

锅炉设备及运行

第 二 版

重庆电力高级技工学校 曾纬西 主编



锅炉设备及运行

(第二版)

重庆电力高级技工学校 曾纬西 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国电力出版社

内 容 提 要

本书主要讲述电站锅炉的结构、工作原理及运行,分为锅炉结构原理和锅炉运行两篇,共十五章。主要内容有:燃料;燃烧计算;锅炉热平衡计算;制粉设备及系统;燃烧原理及燃烧设备;自然水循环原理及蒸发设备;蒸汽净化原理及设备;过热及再热设备;强制流动锅炉的基本工作原理;锅炉启停和运行调节的基本知识等。

本书是电力技工学校电厂热动力专业的教材,也可供电厂锅炉工作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉设备及运行/曾纬西主编.-2版.-北京:中国电力出版社,1996
技工学校教材

ISBN 7-80125-116-4

I. 锅… II. 曾… III. 锅炉-基本知识-技工学校-教材 IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 00195 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

铁十八局一处涿州印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1982 年 12 月第一版

1996 年 6 月第二版 1998 年 6 月北京第八次印刷

787×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 493 千字

印数 109941—112970 册 定价 20.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本书是电力技工学校电厂热能动力专业的教材，主要依据电力工业部颁本专业《锅炉设备及运行》课程教学大纲进行编写。

本书内容以国产高参数、大容量的自然循环固态排渣燃煤锅炉为主，着重阐述电站锅炉的结构、工作原理和特性、锅炉运行调节和启停的基本方法，对燃料、燃烧计算、锅炉热平衡计算和强制流动锅炉的基本工作原理也作了必要的讲述。

本书由重庆电力高级技工学校曾纬西编写第一篇，并担任全书主编，徐州电力技工学校王敬义编写第二篇。

本书由湖北省电业技工学校吴志敏主审；全国电力技术学校动力教研会锅炉专业组的全体同仁，两次对本书的编写大纲和初稿进行了初审。对于他们认真、仔细地审稿和所提建设性宝贵意见并帮助提供资料，编者表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免存在不妥甚至错误之处，欢迎读者指正。

编 者

1995年2月

第一章 绪论	1
第一节 锅炉的发展概况	1
第二节 锅炉的主要类型	2
第三节 锅炉的主要参数	3
第二章 燃烧计算	4
第一节 燃料的化学反应	4
第二节 燃料的空气需要量	5
第三节 烟气的组成及其容积计算	6
第四节 燃烧方程式	7
第五节 过量空气系数的计算	8
第六节 烟气焓的计算	9
第七节 燃料发热量的计算	10
第三章 锅炉热平衡	11
第一节 热平衡方程	11
第二节 输入锅炉的热量	12
第三节 锅炉的有效利用热量	13
第四节 机械不完全燃烧热损失	14
第五节 化学不完全燃烧热损失	15
第六节 排烟热损失	16
第七节 散热损失	17
第八节 炉墙与烟道热损失	18
第九节 锅炉热效率及燃料消耗量	19
第四章 锅炉系统	20
第一节 概述	20

目 录

前 言	1
绪 论	1
第一节 电站锅炉的地位和作用	1
第二节 锅炉的组成及工作过程	2
第三节 锅炉的主要特性参数	6
第四节 锅炉的分类和型号	6
第五节 电站锅炉的发展概况	8
复习思考题	9
第一篇 锅炉结构及原理	
第一章 燃料	10
第一节 概述	10
第二节 煤	11
第三节 燃油	21
复习思考题	22
第二章 燃烧计算	23
第一节 燃烧的化学反应	23
第二节 燃烧的空气需要量	24
第三节 烟气的组成及其容积计算	26
第四节 燃烧方程式	29
第五节 过量空气系数的计算	30
第六节 烟气焓的计算	33
复习思考题	35
第三章 锅炉热平衡	36
第一节 热平衡方程	36
第二节 输入锅炉的热量	37
第三节 锅炉的有效利用热量	38
第四节 机械不完全燃烧热损失	39
第五节 化学不完全燃烧热损失	42
第六节 排烟热损失	43
第七节 散热损失	44
第八节 炉渣物理热损失	45
第九节 锅炉热效率及燃料消耗量	46
复习思考题	47
第四章 制粉系统	49
第一节 概述	49

