

178089

TM621 2-43  
8021

# 高等学校教材

//////////////////// 专 科 适 用 //////////////////////////////////////

## 电 厂 锅 炉

上 海 电 力 学 院 金 维 强  
太 原 电 力 高 等 专 科 学 校 涂 仲 光 合 编

## 内 容 提 要

本书讲述大型火力发电厂煤粉锅炉,内容包括燃料,燃烧计算,锅炉热平衡原理与计算,煤粉制备原理,制粉系统与设备,燃烧基本理论与燃烧设备,自然循环和强制循环锅炉的工作原理、循环系统及其设备与水质计算,过热器、再热器、省煤器和空气预热器等受热面的结构与工作特点,锅炉热力计算原理与方法,锅炉启动和停运原理,锅炉正常运行及事故处理的原理与方法。

本书是高等学校专科必修课教材,适用于发电厂热能动力专业和电厂集控运行专业,也可供火力发电厂锅炉安装、检修、运行和锅炉制造厂的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电厂锅炉/金维强,涂仲光编. -北京:中国电力出版社,1995.5 (1997重印)  
高等学校教材·专科适用  
ISBN 7-80125-432-5

I. 电… I. ①金… ②涂… II. 火电厂-锅炉-高等学校-教材 N. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 15918 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市水利局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

1995 年 5 月第一版 1997 年 8 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 32 印张 725 千字

印数 5071—8110 册 定价 29.10 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

本教材系根据全国高等学校热能动力类教学委员会专科组1989年通过的教材编写大纲进行编写的。

全书共有15章。太原电力高等专科学校涂仲光副教授编写第1、2、3、4、5、6、7、9、11、14章；上海电力学院金维强教授编写第8、10、12、13、15章。全书由金维强教授统稿。

南京电力高等专科学校柳志倩副教授对全书进行了仔细的审阅，并提出了很多宝贵的意见。在此表示衷心感谢。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，希使用本教材的师生和广大读者批评指正。

编 者

1992.9.

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 前 言                        |     |
| 第一章 概述                     | 1   |
| 第一节 电厂锅炉的作用、组成及工作过程        | 1   |
| 第二节 锅炉的规范及型号               | 6   |
| 第三节 锅炉的分类                  | 7   |
| 第四节 锅炉的安全经济技术指标            | 9   |
| 第五节 国内外电厂锅炉发展概况            | 10  |
| 第二章 锅炉燃料                   | 12  |
| 第一节 燃料介绍                   | 12  |
| 第二节 煤的组成成分及性质              | 13  |
| 第三节 煤的特性                   | 18  |
| 第四节 煤的分类                   | 23  |
| 第五节 燃油                     | 25  |
| 第六节 气体燃料                   | 27  |
| 第三章 燃料燃烧计算                 | 29  |
| 第一节 燃烧所需空气量及过量空气系数         | 29  |
| 第二节 烟气成分及其计算               | 32  |
| 第三节 运行时烟气容积的计算             | 35  |
| 第四节 燃烧方程式                  | 39  |
| 第五节 运行时过量空气系数及漏风系数的计算      | 42  |
| 第六节 空气和烟气焓的计算              | 47  |
| 第四章 锅炉机组的热平衡               | 53  |
| 第一节 锅炉热平衡及其意义              | 53  |
| 第二节 锅炉正平衡求效率、锅炉输入热量及有效利用热量 | 55  |
| 第三节 锅炉反平衡求效率及各项热损失         | 56  |
| 第四节 锅炉燃料消耗量和煤耗率            | 65  |
| 第五节 锅炉机组热平衡试验方法            | 66  |
| 第五章 煤粉制备                   | 72  |
| 第一节 煤粉的特性                  | 72  |
| 第二节 煤的可磨性系数                | 79  |
| 第三节 磨煤机                    | 81  |
| 第四节 制粉系统及其主要部件             | 100 |
| 第五节 制粉系统的热力计算              | 111 |
| 第六章 燃烧原理                   | 117 |
| 第一节 燃烧程度与燃烧速度              | 117 |

