

锅炉运行与维护

GUOLU
YUNXING YU WEIHU

主 编 于 洁 韩淑芬



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

锅炉运行与维护

主 编 于 洁 韩淑芬
副主编 吴晓娜 牛亚尊 郑国栋
主 审 刘敏丽 张虎俊



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是由电厂热能动力装置专业教师和电力企业技术人员合作开发、以工作过程为导向、融入电厂锅炉运行值班员岗位职业资格标准的理实一体化的特色教材。

内容突出实用性,以必需、够用为度,包括绪论、项目一 锅炉燃烧、项目二 锅炉受热面分析、项目三 锅炉机组的启动和停运、项目四 锅炉的运行调节及维护、项目五 锅炉典型事故处理、项目六 锅炉燃烧热力计算与节能分析七部分内容。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

锅炉运行与维护 / 于洁, 韩淑芬主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-5640-8913-9

I. ①锅… II. ①于… ②韩… III. ①锅炉运行-高等学校-教材②锅炉-维修-高等学校-教材 IV. ①TK227

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 038322 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 21.75

字 数 / 367 千字

版 次 / 2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 69.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

PREFACE

本书是由电厂热动力装置专业教师和电力企业技术人员合作开发、以工作过程为导向的理实一体化特色教材，既可以作为学历教育教学用书，也可作为岗位技能培训教材。

本书共分七部分，主要内容包括绪论、项目一 锅炉燃烧、项目二 锅炉受热面分析、项目三 锅炉机组的启动和停运、项目四 锅炉的运行调节及维护、项目五 锅炉典型事故处理、项目六 锅炉燃烧热力计算与节能分析。其中，项目一、项目四由于洁编写，绪论和项目六由韩淑芬编写，项目二由吴晓娜编写，项目三由牛亚尊编写，项目五由郑国栋编写，杨祥军也参与了本书部分内容的编写。于洁负责全书的统稿工作。

本书由刘敏丽和张虎俊担任主审，他们提出了许多宝贵的意见。同时，本书在编写过程中参考了有关兄弟院校和企业的诸多文献、资料，并得到有关院校老师和同事们热情帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

绪 论	1
任务 1 电厂锅炉的构成及工作过程认知	1
任务 2 电厂锅炉的规范、型号及安全指标分析	6
任务 3 锅炉分类	7
任务 4 典型锅炉介绍	9
复习思考题	22
项目一 锅炉燃烧	23
单元一 锅炉燃料分析	23
任务 1 锅炉燃料介绍	23
任务 2 煤的成分及其性质分析	24
任务 3 煤的特性分析	31
复习思考题	39
单元二 锅炉热平衡介绍	39
任务 1 燃料燃烧所需空气量及过量空气系数计算	39
任务 2 锅炉热平衡介绍	42
复习思考题	46
单元三 煤粉制备	47
任务 1 煤粉的特性分析	47
任务 2 煤的可磨性分析	53
任务 3 磨煤机的应用	54

任务 4 制粉系统及主要辅助设备的应用	65
任务 5 制粉系统的运行调节	80
复习思考题	86
单元四 燃烧原理分析与燃烧设备应用	86
任务 1 燃烧基本概念分析	87
任务 2 煤粉气流的燃烧过程分析	92
任务 3 煤粉燃烧器的应用	99
任务 4 煤粉炉及点火装置的应用	118
复习思考题	130

项目二 锅炉受热面分析

单元一 自然循环蒸发系统分析	132
任务 1 自然循环汽包锅炉的蒸发设备分析	132
任务 2 自然循环的流动特性及安全性分析	142
任务 3 蒸汽净化	151
复习思考题	163
单元二 过热器与再热器分析	164
任务 1 过热器与再热器的工作特点分析	165
任务 2 过热器与再热器的型式和结构分析	168
任务 3 热偏差分析	176
任务 4 汽温调节	184
任务 5 过热器、再热器的高温积灰与高温腐蚀	195
复习思考题	198
单元三 省煤器和空气预热器分析	199
任务 1 省煤器分析	199
任务 2 空气预热器分析	204
任务 3 尾部受热面的布置	215
任务 4 尾部受热面的积灰、磨损和低温腐蚀	217
复习思考题	226
单元四 强制流动锅炉分析	226
任务 1 直流锅炉分析	227
任务 2 控制循环锅炉分析	229
任务 3 复合循环锅炉介绍	234