第二节 煤粉的特性	49
第三节 磨煤机	53
第四节 制粉系统	59
第五节 制粉系统的辅助设备	65
复习思考题	73
第五章 燃烧原理及燃烧设备	75
第一节 典型燃烧方式	77
第二节 煤粉燃烧过程的基本原理概述	84
第三节 煤粉燃烧器	108
第四节 点火装置	112
第五节 煤粉锅炉的炉膛	117
第六节 油的燃烧特点及燃烧设备	122
复习思考题	123
第六章 蒸发设备及水循环	123
第一节 蒸发设备	137
第二节 自然水循环的基本原理	141
第三节 自然水循环的故障	143
第四节 自然循环的安全性措施	145
第五节 强制流动锅炉概述	161
复习思考题	163
第七章 蒸汽的净化	163
第一节 蒸汽净化的意义	164
第二节 蒸汽的污染	167
第三节 提高蒸汽品质的途径	177
第四节 典型汽包内部装置示例	180
复习思考题	182
第八章 过热器、再热器及调温设备	182
第一节 概述	183
第二节 过热器的结构及汽温特性	190
第三节 再热器的结构特点	192
第四节 过热器与再热器的热偏差	197
第五节 汽温调节设备	203
第六节 过热器、再热器系统	211
第七节 过热器、再热器的高温积灰与高温腐蚀	212
复习思考题	214
第九章 省煤器与空气预热器	214
第一节 省煤器	218
第二节 空气预热器	224
第三节 尾部受热面的布置	225
第四节 受热面的积灰、磨损和低温腐蚀	231
复习思考题	232
第十章 锅炉的构架及炉墙	232

第一节 锅炉构架	232
第二节 锅炉炉墙	235
复习思考题	239
第十一章 锅炉整体布置及典型锅炉简介	240
第一节 锅炉整体的典型布置及其特点	240
第二节 典型锅炉简介	242
第三节 电站锅炉发展趋势简述	274
复习思考题	276

第二篇 锅 炉 运 行

第十二章 锅炉运行参数的调节	277
第一节 概述	277
第二节 汽压的控制和调节	277
第三节 汽温的控制和调节	281
第四节 汽包水位的控制和调节	287
第五节 锅炉工况变动的影响	290
第六节 直流锅炉的参数调节	296
复习思考题	299
第十三章 锅炉燃烧调节	300
第一节 概述	300
第二节 燃料量及风量的调节	300
第三节 燃烧器的调节和运行方式	303
第四节 制粉系统的运行	305
第五节 不同煤种的燃烧调节	311
复习思考题	312
第十四章 锅炉的启动和停炉	313
第一节 概述	313
第二节 单元制系统锅炉的启动	313
第三节 母管制系统锅炉的启动	322
第四节 锅炉停炉	324
第五节 直流锅炉的启停特点	328
复习思考题	333
第十五章 锅炉主要事故	334
第一节 水位事故	334
第二节 燃烧事故	336
第三节 受热面管损坏事故	338
第四节 锅炉负荷骤减	340
第五节 厂用电中断事故	340
复习思考题	340

绪 论

第一节 电站锅炉的地位和作用

锅炉是利用燃料燃烧放出的热量加热工质生产具有一定压力和温度的蒸汽的设备，也称为蒸汽锅炉。蒸汽锅炉按其用途的不同分为电站锅炉和工业锅炉。电站锅炉是指电力工业中专门用于生产电能的发电厂锅炉；而用于国民经济其他工业部门的锅炉，常称为工业锅炉。

发电方式因利用能源的不同，有火力发电、水力发电、地热发电、风力发电、太阳能发电以及原子能发电等多种。目前，世界上大多数国家，包括我国在内，主要采用火力发电。火力发电厂是利用煤、石油和天然气等燃料的化学能生产电能的发电厂。

锅炉在火力发电厂中的地位和作用，可以通过火力发电厂的生产过程来说明，如图0-1所示。燃料送入锅炉1中燃烧，产生的热量将水加热变成饱和蒸汽，经进一步加热后使之成为具有一定压力和温度的过热蒸汽；过热蒸汽通过管道送至汽轮机2中膨胀做功，高速汽流冲动汽轮机的转子并带动发电机3的转子一起旋转，利用导体切割磁力线产生感应电流的原理而发出电能。蒸汽在汽轮机中做完功以后排入凝汽器4，在其中被循环水泵11送来的冷却水冷却而凝结成水；凝结水经凝结水泵5升压后流经低压加热器6加热再送至除氧器7；在除氧器中利用从汽轮机（通过抽汽管10）抽出的蒸汽再加热，提高水温并除去水中的氧（防止腐蚀金属），然后由给水泵8再升压并经过高压加热器9进一步提高水温后送回锅炉，再重复上述循环过程。在这一过程中蒸汽和水总会有一些损失，故需要补给一些经过化学处理的水或蒸馏水，补给水通常送入除氧器中。

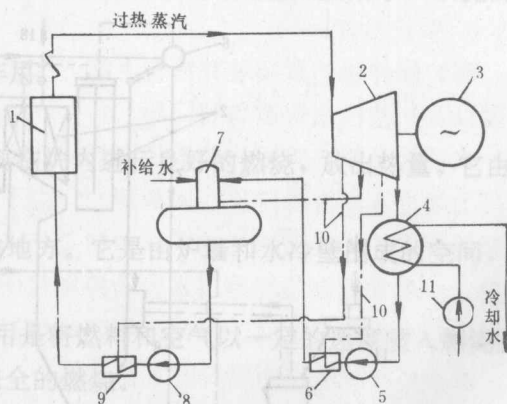


图0-1 火力发电厂的生产过程示意图
1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；
5—凝结水泵；6—低压加热器；7—除氧器；8—给
水泵；9—高压加热器；10—汽轮机抽汽管；
11—循环水泵

