

热 力 发 电 厂

保定电力学校 赵永民 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书包括锅炉设备、汽轮机设备、发电厂的型式及热经济性分析、发电厂的热力系统及设备、发电厂辅助生产系统及经济运行等内容。本书的编写除注重基本理论和基本概念的阐述外,还注意结合生产实际,反映新技术的应用,叙述力求深入浅出,通俗易懂。

本书为电力技校电厂热能动力设备运行与检修专业、电厂锅炉设备运行与检修专业及电厂汽轮机设备运行与检修专业的教材,也可供电力工业学校及中等专业学校相关专业使用,还可作为发电厂热机专业人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

热力发电厂/赵永民主编. -北京:中国电力出版社,
1996

技工学校教材

ISBN 7-80125-192-6

I. 热... 赵... 热力发电厂-技工学校-教材
IV. TM621

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第03617号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

通县滨河印刷厂

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1996年11月第一版 1996年11月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22印张 498千字 4插页

印数0001—4590册 定价19.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是根据中国电力企业联合会教育培训部《1989~1993年电力技工学校教材建设规划》及1988年3月原水利电力部教育司制定的水利电力技工学校教学计划和教学大纲而编写的。在编写过程中，热动类教学研究会曾对编写提纲进行过认真讨论，并提出了许多建设性意见。

本书为电力技校电厂热能动力设备运行与检修专业、电厂锅炉设备运行与检修专业及电厂汽轮机设备运行与检修专业教材，也可供电力中专电厂热能动力设备专业、热力发电厂运行专业，电力工业学校相关专业，以及电厂热机专业人员培训使用。书中列举的系统及设备实例较多，使用时应根据实际的需要选择。

本书由保定电力学校赵永民主编，并编写绪论、第七、八、九、十一、十二章，天津电力技工学校王玉琴编写第一、二、三章，河南电力技工学校童华美编写第四、五、六章，保定电力学校贾守忠编写第十、十四章，博山电力技术学校浦江编写第十三、十五章。由湖州电力技工学校吴永规主审。

本书编写过程中，得到有关电力设计院、发电厂、制造厂及兄弟学校的大力支持，湖北电业技术学校吴志敏，保定电力学校宋明祥、王玉清及贵阳电力技工学校辛克坦等同志校阅了有关篇章的书稿，保定电力学校杨作梁协助主编统稿，在此一并表示感谢。

衷心希望读者对书中的缺点和错误给予批评和指正。

编 者

一九九六年一月

目 录

前言

绪论.....	1
---------	---

第一篇 锅 炉 设 备

第一章 锅炉设备概况	4
第一节 锅炉的组成及工作过程	4
第二节 锅炉设备基本特性、分类及型号	7
第二章 锅炉的燃烧系统及其设备	10
第一节 燃料	10
第二节 煤粉制造设备及系统	15
第三节 燃料燃烧的基本知识	24
第四节 锅炉热平衡及热效率	28
第五节 锅炉的燃烧设备	30
第六节 锅炉的烟风系统	38
第三章 锅炉的汽水系统及设备	43
第一节 自然循环锅炉的蒸发设备	43
第二节 蒸汽净化	45
第三节 锅炉的水循环及系统	47
第四节 省煤器	54
第五节 过热器与再热器	56
第六节 锅炉主要参数的调节	64

第二篇 汽 轮 机 设 备

第四章 汽轮机的工作原理及分类	69
第一节 汽轮机的一般概念	69
第二节 汽轮机级的工作原理	74
第三节 多级汽轮机	80
第五章 汽轮机结构	84
第一节 汽轮机主要部件结构	84
第二节 典型汽轮机结构简介	103
第三节 汽轮机调节的任务及基本原理	105
第四节 汽轮机的油系统	110
第六章 汽轮机辅助设备	114
第一节 凝汽设备	114

