

中国电力企业联合会审定



全国电力继续教育规划教材

电力生产过程概论

王金枝 李 琳 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力出版社电力教材



全国电力高等院校教材

电力生产过程概论

王德明 李 强 编

中国电力出版社

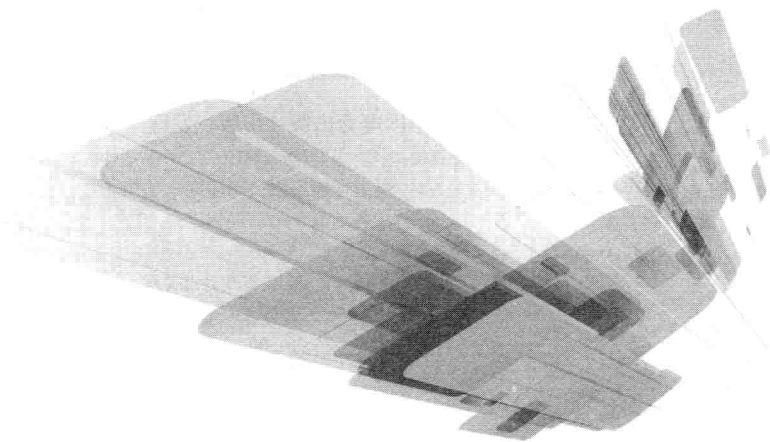


全国电力继续教育规划教材

电力生产过程概论

王金枝 李 琳 编

牛卫东 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力继续教育规划教材。

本书密切结合培训要求,采用项目教学,全面系统地阐述了火力发电、核能、新能源及可再生能源发电的电能生产过程。主要内容包括:火力发电系统电能的生产过程,火力发电两大热力设备——锅炉和汽轮机的工作原理,核能发电系统的主要设备及工作过程,太阳能、风能、水能等新能源和可再生能源发电系统的主要设备及工作过程。内容精练、结构清晰,便于非电工类的学员掌握。

本书作为国家电网公司新入职员工的培训教材,也可供非电厂热能动力专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力生产过程概论/王金枝,李琳编. —北京:中国电力出版社,2012.9

全国电力继续教育规划教材

ISBN 978-7-5123-3490-8

I. ①电… II. ①王…②李… III. ①发电—生产过程—继续教育—教材
IV. ①TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 218365 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 4 印张 100 千字

定价 10.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书是针对国家电网公司新入职的非电工类学员培训编写的。本书按照电能的生产过程,结合我国电能生产特点,将相关知识分为两个项目:火力发电和核能、新能源及可再生能源发电,每个学习项目根据知识和能力目标要求划分为几个学习任务,提炼出每个学习任务的教学目标、任务描述、任务准备、任务实施及相关知识,内容编写精练,任务提炼准确,能让学员在短时间内对电能生产过程及各系统的主要设备有初步了解。

本书由国网技术学院王金枝和李琳教授编写,王金枝负责全书的统稿。王金枝编写项目一中的任务一、二,项目二中的任务二、三、四;李琳编写项目一中的任务三、四,项目二中的任务一、五。

本书由国网技术学院牛卫东教授主审。主审老师在百忙中详细审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的意见和建议,详细而具体,使编者受益匪浅,在此表示由衷的感谢。

编者

2012年7月

目 录

前言

项目一 火力发电	1
任务一 锅炉燃烧系统的工作过程	2
任务二 锅炉汽水系统的工作过程	24
任务三 汽轮机本体部分	45
任务四 热力系统识读及汽轮机辅助设备	70
项目二 核能、新能源及可再生能源发电技术	76
任务一 核能发电技术	77
任务二 太阳能光伏发电技术	87
任务三 太阳能热发电技术	96
任务四 风力发电技术	104
任务五 水力发电技术	110
参考文献	119

项目一

火力发电



【项目描述】

火力发电是我国应用最为广泛的一种发电形式，火力发电量占总发电量的75%左右。火力发电就是将煤在锅炉内燃烧，释放其化学能，转变为高温烟气的热能，高温烟气流经锅炉汽水系统各受热面时，加热工质，使之成为高温高压的蒸汽，蒸汽流经汽轮机时，膨胀做功，将热能转化为机械能，推动汽轮机转子旋转，从而带动发电机旋转，产生电能。学员通过本项目的学习，能够熟悉火力发电厂的电能生产过程，了解火力发电厂两大蒸汽热力装置——锅炉和汽轮机的主要设备及工作过程。