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 第二节  | 燃料的着火与着火温度 .....       | 121 |
| 第三节  | 煤粉的燃烧过程 .....          | 124 |
| 第四节  | 油的燃烧过程 .....           | 131 |
| 第七章  | 燃烧设备 .....             | 134 |
| 第一节  | 煤粉燃烧器及其点火装置 .....      | 134 |
| 第二节  | 煤粉炉 .....              | 151 |
| 第三节  | 油燃烧设备 .....            | 162 |
| 第四节  | 其他燃烧设备 .....           | 168 |
| 第八章  | 过热器与再热器 .....          | 176 |
| 第一节  | 过热器与再热器的作用和特点 .....    | 176 |
| 第二节  | 过热器与再热器的型式和结构 .....    | 179 |
| 第三节  | 热偏差 .....              | 187 |
| 第四节  | 汽温调节 .....             | 194 |
| 第五节  | 过热器与再热器的烟气侧工作过程 .....  | 203 |
| 第九章  | 省煤器和空气预热器 .....        | 207 |
| 第一节  | 省煤器 .....              | 207 |
| 第二节  | 空气预热器 .....            | 212 |
| 第三节  | 尾部受热面的布置 .....         | 219 |
| 第四节  | 尾部受热面的积灰、磨损和低温腐蚀 ..... | 222 |
| 第十章  | 自然循环及蒸发设备 .....        | 231 |
| 第一节  | 蒸发设备 .....             | 231 |
| 第二节  | 管内汽水两相流的基本特性 .....     | 239 |
| 第三节  | 管内汽水两相流动的压力降 .....     | 255 |
| 第四节  | 自然循环计算原理 .....         | 258 |
| 第五节  | 自然循环安全分析 .....         | 267 |
| 第六节  | 提高循环安全性的措施 .....       | 275 |
| 第十一章 | 蒸汽净化和水工况 .....         | 278 |
| 第一节  | 蒸汽污染的危害和对蒸汽品质的要求 ..... | 278 |
| 第二节  | 蒸汽污染的原因 .....          | 279 |
| 第三节  | 汽包内部装置 .....           | 285 |
| 第四节  | 炉水工况 .....             | 292 |
| 第五节  | 给水处理 .....             | 297 |
| 第十二章 | 强制流动锅炉及其水动力特性 .....    | 301 |
| 第一节  | 控制循环锅炉 .....           | 301 |
| 第二节  | 直流锅炉 .....             | 307 |
| 第三节  | 复合循环锅炉 .....           | 320 |
| 第四节  | 强制流动特性 .....           | 323 |
| 第十三章 | 锅炉设计原则与热力计算 .....      | 338 |
| 第一节  | 锅炉设计原则 .....           | 338 |
| 第二节  | 锅炉热力计算 .....           | 344 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 第三节  | 炉膛热力计算.....         | 350 |
| 第四节  | 对流受热面的热力计算.....     | 361 |
| 第五节  | 锅炉热力计算线算图.....      | 388 |
| 第十四章 | 锅炉通风 .....          | 402 |
| 第一节  | 锅炉通风的任务与方式.....     | 402 |
| 第二节  | 锅炉通风计算的目的与计算方法..... | 404 |
| 第三节  | 烟囱高度与直径的确定.....     | 423 |
| 第四节  | 风机选择 .....          | 425 |
| 第十五章 | 锅炉运行 .....          | 427 |
| 第一节  | 锅炉运行概况 .....        | 427 |
| 第二节  | 汽包锅炉的启动与停运.....     | 430 |
| 第三节  | 汽包锅炉的运行特性与调节 .....  | 456 |
| 第四节  | 直流锅炉的启动与运行特点 .....  | 474 |
| 第五节  | 滑压运行 .....          | 491 |
| 第六节  | 锅炉事故 .....          | 496 |
| 参考文献 | .....               | 501 |

# 第一章 概述

锅炉是火力发电厂中的重要设备。现对火力发电厂生产过程和电厂锅炉的组成、作用及其工作过程作简明的介绍，初步建立锅炉的整体概念，为进一步深入学习打下基础。本章还介绍了电厂锅炉的规范、型号、分类及其安全经济指标等。

## 第一节 电厂锅炉的作用、组成及工作过程

### 一、火力发电厂的生产过程

发电厂是生产电能的工厂。当前世界上的发电厂主要有三大类：火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂。火力发电厂是利用煤、石油或天然气等燃料发电的发电厂，它是目前世界大多数国家包括我国在内生产电能的主力。

火力发电厂的生产过程可简要地用图1-1表示。燃料送入锅炉1中燃烧，放出的热量将水加热并蒸发成饱和蒸汽，经进一步加热后成为具有一定压力和温度的过热蒸汽，然后过热蒸汽沿管道进入汽轮机2膨胀做功。高速汽流冲动汽轮机的转子带动发电机3的转子一起旋转发电。蒸汽在汽轮机中作完功以后排入凝汽器4，在其中被由循环水泵11提供的冷却水冷却而凝结成水。凝结水经凝结水泵5升压后进入低压加热器6加热再送至除氧器7。水在除氧器中被来自抽汽管10的汽轮机抽汽加热并除去水中的氧（防止腐蚀锅炉金属部件），然后再由给水泵8升压，经高压加热器9进一步加热后送回锅炉（给水泵以后的凝结水称为给水）。送入锅炉的给水又继续重复上述循环过程。汽水系统中的蒸汽和水总会有一些损失，故需不断向系统补充经过化学处理的水或蒸馏水，补充水通常送入除氧器中。

由此看来，火力发电厂的生产过程是把燃料的化学能转变为电能。整个过程可划分为三个阶段：第一阶段是在锅炉中将燃料的化学能转换为蒸汽热能；第二阶段是在汽轮机中将蒸汽热能转换为机械能；第三阶段是在发电机中将机械能转换为电能。火力发电厂的能量转换过程主要是由三大主要设备，即锅炉、汽轮机、发电机来完成的

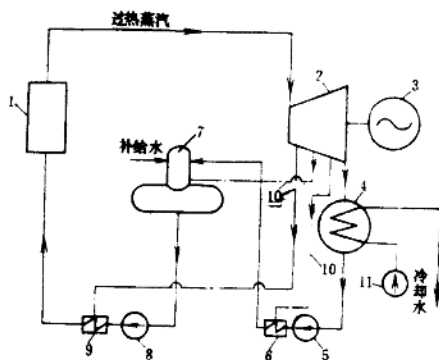


图 1-1 火力发电厂生产过程示意图

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

## 二、电厂锅炉的作用和地位

### (一) 电厂锅炉的作用和地位

锅炉是火力发电厂的三大主要设备之一。其作用是使燃料在炉内燃烧放热，并将锅内工质由水加热成具有足够数量和一定质量（汽压、汽温等）的过热蒸汽，供汽轮机使用。

锅炉在火力发电厂中占有相当重要的地位。从安全方面看：由于火力发电厂的能量转换过程是连续进行的，因而锅炉在运行中一旦发生故障，必将影响到整个电能生产的正常进行。从经济方面看：由于电厂锅炉容量大，耗用燃料多，其运行好坏对节约燃料、降低发电成本影响很大。因此，要提高火力发电厂的安全经济性，就必须提高锅炉的安全经济性。