第二节 抽气设备	119
第三篇 热力发电厂的型式及热经济性分析	
第七章 纯凝汽式发电厂及其热经济性	123
第一节 发电厂的基本热力循环	123
第二节 纯凝汽式发电厂的损失及其效率	124
第三节 纯凝汽式发电厂的主要热经济指标	128
第八章 提高发电厂热经济性的主要途径	130
第一节 热电联合生产——热电厂	130
第二节 提高蒸汽初参数及降低终参数	135
第三节 蒸汽中间再热	144
第四节 给水回热加热	149
第四篇 热力发电厂的热力系统及设备	
第九章 给水回热加热系统	159
第一节 加热器	159
第二节 给水回热加热系统	170
第三节 加热器的疏水装置和保护装置	181
第四节 回热加热器的运行	192
第十章 发电厂的工质补充处理及回收利用系统	197
第一节 发电厂的汽水损失及其补充	197
第二节 锅炉水处理	199
第三节 蒸发设备及其热力系统	201
第四节 锅炉连续排污利用系统	203
第五节 发电厂疏放水系统	206
第六节 锅炉给水除氧原理及系统	207
第十一章 热电厂的供热系统及设备	223
第一节 热电厂对外供热方式及供热调节的概念	223
第二节 热电厂供热管道系统及设备	226
第十二章 发电厂热力系统	230
第一节 发电厂热力系统概念	230
第二节 典型机组原则性热力系统	231
第三节 发电厂主要设备配置	246
第四节 主蒸汽管道系统	248
第五节 中间再热机组的旁路系统	252
第六节 给水管道系统	264
第七节 发电厂全面性热力系统介绍	269
第五篇 发电厂辅助生产系统及经济运行	
第十三章 发电厂的管道和附件	276

第一节	管道的规范与材料	276
第二节	阀门	280
第三节	管道的膨胀、补偿、支持、保温和涂色	288
第四节	管道的运行与维护	295
第十四章	发电厂辅助生产系统	298
第一节	燃料运输系统	298
第二节	发电厂除尘	308
第三节	发电厂除灰	314
第四节	发电厂的冷却与供水	319
第五节	发电机的冷却系统	325
第十五章	发电厂的经济运行	329
第一节	发电厂的主要技术经济指标	329
第二节	并列运行机组间负荷的经济分配	332
第三节	发电厂主要辅助设备的经济运行	337
参考文献		344

绪 论

一、电力工业在国民经济中的作用和地位

电力工业是一种转化能源的工业，它主要是把一次能源（如煤、水力、石油、核燃料等）转化为二次能源——电能，并供应给用户使用。

电能有很多优点：①电能可以很容易地被转化为其他形式的能（如机械能、光能、热能、化学能以及电磁波能等）；②电能便于“运输”，利用高压或超高压线路在损失很小的情况下，可把大量电能输送到上百乃至上千公里外的地方；③电能可以利用天然能源（如煤、水力等）大规模集中生产；④利用电能可以实现许多特殊的工艺过程（如电解、电焊、电火花加工、高频表面淬火等）；⑤利用电能可以实现生产过程的高度机械化和自动化，从而改善劳动条件和提高劳动生产率；⑥利用电能代替其他形式的能，可提高能源的利用率，从而减少一次能源的总消耗（如利用电力机车代替热效率只有5%~8%的蒸汽机车）；⑦使用电能有利于环境保护和改善生活条件，提高人类的文明程度。因此，电力已成为各行各业和人民生活不可缺少的优质能源，得到了极为广泛的应用。

电力工业在国民经济和人民生活中的作用就是为实现工业、农业、交通运输、国防和人民生活现代化提供动力。电力工业在国民经济和人民生活中有着极其重要而且不可替代的地位，它是国民经济发展的基础，是国民经济的先行工业，电力是提高和改善人民物质文化生活的必不可少的前提条件。

二、电力生产的特点和对电力生产的基本要求

电力生产过程与其他商品的生产相比，有如下特点：①电能的生产、供应（包括输送和分配）和消费三个环节必须同时完成，这是因为电能不能像其他商品那样保持自己的性质不变而大量储存；②电力生产与各个用电部门的关系异常密切，这是由于电力用户通过输电线路与发电厂形成了一个统一的整体，当发电厂出现事故时马上会牵联到电力用户，影响其正常生产，也正是因为如此，电厂事故造成的损失不能简单地用电厂的直接经济损失来计量，它所造成的间接经济损失是无法计量的；③过渡过程非常迅速，这是由于电是以光的速度而传播，电力负荷时时刻刻都在发生着变化，而故障的出现更是瞬间完成的，这就要求电力生产的调节和保护具有高度的自动化。