火力发电厂的生产过程是一个能量转换的过程。这个能量转换过程是通过火力发电厂的三大主要设备即锅炉、汽轮机和发电机来实现的。亦即在锅炉中，将燃料的化学能转换为蒸汽的热能；在汽轮机中，将蒸汽的热能转换为汽轮机转子的旋转机械能；在发电机中，将机械能转换为电能。

由上可知，锅炉是火力发电厂能量转换的首要环节。它在完成从燃料的化学能到蒸汽

的热能的转换过程中,生产并根据需要供给汽轮机以相应数量和规定质量(汽压、汽温等)的过热蒸汽。

由于火力发电厂的能量转换过程是连续进行的,因而运行中锅炉设备一旦发生故障,必将影响到整个电能生产的正常进行。此外,由于锅炉运行耗用大量燃料,因而它工作的好坏对整个电厂的经济性关系极大。可见,锅炉在火力发电厂生产过程中占有十分重要的地位。

电能生产的一个特点是电能一般不能储存,发电厂的发电量要随着外界负荷的改变而变化,因而发电厂锅炉所产生的蒸汽也必须根据外界的需要而经常变化,以保证及时输送相应数量和规定质量的蒸汽给汽轮机,满足用户的用电需要。

第二节 锅炉的组成及工作过程

锅炉设备包括锅炉本体设备和锅炉辅助设备两部分。这两部分包括的主要部件或设备在锅炉中的位置参见图 0-2。

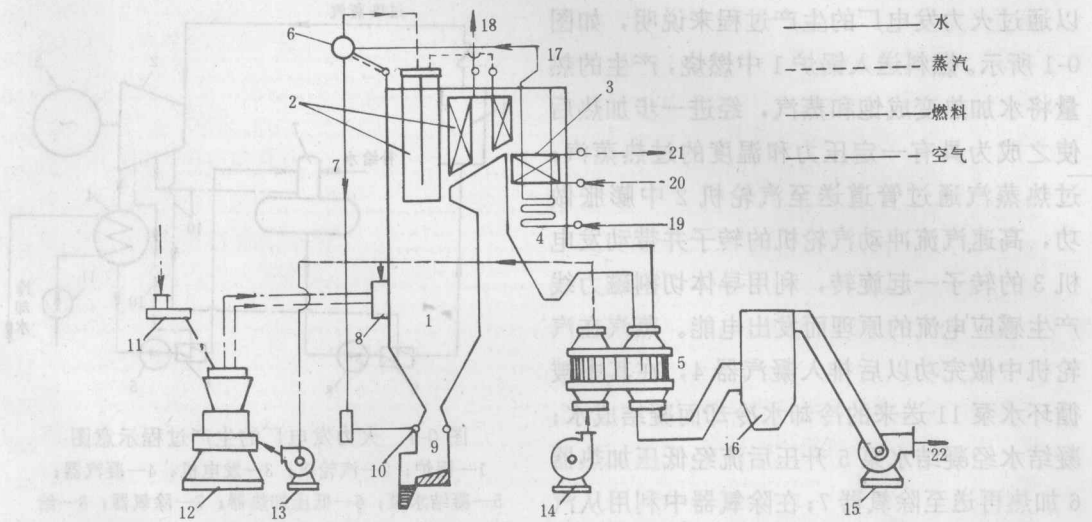


图 0-2 锅炉设备的组成及工作过程示意图

- 1—炉膛（四周墙上布置有水冷壁管）；2—过热器；3—再热器；4—省煤器；5—空气预热器；6—汽包；
7—下降管；8—燃烧器；9—除渣装置；10—水冷壁下联箱；11—给煤机；12—磨煤机；13—排粉机；
14—送风机；15—引风机；16—除尘器；17—省煤器出水；18—过热蒸汽出口（至汽轮机高压缸）；19—由给水泵来给水；20—汽轮机高压缸排汽；21—再热蒸汽出口（至汽轮机中、低压缸）；22—排烟至烟囱

下面先将锅炉各主要部件或设备的作用简述如下。

一、锅炉本体设备

1. 汽水系统

汽水系统即所谓“锅”，它的任务是吸收燃料燃烧放出的热量，使水蒸发并最后成为规

定压力和温度的过热蒸汽。它由汽包、下降管、水冷壁、过热器、再热器、省煤器、联箱等组成。

(1) 汽包 装在锅炉顶部，是一个圆筒形压力容器，其下部是水，上部是蒸汽。它接受省煤器的来水；汽包与下降管、水冷壁、联箱共同组成水循环回路；并将水冷壁中产生的饱和蒸汽输送至过热器。