### (二) 电厂锅炉设备的组成

现代火力发电厂的锅炉是一个庞大而又复杂的设备，它是由锅炉本体设备、辅助设备及配件构成。图1-2给出一台超高压670t/h自然循环中间再热煤粉锅炉设备组成及工作流程情况。

锅炉本体设备是锅炉设备的主要部分，是由“锅”和“炉”两大部分组成的。

“锅”即汽水系统，它的任务是吸收燃料放出的热量，使水蒸发并最后变成具有一定参数的过热蒸汽，供汽轮机用汽。它由省煤器、汽包、下降管、联箱、水冷壁、过热器、再热器等组成，它们的功能如下：

(1) 省煤器 位于锅炉尾部垂直烟道中，利用排烟余热加热给水，降低排烟温度，提高锅炉效率，节约燃料。

(2) 汽包 位于锅炉顶部，是一个圆筒形的承压容器，其下部是水，上部是汽，它接受省煤器的来水。同时汽包与下降管、联箱、水冷壁共同组成水循环回路。水在水冷壁中吸热生成的饱和蒸汽也汇集于汽包再供给过热器。

(3) 下降管 是水冷壁的供水管，其作用是把汽包中的水引入下联箱再分配到各水冷壁管。

(4) 联箱 是一根直径较粗的管子，其作用是把下降管与水冷壁连接在一起，以便起到汇集、混合、再分配工质的作用。

(5) 水冷壁 位于炉膛四壁，其主要任务是吸收炉内的辐射热，使水蒸发，它是近代锅炉的主要蒸发受热面。此外还起保护炉墙的作用。

(6) 过热器 其作用是将汽包来的饱和蒸汽加热成为具有一定温度的过热蒸汽。

(7) 再热器 其作用是将汽轮机中作过部分功的蒸汽再次进行加热升温，然后再送往汽轮机中继续作功。

“炉”即燃烧系统，它的任务是使燃料在炉内良好地燃烧，放出热量。它由炉膛、烟道、燃烧器及空气预热器等组成，它们的功能如下：

(1) 炉膛 是一个由炉墙和水冷壁围成供燃料燃烧的空间，燃料在该空间内呈悬浮状燃烧。

(2) 燃烧器 位于炉膛墙壁上，其作用是把燃料和空气以一定速度喷入炉内，使其在炉内能进行良好的混合，以保证燃料适时地着火和迅速完全地燃烧。

(3) 空气预热器 位于锅炉尾部烟道中，其作用是利用烟气余热来加热空气。空气



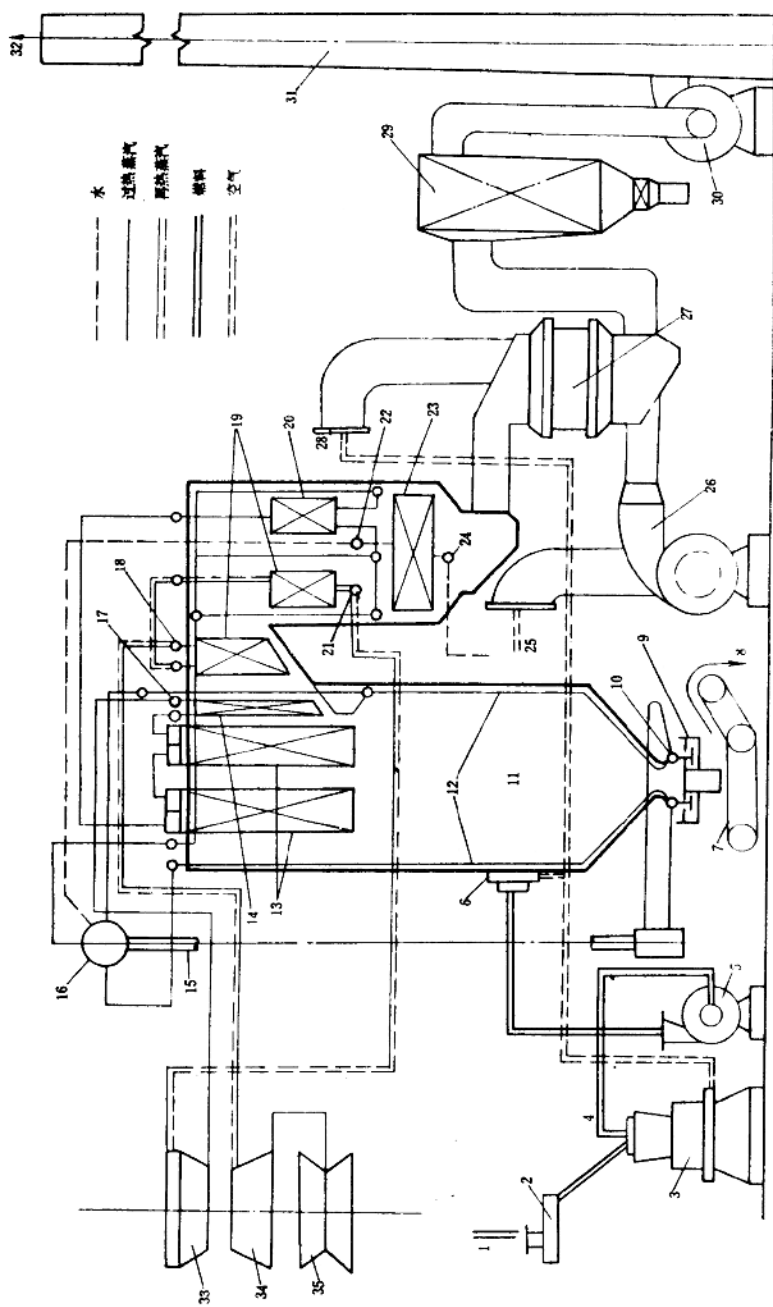


图 1-2 超高压自然循环中间再热煤粉锅炉设备简图

1—原煤进口；2—给煤机；3—磨煤机；4—风粉混合物出口；5—排粉风机；6—燃烧器；7—排渣装置；8—水封装置；10—下联箱；11—炉膛；12—水冷壁；13—屏式过热器；14—高温过热器；15—下降管；16—汽包；17—过热器出口联箱；18—再热器出口联箱；19—再热器；20—低温过热器；21—再热器进口联箱；22—省煤器进口联箱；23—省煤器；24—省煤器出口联箱；25—冷风进口；26—送风机；27—空气预热器；28—热风出口；29—除尘器；30—引风机；31—烟道；32—排烟；33—汽轮机高压缸；34—汽轮机中压缸；35—汽轮机低压缸

经预热后再送入炉膛和制粉系统，对于燃烧、制备和输送煤粉都是有利的。

此外锅炉本体设备还有炉墙和构架。炉墙是用于构成封闭的炉膛和烟道，以保证锅炉的燃烧过程和传热过程正常进行。构架是用来支承或悬吊汽包、锅炉受热面、炉墙等全部锅炉构件。