为了更好地满足各行各业和人民生活的用电需要，电力生产应满足以下基本要求：

1. 要保证可靠持续地供电

如果供电中断，轻则影响生产，给生活带来不便，严重时会造成设备损坏和人身伤亡，所以，电力生产要尽可能的保证可靠持续地供电，做到安全第一。

2. 要保证良好的供电质量

电能质量的好坏，决定了用电设备能否正常工作，如果电能质量长时间不合格或短时偏离额定值太多，不仅会影响用户的产品质量，还会影响用电设备的使用寿命。

3. 要保证生产过程有足够高的经济性

电力生产用煤约占全国煤炭产量的 $1/4$ 。若每发 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电量节约 1g 煤, 按 1990 年的全国发电量计算, 一年可节煤 900 万 t, 而我国发 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电量的煤耗比国外先进水平要高出好几十克, 所以, 我们的节煤潜力还十分巨大。

三、热力发电厂的类型

在我国电力工业中, 热力发电厂起着骨干作用。所谓热力发电厂是指以热功转换为主要能量转换形式的发电厂的通称。根据不同的分类方法, 热力发电厂可划分为不同的类别。

(1) 根据所利用能源的不同可分为: ①燃煤发电厂; ②燃油发电厂; ③燃气发电厂; ④原子能发电厂; ⑤地热发电厂; ⑥太阳能发电厂。

(2) 根据发电厂提供能量的不同可分为: ①凝汽式发电厂; ②热电厂。

(3) 根据发电厂所采用原动机的不同可分为: ①汽轮机发电厂; ②燃气轮机发电厂; ③内燃机发电厂。

(4) 根据发电厂所承担负荷的不同可分为: ①基本负荷发电厂; ②调峰负荷发电厂。

(5) 根据发电厂装机总容量的不同可分为: ①小容量发电厂 (25MW 以下); ②中容量发电厂 ($25\sim 250\text{MW}$); ③大容量发电厂 (250MW 以上)。

(6) 根据蒸汽初参数的不同可分为: ①中、低压发电厂 (3.92MPa 以下); ②高压发电厂 ($5.88\sim 9.80\text{MPa}$); ③超高压发电厂 ($11.76\sim 13.72\text{MPa}$); ④亚临界压力发电厂 ($15.68\sim 17.64\text{MPa}$); ⑤超临界压力发电厂 (22.15MPa 以上)。

(7) 根据发电厂所处位置的不同可分为: ①矿口、港口或路口发电厂; ②负荷中心发电厂; ③中间发电厂。

(8) 根据发电厂服务规模的不同可分为: ①区域性发电厂; ②自备发电厂; ③列车电站或船舶电站。

对我国, 现代的热力发电厂主要是燃煤的高参数大容量汽轮机发电厂。

四、我国电力工业发展概况

我国电力工业已有百余年的历史, 旧中国电力工业发展缓慢, 技术水平落后。自 1882 年我国第一座发电厂在上海投产以来至 1949 年近 70 年的时间, 全国总装机容量仅 1850MW , 发电设备大多数是中小容量和中低参数的机组, 全国只有一套高压机组。1949 年, 全国总发电量仅达 4.3TWh , 人均不足 10kWh 。

自 1949 年中华人民共和国成立以来, 党和政府非常重视电力工业的发展。经过四十多年的努力奋斗, 电力工业从小到大, 从完全依靠外国搞设计、提供设备和施工安装到基本立足国内, 建立起了一套完整的初具规模的电力工业体系。到 1993 年底, 全国发电设备装机容量已达 182911MW , 年发电量达 837.4TWh 。现在我国已能制造具有 80 年代初世界先进水平的单机容量为 300MW 和 600MW 的大型火力发电机组, 依靠自己力量设计制造的 300MW 核电机组已投入商业运行。目前, 在我国运行的核电机组的单机容量已经达 900MW 。

我国电力工业发展的技术政策是根据我国能源资源特点, 继续发展火力发电, 优先开发水电, 近期适当发展核电, 因地制宜地开发新能源和再生能源。在发展火电技术上要采

用高参数、高效率、低污染、具有较大调峰能力的大容量机组，要大力兴建坑口、港口、路口火电站群，在“富煤缺水”地区要发展空冷电站。要着重开发新型洁净煤燃烧发电技术。

火力发电厂的装备，在近期及 2000 年以后一段时期，要以亚临界参数的 300MW、600MW 机组为主，重点发展 600MW 机组，逐步采用 600MW 和 1000MW 级的超临界压力机组，进一步开发大容量空冷机组和循环流化床锅炉，研制燃煤联合循环发电机组。

五、本课程的性质和任务

《热力发电厂》是一门政策性强、综合性强、实用性强与电厂生产实际紧密相联的主要专业课。

通过本课程学习，要求掌握火力发电厂的生产过程及热力系统的组成及连接、设备之间的有机联系及相互影响，熟悉系统中设备的原理、结构、作用及运行，了解影响发电厂热经济性的因素及提高发电厂热经济性的原理和措施。为从事发电厂运行、检修和管理工作提供必要的专业知识，确保发电厂安全、经济运行。