任务 4 强制流动特性分析	235
复习思考题	239
 项目三 锅炉机组的启动和停运	240
任务 1 锅炉机组启动与停运分析	240
任务 2 汽包锅炉的启动与停运	243
任务 3 直流锅炉的启动与停运	262
任务 4 锅炉的停用保护	272
 项目四 锅炉的运行调节及维护	274
任务 1 汽包锅炉的变工况运行特性分析	274
任务 2 锅炉运行调节	285
任务 3 锅炉运行维护	299
 项目五 锅炉典型事故处理	303
任务 1 汽包锅炉水位事故处理	303
任务 2 炉膛灭火与空气预热器跳闸事故处理	305
任务 3 制粉系统事故处理	307
任务 4 锅炉受热面管损坏事故处理	310
 项目六 锅炉燃烧热力计算与节能分析	315
任务 1 烟气成分及其烟气量的计算	315
任务 2 根据烟气成分求过量空气系数及烟气焓	322
任务 3 锅炉正平衡求效率	329
任务 4 锅炉反平衡求效率及各项热损失的计算	330
任务 5 锅炉燃料消耗量计算	335
任务 6 锅炉机组热平衡试验	335
 参考文献	339

绪 论

内容提要：火力发电厂是目前世界大多数国家包括我国在内的电能生产的主力，电厂锅炉是火力发电厂的重要设备之一，其作用是利用燃料在炉内燃烧释放的热能加热给水，产生规定参数（温度、压力）和品质的蒸汽，送往汽轮机做功。本部分内容将介绍火力发电厂的生产过程、电厂锅炉的构成及工作过程、规范、型号、安全指标、分类、发展概况等内容。

能力目标：能够正确说明火力发电厂的生产过程、电厂锅炉两大系统的组成和工作过程；能够正确表述锅炉规范主要参数的含义；能够正确识读电厂锅炉型号；能够正确说明不同类型锅炉的工作原理，并简要分析各自的特点。

任务1 电厂锅炉的构成及工作过程认知

一、火力发电厂的生产过程

火力发电是利用煤、石油或天然气等燃料的化学能来生产电能的。其生产过程如图 0-1 所示。燃料送入锅炉 1 中燃烧，放出热量将给水加热蒸发并形成饱和蒸汽，饱和蒸汽进一步加热后成为具有一定温度和压力的过热蒸汽，过热蒸汽通过蒸汽管道进入汽轮机 2 膨胀做功，高速气流推动汽轮机转子并带动发电机 3 的转子一起旋转发电。蒸汽在汽轮机中做完功以后排入凝汽器 4，并在凝汽器中被循环水泵 11 提供的冷却水冷凝成为凝结水，凝结水经凝结水泵 5 升压

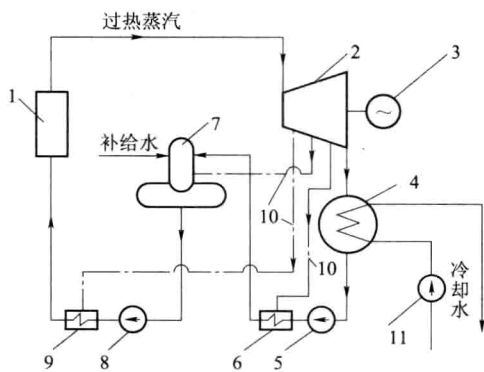


图 0-1 火力发电厂生产过程示意图

- 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—汽轮机抽汽管道；11—循环水泵

后打入低压加热器 6，利用汽轮机的抽汽将其加热后送入除氧器 7 中加热并除氧，除氧后的凝结水连同补给水由给水泵 8 升压，经高压加热器 9 进一步提高温度后送回锅炉。火力发电厂的生产过程就是不断重复上述循环的过程。汽水系统中的蒸汽和水总会有一些损失，故需要不断向系统补充经过化学处理的软化水。补充水通常是送入除氧器（或凝汽器）中。

