N^f, N^o, N^r$ ——燃料应用基、分析基、干燥基、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, %  
 $O^*, O', O'', O'''$ ——燃料应用基、分析基、干燥基、可燃基的含氧量, %  
 $P$ ——锅炉压力, MPa  
 $[P]$ ——允许工作压力, MPa  
 $P_A$ ——按碱度计算的排污率, %  
 $P_0, P_1$ ——锅炉、集箱中的静压, Pa  
 $pH$ ——水呈酸碱性的指标  
 $Pr$ ——普朗特数  
 $P_s$ ——按含盐量计算的排污率, %  
 $\Delta P$ ——水力流动阻力, Pa  
 $Q$ ——热水锅炉供热量, kW; 烟气对受热面的放热量, kJ/kg; 流量, m<sup>3</sup>/h  
 $Q_1, q_1$ ——锅炉有效利用热, kJ/kg, %  
 $Q_2, q_2$ ——锅炉排烟热损失, kJ/kg, %  
 $Q_3, q_3$ ——气体不完全燃烧热损失, kJ/kg, %  
 $Q_4, q_4$ ——固体不完全燃烧热损失, kJ/kg, %  
 $Q_5, q_5$ ——散热损失, kJ/kg, %  
 $Q_6, q_6$ ——灰渣带走的物理热损失, kJ/kg, %  
 $Q_{cr}$ ——受热面的传热量, kJ/kg  
 $Q_{dw}$ ——燃料低位发热值, kJ/kg  
 $Q_l$ ——受热面从炉膛辐射或前烟气空间辐射所得的热量, kJ/kg  
 $Q_{ol}$ ——锅炉每小时有效吸热量, kW  
 $Q_{ow}$ ——燃料高位发热值, kJ/kg  
 $Q_k$ ——燃烧所需空气带进炉内的热量, kJ/kg  
 $Q_f$ ——燃料在炉内有效放热量, kJ/kg  
 $Q_{1g}$ ——烟道自然冷却散热损失, kW  
 $Q_f$ ——1 kg燃料送入炉膛热量, kJ/kg  
 $Q_{fp}$ ——从热平衡方程求得烟气放热量, kJ/kg  
 $q_R$ ——炉排可见热强度, kW/m<sup>2</sup>  
 $q_v$ ——炉膛容积可见热强度, kW/m<sup>3</sup>  
 $q_F$ ——炉膛断面热强度, kW/m<sup>2</sup>  
 $q_f$ ——辐射受热面平均热强度, kW/m<sup>2</sup>  
 $q_{sd}$ ——烟道单位面积的散热损失, kW/m<sup>2</sup>  
 $R$ ——炉排有效面积, m<sup>2</sup>; 曲率半径, mm  
 $Re$ ——雷诺数  
 $R_{aw}, R_{1m}, R_{1n}$ ——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, %  
 $R_e$ ——蒸发面负荷, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h  
 $R_v$ ——锅筒汽空间容积负荷, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·h  
 $R_s$ ——扩容器中单位容积的蒸汽分离强度  
 $S$ ——管距, m; 有效辐射层厚度, m; 有效压头, Pa; 含盐量, mg/l; 真空度, Pa; 壁厚, mm