【教学目标】

- (1) 熟悉火力发电厂电能生产过程。
- (2) 了解电厂锅炉燃烧系统的主要设备及工作过程。
- (3) 了解电厂锅炉汽水系统主要设备及工作过程。
- (4) 了解汽轮机的工作原理。
- (5) 了解汽轮机本体静止部分和转动部分的构成。
- (6) 了解汽轮机调速、保安及油系统。
- (7) 了解发电厂热力系统。



【教学环境】

多媒体教室、模型室、远红外播控室。

任务一 锅炉燃烧系统的工作过程



【教学目标】

1. 知识目标

(1) 借助火力发电生产过程示意图, 认知其主要设备, 了解各设备的作用, 掌握火力发电的电能生产过程。

(2) 从锅炉燃料入手, 了解煤的元素分析成分及各成分对锅炉工作的影响, 了解在燃烧过程中将原煤破碎成煤粉的必要性, 了解燃烧基本原理, 认知“炉”本体设备的结构。

2. 能力目标

(1) 熟悉“炉”本体设备的组成。

(2) 掌握燃烧系统的工作过程。



【任务描述】

锅炉由“锅”和“炉”两部分组成。“炉”是燃烧系统。燃烧系统的任务是使燃料在炉内良好的燃烧, 放出热量。本任务要求学员认识燃烧系统的主要设备: 空气预热器、燃烧器和炉膛, 了解制粉系统的重要性, 掌握燃烧系统的工作过程。



【任务准备】

(1) 煤的元素分析成分有哪些?

(2) 煤的元素分析成分中可以燃烧的有哪些?

(3) 为什么要将原煤磨成煤粉?

(4) 将原煤磨制成煤粉的主要设备是什么? 它是如何工作的?

(5) 何谓燃烧?

(6) 燃烧设备有哪些?

(7) 燃烧系统是如何工作的?

【任务实施】

借助模型及远红外播控录像,先认识火力发电厂电能的生产过程及锅炉整体布置情况。采用启发式教学,由燃料入手,介绍煤的成分、煤粉的制备过程,最后介绍燃烧主要设备及燃烧系统。

【相关知识】

一、火力发电厂的生产过程

火力发电厂利用煤、石油或天然气等燃料发电,它是目前我国生产电能的主要方式。火力发电厂的电能生产过程,实质上是**将一次能源(燃料的化学能)转化为二次能源(电能)的能量转化过程。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的热能转换为机械能;第三阶段是在发电机中将机械能转换为电能。

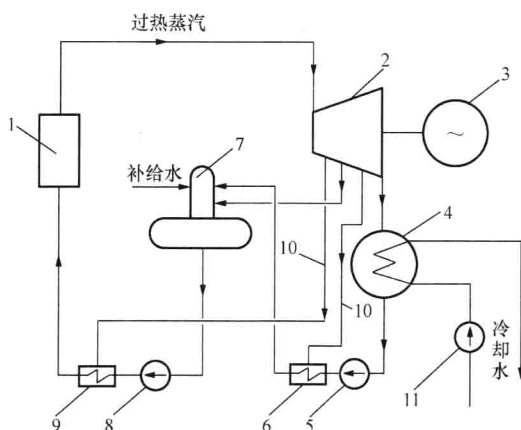


图 1-1 火力发电厂生产过程示意

- 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可简要地用图 1-1 表示。燃料送入锅炉中燃烧，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，过热蒸汽进入汽轮机膨胀做功。高速汽流冲动汽轮机的转子旋转，带动同轴的发电机转子旋转发电。在汽轮机中做完功的乏汽排入凝汽器，在其中被由循环水泵提供的冷却水冷却而凝结成水，凝结水经凝结水泵升压后进入低压加热器加热再送至除氧器，然后再由给水泵升压，经高压加热器进一步加热后送回锅炉。送入锅炉的给水又继续重复上述循环过程。

二、电厂锅炉设备的基本组成

图 1-2 所示为典型燃煤锅炉的简图。该锅炉为典型 Π 型布置的锅炉，包括炉膛、水平烟道和尾部烟道。锅炉设备由锅炉本体和辅助设备两大部分组成。下面分别介绍锅炉本体和辅助设备的组成。