(2) 下降管 水冷壁的供水管，即汽包中的水流入下降管并通过水冷壁下联箱分配到水冷壁的各上升管中去。

(3) 水冷壁 布置在燃烧室内四周墙上的许多平行的管子（因管内工质向上流动，也称为上升管）。它的主要任务是吸收燃烧室中的辐射热，使管内的水汽化，蒸汽就是在水冷壁管中产生的。它是现代锅炉的主要蒸发受热面。此外，它还起保护炉墙的作用。

(4) 过热器 它的作用是利用烟气的热量将饱和蒸汽加热成一定温度的过热蒸汽。

(5) 再热器 大多数装在过热器后的烟道中。它的作用是将汽轮机中做过部分功的蒸汽引回锅炉再次进行加热，提高温度后，又送往汽轮机中继续做功。经过再热器加热后的蒸汽称为再热蒸汽。

(6) 省煤器 装在锅炉尾部的垂直烟道中。它是利用烟气的热量加热给水，以提高给水温度，降低排烟温度，节约燃料消耗。

(7) 联箱 起汇集、混合和分配工质的作用。

2. 燃烧系统

燃烧系统即所谓“炉”，它的任务是使燃料在炉内进行良好的燃烧，放出热量。它由燃烧室、燃烧器、空气预热器等组成。

(1) 燃烧室 也叫炉膛，是供燃料燃烧的地方。它是由炉墙和水冷壁围成的空间，燃料在这种特定的空间中呈悬浮状态燃烧。

(2) 燃烧器 装在燃烧室的墙上。它的作用是将燃料和空气以一定的速度喷入燃烧室，并使燃料与空气进行良好的混合，达到迅速完全的燃烧。

(3) 空气预热器 布置在锅炉尾部烟道中。其作用是利用烟气余热加热空气。空气经过预热后再送入炉膛和制粉设备系统，对于燃烧、干燥和输送煤粉都是有利的。

3. 炉墙和构架

炉墙是用来构成封闭的燃烧室和一定形状的烟道，以使火焰和烟气与外界隔绝，为锅炉传热过程的正常进行提供必要的条件。

锅炉构架的作用是支承或悬吊汽包、锅炉受热面、炉墙等全部锅炉构件。

二、锅炉辅助设备

锅炉除上述本体设备以外，还需要一些辅助设备来配合工作，才能保证锅炉生产过程的正常进行。主要的辅助设备有：制粉设备、通风设备、给水设备、除灰设备、燃料运输设备以及一些锅炉附件。

1. 制粉设备

制粉设备即制造煤粉的设备。它的任务是将原煤干燥、磨碎成一定细度的煤粉，并送入炉膛燃烧。制粉设备一般由煤斗、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉机

2. 通风设备

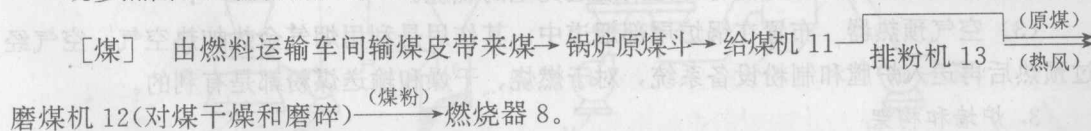
3. 给水设备

4. 除灰设备

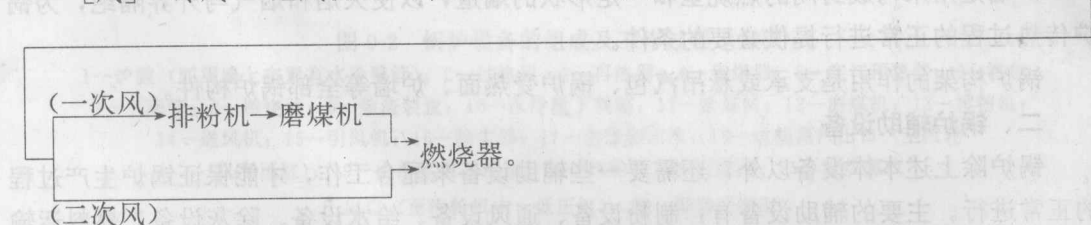
5. 燃料运输设备

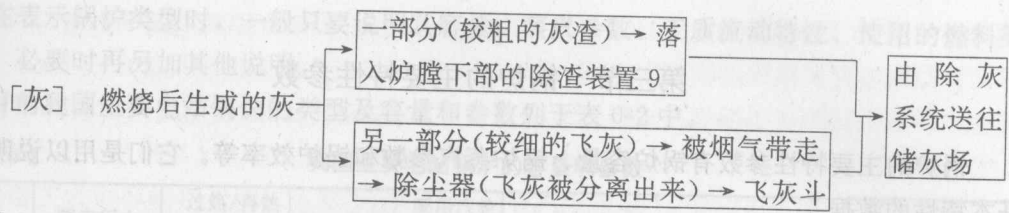
6. 锅炉附件

水位计是用来监视汽包水位高低的。安全门是锅炉的一种保护设备，用来控制锅炉蒸汽压力使之不超过规定值。吹灰器的作用是清除水冷壁、过热器、再热器、省煤器和空气预热器等锅炉受热面烟气侧表面的积灰，以增强传热效果。热工仪表是反应锅炉工作情况的表计。自动控制装置是用来自动控制和调节锅炉运行情况的。热工仪表和自动控制装置在发电厂中由专门的热工车间来管理和维修。