- $S_0$ ——锅水的含盐量, mg/l  
 $S^s, S^a, S^d, S^r$ ——燃料应用基、分析基、干燥基、可燃基的含硫量, %  
 $S_{\text{水}}$ ——水循环的运动压头, Pa  
 $T$ ——时间, h、min, 绝对温度, K  
 $\bar{T}$ ——火焰的平均有效温度, K  
 $t$ ——时间, h、min, 温度, °C, 孔距, mm  
 $t_1$ ——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  
 $t_{\text{ho}}$ ——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, m  
 $u$ ——燃料的蒸发率(煤水比), kg/kg  
 $V$ ——挥发分, %; 烟气、空气容积, kg/Nm<sup>3</sup>; 容积流量, m<sup>3</sup>/s; 锅筒汽空间容积, m<sup>3</sup>; 反洗强度, kg/m<sup>2</sup>·s  
 $V_{\text{干}}$ ——干烟气量, Nm<sup>3</sup>/kg  
 $V_{\text{炉}}$ ——炉膛有效容积, m<sup>3</sup>  
 $V_{\text{理}}^{\circ}, V_{\text{实}}^{\circ}$ ——理论、实际空气量, Nm<sup>3</sup>/kg  
 $V_{\text{理}}^{\text{干}}, V_{\text{实}}^{\text{干}}$ ——理论、实际烟气量, Nm<sup>3</sup>/kg  
 $\Delta V$ ——过量空气量, Nm<sup>3</sup>/kg  
 $v$ ——比容, m<sup>3</sup>/kg  
 $W$ ——水分, %  
 $w$ ——流速、速度, m/s  
 $w_0$ ——水循环流速, m/s  
 $x$ ——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, kW/m<sup>2</sup>·°C, W/m<sup>2</sup>·°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  
 $\epsilon$ ——灰污系数, m<sup>2</sup>·°C/kW  
 $\xi$ ——沾污系数; 阻力系数  
 $\xi_i$ ——每一根管子的阻力系数  
 $\xi_{\text{扩}}$ ——突扩原始局部阻力系数  
 $\xi_{\text{弯}}$ ——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  
 $\eta_1$ ——机械传动效率, %  
 $\eta$ ——除尘效率, %  
 $\theta$ ——烟气温度, °C



$\theta_{11}$ ——烟气理论燃烧温度, °C  
 $\lambda$ ——导热系数, kW/m·°C, 沿程摩擦阻力系数  
 $\mu_{fh}$ ——飞灰浓度, kg/kg  
 $\nu$ ——动粘度, m<sup>2</sup>/s  
 $\xi$ ——利用系数  
 $\rho$ ——燃烧面与炉壁面积之比  
 $\rho_g$ ——烟气的密度, kg/m<sup>3</sup>  
 $\sigma$ ——应力, MPa  
 $[\sigma]$ ——许用应力, MPa  
 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ ——切向、轴向、径向应力, MPa  
 $\sigma'_b$ ——在温度 $t$ °C时的抗拉强度, MPa  
 $\sigma'_d$ ——在温度 $t$ °C时的10<sup>5</sup>小时的持久强度, MPa  
 $\sigma'_s$ ——在温度 $t$ °C时的屈服限或条件屈服限, MPa  
 $\tau$ ——剪应力, MPa  
 $[\tau]$ ——许用剪应力, MPa  
 $\tau_{20}$ ——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
$bdq$ ——炉底壁面	$gr$ ——过热器
$bfq$ ——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
$fg$ ——发光	$kf$ ——沸腾汽化点
$fz$ ——防渣管	$ks$ ——扩散
$g$ ——干燥基、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  
*ni* — 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  
*u* — 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、折算  
*zx* — 纵向

# 目 录

## 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 .....	7
第二章 燃料及燃烧计算 .....	10
§ 2-1 燃料的化学成分 .....	10
§ 2-2 煤的燃烧特性 .....	13
§ 2-3 锅炉燃料 .....	18
§ 2-4 燃料的燃烧计算 .....	22
§ 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 .....	46
§ 3-6 散热损失 .....	47
§ 3-7 其它热损失 .....	49
§ 3-8 燃料消耗量及蒸发率 .....	49
第四章 燃烧设备 .....	54
§ 4-1 燃料的燃烧过程 .....	54
§ 4-2 人工操作层燃炉——手烧炉 .....	56
§ 4-3 机械化层燃炉 .....	62
§ 4-4 室燃炉 .....	78
§ 4-5 沸腾炉 .....	85
§ 4-6 炉子的工作强度 .....	88
第五章 供热锅炉及其附加受热面 .....	92
§ 5-1 锅炉发展简况 .....	92
§ 5-2 烟管锅炉 .....	94
§ 5-3 水管锅炉 .....	99
§ 5-4 热水锅炉 .....	105
§ 5-5 锅炉辅助受热面 .....	107
§ 5-6 锅炉安全附件 .....	112
第六章 锅炉水循环及汽水分离 .....	116

