

热工设备教学丛书

锅炉设备

天津大学 张国勋 编



高等教育出版社

热工设备教学丛书

锅 炉 设 备

天津大学 张国勋 编

高等教育出版社

本书是根据 1981 年 12 月高等学校工科热工教材编审委员会讨论通过的“锅炉设备编写大纲”编写的。本书共分五章,以工业锅炉为主,介绍锅炉的基本概念、燃料及燃烧计算、锅炉热平衡、燃烧设备以及锅炉的构造等方面的内容。

本书是热工设备教学丛书之一。它主要与王补宣主编《热工基础》一书配套使用,也可单独作为非动力类专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

热工设备教学丛书

锅 炉 设 备

天津大学 张国勋 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

通县觅子店印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 3.25 字数 76,000

1984 年 9 月第 1 版 1985 年 9 月第 1 次印刷

印数 00,001—16,050

书号 15010·0593 定价 0.70 元

前 言

本书是根据工科热工教材编审委员会1981年12月通过的“锅炉设备编写大纲”编写的。本书主要与《热工基础》(王朴宣主编)一书配套使用,以满足非动力类有关专业对锅炉设备教学的需要,也可单独作为非动力类有关专业的教材或参考书。

本书共分五章,以工业锅炉为主,介绍锅炉的基本概念、燃料及燃烧计算、锅炉热平衡、燃烧设备、锅炉的型式和结构特点,以及锅炉的节能措施等。

为了避免内容繁琐,取材上注意了各类锅炉的共性和个性的比较,防止内容上一一罗列。

本书各章编入了思考题和习题,以帮助读者消化、理解和掌握所学的基本内容。

本书承热工教材编委会委托重庆大学程俊国同志审稿。对书稿提出了许多宝贵意见和建议,编者在此谨致谢意。

由于编者的水平所限,且时间仓促,本书难免有不妥之处,希望读者给予批评和指正。

编 者

一九八三年十月

主要符号

- A 燃料中灰分含量, %
- B 燃料消耗量, kg/h
- C 燃料中含炭量, %
- c_y 烟气容积比热, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$
- D 蒸发量, kg/h、t/h
- D_{ps} 锅炉排污量, kg/h、t/h
- G 锅炉循环水量, kg/h、t/h
- G_{nz} 排渣量, kg/h
- h 水循环回路有效高度, m
- H 燃料中含氢量, %
- h_{py} 每公斤燃料烟气的焓, kJ/kg
- h_{i0}^0 每公斤燃料冷空气的焓, kJ/kg
- h_q 、 h_{gs} 、 h_{ps} 蒸汽、给水、排污水的焓, kJ/kg
- K 锅炉循环倍率
- N 燃料中含氮量, %
- O 燃料中含氧量, %
- p 压力, MPa、 kgf/cm^2
- p_i 流动压头, kgf/m^2
- $\Sigma\Delta p_{sj}$ 下降管总阻力, kgf/m^2
- $\Sigma\Delta p_{ss}$ 上升管总阻力, kgf/m^2
- Q_1 、 q_1 有效利用热量, kJ/kg 、%
- Q_2 、 q_2 排烟热损失, kJ/kg 、%
- Q_3 、 q_3 化学不完全燃烧热损失, kJ/kg 、%
- Q_4 、 q_4 机械不完全燃烧热损失, kJ/kg 、%

Q_s, q_s 散热损失, kJ/kg、%

Q_3, q_3 灰渣物理热损失, kJ/kg、%

Q_r 送进锅炉的总热量, kJ/kg

Q_{dw}^y 燃料高位发热量, kJ/kg

Q_{dw}^l 燃料低位发热量, kJ/kg

Q_4^{fs} 灰渣可燃物热损失, kJ/kg

Q_4^{fh} 飞灰可燃物热损失, kJ/kg

Q_4^m 漏煤损失, kJ/kg

q_R 炉排热强度, kW/m²、kcal/(m²·h)

q_V 炉膛容积热强度, kW/m³、kcal/(m³·h)