对于一台燃烧煤粉的锅炉，其主要辅助设备包括通风设备、输煤设备、制粉设备、给水设备、除尘除灰设备以及一些锅炉附件，它们的功能如下：

(1) 通风设备 提供燃料燃烧和制粉所需要的空气以及把燃料燃烧生成的烟气排出炉外。它包括送风机、引风机、烟风道、烟囱等。

(2) 输煤设备 其作用是将进入发电厂的煤或厂内储煤场的煤运送到锅炉房中的原煤斗。它包括卸煤设备、受煤设备、煤场机械、输煤皮带、杂物清除设备、碎煤机、给煤设备、计量设备等。在现代发电厂中，输煤设备是由专门的燃运车间管理的。

(3) 制粉设备 其任务是将煤干燥并制成合格的煤粉，送入炉内燃烧。制粉设备一般由原煤仓、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉风机等设备组成。

(4) 给水设备 其任务是保证不断地向锅炉供应给水，它包括给水泵、给水管道和阀门等。由于给水泵位于汽机房内，故通常将给水泵及一部分给水管道路划归汽机车间管理。

(5) 除尘除灰设备 除尘设备(除尘器)的作用是清除烟气中的飞灰，以减轻飞灰对环境的污染和对引风机的磨损。除灰设备是用来清除炉膛下部积聚的灰渣和由除尘器分离出来的细灰，并将其送往储灰场。现代发电厂大多采用水力除灰，它包括排渣装置、碎渣机、冲灰器、冲灰水泵和灰渣泵等设备。

(6) 锅炉附件 锅炉附件包括安全门、水位计、吹灰器、热工仪表、自动控制装置等。安全门用来控制锅炉蒸汽压力，以确保锅炉和汽轮机工作的安全。水位计用来监视汽包的水位。吹灰器用来清除锅炉受热面的积灰，以保持受热面清洁。热工仪表用来监视锅炉的热工参数。自动控制装置用来自动控制和调节锅炉的运行情况。热工仪表和自动控制装置由专门的热工车间管理。

为了保证锅炉生产过程的正常进行，上述各种辅助设备都是必不可少的。

### (三) 锅炉的工作过程

燃用煤粉的电厂锅炉可用图1-2简要地说明其工作过程。

从原煤仓下落的煤经给煤机2进入磨煤机3，煤在磨煤机中被干燥(通常用空气预热器来的热风干燥)和磨碎。磨制成的煤粉由排粉风机5抽出送至燃烧器6。

外界冷空气由冷风进口25沿风道进入送风机26，经送风机升压后送往空气预热器27加热成热空气，然后由热风出口28沿热风道将其一部分送入磨煤机，用于干燥和输送煤粉，另一部分热空气直接经燃烧器进入炉膛11。

煤粉和空气一道经燃烧器喷入炉膛后，进行燃烧放热。燃烧生成的高温火焰和烟气在炉膛和烟道中流动时，依次将热量传递给水冷壁、屏式过热器(位于炉膛上部)、高温过热器(位于水平烟道)、再热器、低温过热器(位于尾部垂直烟道)、省煤器、空气预热器，加热这些受热面中的工质(汽、水和空气)，同时烟气自身的温度也就逐渐降低到排烟温度。

此后利用除尘器29清除烟气中携带的大部分飞灰。最后由引风机30将烟气送至烟囱31排往大气。

燃料燃烧后生成的灰，其中少部分较粗的落入炉膛下部的灰渣斗中，经刮板式排渣装置7排出，绝大部分较细的被烟气带走，由除尘器加以收集。由排渣装置排出的灰渣和除尘器收集的细灰落入灰水沟经灰渣泵送往灰场。