§ 6-1	锅炉的水循环 .....	116
§ 6-2	供热锅炉的汽水分离 .....	122
第七章	锅炉本体的热力计算 .....	130
§ 7-1	炉膛传热过程及计算 .....	130
§ 7-2	对流受热面的传热计算 .....	144
§ 7-3	对流放热系数 .....	149
§ 7-4	辐射放热系数 .....	157
§ 7-5	平均温差 .....	159
§ 7-6	对流受热面传热计算方法提要 .....	163
第八章	锅炉设备的空气动力计算 .....	177
§ 8-1	通风的作用和方式 .....	177
§ 8-2	通风阻力计算的原理和基本方法 .....	178
§ 8-3	烟道的阻力计算 .....	197
§ 8-4	风道的阻力计算 .....	202
§ 8-5	烟囱的计算 .....	204
§ 8-6	风机的选择和烟、风道的布置 .....	207
第九章	锅炉受压元件的强度计算 .....	211
§ 9-1	圆筒形元件的应力分析和第三强度理论简介 .....	211
§ 9-2	锅筒、集箱及管子的强度计算 .....	215
§ 9-3	承受内压力的凸形封头及平端盖的计算 .....	222
§ 9-4	孔的加强计算 .....	226
第十章	供热锅炉水处理 .....	235
§ 10-1	水中的杂质和水质指标 .....	235
§ 10-2	钠离子交换软化 .....	239
§ 10-3	离子交换除碱 .....	246
§ 10-4	流动床离子交换 .....	249
§ 10-5	石灰-纯碱水处理 .....	251
§ 10-6	其它水处理方法简述 .....	254
§ 10-7	锅炉金属的腐蚀 .....	256
§ 10-8	水的除气 .....	258
§ 10-9	锅炉的排污及排污量计算 .....	261
第十一章	运煤、除灰渣及除尘 .....	263
§ 11-1	锅炉房运煤和除灰渣系统 .....	263
§ 11-2	供热锅炉烟气除尘 .....	274
第十二章	汽水系统及锅炉房布置 .....	283
§ 12-1	锅炉型号及台数选择 .....	283
§ 12-2	锅炉房的汽水系统 .....	284
§ 12-3	锅炉房布置 .....	291
附录	.....	300

# 第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识

## § 1-1 概 述

就一个供热系统而言，通常是利用锅炉及锅炉房设备生产出蒸汽（或热水），尔后通过热力管道，将蒸汽（或热水）输送至用户，以满足生产工艺或生活采暖等方面的需要。因此，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，不仅用作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1000t，蒸汽压力为17MPa，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时放出的汽化潜热，因此大多数供热锅炉都是生产饱和蒸汽。

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。在“四化”建设中，目前，能源的增长大大落后于生产的增长，在2000年，国家要求工农业年总产值翻两番，但能源却只能翻一番，这就需要通过节能措施，以提高能源的有效利用率，有效地弥补能源供应方面的缺口，是一迫切的任务。显然，面对量大面广的供热锅炉，如何挖掘潜力，提高它们的热效率，有着极为重要的实际意义。此外，使锅炉能因地制宜地有效地燃用地方燃料，并为满足环境保护的要求而努力解决烟尘污染问题，以及提高操作管理水平，减轻劳动强度，保证锅炉额定出力，安全可靠地供热等等课题，也都要求我们，通过本课程的学习，以掌握解决上述课题的基本方向和手段。同时，还需要具有合理选用锅炉及锅炉房设备，进行锅炉房工艺设计的基本训练。

## § 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SHL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、高低水位警报器、压力表、主汽阀、排污阀、止回阀等。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受热汽化过程（蒸汽的生产过程）。现分述如下：