由此可以看出，在火力发电厂的生产过程中存在着三种形式的能量转换：在锅炉中燃料的化学能转变为热能；在汽轮机中热能转变为机械能；在发电机中机械能转变为电能。锅炉、汽轮机和发电机称为火力发电厂的三大主机。

锅炉是火力发电厂三大主机中最基本的能量转换设备。其作用是利用燃料在炉内燃烧释放的热能加热给水，产生规定参数（温度、压力）和品质的蒸汽，送往汽轮机做功。

二、电厂锅炉的构成及工作过程

图 0-2 是一台煤粉炉及其辅助系统示意图，可以用来说明锅炉的主要构成和工作过程。

（一）燃烧系统

运输到火电厂的原煤，经过初步破碎和除铁、除木屑后，送到原煤斗 1，从原煤斗靠自重落下的煤，经过给煤机 2 送入磨煤机 3 中磨制成合格的煤粉，同时外界冷空气经一次风机升压后送入锅炉的空气预热器 15，冷空气在空气预热器内被烟气加热后直接进入磨煤机，用于对原煤加热、干燥，以便磨制，同时热空气本身也是输送煤粉的介质，它将磨好的煤粉输送到燃烧器进入炉膛。这股携带煤粉的热空气称为一次风。

外界冷空气经二次风机（送风机）升压后送入锅炉的空气预热器，冷空气在空气预热器内被烟气加热后，通过燃烧器二次风喷口直接进入炉膛，在炉膛内与已着火的煤粉气流混合，并参与燃烧反应，同时还起扰动和强化燃烧的作用，这股热空气称为二次风。

煤粉和空气进入炉膛后，在炉膛内悬浮燃烧放出热量，在燃烧火焰中心具有 1500℃ 或更高的温度。炉膛周围布置着大量水冷壁管，炉膛上部布置着顶棚过热器及屏式过热器等受热面。高温火焰和烟气在炉膛内向上流动时，主要以辐射换热方式把热量传递给水冷壁和过热器管内的水和汽。烟气的温度也不断地降低。

高温烟气离开炉膛进入水平烟道和垂直烟道，而在水平烟道和垂直烟道中布置有高温再热器 11、高温过热器 12、低温过热器 13、省煤器 14、空气预热器 15 等受热面。烟气在流过这些受热面时主要以对流换热的方式放出热