给水由给水泵升压送至锅炉省煤器23，在其中被加热升温后送进汽包16，然后水沿着下降管15经下联箱10进入水冷壁12，水在水冷壁中继续吸收炉内高温火焰和烟气的辐射热，使部分水蒸发，形成汽水混合物向上又流入汽包。在汽包中利用汽水分离装置进行汽水分离，分离出来的水又沿着下降管进入水冷壁中；分离出来的汽从汽包顶部的饱和蒸汽引出管引至过热器。在过热器中饱和蒸汽被加热成为过热蒸汽，然后经主蒸汽管道送往汽轮机高压缸33作功。过热蒸汽在汽轮机高压缸作功后（汽压、汽温均降低），又将其引回锅炉再热器19，再次加热提高温度后，再送往汽轮机中低压缸34、35继续作功。

为了对上述电厂锅炉工作过程有一个更清晰的了解，可将其工作流程分为燃烧系统（风、煤、烟系统）及汽水系统加以讨论。

燃烧系统的工作流程如图1-3所示。

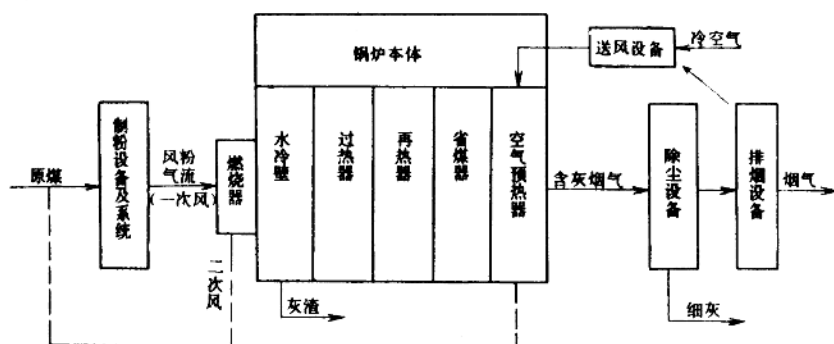


图 1-3 燃烧系统工作流程图

原煤在制粉系统中磨制成煤粉后，然后与空气预热器加热后的热空气一起经燃烧器进入炉膛燃烧，而燃烧生成的高温烟气流经水冷壁、过热器、再热器、省煤器、空气预热器时将热量传递给受热面中的工质（水和蒸汽）和空气，最后被冷却的废烟气经除尘器除灰后由引风机送入烟囱排往大气。燃烧生成的少量颗粒较粗的灰渣不能被烟带走，则落入炉膛下部冷灰斗中。这部分灰渣与除尘器除下的细灰（飞灰）一起借助灰渣泵和灰浆泵等水力除灰设备排往灰场。

汽水系统的工作流程如图1-4所示。

给水经给水泵升压后，送至省煤器中加热，然后送进汽包，经由下降管、下联箱分配给水冷壁。水在水冷壁中吸收炉内热量后变为汽水混合物，经汽包中的汽水分离装置分离后，饱和蒸汽由汽包上部空间引入过热器加热成过热蒸汽送往汽轮机作功，饱和水再经下降管进入水冷壁进行循环。对于再热机组，汽轮机高压缸作功后排出的蒸汽还要送往再热器中进行二次过热，然后再送往汽轮机中低压缸继续作功。

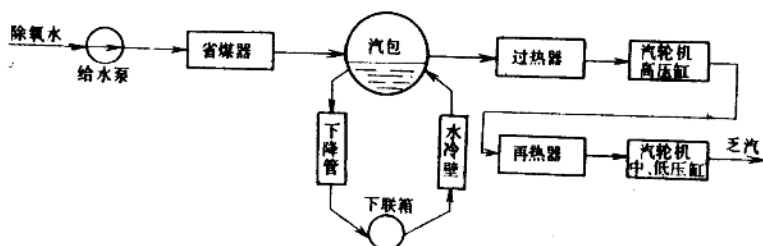


图 1-4 汽水系统工作流程图

## 第二节 锅炉的规范及型号

### 一、锅炉的规范

锅炉的主要技术规范是指锅炉容量、锅炉蒸汽参数、给水温度等，它们用来说明锅炉的基本工作特性。

(1) 锅炉容量 一般指锅炉每小时的连续最大蒸发量，以后简称MCR，又称为锅炉的额定容量或额定蒸发量。常用符号 $D_e$ 表示，单位为 $t/h$ 。例如100MW汽轮发电机组配用的锅炉容量为410 $t/h$ 。

锅炉容量是说明产汽能力大小的特性数据。

(2) 锅炉蒸汽参数 它一般是指锅炉过热器出口处的过热蒸汽压力和温度。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 $^{\circ}C$ 。例如100MW汽轮发电机组配用的高压锅炉，其蒸汽压力为9.8MPa(表压力)，蒸汽温度为540 $^{\circ}C$ 。