第一篇 锅 炉 设 备

第一章 锅 炉 设 备 概 况

第一节 锅炉的组成及工作过程

一、锅炉在发电厂中的地位和作用

火力发电厂生产电能的过程是一系列能量的转换过程，电能的生产过程，在三大主要设备锅炉、汽轮机和发电机中完成。在锅炉中，燃料的化学能转换成蒸汽的热能；在汽轮机中，蒸汽的热能转换为汽轮机转动轴所传递的机械能；发电机利用电磁感应原理，将旋转机械能转换为电能。锅炉是火力发电厂能量转换过程的首要环节，是生产电能三大主要设备之一。

锅炉是使燃料燃烧释放出来热能，并将不断输入的水（称作给水）加热成具有一定压力和温度的过热蒸汽的设备，它为汽轮发电机生产电能提供动力。

锅炉在运行中节约燃料的多少、效率的高低，在很大程度上决定发电成本，直接影响火力发电厂的经济性。锅炉运行工作的安全状况，即锅炉能否连续不断地提供保质、保量的蒸汽，直接影响火力发电厂的安全发电。由此可知，锅炉在火力发电厂生产过程中占有十分重要的地位。

二、电站锅炉的组成及工作过程

现代火力发电厂的锅炉设备，体积庞大、结构复杂。归总起来，锅炉设备是由锅炉本体设备、锅炉辅助设备、锅炉附件及管路系统组成。

（一）锅炉本体设备

锅炉本体是锅炉设备的主要组成部分。它是由“锅”——汽水系统和“炉”——燃料燃烧系统两大部分及炉墙构架等组成。

1. 锅炉汽水系统的组成及工作过程

锅炉的汽水系统是由省煤器、汽包、下降管和水冷壁等组成的给水预热和蒸发设备，过热器、再热器组成的蒸汽加热设备组成的。锅炉汽水系统的任务是使水吸热蒸发并过热，生产出具有一定压力和温度的过热蒸汽。

（1）省煤器：利用烟气的热量加热给水的热交换装置。它能降低锅炉的排烟温度，节省燃料，提高锅炉效率。同时提高进入汽包的水温，降低汽包壁的热应力。省煤器是由许多并列平行放置在锅炉尾部烟道中的蛇形管组成。给水是由高压加热器出口引来，经省煤器预热后送往汽包。

（2）汽包：呈圆筒形的受压容器，布置在锅炉的顶部。汽包容积的上半部是饱和蒸汽，

下半部是饱和水。汽包与下降管、水冷壁及联箱等共同组成水循环回路。它是汽与水汇集、分离和蒸汽净化的场所。出口的饱和蒸汽送往蒸汽的过热装置。

(3) 下降管：水冷壁的供水管。现代电厂锅炉的下降管由数根垂直管沿汽包长度方向均匀并列装置在汽包下部。管的上口与汽包底部相通，下口与水冷壁下联箱连通。水通过水冷壁下联箱均匀分配到水冷壁各管中。

(4) 水冷壁：吸收炉膛内辐射热，使管内水达到饱和状态，产生饱和蒸汽，并保护炉墙，是现代电厂锅炉的主要蒸发受热面。水冷壁由布置在炉膛内壁四周的许多垂直管组成。上通汽包，下接水冷壁下联箱。

(5) 过热器：蒸汽的过热装置。它是由许多顶棚管、包覆管、管屏和并列平行布置在烟道中的蛇形管所组成。

(6) 再热器：现代大容量、超高参数的发电机组中，锅炉装置再热器。布置在锅炉过热器受热面后的烟道中，由并列的蛇形管组成。作用是将汽轮机高压缸做过功的蒸汽引回锅炉，经再热器再加热，提高蒸汽温度后送到汽轮机的中、低压缸继续做功，提高发电厂循环热效率。

汽水系统的工作过程：锅炉给水经过给水泵升压，通过高压加热器加热，送至锅炉省煤器。在省煤器中给水吸收管外烟气热量继续预热升温。然后，给水进入汽包，由下降管（不受热）引至水冷壁下联箱。下联箱汇集并分配水至各水冷壁管。在水冷壁管内水通过管壁吸收炉膛高温辐射热，使部分水汽化。汽水混合物沿水冷壁管上升进入汽包。经过汽包内部汽水分离和净化装置后，蒸汽送入过热器进一步加热成具有一定压力和温度的过热蒸汽向汽轮机供汽；水继续沿循环回路循环。