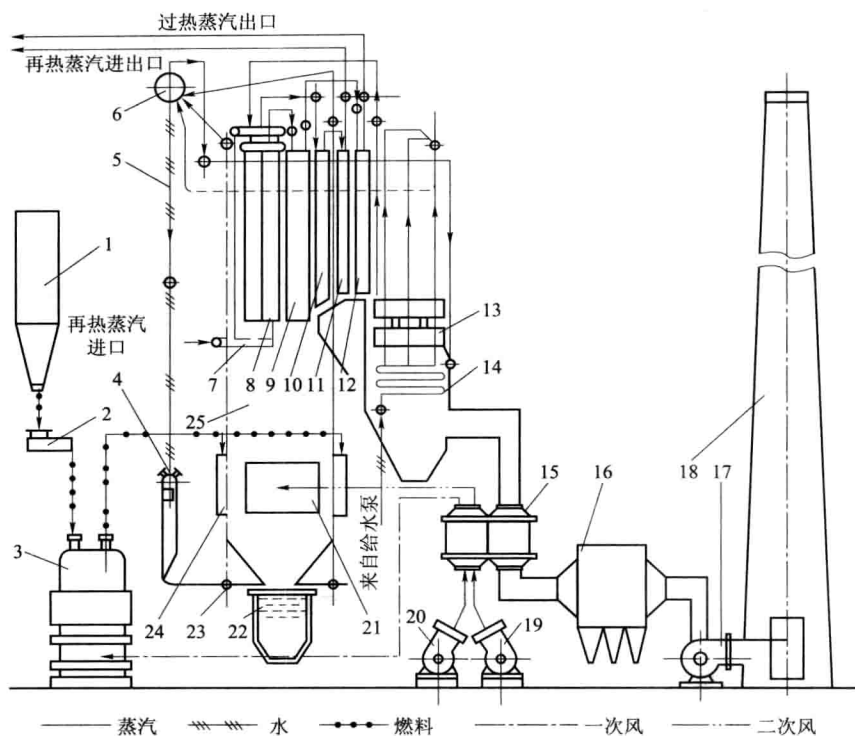


图 0-2 电厂锅炉机组构成及生产过程示意简图

- 1—原煤斗；2—给煤机；3—磨煤机；4—循环泵；5—下降管；6—汽包；7—墙式再热器；
8—分隔屏；9—后屏；10—屏式过热器；11—高温再热器；12—高温过热器；13—低温过热器；
14—省煤器；15—空气预热器；16—电除尘器；17—引风机；18—烟囱；19—二次风机；
20—一次风机；21—大风箱；22—除渣装置；23—下水包；24—燃烧器；25—炉膛

量，因此这些受热面称为对流受热面。过热器和再热器布置在烟气温度较高的区域，称为高温受热面。而省煤器和空气预热器布置在烟气温度较低的尾部烟道内，故称为低温受热面或尾部受热面。

烟气流经一系列对流受热面时，不断放出热量而逐渐冷却下来，离开空气预热器的烟气（即锅炉排烟）温度已相当低，通常在 $110^{\circ}\text{C} \sim 160^{\circ}\text{C}$ 。由于煤中灰分不参与燃烧过程，烟气在炉膛向上流动时，其中较大的灰粒会因自重从气流中分离出来，沉降于炉膛底部的冷灰斗中，形成固态渣，最后由除渣装置 22 排出，大量的细小灰粒则随烟气流，为了防止环境污染，锅炉排烟首先要经过电除尘器 16，将烟气中大部分灰粒捕捉下来，最后比较清洁的烟气由引风机 17 通过烟囱 18 排至大气中。

以上与燃料燃烧有关的煤、风、烟气系统称为锅炉的燃烧系统。锅炉的

“炉”即泛指燃烧系统。它的主要任务是使燃料在炉内良好燃烧，放出热量。燃烧系统由燃烧设备（炉膛、燃烧器和点火装置），空气预热器，通风设备（风机）及烟、风管道等组成，如图 0-3 所示。