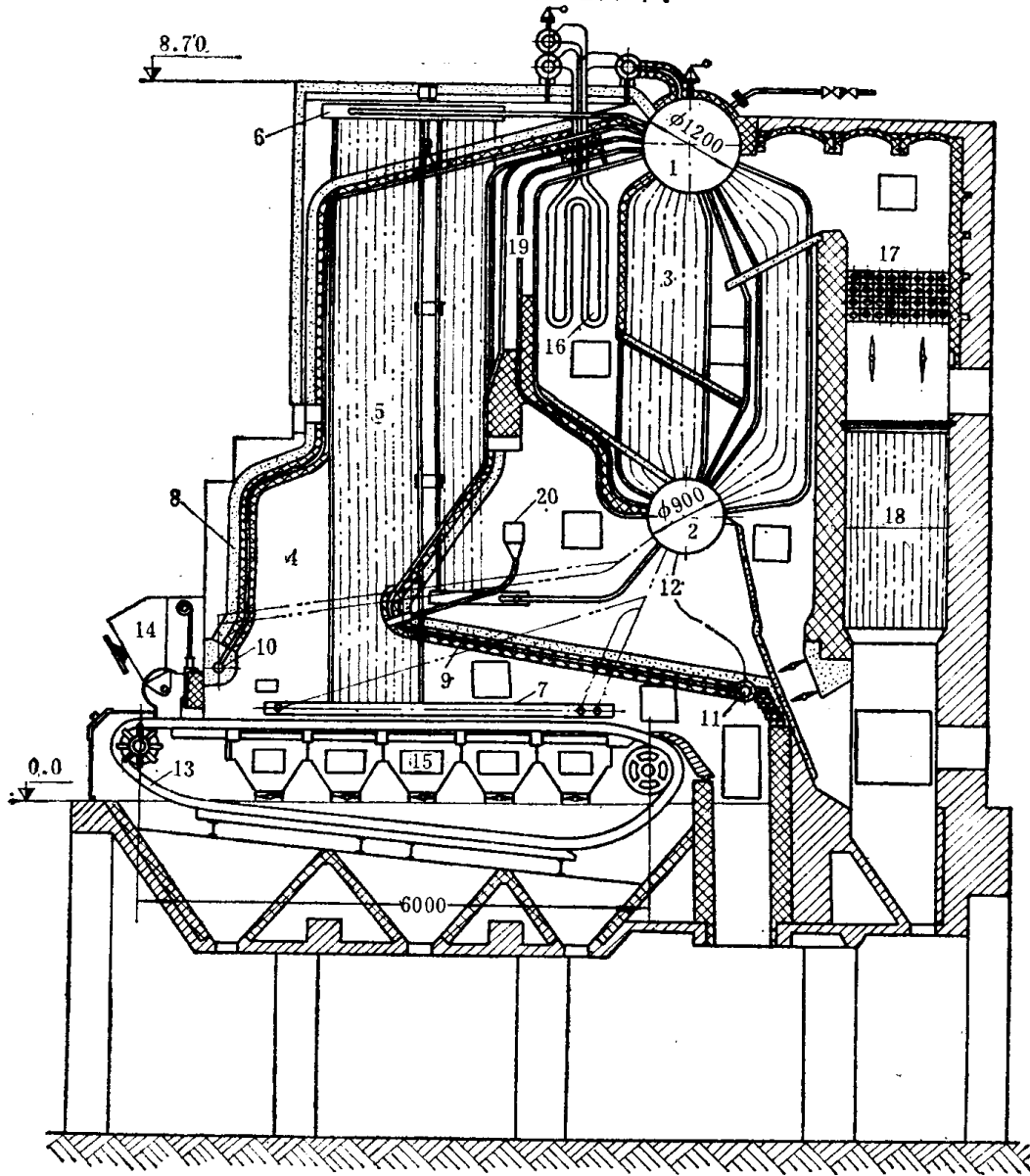


图 1-1 SHL型锅炉

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

### 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，在炉排末端被除渣板（俗称老鹰铁）铲除于灰渣斗后排出，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料的良好混合。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。

## 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。烟气出烟囱（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胀接在上、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、水的受热和汽化过程

它也是蒸汽的生产过程，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，汽水工质的密度较大；而位于烟气高温区的水冷壁和对流管束，因受热强烈，相应地工质的密度较小；从而密度大的工质则往下流入下锅筒而密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面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。

至于热水锅炉中水的受热及循环，将在第五章中介绍。

## § 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

<sup>①</sup> 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）。

号 $D$ 来表示, 单位是 $t/h$ , 供热锅炉蒸发量一般从 $0.1$ 到 $65t/h$ 。

供热用热水锅炉, 用额定供热量来表征容量的大小, 常以符号 $Q$ 来表示, 单位是 $kJ/h$ 或 $kW$ ①。

供热量与蒸发量之间的关系, 可由下式表示:

$$Q = 0.278D(i_g - i_{gs}) \quad kW \quad (1-1)$$

式中  $D$ ——锅炉的蒸发量,  $t/h$ ;