「风」 冷风 → 送风机 14 (升压) → 空气预热器 5 (加热成热风)





[水、汽] 给水泵来给水→锅炉房→省煤器 4(提高水温)→汽包 6→下降管 7→水冷壁下联箱 10→水冷壁(吸热, 变成汽水混合物)→回到汽包(进行汽水分离)

→分离出的水→下降管(继续循环, 直至变成蒸汽)。
 →分离出的蒸汽→过热器 2(过热蒸汽)→主蒸汽管道→汽轮机。

对再热锅炉: 蒸汽由汽轮机高压缸排出(汽温、汽压均降低)→再热蒸汽管道(冷段)→再热器 3(再热蒸汽)→再热蒸汽管道(热段)→汽轮机中、低压缸。

为了加深对锅炉设备的组成及其工作过程的了解, 在以上叙述的基础上, 下面再用方框图的形式按两大系统即燃烧系统(煤、风、烟、灰系统)和汽水系统将锅炉的工作流程表明出来, 见图 0-3 和图 0-4。

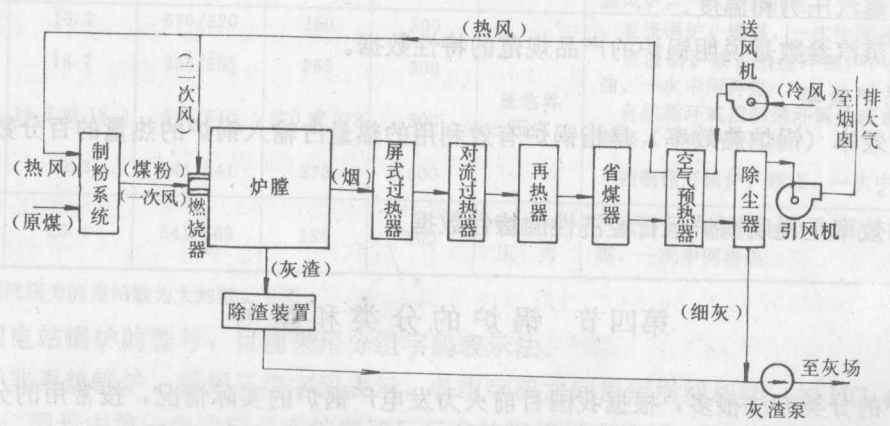


图 0-3 锅炉燃烧系统流程

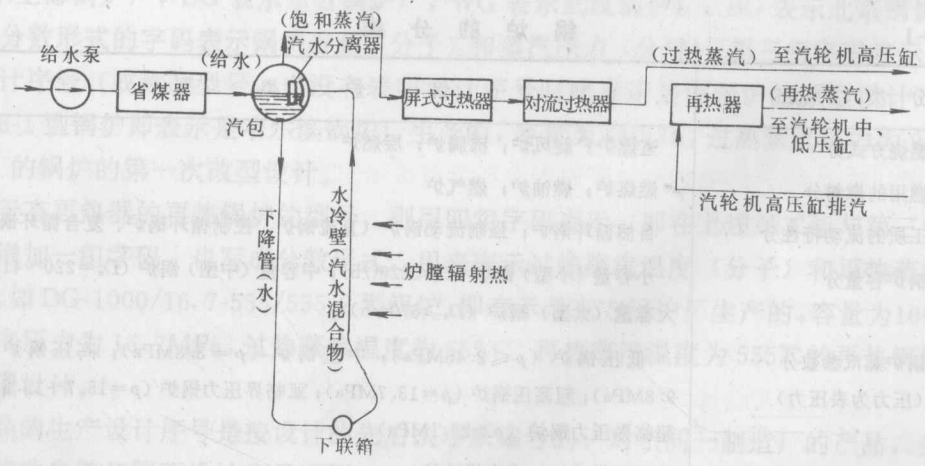


图 0-4 锅炉汽水系统流程

第三节 锅炉的主要特性参数

锅炉的主要特性参数有锅炉容量、锅炉蒸汽参数和锅炉效率等。它们是用以说明锅炉基本特性的数据。

1. 锅炉容量

锅炉每小时产生的蒸汽量称为锅炉蒸发量。锅炉在设计运行条件下的最大连续蒸发量叫做锅炉容量,也称为额定(设计)蒸发量或额定出力,用符号 D_e 表示,单位是 t/h。