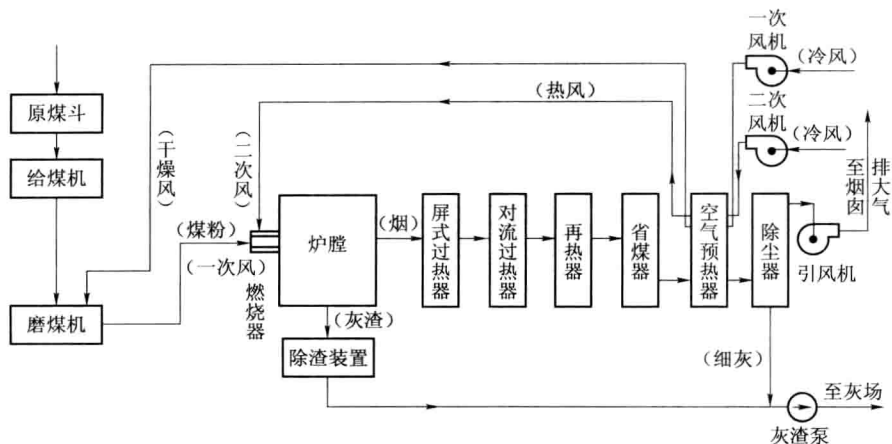


图 0-3 锅炉燃烧系统流程

（二）汽水系统

如图 0-4 所示，锅炉给水首先进入省煤器，在省煤器中自下而上流动，被从上而下流动的烟气加热。受热后送至汽包，进入由汽包、下降管、下联箱、水冷壁构成的自然循环蒸发回路中。汽包中的水沿下降管至下联箱，再进入水冷壁内，因吸收炉内火焰和烟气的辐射热，进一步加热升温成饱和水，并使部分水变成饱和蒸汽，此时水冷壁管子中的工质是汽水混合物。汽水混合物向上又流入汽包，在汽包内通过汽水分离装置进行汽和水的分离，分离出来的水留在汽包下部，连同不断进入汽包的给水一起又下降，随后在水冷壁吸热而又上升，周而复始，形成自然循环。这种锅炉就是自然循环锅炉。汽包中分离出来的饱和蒸汽，从汽包顶部引出，进入各级过热器加热达到规定过热汽温后经主蒸汽管道送往汽轮机高压缸做功。

为了提高锅炉-汽轮机组的循环热效率和安全性，锅炉压力在 13.7 MPa 以上时大多数采用再热循环。这样锅炉汽水系统中还有再热器。过热蒸汽在汽轮机高压缸膨胀做功后，又被送回锅炉再热器中。再热器的任务是将汽轮机高压缸膨胀做功、温度和压力都降低了的排汽进一步加热升温，然后送往汽轮机中，低压缸继续膨胀做功。

以上与汽水有关的受热面和管道系统称为锅炉的汽水系统。锅炉的“锅”泛指汽水系统，如图 0-4 所示。它的主要任务是有效吸收燃料燃烧放出的热

量，将水加热成过热蒸汽。对自然循环锅炉，锅炉汽水系统主要由省煤器、汽包、下降管、水冷壁、过热器、再热器、联箱及连接管道等组成。

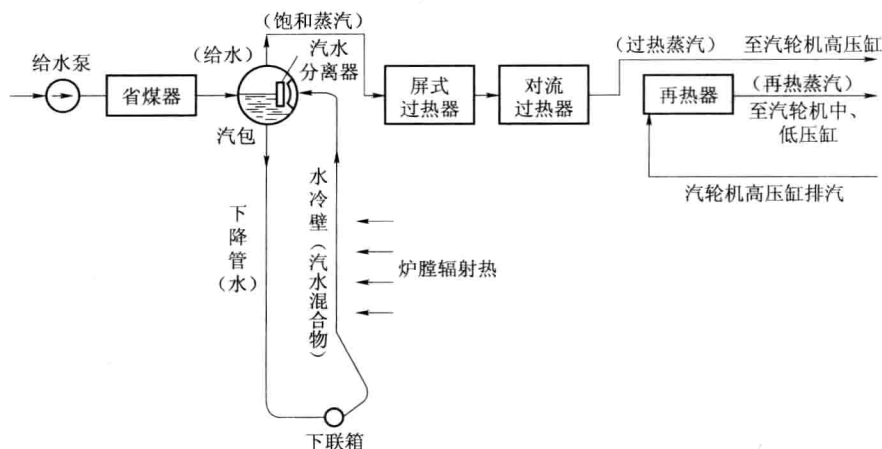


图 0-4 锅炉汽水系统流程

现代电站锅炉对给水和蒸汽的品质都有较高的要求。当给水含有杂质时，在锅炉内，锅水的杂质浓度会随锅水的不断汽化而升高。这些杂质会在锅炉的受热面上结成水垢，使传热恶化，严重时会使受热面管子过热烧坏。这些杂质会溶解在蒸汽中，携带杂质的蒸汽进入汽轮机做功时，杂质也会沉积在汽轮机的通流部分，影响汽轮机的出力、效率和运行的安全性。因此，进入锅炉的给水必须预先处理，运行时还要严格监视水和蒸汽的品质。