$i_g$ 、 $i_{gs}$ ——分别为蒸汽和给水的焓,  $kJ/kg$ 。

对于热水锅炉:

$$Q = 0.278G(i'_{gs} - i''_{gs}) \quad kW \quad (1-2)$$

式中  $G$ ——热水锅炉每小时送出的水量,  $t/h$ ;

$i'_{gs}$ 、 $i''_{gs}$ ——锅炉进、出热水的焓,  $kJ/kg$ 。

## 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, 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 ( $t/h$ )	额定出口蒸汽压力(表压)①									
	0.4(4)	0.7(7)	1(10)	1.3(13)		1.6(16)		2.5(25)		
	额 定 出 口 蒸 汽 温 度 ( $^{\circ}C$ )									
	饱 和	饱 和	饱 和	饱 和	350	饱 和	350	饱 和	400	
0.1	△									
0.2	△									
0.5	△	△								
1	△	△	△							
2	△	△	△	△		△				
4		△	△	△		△		△		
6		△	△	△	△	△	△	△	△	
10②		△	△	△	△	△	△	△	△	
15			△	△		△	△	△	△	
20			△	△	△	△	△	△	△	
35				△		△	△	△	△	
65				△		△				

① 压力的表示 $0.4(4)$ , ……, 括弧外为“MPa”, 括弧内为“大气压”(原参数系列均用“大气压”)。

② 对 $6.5t/h$ 容量的锅炉, 原有产品仍予保留。

## 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金属表面积, 即烟气与水(或蒸

① 原用工程单位 $kcal/h$ , 有10万、60万、120万、200万 $kcal/h$ 等不同容量的热水锅炉。



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 $\text{m}^2$ 。

每 $\text{m}^2$ 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 $D/H$  ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )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可达 $80\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 左右;又如对流管受热面的蒸发率就只有 $20\sim 30\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 。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。鉴于各种型号的锅炉,其参数不尽相同,为了便于比较时有共同的“参数基础”,就引入了标准蒸汽<sup>①</sup>的概念,即其焓值在工程单位取为 $640\text{kcal}/\text{kg}$ ,相应的法定计量单位下的焓值为 $2676\text{kJ}/\text{kg}$ 。把锅炉的实际蒸发量 $D$ 换算为标准蒸汽蒸发量 $D_{bz}$ ,这样,受热面蒸发率就以 $\frac{D_{bz}}{H}$ 来表示,其换算公式:

$$\text{对工程单位} \quad \frac{D_{bz}}{H} = \frac{D(i_q - i_{gs})}{640H} 10^3 \quad \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \quad (1-3)$$

$$\text{对法定计量单位} \quad \frac{D_{bz}}{H} = \frac{D(i_q - i_{gs})}{2676H} 10^3 \quad \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \quad (1-3')$$

显然,式中蒸汽的焓 $i_q$ 、给水的焓 $i_{gs}$ 也应相一致,即工程单位为 $\text{kcal}/\text{kg}$ ,法定计量单位为 $\text{kJ}/\text{kg}$ 。

热水锅炉则采用受热面发热率这个指标,即每 $\text{m}^2$ 受热面每小时能生产的热量,用符号 $Q/H$ 表示。

一般供热锅炉的 $D/H < 30\sim 40\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ,热水锅炉的 $Q/H < 20000\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 或 $Q/H < 83700\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ( $23.25\text{kW}/\text{m}^2$ )。

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 $\eta_{gl}$ 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 $\eta_{gl} \approx 60\sim 80\%$ 。

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 $1\text{kg}$ 燃煤,能产生多少 $\text{kg}$ 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( $\text{t}$ ),目前生产的供热锅炉这个指标为 $2\sim 6\text{t}/\text{t}$ 。耗电率则为产生 $1\text{t}$ 蒸汽耗用的度数( $\text{kWh}/\text{t}$ );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。

① 标准蒸汽系指在1标准大气压下的干饱和蒸汽。