Q_g 锅炉总吸热量, kJ/h

R 炉排面积, m²

γ_{sh}, γ_{qs} 水和汽水混合物的重度, kgf/m³

S 燃料中含硫量, %

S_{yj}, S_{lt}, S_{ly} 燃料中有机硫、硫化铁硫、硫酸盐硫的含量, %

V 挥发物含量, %

V^0, V_k 理论和实际空气量, m³/kg

V_y^0, V_y 理论和实际烟气体积, m³/kg

V_{gy} 干烟气体积, m³/kg

W 燃料中水分含量, %

W_w, W_n 外部和内部水分, %

α 空气过剩系数

$\Delta\alpha$ 漏风系数

a_{hs}, a_{fh}, a_{lm} 灰渣、飞灰、漏煤中占入炉煤总量的百分数, %

η 锅炉热效率, %

单 位 代 号

kg(公斤) t(吨) m(米) mm(毫米) cm(厘米)

MPa(兆帕) kJ(千焦) kW(千瓦) kcal(千卡) h(时)
s(秒)

目 录

前言

主要符号	1
------	---

概说	1
----	---

第一章 锅炉设备的基本知识	3
---------------	---

§ 1-1 锅炉设备的组成	3
---------------	---

§ 1-2 锅炉设备的主要工作流程	5
-------------------	---

§ 1-3 锅炉主要工作特性	7
----------------	---

第二章 燃料及燃烧计算	11
-------------	----

§ 2-1 燃料分类与化学成分	11
-----------------	----

§ 2-2 煤的工业分析与主要特性	16
-------------------	----

§ 2-3 燃料的燃烧	22
-------------	----

§ 2-4 燃烧所需空气量	24
---------------	----

§ 2-5 烟气量计算与烟气分析	26
------------------	----

第三章 锅炉热平衡	33
-----------	----

§ 3-1 锅炉热平衡与锅炉热效率	33
-------------------	----

§ 3-2 锅炉的热损失	36
--------------	----

§ 3-3 锅炉设备的节能措施	42
-----------------	----

第四章 燃烧设备(炉子)	46
--------------	----

§ 4-1 燃料的燃烧方式	46
---------------	----

§ 4-2 层燃炉	48
-----------	----

§ 4-3 悬燃炉	57
-----------	----

§ 4-4 沸腾炉	62
-----------	----

§ 4-5 炉子的工作特性	64
---------------	----

第五章 锅炉构造	68
----------	----

§ 5-1 汽锅的演变过程和水循环的一般概念·····	68
§ 5-2 典型锅炉介绍·····	74
§ 5-3 锅炉的辅助受热面·····	85
附: 锅炉运行与技术监督·····	91

概 说

锅炉是通过燃烧将燃料化学能转换成热能,并将热能加热水,而获得一定数量和参数水蒸汽或热水的热工设备。锅炉按用途可分为:动力锅炉、工业锅炉和采暖锅炉。

动力锅炉用于火力发电厂中,为汽轮发电机组提供蒸汽。为了提高电厂的循环热效率,这类锅炉的蒸汽参数较高,容量也很

表 0-1 我国锅炉容量及参数系列

汽压 (MPa)	汽 温 (°C)	给水温度 (°C)	容 量 (t/h)	功 率 (kW)
0.5	饱 和	20	0.05、0.1、0.2	
0.8	饱 和	20	0.4、0.7、1.0、1.5、 2.4	
1.3	饱 和 250 300 350	20、60、105	1、2、4、6、(6.5)、 10、20	
2.5	饱 和 400	20、60、105	1、2、4、6、(6.5)、 10、20	
3.9	450	150、170	35、65、75、(120)、 130	6000、12000、 25000
10	510 540	215	220、(230)、410	50000、100000
14	540/540 555/555	240	400、670	125000 200000
17	570/570 540/540	260	1000	300000

大。工业锅炉主要用于供给工业企业的生产工艺过程的水蒸汽，以作为加热、蒸发或干燥设备的载热体。采暖锅炉用以生产低压的饱和蒸汽或热水，以满足采暖和通风的需要。采暖锅炉一般容量小，参数低，设备也简单。

表 0-1 列出了我国生产的各种锅炉容量和参数系列。从表中可以看出，小容量锅炉一般采用低参数，中等容量锅炉大多数采用中等参数，大容量锅炉才采用高参数。这与它们的使用条件和需要是相适应的。