对于具有中间再热的锅炉，蒸汽参数中还应包括再热蒸汽压力和温度。

锅炉蒸汽参数是说明锅炉蒸汽规范的特性数据。

(3) 给水温度 锅炉给水温度是指给水在省煤器入口处的温度。不同蒸汽参数的锅炉其给水温度也不相同。

锅炉给水温度是说明锅炉给水规范的特性数据。

### 二、国产锅炉型号

锅炉型号反映了锅炉的某些基本特征。我国锅炉目前采用三组或四组字母表示其型号。

一般中、高压锅炉用三组字母表示。例如HG-410/100-1型锅炉，型号中第一组字母是锅炉制造厂名称的汉语拼音缩写，HG表示哈尔滨锅炉厂(SG表示上海锅炉厂，WG表示武汉锅炉厂，DG表示东方锅炉厂，BG表示北京锅炉厂)；型号中的第二组字母为一分数，分子表示锅炉容量( $t/h$ )，分母表示过热蒸汽压力( $kgf/cm^2$ 或MPa，表压)；型号中第三组字母表示产品的设计序号，同一锅炉容量和蒸汽参数的锅炉其序号可能不同，序号数字小的是先设计的，序号数字大的是后设计的，不同设计序号可以反映在结构上的某些差别或改进。例如HG-410/100-1型与HG-410/100-2型锅炉的主要区别是：1型为固态排

渣、管式空气预热器、两段分段蒸发等；2型为液态排渣、回转式空气预热器、无分段蒸发等。因此前述HG 410/100-1型锅炉即表示哈尔滨锅炉厂制造，容量为410t/h，过热蒸汽压力为100kgf/cm<sup>2</sup>（9.8MPa，表压），第一次设计制造的锅炉。

超高压以上的发电机组均采用蒸汽中间再热，即锅炉装有再热器，故用四组字码表示。即在上述型号的二、三组字码间又加了一组字码，该组字码也为一分数，其分子表示过热蒸汽温度，分母表示再热蒸汽温度。例如DG-670/140-540/540-5型锅炉即表示东方锅炉厂制造，容量为670t/h，过热蒸汽压力为140kgf/cm<sup>2</sup>（13.7MPa，表压），过热蒸汽温度为540℃，再热蒸汽温度为540℃，第5次设计的锅炉。

### 第三节 锅 炉 的 分 类

电厂锅炉根据其工作条件、工作方式和结构型式不同，可有多种分类方法，现简要介绍如下。

#### 一、按锅炉容量分

考虑现阶段我国锅炉工业发展情况，锅炉容量的划分是： $D_e < 220$ t/h为小型锅炉； $D_e = 220 \sim 410$ t/h为中型锅炉； $D_e \geq 670$ t/h为大型锅炉。但上述分类是相对的，随着锅炉容量日益增大，目前大型锅炉若干年后只能算中型。

#### 二、按蒸汽压力分

$p \leq 1.27$ MPa（13 kgf/cm<sup>2</sup>）为低压锅炉；

$p = 2.45 \sim 3.8$ MPa（25～39 kgf/cm<sup>2</sup>）为中压锅炉；

$p = 9.8$ MPa（100 kgf/cm<sup>2</sup>）为高压锅炉；

$p = 13.7$ MPa（140 kgf/cm<sup>2</sup>）为超高压锅炉；

$p = 16.7$ MPa（170 kgf/cm<sup>2</sup>）为亚临界压力锅炉；

$p \geq 22.1$ MPa（225.56 kgf/cm<sup>2</sup>）为超临界压力锅炉。

#### 三、按燃用燃料分

按燃用燃料分，有燃煤炉、燃油炉、燃气炉。

#### 四、按燃烧方式分

按燃烧方式分，有层燃炉、室燃炉（煤粉炉、燃油炉等）、旋风炉、沸腾炉等。

层燃炉是指煤块或其它固体燃料在炉篦上形成一定厚度的料层进行燃烧，通常把这种燃烧称为平面燃烧。室燃炉是指燃料在炉膛（燃烧室）空间呈悬浮状进行燃烧，通常把这种燃烧称为空间燃烧，它是目前电厂锅炉的主要燃烧方式。旋风炉是一种以旋风筒作为主要燃烧室的炉子，粗煤粉（或煤屑）和空气在旋风筒内强烈旋转并进行燃烧。它基本上也属于空间燃烧，但其燃烧速度要比煤粉炉高得多。沸腾炉是指煤粒在炉篦（布风板）上上下下翻腾，呈沸腾状态进行燃烧。这是一种平面与空间相结合的燃烧方式，这种炉子特别适宜于烧劣质煤。

#### 五、按工质在蒸发受热面中的流动特性即水循环特性分

按工质流动特性分有自然循环锅炉、强制流动锅炉。强制流动锅炉又分为控制循环锅

炉、直流锅炉、复合循环锅炉等。

自然循环锅炉有汽包。工质在蒸发受热面即水冷壁中的流动是依靠汽水密度差来进行的，如图1-5 (a)所示。控制循环锅炉也有汽包。工质在蒸发受热面中的流动主要依靠位于下降管中循环泵产生的压头来进行，如图1-5 (b)所示。直流锅炉没有汽包，工质在蒸发受热面中的流动依靠给水泵的压力来进行，且水在蒸发受热面中全部转变为蒸汽，如图1-5 (c)所示。复合循环锅炉是在直流锅炉基础上发展起来的一种锅炉，它是由直流锅炉加再循环泵构成，如图1-5 (d)所示。这部分内容将在本书第十章和第十二章中详细阐述。