（一）锅炉本体

锅炉本体是锅炉设备的主体，它包括“锅”本体和“炉”本体。

1. “锅”本体

“锅”即汽水系统，它的主要任务是吸收燃料燃烧放出的热量，使水蒸发并最后变成具有一定参数的过热蒸汽。它由省煤器、汽包、下降管、联箱、水冷壁、过热器和再热器等组成。

（1）省煤器。省煤器位于锅炉尾部烟道中，利用排烟余热加热给水，降低了排烟温度，提高效率，节约燃料。它通常由带鳍片（即肋片）的铸铁管组装而成，也可用钢管制作。

（2）汽包。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。汽包是预热、蒸发、过热的连接点。它接收省煤器的来水，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。下降管是水冷壁的供水管，其作用是把汽包

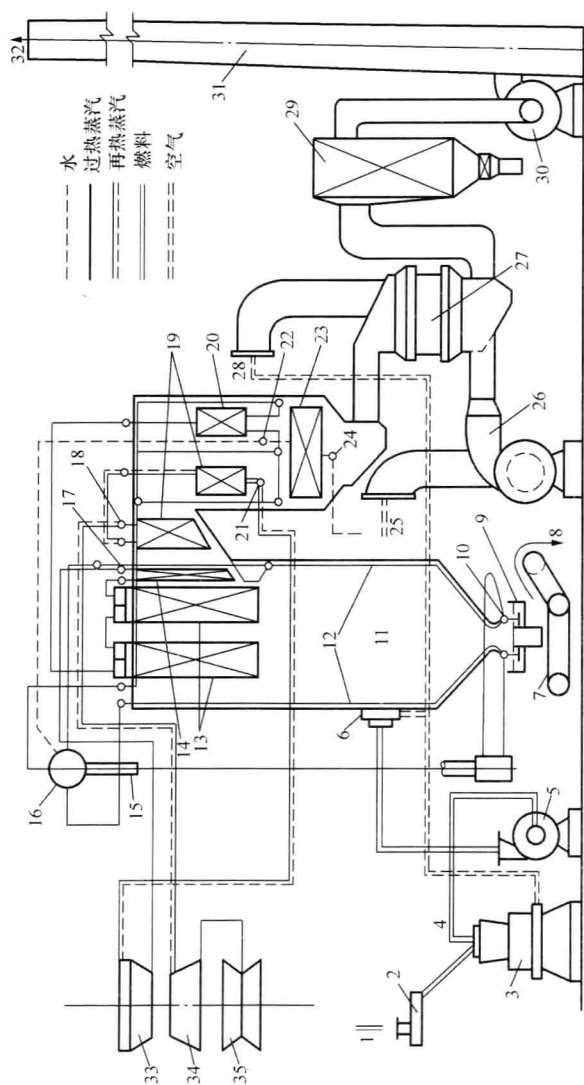


图 1-2 煤粉锅炉及其辅助系统示意

中的水引入下联箱再分配到各水冷壁管中。通常大型电厂锅炉的下降管在炉外集中布置。

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

(5) 水冷壁。水冷壁是布置在锅炉炉膛四周炉墙上的蒸发受热面。饱和水在水冷壁管内吸收炉内高温火焰的辐射热量转变为汽水两相混合物。水冷壁通常采用外径为 45~60 的无缝钢管和内螺纹管，材料为 20 号优质锅炉钢 (20G)。

(6) 过热器。过热器的作用是将汽包来的饱和蒸汽加热成为合格温度和压力的过热蒸汽。

(7) 再热器。再热器的主要作用是将汽轮机中做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做功。过热器和再热器是锅炉中金属壁温最高的受热面，常采用耐高温的合金钢蛇形管。

2. “炉”本体

“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。

(1) 炉膛。炉膛是一个由炉墙和四周水冷壁围成供燃料燃烧的空间。

(2) 燃烧器。燃烧器是主要的燃烧设备。其作用是把燃料和燃烧所需空气以一定速度喷入炉内，使其在炉内良好地混合，以保证燃料着火和完全燃烧。

(3) 空气预热器。空气预热器是利用排烟余热加热入炉空气的装置，其整个结构为数量众多的钢管制成的管箱组合体，也可采用蓄热式的回转式空气预热器。燃烧所需的空气受到烟气加热，也可改善燃烧条件。