2. 锅炉燃烧系统的组成及工作过程

煤粉锅炉的燃烧系统由燃烧器、炉膛、烟道和空气预热器等组成，亦称锅炉的“炉”。它的任务是使煤粉完全迅速燃烧放热。

(1) 炉膛：亦称燃烧室，是供煤粉燃烧的场所。它是由炉墙和水冷壁围成的空间，煤粉和空气由燃烧器喷入，在特定的空间中呈悬浮状燃烧。

(2) 燃烧器：它将煤粉与空气以一定速度喷入炉膛，造成二者良好混合，促使煤粉迅速完全燃烧。

(3) 空气预热器：利用锅炉的排烟余热加热空气的热交换装置。热空气有利于煤粉的干燥、输送和燃烧。

燃烧系统的工作过程：冷空气由送风机送入空气预热器后，吸收锅炉排烟余热，被加热成热空气。热空气的一部分作为制粉系统的干燥剂，并输送煤粉经燃烧器进入炉膛；另一部分直接经燃烧器喷入炉膛，为煤粉燃烧提供空气。通常把输送煤粉进炉膛的空气称作一次风；直接经燃烧器喷入炉膛为煤粉助燃的空气，称作二次风。

3. 炉墙和构架：炉墙用来构筑成一定形状的炉膛及烟道，使火焰或烟气与大气隔绝，起保温和密封作用。锅炉的构架在炉墙的外侧，它支承或悬吊锅炉的受热面、汽包、炉墙和平台走梯等锅炉的全部构件质量。

“锅”和“炉”的工作过程即是锅炉本体的工作过程，亦是热量的交换过程——燃料放

热、水和蒸汽的吸热升温过程。

（二）锅炉附件

锅炉附件包括水位计、安全门、吹灰器、防爆门以及膨胀指示器等。它们的作用是为了保证锅炉本体的安全和经济运行。

（三）锅炉辅助设备系统的组成及作用

锅炉本体的运行工作必须有辅助设备系统的配合才能正常进行。锅炉的主要辅助设备系统有：给水系统、通风系统、燃料储运系统、制粉系统、除尘除灰系统以及热工仪表自动控制系统等。

1. 给水系统

给水系统由给水泵、给水管道和阀门等组成，其任务是保证连续可靠的向锅炉供水。通常把给水泵吸水侧以前的管道系统称作低压给水管道系统；给水泵出水侧以后的管道系统称为高压给水管道系统。

2. 通风系统

通风系统有送风系统和排烟系统两部分。送风系统是由送风机、风道（空气预热器入口前的风道称作冷风道；空气预热器出口侧以后的风道称作热风道）、风门等组成。其任务是供给锅炉燃料燃烧和制粉系统所需要的空气；排烟系统是由引风机、烟道、闸门和烟囱等组成。其任务是排除炉膛燃料燃烧后所产生的烟气。

通风系统的正常工作是保证锅炉燃料迅速完全燃烧，烟气与对流受热面正常换热的先决条件。

3. 燃料储运系统

燃料的储运系统任务是：在储煤场中，储存足够锅炉燃用一定时间的燃料。并将燃料从储煤场运输到锅炉原煤仓中。它是由储煤场、卸煤装置、碎煤装置、原煤仓和皮带输煤机等组成。

4. 制粉系统

制粉系统是由原煤仓、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉机、给粉机、煤粉仓、煤粉管道以及闸门等组成。它们的任务是干燥、磨制、储运并输送煤粉经燃烧器进入炉膛。根据发电厂锅炉燃用的燃料性质，选用不同类型的磨煤机，组成不同形式的制粉系统。例如直吹式制粉系统通常选用中速或高速磨煤机；中间储仓式制粉系统通常选用低速筒型球磨机。

5. 除尘除灰系统

除尘器和除灰系统组成除尘除灰系统。除尘器的作用是清除烟气携带的飞灰，尽量减少烟囱排烟对大气的污染，减轻烟气对引风机的磨损；除灰系统（以水力除灰为例）是由碎渣机、冲灰水泵、灰沟、冲灰器、灰渣泵、灰渣管道及储灰场等组成。任务是清除燃料燃烧后从锅炉冷灰斗排出的灰渣和除尘器分离出来的细灰，将它们送往储灰场。现代火力发电厂大多采用水力除灰系统（亦称灰渣泵水力除灰系统）。