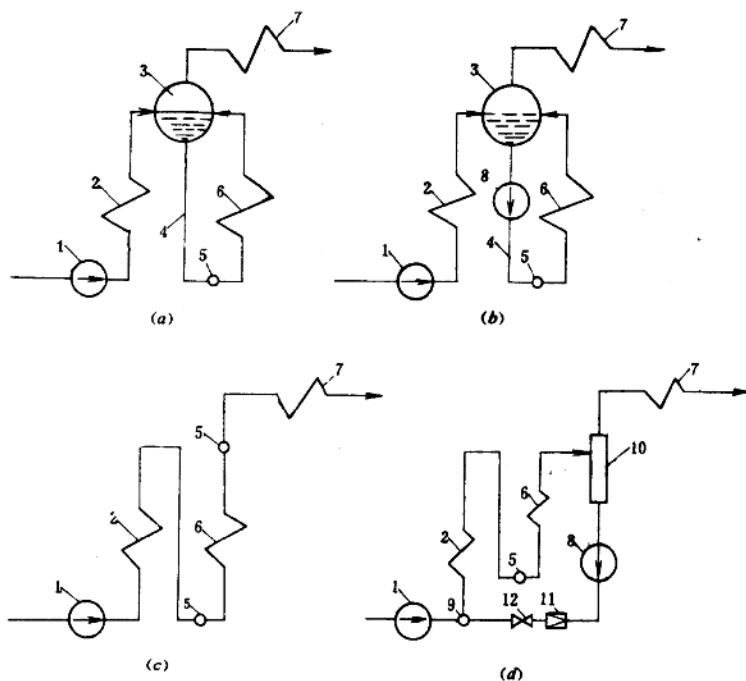


图 1-5 蒸发受热面内工质流动方式

(a) 自然循环；(b) 控制循环；(c) 直流式；

(d) 复合循环系统

1—给水泵；2—省煤器；3—汽包；4—下降管；5—联箱；6—蒸发  
受热面；7—过热器；8—炉水循环泵；9—混合器；10—汽水分离器；  
11—止回阀；12—调节阀

## 六、按煤粉炉的排渣方式分

按排渣方式分有固态排渣炉和液态排渣炉。

上述每一种分类仅反映了某一方面的特征。为了全面说明某台锅炉的特征，常同时指明其容量、蒸汽压力、工质在蒸发受热面中的流动特性以及燃料特性等，例如某台锅炉为410t/h高压自然循环固态排渣煤粉炉。

## 第四节 锅炉的安全经济技术指标

本章第一节已提到,电厂的安全经济性在很大程度上取决于锅炉的安全经济性。要提高锅炉安全经济性,就要求锅炉在运行中既要尽可能不出事故并保持长时间稳定运行,又要注意降低燃料和电力消耗。锅炉的安全经济性常用下述指标衡量。

### 一、锅炉的安全技术指标

几个安全技术指标用公式表述如下:

连续运行时数 = 两次检修之间运行时数

$$\text{事故率} = \frac{\text{事故停用时数}}{\text{总运行时数} + \text{事故停用时数}} \times 100\%$$

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

$$\text{利用率} = \frac{\text{运行总时数}}{\text{统计期间总时数}} \times 100\%$$

$$\text{额定容量利用率} = \frac{\text{折算成额定容量的运行总时数}}{\text{统计期间的总时数}} \times 100\%$$

式中,折算成额定容量的运行总时数按  $\frac{\text{统计期间总蒸发量}}{\text{额定容量}}$  计算。

通常我国统计期间总时数为1年,即以1年为一个计算周期。连续运行时数越长,事故率越小,可用率、利用率、额定容量利用率越大,锅炉安全可靠就越高。目前国内较先进的指标为:连续运行时数在4000小时以上,事故率约为1%,可用率约为90%。

### 二、锅炉的经济技术指标

(1) 锅炉热效率 锅炉热效率是指锅炉输出热量(即有效利用热量)占输入锅炉热量的百分数,用符号 $\eta$ 表示,即

$$\text{锅炉热效率}(\eta) = \frac{\text{有效利用热量}}{\text{输入锅炉热量}} \times 100\%$$

这是一个能说明锅炉运行经济性的技术指标,将在第四章中予以专门分析讨论。目前电厂锅炉热效率达90%以上。

(2) 锅炉耗电率 锅炉耗电率是指生成一吨蒸汽所耗用的电量,单位为(kW·h/t)。锅炉耗电量主要是磨煤机、送风机、引风机、排粉风机和给水泵等各种转动机械及设备所耗用的电能。锅炉耗电率越低,对外供电就越多,所以它也是一个能反映锅炉运行经济性的技术指标。

(3) 锅炉钢材耗用率 锅炉钢材耗用率是指锅炉单位蒸发量(1t/h)所耗用的钢材吨数。锅炉容量越小、蒸汽参数越高,则锅炉钢材耗用率越大。所用钢材主要是低碳钢,但参数较高的锅炉需用部分耐热合金钢,其价格要比碳钢贵得多。电厂用各种锅炉的钢材耗用率约在2.5~5 t·(t/h)<sup>-1</sup>范围内,例如国产125MW汽轮发电机组配用的400t/h锅

炉的钢材总耗量为1132t,其钢材耗用率为 $2.83t \cdot (t/h)^{-1}$ 。直流锅炉所用钢材约为同容量、同参数自然循环汽包炉的70%左右。

## 第五节 国内外电厂锅炉发展概况

解放前,我国的电力工业和其他工业一样十分落后,由于自己不能制造电厂锅炉,所以完全依赖某些资本主义国家进口。这些锅炉容量很小,设备陈旧,效率很低。至解放前夕,全国发电设备装机总容量仅有1850MW,年发电量只有 $43 \times 10^8 kW \cdot h$ 。