在锅炉运行中同时进行着三个过程，即燃料燃烧过程、烟气向水的传热过程和水的汽化过程。燃料燃烧过程进行的好坏，直接影响锅炉的热效率。传热过程与锅炉的经济性密切相关，如果锅炉传热过程进行得不好，其结果必然是增加受热面，浪费钢材。水的汽化过程主要包括水循环、蒸汽发生和汽水分离过程。该过程对锅炉工作的可靠性和蒸汽的品质有直接影响。锅炉的主要任务就是合理地组织好上述三个过程。

在各行各业中，锅炉是不可缺少的重要设备，用量也十分巨大。据估计我国每年被锅炉烧掉的煤约占煤的总产量的一半以上。因此，提高锅炉的热效率，降低燃料消耗量，是节省我国燃料资源的重要环节。

本书着重讨论工业锅炉的工作过程、燃料的燃烧计算、热平衡和锅炉基本构造，为读者解决锅炉使用 and 选择等问题，提供必需的基础知识。

第一章 锅炉设备的基本知识

§ 1-1 锅炉设备的组成

锅炉设备是锅炉本体和辅助设备的总称。图 1-1 是一台工业锅炉设备的简图。现将其组成和各部分功能介绍如下。

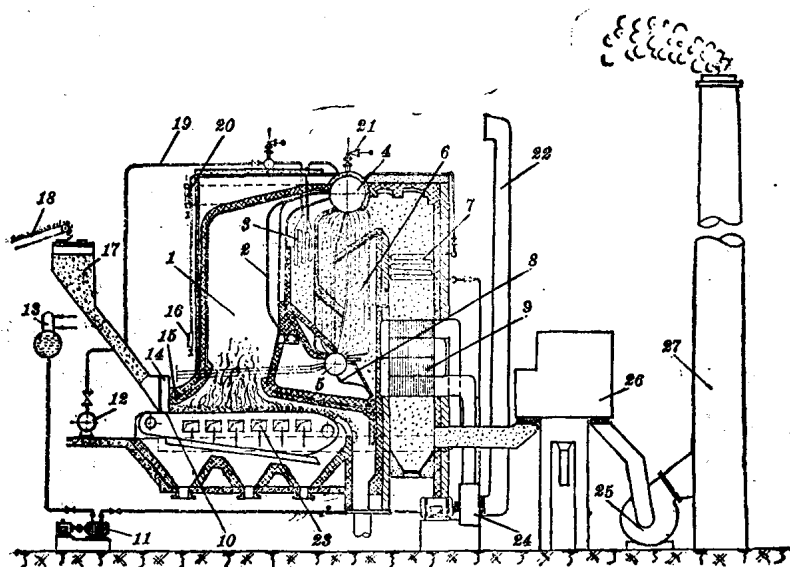


图 1-1 工业锅炉设备简图

- 1—炉膛； 2—水冷壁管； 3—蒸汽过热器； 4—上锅筒； 5—下锅筒；
6—对流管束； 7—省煤器； 8—下降管； 9—空气预热器； 10—链条炉排；
11—给水泵； 12—集汽包； 13—除氧器； 14—煤斗； 15—前联箱；
16—压力表； 17—煤仓； 18—皮带运煤机； 19—主蒸汽管道； 20—水位表；
21—安全阀； 22—进风管； 23—送风室； 24—送风机； 25—引风机；
26—除尘器； 27—烟囱

一、锅炉本体

锅炉本体包括炉子、汽锅和辅助受热面，是锅炉的核心部分。

1. 炉子 炉子是组织燃料燃烧的设备，通常布置在锅炉本体的前方，它的作用是投放燃料、燃烧放热和排除灰渣。图中炉子是由链条炉排 10、炉排下面的送风室 23 和炉排上部用耐火砖砌成的炉膛 1 构成。燃料从煤仓落到炉排上进行燃烧，所需之空气，从炉排下面的风箱穿过炉箬送入，燃尽后的灰渣被移动的炉排带到落灰口，再落入灰斗中。

2. 汽锅 汽锅位于炉排的上方，包括炉膛四周的水冷壁管 2、上锅筒 4、下锅筒 5 以及连接上下锅筒间的对流管束 6。水在上述受热面中接受烟气所传递的热量而沸腾。