6. 热工仪表和自动控制系统

热工仪表是反映热力过程参数变化的表计，任务是帮助运行工作人员监视、测量和记

录锅炉运行工况。自动控制系统是利用各种现代化的自动控制装置，自动控制和调节锅炉运行，代替部分人工的手动操作。

组成锅炉的主要设备及系统见表 1-1 所列。连接系统见图 1-1。

表 1-1 锅炉设备的组成

组成部分的名称	组成系统的部件名称
锅炉本体	1. 汽水系统：汽包、下降管、水冷壁、省煤器、过热器、再热器、联箱等 2. 燃烧系统：炉膛、燃烧器、空气预热器、烟道、风道等 3. 炉墙、构架、平台、走梯等
锅炉附件	水位计、安全门、吹灰器、防爆门等
锅炉辅助设备系统	1. 给水系统：给水泵、管道、阀门等 2. 通风系统：送风机、引风机、风道、烟道、闸门等 3. 燃料储运系统：储煤场、卸煤装置、运煤装置、碎煤装置、煤仓等 4. 制粉系统：给煤机、磨煤机、排粉机、给粉机、粗细粉分离器、原煤仓、煤粉仓、煤粉管道、闸门等 5. 除尘除灰系统：除尘器、冲灰泵、灰渣泵、灰沟等 6. 热工仪表及自动控制系统：各种表计和自动调节、控制装置等

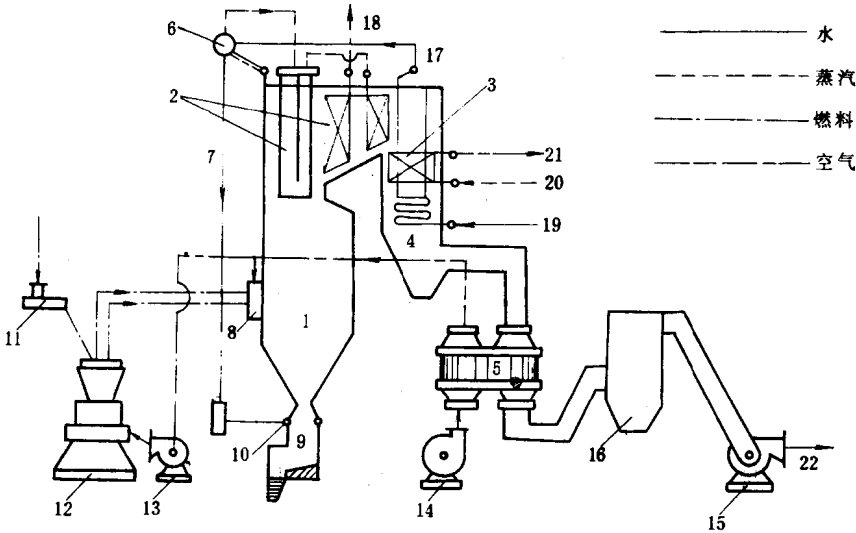


图 1-1 煤粉锅炉及辅助设备示意图

1—炉膛水冷壁；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—排渣装置；10—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—省煤器出口联箱；18—过热蒸汽；19—给水；20—进口再热蒸汽；21—出口再热蒸汽；22—排烟

第二节 锅炉设备基本特性、分类及型号

锅炉设备的基本特性主要指锅炉的容量、蒸汽参数和锅炉的效率等主要参数。

一、锅炉的主要参数

1. 锅炉容量

锅炉容量又称锅炉额定容量或额定蒸发量。一般是指锅炉每小时内最大的连续蒸发量，常用符号 $q_{m,b}$ 表示，单位是 t/h。

2. 蒸汽参数

一般是指过热器出口处的蒸汽压力和温度。蒸汽压力用符号 p 表示，单位为 MPa。蒸汽温度用符号 t 表示，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 锅炉效率

锅炉效率是指水和蒸汽吸收的全部热量占燃料燃烧后放出热量的百分数，或锅炉有效利用热量占输入锅炉全部热量的百分数，用符号 η_b 表示。锅炉效率是锅炉运行工况的经济指标。现代电厂锅炉的热效率达 90% 以上。