(二) 辅助设备

1. 燃料供应系统

燃料供应系统将燃料由煤场送到锅炉房，包括运输和装卸

机械等。

2. 煤粉制备系统

煤粉制备设备包括磨煤机、排粉机、粗粉分离器、细粉分离器以及煤粉输送管道。

3. 给水系统

给水系统由给水处理装置、水箱和给水泵等组成。水处理装置除去水中的杂质，保证给水品质。处理后的锅炉给水借助给水泵提高压力，后经省煤器送入汽包。

4. 通风系统

通风系统包括送风机、引风机和烟囱等。送风机将空气通过空气预热器加热后送往锅炉，引风机及烟囱将锅炉排出的烟气送入大气中。

5. 除灰除尘系统

除灰设备从锅炉中除去灰渣并送出电厂；除尘装置除去锅炉烟气中的飞灰，改善环境卫生。

6. 汽、水管道系统

汽、水管道系统是为了供应锅炉给水、输配蒸汽和排放污水而敷设的各种汽、水管道，如给水管、主蒸汽管和排污管等。

7. 测量和控制系统

仪表及控制设备除了水位表、压力表和安全阀等装在锅炉本体上的监察仪表和安全附件外，还常装置有一系列指示、计算仪表和控制设备，如煤量计、蒸汽流量计、水表、温度计、风压计、排烟二氧化碳指示仪，以及烟、风闸门的远距操作和控制设备等。对于容量大、自动化程度较高的锅炉，还配置了给水、燃烧过程自动调节装置或计算机控制调节系统，以科学地监控锅炉运行。

三、锅炉燃料

燃料是指燃烧时能够发热的物质。燃料的种类繁多，按其物态可分三种。

(1) 固体燃料：主要是煤，其次为油页岩及木材等。

(2) 液体燃料：主要有重油、各种渣油及炼焦油等。

(3) 气体燃料：天然气、各种工艺气如高炉煤气、焦炉煤气及发生炉煤气等。

我国目前电厂锅炉燃料主要为煤，下面以煤为例介绍燃料的成分及性质。

煤是地面上的植物残骸被长期埋在地层深处，在合适温度与高压及缺氧条件下，原始有机物不断分解化合形成的一种复杂物质，属有机燃料。

(一) 煤的元素分析成分及其性质

元素分析法测定煤的组成成分时包括七项：碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、硫 (S) 五种元素和水分 (M)、灰分 (A) 两种成分。

1. 碳 (C)

碳是煤中的主要可燃元素，其含量一般为 50%~90%。

煤中的碳以两种状态存在。一种是以单晶状态存在，称为固定碳；另一部分碳与氢、氮、硫、氧形成化合态的碳。固定碳的燃烧特点是不易着火，燃烧缓慢，火苗短。所以，一般含固定碳越多的煤，其着火和燃烧就越困难。

2. 氢 (H)

氢是煤中可燃元素之一，其含量为 1%~6%，但发热量比碳高得多。1kg 氢完全燃烧生成水 H_2O ，能放出 120 000kJ 的热量（扣除水的汽化潜热后剩余的热量）。

氢的燃烧特点是极易着火，燃烧迅速，火苗也长。因此含氢越多的煤越容易着火燃烧。

3. 硫 (S)

煤中硫的含量一般不超过 2%，但个别煤种高达 8%~10%。煤中的硫以三种形态存在：有机硫（与 C、H、O 等元素组成的复杂化合物）、黄铁矿硫 (FeS_2) 及硫酸盐硫（与 Ca、Mg、Fe 等元素组成的盐类）。前两种硫可以燃烧放热，统称为可燃硫 (S_r)，硫酸盐硫 (S_{ly}) 不能燃烧而并入灰分中。

4. 氧 (O) 和氮 (N)

氧和氮都是煤中的不可燃元素，不能燃烧。

煤中氧的含量变化很大，碳化程度深的煤中氧含量很少，如无烟煤氧含量仅有 $1\% \sim 2\%$ ；碳化程度浅的煤可达 40% 左右。煤中的氧由两部分组成：一部分为游离态存在的氧，它能助燃；另一部分为化合物（如 CO_2 、 H_2O 等）中存在的氧，当这部分氧多时，表示与它化合而不能燃烧的 C、H 也多，这将使煤的发热量降低。

氮的含量较少，仅为 $0.5\% \sim 2.5\%$ ，但它是有害元素。在氧气供应充分、高温和含氮量高的燃烧过程中易生成氮氧化物 (NO_x)，污染大气，对人体和植物都十分有害。

5. 水分 (M)

水分是煤中主要的不可燃成分，也是一种有害杂质。各种煤的水分含量差别很大，少的仅有 2% 左右，多的可达 $50\% \sim 60\%$ 。煤中水分由表面（外在）水分 M_f 和固有（内在）水分 M_{ad} 组成。