解放后,在中国共产党的领导下,我国的电力工业有了很大的发展。发电厂的建设从少到多,星罗棋布地遍及全国各地;发电厂的装机容量从小到大,截至1988年,全国1000MW以上的发电厂已有10个。在锅炉制造工业方面,先后在哈尔滨、上海、武汉、四川、北京等地建立了现代化大型电厂锅炉制造厂。全国各省市也建起了许多中小型锅炉制造厂,为电力工业和其它工业的发展奠定了良好的基础。于50年代初自行设计制造了40t/h配6MW汽轮发电机组的中压锅炉,50年代后期又设计制造了230t/h配50MW汽轮发电机组的高压锅炉。1969年以后又相继设计制造了410t/h、400t/h、670t/h、1000t/h等高压、超高压、亚临界压力锅炉,分别配100MW、125MW、200MW、300MW汽轮发电机组。最近又制造了2008t/h配600MW汽轮发电机组的亚临界压力锅炉,逐渐形成了我国自己的电厂锅炉产品系列。表1-1给出了我国生产并投入运行的电厂锅炉简况。

表 1-1 主要国产电厂锅炉简况

| 容 量<br>(t/h) | 蒸汽压力<br>(MPa) | 过热/再热<br>蒸汽温度<br>(℃) | 给水温度<br>(℃) | 配用汽轮发<br>电机功率<br>(MW) | 锅 炉 类 型                          |
|--------------|---------------|----------------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| 35           | 3.8 (39)      | 450                  | 150         | 6                     | 中压自然循环室燃煤粉炉或层燃炉                  |
| 65           |               |                      | 150         | 12                    | 中压自然循环层燃炉                        |
| 75           |               |                      | 150         | 12                    | 中压自然循环室燃煤粉炉                      |
| 120          |               |                      | 170         | 25                    | 中压自然循环室燃煤粉炉                      |
| 130          |               |                      | 170         | 25                    | 中压自然循环室燃煤粉炉                      |
| 220          | 9.8 (100)     | 540                  | 215         | 50                    | 高压自然循环锅炉, 燃用煤粉或渣油                |
| 230          |               | 510                  |             | 50                    | 高压自然循环锅炉, 燃用煤粉或渣油                |
| 410          |               | 540                  |             | 100                   | 高压自然循环锅炉, 燃用煤粉                   |
| 400          | 13.7 (140)    | 555/555              | 240         | 125                   | 超高压自然循环锅炉或直流锅炉, 燃煤或燃油或煤油两用, 有再热器 |
| 670          |               | 540/540              |             | 200                   | 超高压自然循环锅炉, 燃煤或燃油, 室燃炉或旋风炉, 有再热器  |



续表

| 容 量<br>(t/h) | 蒸汽压力<br>(MPa) | 过热/再热<br>蒸汽温度<br>(°C) | 给水温度<br>(°C) | 配用汽轮发<br>电机功率<br>(MW) | 锅 炉 类 型               |
|--------------|---------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 935          | 16.7 (170)    | 570/570               | 260          | 300                   | 亚临界压力直流锅炉, 燃煤、有再热器    |
| 1000         |               | 555/555               | 265          |                       | 亚临界压力直流锅炉, 燃煤或燃油、有再热器 |
| 2008         | 18.3 (186.1)  | 540.6/540.6           | 278.3        | 600                   | 亚临界压力强制循环汽包炉、燃煤、有再热器  |

注 1. 括号中的数值单位为  $\text{kgf/cm}^2$ ;

2. 以分数形式表示的蒸汽温度, 分子为过热汽温, 分母为再热汽温。

近几十年来, 世界各国包括我国在内, 为了加快火电厂建设速度, 降低火电厂每千瓦设备费用、基建投资、金属耗量、运行管理费用, 提高机组的经济性, 节约燃料, 电厂锅炉总的趋势是向大容量、高参数的方向发展。与此同时, 尽量采用先进技术, 以提高运行的安全经济性。在工业发达国家中, 2000t/h左右的电厂锅炉已相当普遍, 4000t/h左右的特大型电厂锅炉也早已有多台投入运行。例如美国自1972年以来, 已有1400t/h级配1300MW汽轮发电机组的超临界压力锅炉投入运行; 日本1974年就已有3180t/h配1000MW汽轮发电机组的超临界压力锅炉投入运行; 原苏联1978年就已有3950t/h配1200MW汽轮发电机组的超临界压力锅炉投入运行。考虑到过大、过高参数机组安全经济性尚存在一些问题, 目前应用较多的仍是300~800MW的发电机组。锅炉的蒸汽参数以亚临界压力居多, 蒸汽温度从金属的耐温条件考虑多限制在540°C以内。锅炉使用的燃料以煤和油为主, 近年来因世界油价猛涨, 燃煤锅炉的比例有所增加。

此外, 随着参数的提高和容量的增大, 在水循环方式上, 除自然循环汽包锅炉外, 又发展了控制循环汽包锅炉和直流锅炉, 并进一步发展了复合循环锅炉; 在燃烧方式上, 除广泛采用煤粉燃烧锅炉外, 为了适应劣质煤的燃烧并改善氧化氮、二氧化硫等有害气体对大气环境的污染, 又出现了沸腾燃烧锅炉。为了进一步改善沸腾炉的热经济性和环境保护, 又出现了循环流化床锅炉。至于目前采用较多的煤粉炉, 为了适应劣质煤的燃烧、适应调峰节油的需要以及减轻其对大气环境的污染, 在燃烧技术上又研制出钝体燃烧器、旋流燃烧器预燃室、多功能稳燃器 (即船体燃烧器) 和低氧化氮燃烧器等。