二、锅炉的分类及型号

1. 锅炉的分类

根据锅炉的工作条件、工作方式、结构及所用燃料的种类不同，锅炉有不同的分类方式。

(1) 按锅炉的容量分为：

小型锅炉—锅炉容量 $< 220\text{t/h}$

中型锅炉—锅炉容量为 $220 \sim 410\text{t/h}$

大型锅炉—锅炉容量 $\geq 670\text{t/h}$

(2) 按锅炉蒸汽参数分为：

中低压锅炉蒸汽压力 $p = 2.55\text{MPa}$ (26at) 蒸汽温度 $t < 400^{\circ}\text{C}$

中压锅炉蒸汽压力 $p = 3.92\text{MPa}$ (39at) 蒸汽温度 $t = 400 \sim 450^{\circ}\text{C}$

高压锅炉蒸汽压力 $p = 9.9\text{MPa}$ (100at) 蒸汽温度 $t = 510 \sim 540^{\circ}\text{C}$

超高压锅炉蒸汽压力 $p = 13.83\text{MPa}$ (140at) 蒸汽温度 $t = 540 \sim 570^{\circ}\text{C}$

亚临界压力锅炉蒸汽压力 $p = 16.77\text{MPa}$ (171at) 及 $p = 18.27\text{MPa}$ (186at) 蒸汽温度 $t = 540 \sim 600^{\circ}\text{C}$

超临界压力锅炉蒸汽压力 $p = 22\text{MPa}$ (225at) 蒸汽温度 $t = 500 \sim 650^{\circ}\text{C}$

(3) 按锅炉燃烧方式分为：层燃炉；室燃炉（包括煤粉炉、燃油炉）；旋风炉；沸腾炉等。

(4) 按燃料分为：燃煤炉、燃油炉、燃气炉。

(5) 按水循环方式分为：自然循环炉，强迫循环炉（有强制循环汽包炉、直流炉和复合循环炉）。

(6) 按燃煤炉的排渣方式分为：固态排渣炉、液态排渣炉。

(7) 按锅炉布置方式分为：室内锅炉、露天锅炉、半露天锅炉。

2. 锅炉的型号

我国电站锅炉的型号，目前是用三组字母来表示：

第一组字母是制造厂名称，用其汉语拼音字母缩写表示，如哈尔滨锅炉厂表示为 HG、

上海锅炉厂表示为 SG、武汉锅炉厂表示为 WG、东方锅炉厂表示为 DG；

第二组数字写成分数形式，分子表示的是锅炉容量、分母表示的是锅炉出口蒸汽压力（表压）；

第三组数字是产品序号。

例如 HG-670 $\frac{13.7}{1}$ -1 型锅炉，表示是哈尔滨锅炉厂生产的，容量为 670t/h，蒸汽压力为 13.7MPa 的第 1 设计序号锅炉。

对于有中间再热器的锅炉，是用四组字码来表示，即在第二组与第三组字母之间再增加一组字码，也写成分数形式，分子表示的是过热蒸汽温度，分母表示的是再热蒸汽温度。例如 SG-935/ $\frac{16.7}{570}$ -570-1 型锅炉，表示上海锅炉厂生产的，容量为 935t/h，过热蒸汽压力为 16.7MPa，过热蒸汽温度为 570℃，再热蒸汽温度为 570℃ 的第 1 设计序号锅炉。

第二章 锅炉的燃烧系统及其设备

第一节 燃 料

燃料是指可以燃烧并能放出热量的物质。

燃料是火力发电厂的能源。锅炉不间断的有燃料燃烧放出热能，才有可能保证火力发电厂连续不断地向用户提供电能。电站锅炉是耗用大量燃料的动力设备。燃料的性质对锅炉工作的安全性和经济性有重大影响，因此，了解燃料的组成和特点对指导锅炉运行、检修工作是很重要的。

燃料的种类比较多。按燃料的物理形态分类，可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料。按获得的方法可分为天然燃料和人工燃料。见表 2-1。

表 2-1 燃 料 的 分 类

按获得方法分类 按物态分类	天然燃料	人 工 燃 料
固态燃料	木柴、煤、页岩	木炭、焦炭、煤粉等
液态燃料	石 油	汽油、煤油、柴油、重油、渣油等
气态燃料	天然气	高炉煤气、焦炉煤气，地下煤气等

上述燃料都是有机化合物，称有机燃料。它的用途不仅可以燃烧放热，而且也是冶金、化工、医药等重要原料。如从石油、天然气以及煤中可以制造出化纤、染料、人造橡胶、医药、化肥和塑料等许多化学产品。为了使燃料物尽其用，根据我国政府的能源政策，火力发电厂在选用燃料时，应注意几个原则问题：