锅炉容量是说明锅炉生产能力大小的特性数据。

2. 锅炉蒸汽参数

锅炉蒸汽参数一般是指按设计规定的锅炉过热器出口处过热蒸汽(也称主蒸汽或新蒸汽)的压力和温度。蒸汽压力用符号 p 表示,单位是 MPa;蒸汽温度用符号 t 表示,单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

对于再热锅炉,蒸汽参数还包括再热蒸汽的压力、温度和流量,一般还同时说明再热器进口的蒸汽压力和温度。

锅炉蒸汽参数是说明锅炉的产品规范的特性数据。

3. 锅炉效率

锅炉效率(锅炉热效率)是指锅炉有效利用的热量占输入锅炉的热量的百分数,用符号 η 表示。

锅炉效率是说明锅炉运行经济性的特性数据。

第四节 锅炉的分类和型号

锅炉的分类方法很多,根据我国目前火力发电厂锅炉的实际情况,按常用的分类方法可将锅炉分成如表 0-1 所列的各种类型。

表 0-1

锅 炉 的 分 类

分 类 方 法	锅 炉 类 型
1. 按燃烧方式分	室燃炉;旋风炉;沸腾炉;层燃炉
2. 按燃用的燃料分	燃煤炉;燃油炉;燃气炉
3. 按工质的流动特性分	自然循环锅炉;强制流动锅炉(直流锅炉、控制循环锅炉、复合循环锅炉)
4. 按锅炉容量分	小容量(小型)锅炉 ($D_e < 220\text{t/h}$); 中容量(中型)锅炉 ($D_e = 220 \sim 410\text{t/h}$); 大容量(大型)锅炉 ($D_e \geq 670\text{t/h}$)
5. 按锅炉蒸汽参数分 (压力为表压力)	低压锅炉 ($p \leq 2.45\text{MPa}$); 中压锅炉 ($p = 3.8\text{MPa}$); 高压锅炉 ($p = 9.8\text{MPa}$); 超高压锅炉 ($p = 13.7\text{MPa}$); 亚临界压力锅炉 ($p = 15.7 \sim 19.6\text{MPa}$); 超临界压力锅炉 ($p > 22.1\text{MPa}$)
6. 按燃煤炉的排渣方式分	固态排渣炉;液态排渣炉

在表示锅炉类型时，一般只要说明其容量、蒸汽参数、工质流动特性、使用的燃料等即可，必要时再另加其他说明。

目前我国主要电站锅炉的类型及容量和参数列于表 0-2 中。

表 0-2 我国主要电站锅炉的容量和参数

容量 (t/h)	蒸汽压力 (MPa, 表压)	过热/再热 蒸汽温度 (°C)	给水温度 (°C)	配用汽轮 发电机功率 (MW)	锅 炉 类 型	
35	3.8	450	150	6	中 压	自然循环室燃煤粉炉或层燃炉
65			150	12		自然循环层燃炉
75			150	12		自然循环室燃煤粉炉
120			170	25		自然循环室燃煤粉炉
130			170	25		自然循环室燃煤粉炉
220	9.8	540	215	50	高 压	自然循环锅炉，燃煤或燃油
230		510		50		自然循环锅炉，燃煤或燃油
410		540		100		自然循环锅炉，燃煤
400	13.7	555/555	240	125	超高压	自然循环锅炉或直流锅炉，燃煤或燃油，一次中间再热
670		540/540		200		自然循环锅炉，燃煤或燃油，室燃炉或旋风炉，一次中间再热
935	16.7	570/570	260	300	亚临界 压力	直流锅炉，燃煤，一次中间再热
1000	16.7	555/555	265	300		直流锅炉或自然循环锅炉，燃煤或燃油，一次中间再热
1025	16.7 或 18.3	540/540	270 或 278	300		自然循环或控制循环锅炉或直流锅炉，燃煤，一次中间再热
2008	18.3	541/541	278	600		控制循环锅炉，燃煤，一次中间再热
1900	25.4	541/569	286	600	超临界 压 力	螺旋水冷壁直流锅炉（系引进设备），燃煤，一次中间再热

注 蒸汽压力的兆帕数为大约数，下同。

我国电站锅炉的型号，目前采用分组字母表示法。

对于非再热锅炉，采用三组字母表示，各组字母之间用短横线相接，如 HG-410/9.8-1 型锅炉。型号中第一组字母是锅炉制造厂厂名的汉语拼音缩写，HG 表示哈尔滨锅炉厂，SG 表示上海锅炉厂，DG 表示东方锅炉厂，WG 表示武汉锅炉厂，BG 表示北京锅炉厂等；第二组分数形式的字母表示锅炉容量（分子）和蒸汽压力（分母）；第三组字母表示产品的生产设计序号（或称改型号，当没有表明设计序号时则表示是该锅炉的原型设计）。HG-410/9.8-1 型锅炉即表示是哈尔滨锅炉厂生产的，容量为 410t/h，过热蒸汽压力为 9.8MPa（表压）的锅炉的第一次改型设计。