3. 辅助受热面 辅助受热面包括：蒸汽过热器 3、省煤器 7 和空气预热器 9。过热器是将饱和蒸汽加热成为过热蒸汽的受热面，一般布置在靠近炉膛出口烟气温度比较高的地方。省煤器是利用烟气的余热加热锅炉给水，以降低排烟温度达到省煤的目的。省煤器均设置在锅炉的尾部烟道中。空气预热器是利用烟气的余热加热空气的受热面。提高空气温度可以提高燃烧效果，减少不完全燃烧损失。空气预热器大多数放置在尾部烟道的末端。

上述三种辅助受热面，对于小型锅炉可根据实际需要考虑设置哪种受热面。大多数情况下，只装有省煤器，以简化锅炉设备。

二、锅炉的辅助设备

锅炉辅助设备由下列部分组成：

1. 通风与除尘设备 包括送风机 24、引风机 25、烟囱 27 和除尘器 26。送风机的作用是压送燃烧所需的空气，以克服空气预热器、风道和炉箬煤层的阻力。烟气靠引风机从炉子抽出，再送进除尘器除掉灰尘后，通过烟囱排入大气。

2. 燃料供应与除渣设备 包括皮带运煤机 18、煤仓 17 和除渣设备(图中未画出)等。其作用是输送和贮存燃料以及排出灰渣。煤粉炉还要有制备煤粉的设备。

3. 给水泵和水处理设备 包括水处理设备(图中未画出)、除氧器 13 和给水泵 11。水处理设备是为了除掉锅炉给水中的硬度盐,防止锅炉受热面结垢。除氧器是为了除掉给水中的氧气,防止对受热面的腐蚀。

4. 汽水管道 包括给水、送汽、疏水和排污等管道及阀门。其作用是供应蒸汽和给水;在启动或停炉时疏水;排出炉水中沉积物。在多台相同型号的锅炉房内,为了调配负荷方便,多采用并联汽水管道系统。

5. 安全装置、监督仪表和控制设备 锅炉都装有保证安全工作的水位表 20 和安全阀 21;观察蒸汽参数的压力表 16、温度计和流量计;监督燃料情况的风压计和二氧化碳指示仪;运行操作用的汽水阀门和烟风道闸门等。先进的锅炉还配有电动或气动的自动调节系统或电子计算机控制系统,以保证锅炉安全而经济地运行。

§ 1-2 锅炉设备的主要工作流程

锅炉设备的基本任务就是把燃料连续地送到炉内进行充分燃烧,生成的高温火焰和烟气经过水冷壁(炉膛)、蒸汽过热器、对流管束、省煤器和空气预热器,以热辐射、导热和对流等传热方式,将热量传给水,生产给定参数的蒸汽,不断供给用户使用。

下面以图 1-1 为例简要介绍完成上述工艺过程所进行的主要工作流程。

1. 燃料和烟风流程 原煤在贮煤场经过筛选后,用皮带运煤

机送入煤仓落入煤斗内，再经过煤闸板将煤落在按一定速度移动的链条炉排上。燃料进到炉内以后，先吸收炉内的辐射热被预热、干燥，进而着火燃烧放出热量。燃烧所需的空气，由送风机抽取房顶较高温度的空气，经空气预热器加热后，用风箱分段送到炉排下面，穿过炉箅缝隙再进入煤层参加燃烧。燃料在炉排上边移动边燃烧，燃尽的灰渣从炉子的后部被括灰板括入灰渣坑，最后用除渣机排出。

高温烟气依次流经过热器，再折转在对流管束之间，然后进入尾部烟道中的省煤器，最后通过空气预热器。烟气经过多次放热，此时温度已降低，无再利用的价值，经除尘器被引风机送至烟囱排放到大气。