电厂锅炉机组是由锅炉本体、辅助系统和附属设备、锅炉附件等构成的。锅炉本体主要包括“锅”和“炉”，此外，锅炉本体还包括用来构成封闭的炉膛、烟道的炉墙和用来支撑和悬吊汽包、受热面、炉墙等设备的构架（包括平台扶梯）。

现代电站锅炉机组的辅助系统和附属设备较多。辅助系统包括：燃料供应系统、煤粉制备系统、给水系统、通风系统、除尘除灰系统、水处理系统、测量及控制系统等。各个辅助系统都配有相应的附属设备和仪器仪表。

为了保证锅炉生产过程的正常进行，还必须设置若干锅炉附件，锅炉附件包括安全门、水位计、吹灰器、热工仪表等。安全门用来控制锅炉蒸汽压力，以确保锅炉和汽轮机运行安全。水位计用来监视汽包水位。吹灰器用来清除锅炉受热面上的积灰，以保持受热面清洁。热工仪表用来监视锅炉热工参数。

任务2 电厂锅炉的规范、型号及安全指标分析

一、锅炉的规范

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

(一) 锅炉容量

锅炉容量指锅炉每小时的最大连续蒸发量（maximum continuous rating，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 （或 kg/s ）。例如 200 MW 汽轮发电机组配用的锅炉容量为 670 t/h 。

锅炉容量是说明锅炉产汽能力大小的特性数据。

(二) 锅炉蒸汽参数

通常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 200 MW 汽轮发电机组配用的超高压锅炉，其蒸汽压力为 13.73 MPa（表压），蒸汽温度为 540 $^{\circ}C$ 。当锅炉具有中间再热时，蒸汽参数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。

(三) 给水温度

锅炉给水温度是指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、锅炉型号

锅炉型号反映锅炉的基本特征。常用一组规定的符号和数字来表示。我国电厂锅炉型号一般用四组字码表示，其表达形式如下：

$$\triangle \triangle - \times \times \times / \times \times \times - \times \times \times / \times \times \times - \triangle \times$$

其中第一组字码是制造厂家（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）；第二组字码为一分数，分子表示锅炉容量，单位 t/h ，分母数字为锅炉出口过热蒸汽压力（表压），单位 MPa；第三组字码也为一分数，分子表示过热蒸汽温度，单位 $^{\circ}C$ ，分母表示再热蒸汽温度，单位 $^{\circ}C$ ；最后一组字码中，符号表示燃料代号，而数字表示锅炉设计序号。煤、油、气的燃料代号分别是 M、Y、Q，其他燃料代号是 T。

例如，HG-1025/18.2-540/540 - PM7 型表示哈尔滨锅炉厂制造，容量

为 1 025 t/h, 过热蒸汽压力为 18.2 MPa (表压), 过热蒸汽温度为 540 ℃, 再热蒸汽温度为 540 ℃, 设计燃料为贫煤, 设计序号为 7 (该型号锅炉为第 7 次设计)。

三、锅炉运行的安全性指标

锅炉运行的安全性指标不能进行专门的测量, 而用下列的间接指标来衡量。

(一) 锅炉连续运行小时数

锅炉连续运行小时数是指锅炉两次被迫停炉进行检修之间的运行小时数。

(二) 锅炉可用率

锅炉的可用率是指在统计期间内, 锅炉总运行小时数及总备用小时数之和, 与该统计期间总小时数的百分比, 即

$$\text{可用率} = \frac{\text{总运行小时数} + \text{总备用小时数}}{\text{统计期间总小时数}} \times 100\%$$

(三) 锅炉事故率

锅炉事故率是指在统计期间内, 锅炉事故停炉总小时数, 与总运行小时数和事故停炉总小时数之和的百分比, 即

$$\text{事故率} = \frac{\text{事故停炉总小时数}}{\text{总运行小时数} + \text{事故停炉总小时数}} \times 100\%$$