对于有再热器的再热锅炉的型号，则用四组字母表示，即在上述第二组与第三组字母之间再增加一组字母，也写成分数形式，用来表示过热蒸汽温度（分子）和再热蒸汽温度（分母）。如 DG-1000/16.7-555/555-2 型锅炉，即表示是东方锅炉厂生产的，容量为 1000t/h，过热蒸汽压力为 16.7MPa，过热蒸汽温度为 555°C，再热蒸汽温度为 555°C 的再热锅炉的第二次改型设计。

产品的生产设计序号是按设计的先后次序来编号的。对于同一制造厂的产品，当锅炉的主要特性参数相同而设计序号不同时，一般是说明同一种类型的锅炉在新的设计中在结

构等方面进行了某些改动。如 HG-670/13.7-540/540-1 型和 HG-670/13.7-540/540-2 型锅炉, 它们的容量和蒸汽参数等都相同, 所不同的是: ①在燃烧方式和排渣方式上, 1 型为一般室燃炉固态排渣, 2 型为立式旋风炉液态排渣; ②在汽包内部装置上, 1 型为两段蒸发, 2 型为单段蒸发; ③在下降管结构型式上, 1 型采用小直径分散式, 2 型采用大直径集中式; ④在再热汽温的调节方法上, 1 型采用汽-汽热交换器, 2 型采用烟气再循环作为主要的调温手段等。

有的还将某型号锅炉所用的燃料种类, 用汉语拼音字母表明在锅炉型号的最末一组字母中 (写在设计序号之前)。如 SG-1025/16.7-M 型锅炉, 表示是上海锅炉厂生产的, 容量为 1025t/h, 过热蒸汽压力为 16.7MPa, 燃煤, 系原型设计; 又如 SG-1000/16.7-MY1 型锅炉, 表示是上海锅炉厂生产的, 容量为 1000t/h, 过热蒸汽压力为 16.7MPa, 燃料为煤油两用, 系第一次改型设计。

第五节 电站锅炉的发展概况

建国以来, 我国电力工业得到了迅速的发展。至 1990 年我国总装机容量和发电量已居世界第四位, 仅次于美国、苏联和日本; 至 1992 年总装机容量达到 166532MW (其中火电装机容量为 125852MW), 总发电量达到 7542 亿 kW·h (其中火力发电量为 6227.2 亿 kW·h), 较解放前有了成百倍的增长; 先后建立了哈尔滨、上海、东方、武汉等几个大型的电站锅炉制造厂。1955 年开始生产 40t/h 中压锅炉 (配用 6MW 汽轮发电机组), 1958 年就自行设计制造了 230t/h 高压锅炉 (配用 50MW 汽轮发电机组), 60 年代以后相继制造出了 410、400、670、1000t/h 以及 2000t/h 级等高压、超高压、亚临界压力锅炉 (分别配用 100、125、200、300MW 以及 600MW 汽轮发电机组), 并逐渐形成了我国自己的电站锅炉生产系列。目前 1000MW 以上的大电站我国已有 20 余座。进入 90 年代, 我国火力发电以更高的速度发展, 自制的 300MW 和 600MW 机组已批量生产, 成为发展火力发电容量的主要机组, 每年新增装机容量在 10000MW 以上; 核电建设已开始起步, 300MW 和 900MW 核电机组已经投运。我国电力事业的发展进入了一个新的里程。

随着现代高参数大容量锅炉的成批投入生产, 我国电站锅炉的运行管理水平也在迅速提高, 事故逐年减少, 锅炉效率基本都能达到设计要求, 发电煤耗比解放前降低了一半多, 机械化自动化程度也在不断提高。当然, 与世界先进水平相比, 目前我国还有很大的差距。

当前, 电站锅炉仍明显地向着大容量高参数采用先进控制技术方向发展。在工业发达国家中, 多年来已普遍采用 1000~2000t/h 的锅炉; 4000t/h 级的锅炉也已有数十台投入运行, 如美国自 1972 年至 80 年代初就已有 5 台 4200t/h 和 4400t/h 级的超临界压力锅炉 (配 1300MW 和 1380MW 机组) 投产运行; 日本 1974 年就已有 3180t/h 的超临界压力锅炉 (配 1000MW 机组) 投入运行; 原苏联 1978 年就已有 3800t/h 的超临界压力直流锅炉 (配 1200MW 机组) 投入运行。国外容量在 2000MW 以上的大电站目前约有 100 座 (日本鹿岛电站装机容量 70 年代就已达 4400MW)。锅炉的蒸汽参数, 目前广泛采用亚临界压力和超临界压力; 蒸汽温度从金属的耐温条件来考虑多数限制在 540℃ 以内, 如英、法等国目前

600MW 容量级的机组的配套锅炉主要采用亚临界压力 16.6~18.9MPa, 过热和再热蒸汽温度为 525~540℃。锅炉使用的燃料, 各国仍以煤和油为主。在锅炉水循环方式上, 采用自然循环和直流锅炉仍占多数, 但近些年来控制循环和复合循环锅炉的应用逐渐增多。