(1) 尽可能不用其他工业部门所必需的优质燃料。火力发电厂燃料应选用煤，少用油，不用原油。要尽量利用劣质煤（即水分、灰分或硫的含量较多、发热量较低、燃烧困难，在其他方面没有多大经济价值的煤）。

(2) 燃料产地尽可能离电厂近，减少运输费用。同时也应开发利用各地区天然资源。

(3) 节约能源，提倡综合利用。火力发电厂的燃料及燃烧产物，应提高使用经济效果。采用较成熟的综合利用方法，提高电厂经济性。

(4) 尽量减少燃料燃烧产物对大气等自然环境的污染。

火力发电厂主要燃料是煤，所以本节内容只介绍煤的组成及特性。

一、煤的组成成分及性质

煤的组成成分及其性质，用元素分析和工业分析两种方法进行研究。

(一) 煤的元素分析成分

煤的元素分析成分即是煤的化学元素组成成分：碳 (C)、氢 (H)、硫 (S)、氧 (O)、

氮(N)、水分(M)、灰分(A)共七种。其中碳(C)、氢(H)、硫(S)(指其中的挥发硫)是可燃的,称可燃元素,其余成分是不可燃的。

煤的各种成分的性质:

1. 碳(C)

碳是煤的基本成分,是可燃元素,是煤发热量的主要来源,其含量为40%~90%。一千克碳完全燃烧,生成二氧化碳(CO_2)时,能放出32700kJ(7800kcal)热量。1kg碳不完全燃烧,生成一氧化碳(CO)时,只能放出9200kJ(2200kcal)。碳的燃烧特点是:不易点燃,燃烧缓慢,火焰短。所以,煤含碳越多,在炉内点燃及燃烧就越慢。

2. 氢(H)

氢是煤中可燃元素,也是煤的可燃元素中发热量最高的元素,含量3%~6%。氢燃烧生成水,并蒸发成蒸汽随烟气排走,因水的汽化潜热不能被利用,所以1kg氢完全燃烧产生水蒸汽后,能被利用的热量约 $120 \times 10^3 \text{kJ}$ (28600kcal)。氢燃烧的特点是:极易点燃,燃烧迅速,火焰长。煤含氢越多,就越易点燃和燃烧。

3. 氧(O)

氧是煤中杂质,它不能燃烧放热,在煤中含量差别很大。在地下埋藏年代浅的煤,含氧量多。煤含氧越多,含其他元素相对愈少。

4. 氮(N)

氮是煤中杂质,含量很少,约0.5%~2.0%。但在煤燃烧过程中,或多或少会生成氮的氧化物(NO_x)污染大气。

5. 硫(S)

煤中含的硫由有机硫、黄铁矿硫和硫酸盐硫组成。前两种硫可以燃烧放热,统称为可燃硫 S_v 或挥发硫,后一种硫酸盐硫不能燃烧并入灰中。1kg可燃硫完全燃烧后,可以放出9040kJ(2160kcal)热量。但生成物二氧化硫及三氧化硫气体和烟气中水蒸汽凝结的水相遇时,会生成亚硫酸或硫酸,对烟道中的低温受热面金属材料有腐蚀作用。此外,含有氧化硫的烟气对人身及动物、植物都有危害。所以煤中的硫是有害元素。当煤中含硫在1.5%以上时,应采取适当措施,以防止锅炉受热面金属腐蚀和污染大气。

6. 水分(M)

水分是煤中的杂质。煤中水分是由表面水分和固有水分组成。表面水分即外在水分,以液态形式存在。它是在开采和运输过程中,雨露冰雪进入煤中造成的,靠自然干燥可以除掉。固有水分亦称内在水分,必须加热至102~105℃,并保持两小时后,才能除掉。煤中水分是有害成分。对锅炉工作的危害是:降低发热量,使煤不易点燃并使燃烧变慢。煤燃烧后水生成水蒸气增加了烟气的容积。影响煤粉磨制细度,降低磨煤机出力。含水分多的煤容易造成原煤堵塞,含水分大的煤粉也易造成煤粉堵塞。煤中水分含量变化范围很大,少则百分之几,多则达50%~60%。

7. 灰分(A)

灰分是煤中含有的不可燃矿物质,燃烧后形成固态残渣,是煤中的主要杂质。煤的含灰量约10%~35%,劣质煤含灰量高达50%。煤含灰量越大,煤的发热量越低;磨制煤粉