锅炉可用率和事故率的统计期间, 可用一个适当长的周期来计算。我国大型电厂锅炉在正常运行情况下, 一般两年安排一次大修和若干次小修。因此, 在统计时, 可以一年或两年作为一个统计期间。目前我国大、中型电厂锅炉的连续运行小时数在 5 000 h 以上, 事故率约为 1%, 平均可用率约为 90%。目前, 我国大型火电机组的平均可用率仍较低, 如发电功率为 300 ~ 600 MW 锅炉机组的可用率约为 75% ~ 80%。火电机组可用率低的直接原因是事故率高, 也即事故停运时间长。

任务3 锅炉分类

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、按锅炉容量分类

按锅炉容量的大小, 锅炉有大型、中型、小型之分, 但它们之间没有固定、明确的分界。随着我国电力工业的发展, 电厂锅炉容量不断增大, 大中



小型锅炉的分界容量不断演变,从当前情况来看,发电功率等于或大于 600 MW 机组配置的锅炉为大型锅炉。

二、按蒸汽压力分类

- $p \leq 1.27 \text{ MPa}$ 为低压锅炉;
- $p = 2.45 \sim 3.8 \text{ MPa}$ 为中压锅炉;
- $p = 9.8 \text{ MPa}$ 为高压锅炉;
- $p = 13.7 \text{ MPa}$ 为超高压锅炉;
- $p = 16.7 \sim 18.6 \text{ MPa}$ 为亚临界压力锅炉;
- $p \geq 22.1 \text{ MPa}$ 为超临界压力锅炉;
- $p \geq 25 \text{ MPa}$ 为超超临界压力锅炉。

三、按燃用燃料分类

按燃用燃料分有燃煤炉、燃油炉、燃气炉。

四、按燃烧方式分类

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他固体燃料在炉算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,如早期的链条炉,现在电厂锅炉已不采用。

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,也就是通常所说的煤粉炉。在煤粉锅炉中,燃烧方式目前主要采用三种技术:四角切向燃烧、对冲燃烧、W 火焰燃烧。

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,但主要针对特殊煤种而采用,通常采用液态排渣。

沸腾炉也称流化床锅炉,是指煤粒在炉算(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。目前的流化燃烧已逐渐演变为循环流化床燃烧。

五、按工质在蒸发受热面中的流动特性分类

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、复合循环或低倍率循环锅炉等。

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。控制循环锅炉也有汽包，工质在蒸发面中的流动依靠水泵的压头来进行。直流锅炉没有汽包，工质在蒸发受热面中的流动依靠水泵的压力来进行，且水在蒸发受热面中全部转变为蒸汽。复合循环锅炉是在直流锅炉的基础上发展起来的一种锅炉，它由直流锅炉加再循环泵构成。

六、按煤粉炉的排渣方式分类

按煤粉炉排渣方式分有固态排渣炉和液态排渣炉。我国电厂燃煤锅炉绝大部分为固态排渣锅炉，只有在煤种特殊时，如煤种挥发分低和灰熔点低时才采用液态排渣炉。

上述每一种分类仅反映了锅炉某一方面的特征，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，例如某台锅炉的特征为：670 t/h 超高压、单炉膛四角切圆燃烧、自然循环、一次中间再热、固态排渣煤粉炉。