一、煤的组成及其性质

复习思考题

- 0-1 说明火力发电厂的能量转换过程, 锅炉在这个能量转换过程中起什么作用?
- 0-2 锅炉本体由哪些主要设备构成? 锅炉的主要辅助设备有哪些?
- 0-3 按燃烧系统和汽水系统说明锅炉设备的工作过程。
- 0-4 我国电站锅炉的型号是如何表示的? 举例说明之。

煤是由多种有机化合物和无机化合物组成的混合物。煤的组成及其性质是锅炉设计、运行和管理的基础。煤的组成通常分为元素组成和工业分析两部分。

元素组成是指煤中各种元素的含量，通常用质量百分数表示。煤的主要元素有碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)和灰分(Ash)。碳是煤中最主要的元素，其含量一般在 70%~90% 之间。氢的含量一般在 4%~6% 之间。氧的含量一般在 10%~20% 之间。氮的含量一般在 1%~2% 之间。硫的含量一般在 0.1%~0.5% 之间。灰分是煤中不可燃的无机物质，其含量一般在 5%~20% 之间。

工业分析是指煤的挥发分(V)、固定碳(F)、水分(M)和灰分(A)的含量。挥发分是指煤在加热过程中释放出的气体，其含量一般在 10%~30% 之间。固定碳是指煤在加热过程中剩余的固体物质，其含量一般在 70%~90% 之间。水分是指煤中的水分含量，其含量一般在 1%~10% 之间。灰分是指煤中的灰分含量，其含量一般在 5%~20% 之间。

煤的性质是指煤的燃烧性能、热值、挥发分、水分、灰分等。煤的燃烧性能是指煤在燃烧过程中释放出的热量，其热值一般在 20~30 MJ/kg 之间。煤的挥发分是指煤在加热过程中释放出的气体，其含量一般在 10%~30% 之间。煤的水分是指煤中的水分含量，其含量一般在 1%~10% 之间。煤的灰分是指煤中的灰分含量，其含量一般在 5%~20% 之间。

煤的组成及其性质对锅炉的设计和运行有着重要的影响。在锅炉设计中，需要根据煤的组成和性质来选择合适的燃烧方式和锅炉结构。在锅炉运行中，需要根据煤的组成和性质来调整燃烧参数，以保证锅炉的安全、稳定和高效运行。

第一篇 锅炉结构及原理

第一章 燃 料

第一节 概 述

电厂锅炉所用的燃料一般是指可以燃烧并能放出相当热量的物质。

燃料是火力发电厂的能源。在火力发电厂中，必须不间断地将燃料送入锅炉的炉膛燃烧放热，才能保证生产过程的连续进行。锅炉和整个发电厂运行的安全性、经济性，以及燃烧设备的选用等都与燃料有密切的关系。因此，了解燃料的组成和特性是十分重要的。

燃料的种类很多，按其物理形态及获得方法的分类见表 1-1 所列。

表 1-1

燃料的种类

按物理形态分 \ 按获得方法分	天 然 燃 料	人 工 燃 料
固 体 燃 料	煤、页岩、木材	煤粉、焦炭、木炭等
液 体 燃 料	石 油	重油、柴油、煤油、汽油等
气 体 燃 料	天 然 煤 气	高炉煤气、焦炉煤气、发生炉煤气、地下气化煤气等

燃料不仅可以用来燃烧产生热量，而且也是化学、冶金等工业的宝贵原料，如从石油、天然气中可以提炼或加工制造出许多化工产品。有些工业部门对燃料的特性还有一定的要求，如冶金工业对炼焦用煤要求具有良好的焦结性及含硫量要少，航空航天、国防工业要求燃用发热量高、含杂质少的轻质油等。如果把其他工业需要的燃料用作火力发电厂的动力燃料，则只能取其热量，而不能做到物尽其用。因此，合理地利用燃料，对发展国民经济具有重要的意义。

发电厂锅炉是耗用大量燃料的动力设备。根据以上所述，火力发电厂锅炉对燃料的利用原则应考虑以下几点：一是尽量不用其他工业部门所必须的燃料（特别是优质燃料），并通过技术经济比较尽量利用劣质燃料（含杂质较多，燃烧比较困难，在其他方面没有多大经济价值的燃料），以保证国家的燃料资源得到充分合理的利用；二是尽量利用当地燃料，以减轻运输负担，促进各地区天然资源的开发利用。根据国家当前的能源政策，火力发电厂锅炉的燃料以煤为主，应少用油，且不用原油（石油）和天然气。

我国燃油锅炉为数不多，一般都是燃用石油经炼制后的残余物（如重油）。燃气锅炉的数量也很少，主要是燃用冶金企业的副产品（如高炉煤气、焦炉煤气）。我国火力发电厂主要是燃煤锅炉，即主要燃料是煤，因此本章以介绍煤为主。