2. 汽-水流程 经过水处理设备和除氧器处理后的锅炉给水，用给水泵升压后，通过给水管道的送到省煤器加热后再送入上锅筒。上锅筒的作用是汇集、分配汽水并进行分离。锅筒的上部是汽空间，下部是水空间。水空间的饱和水通过对流管束中受热弱的一些管子(降水管)进入下锅筒，再分配给受热强的对流管束，在其中受热而沸腾，形成汽水混合物回到上锅筒，又分别存在汽空间和水空间。水冷壁是沿炉墙布置的受热面，它的降水管与下锅筒相接，经过下联箱将饱和水分配给水冷壁管排。饱和水在炉内受热后，也形成汽水混合物，经上联箱、蒸汽导管引进上锅筒，同样贮存在汽水空间。为了提高汽水混合物的分离效果，在上锅筒内设有不同型式的汽水分离设备。锅筒中的水位用水位计指示。汽空间的饱和蒸汽，再送至过热器中，被烟气进一步加热成为过热蒸汽，再经主汽阀送给用户。

以上所介绍的就是锅炉设备的两个主要的工作流程。

§ 1-3 锅炉主要工作特性

一、锅炉主要工作特性

锅炉主要工作特性是表征锅炉生产能力、蒸汽质量、经济效益、制造成本及安全性诸方面的指标,分述如下:

1. 蒸发量 锅炉每小时生产的蒸汽量叫作蒸发量,用符号 D 表示,单位为 t/h 。蒸发量是表示锅炉容量大小的指标。锅炉铭牌上所提供的是额定蒸发量,即在额定蒸汽参数下长期运行的最大蒸发量。

2. 额定蒸汽参数 锅炉主汽阀处的蒸汽的压力和温度称为额定蒸汽参数。生产饱和蒸汽的锅炉仅标明蒸汽压力。蒸汽压力和温度是表示蒸汽质量的指标。铭牌给出的压力是表压力。工程单位制中压力单位为 kgf/cm^2 、温度为 $^{\circ}C$; 国际单位制中压力单位为 MPa (兆帕), $1 MPa = 10.198 kgf/cm^2$ 。

3. 锅炉热效率 指燃料完全燃烧所放出的热量被锅炉有效利用的程度,它是锅炉产生蒸汽所吸收的热量与同时加进锅炉的燃料所拥有热量比值的百分数,即

$$\eta = \frac{\text{蒸汽所吸收的热量}}{\text{燃料所拥有的热量}} \times 100\%$$

锅炉热效率与燃料种类、燃烧方式、锅炉型式和运行情况等因素有关。现代大型锅炉热效率在 90% 以上,一般工业锅炉约为 60~80%。

4. 受热面蒸发率 锅炉的蒸发量与蒸发受热面之比称为锅炉蒸发率。它反映锅炉受热面的平均工作强度,该值越大,单位受热面积传热越多,节省受热面。因此,蒸发率是锅炉制造方面的经济指标,一般中小型工业锅炉受热面蒸发率约为 30~40

kg/(m²·h)。

5. 炉膛热强度和炉排热强度 炉膛热强度表示燃料在 1 m³ 炉膛容积中, 每小时所发出的热量, 单位为 kW/m³ [kcal/(m³·h)]。此值大表示在较小的炉膛容积中, 可燃烧较多的燃料, 炉子紧凑。但炉膛过小使燃料停留时间短, 燃料与空气的混合也不均匀, 会造成燃烧不完全。故对不同的燃料、炉型, 此值有一合理的范围(见表 4-1)。

炉排热强度表示每平方米的炉排上, 每小时燃料所产生的热量, 单位 kW/m² [kcal/(m²·h)]。此特性只用来说明层燃炉炉排燃烧强度。同样, 炉排热强度与燃料种类、炉型有关, 而且也有一个合理的数值范围(见表 4-1)。

6. 锅炉工作可靠性 锅炉工作可靠性用连续运行小时数和锅炉可用率表示:

连续运行小时数 = 两次检修之间运行的小时数

$$\text{锅炉可用率} = \frac{\text{运行总时数} + \text{备用总时数}}{\text{统计期间总时数}} \times 100\%$$

国内比较好的该项指标: 连续运行小时数在 4000 以上, 可用率约为 90%。

二、工业锅炉的型号表示方法

工业锅炉的型号可分为三部分: 第一部分表示锅炉的型式、燃烧方式和蒸发量; 第二部分表示蒸汽压力和温度; 第三部分表示燃料种类和设计次序。如