任务 4 典型锅炉介绍

一、电厂锅炉的发展概况

增大锅炉容量和提高蒸汽参数是锅炉的主要发展方向。近几十年来，世界发达国家的电力工业得到了飞速发展，特别是计算机和耐温金属材料的开发和应用，为电厂锅炉向高参数、大容量、高自动化发展提供了强有力的技术支持。目前，在工业发达国家，与 600 MW 汽轮发电机组配套的 2 000 t/h 超临界压力的大型电厂锅炉已相当普遍。美国 1972 年就有与 1 300 MW 汽轮发电机组配套的 4 400 t/h 超临界压力的锅炉投入运行，日本 1974 年就有与 1 000 MW 汽轮发电机组配套的 3 180 t/h 超临界压力的锅炉投入运行，苏联于 1981 年投运了一台 1 200 MW 的超临界压力直流锅炉，锅炉容量为 3 950 t/h。扩大单机容量可使发电容量迅速增长以适应生产发展的需要，同时也可以使基建投资下降，设备费用降低，减少运行费用以及节约金属材料消耗。在其他条件相同时，锅炉容量增大 1 倍，钢材使用率可减少 5%~20%，所需管理人员也可相应减少。

从经济角度出发，电力工业明显地趋向于要求发电设备具有更高的可用率。此外，目前机组带负荷的方向趋向于带中间负荷，这就要求发电机组具有更大的灵活性。由于大机组的可用率相对较低，每年故障和计划检修停机

时间比较长,再加之 1 000 MW 以上机组运行灵活性有所不足,目前机组单机容量达到 1 300 MW 后不再增大。近十年来,国外工业发达国家火力发电主力机组的单机容量一直稳定在 500~800 MW。

随着机组容量的增大,提高电厂的热效率就变得更为迫切,提高蒸汽参数和采用蒸汽再热是提高电厂热效率的有效措施。

目前世界主要工业国家大容量机组锅炉采用的压力,一般可分为超高压、亚临界压力和超临界压力三个级别。蒸汽压力由超高压提高到亚临界压力,大约可使电厂经济性提高 1.7%。单机容量达 800~1 000 MW 及以上的锅炉,国外多采用超临界压力。由亚临界压力提高到超临界压力,电厂经济性提高 1.8% 左右。但是由于超临界压力机组的设备费用较高,对于 300~600 MW 机组,总的经济性提高并不明显,故仍采用亚临界压力比较适宜。

提高蒸汽温度可有效提高电厂循环热效率,但由于汽温提高要求使用更多的昂贵高合金钢材,致使设备的造价大为提高。目前世界主要工业国家的蒸汽温度一般限制在 570 ℃ 以下,多采用 540 ℃ 左右。

超高压以上机组多采用蒸汽再热,采用一次中间再热约可提高循环热效率 4%~6%,二次再热可再提高约 2%。采用蒸汽再热时,管道系统和机组运行均较复杂。因此,大机组目前多采用一次再热,再热蒸汽温度一般与新蒸汽温度相同。

此外,随着锅炉参数、容量的提高,在工质的循环方式上,除自然循环锅炉外,又发展了强制循环锅炉;在燃烧技术上,低污染燃烧技术是近期锅炉发展的一大趋势。为满足日益严格的环保要求,近二三十年来人们在解决锅炉燃烧生成的硫氧化物和氮氧化物的污染问题上取得了很大进展。例如:已开发了选择性催化还原脱氮技术和低氧化氮燃烧器,使氮氧化物的排放得到控制;已有几种烟气脱硫方法在许多锅炉上获得应用;燃烧中脱硫的流化床燃烧锅炉和炉内喷钙也取得了成功。目前人们正在继续寻求更为经济有效的低污染煤炭燃烧技术,如直接燃煤的燃气-蒸汽联合循环、整体煤气化增湿燃气轮机等煤炭清洁燃烧新方法。现在世界上已有多座容量超百万千瓦的联合循环电厂在运行。预计不久的将来,以燃气-蒸汽循环相结合或超临界压力蒸汽循环的燃煤、高效、低污染的新一代火电机组将在电力工业中崭露头角。

随着我国电力工业的快速发展,火力发电锅炉向大型化和环保型方向发展。目前大型化锅炉主要是配套 300 MW 和 600 MW 机组的煤粉锅炉,环保型锅炉主要是循环流化床锅炉。

二、配 300 MW 机组的亚临界压力煤粉锅炉

国内配 300 MW 机组的亚临界压力煤粉锅炉有多种炉型,有直流锅炉、