表面水分是在开采、储运过程中受雨露冰雪影响而进入煤中的，在温度 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $65\% \pm 1\%$ 的空气中自然风干后可以失去的水分；固有水分靠自然干燥不能除去，必须把煤加热到 $150 \sim 160^\circ\text{C}$ ，并保持一定的时间才能除去。外在水分和内在水分的总和称为全水分。

6. 灰分 (A)

煤中的各种矿物杂质，在煤燃烧后形成灰分。灰分既是煤中主要不可燃成分，又是有害的杂质。各种煤中灰分含量变化很大，多在 $10\% \sim 50\%$ 之间。煤中灰分由内在灰分和外在灰分组成。内在灰分来自古代植物自身所含的矿物质，外在灰分来自煤形成期间从外界带入的矿物质以及在开采、运输中混入的矿物杂质。

(二) 煤的工业分析成分及煤的分类

1. 煤的工业分析成分

在煤的着火、燃烧过程中，煤中各种成分的变化情况是：

将煤加热到一定温度时，首先水分被蒸发出来；再加热，煤中的氢、氧、氮、硫及部分碳所组成的有机化合物便分解，变成气体挥发出来，这些气体称为挥发分；挥发分析出后，剩下的是焦炭，焦炭就是固定碳和灰分的组合。

煤的工业分析成分包括水分 (M)、挥发分 (V)、固定碳 (FC) 和灰分 (A) 四部分。

挥发分是煤的重要成分特性，其含量对煤的着火、燃烧有很大的影响。挥发分越多的煤，就越容易着火，燃烧也容易完全。这是因为：挥发分主要是气体可燃物，其着火温度较低，着火容易；挥发分多，相对来说，煤中难燃的固定碳的质量分数便少，大量挥发分析出，着火燃烧后可以放出大量热量，造成炉内高温，有助于固定碳的迅速着火和燃烧。挥发分是从煤的内部析出的，析出后使煤具有孔隙性，挥发分越多，煤的孔隙就越多、越大，使煤和空气的接触面增大，即增大了反应表面积，使反应速度加快，也使煤容易燃烧完全。

2. 煤的分类

我国以煤的干燥无灰基挥发分 V_{daf} 作为分类指标，将煤分为三大类：褐煤、烟煤和无烟煤。 $V_{\text{daf}} \leq 10\%$ 的煤为无烟煤， V_{daf} 在 $10\% \sim 37\%$ 之间的煤为烟煤， $V_{\text{daf}} > 37\%$ 的煤为褐煤。

四、煤粉制备系统

原煤需经制粉系统磨制成煤粉后才能送入锅炉燃烧。

(一) 煤粉的一般性质

煤粉由各种形状不规则、尺寸小于 $500\mu\text{m}$ 的微小颗粒组成，其中 $20 \sim 60\mu\text{m}$ 的颗粒占大多数。

煤粉具有较好的流动性。由于煤粉颗粒小，比表面积大，能吸附大量的空气，所以煤粉的堆积角很小，并有很好的流动性。

煤粉的自燃和爆炸。因煤粉中吸附了大量空气，极易缓慢氧化，使煤粉温度升高，当达到着火温度时，便引起自燃。煤粉和空气的混合物在适当的浓度和温度下会发生爆炸。

（二）煤粉制备系统

煤粉制备系统是指将原煤磨制成粉，然后送入锅炉炉膛进行悬浮燃烧所需设备和相关连接管道的组合，通常简称为制粉系统。

制粉系统有两种：直吹式制粉系统和中间储仓式制粉系统。直吹式制粉系统指原煤经输煤皮带、原煤仓、下煤管、给煤机进入磨煤机，磨制成细粉，由空气携带进入分离器，合格的细粉直接送入炉膛燃烧，不合格的粗粉返回磨煤机重磨。中间储仓式制粉系统指原煤由输煤皮带、煤粉仓、给煤机送入磨煤机，在磨煤机内将原煤磨制成细粉，细粉由空气带出磨煤机，气粉混合物经粗粉分离器分离，不合格的粗粉返回磨煤机重磨，合格的气粉混合物进入细粉分离器完成气粉分离，煤粉落入煤粉仓，由给粉机根据锅炉负荷需要调整粉量，被一次风携带经燃烧器喷口送入炉膛燃烧，不足的空气由二次风补充。从细粉分离器出来的空气含有少量的细煤粉，被称为乏气，不能直接排放到大气中，可以作为三次风或一次风送入炉膛燃烧。

制备系统的主要设备是磨煤机。磨煤机的形式很多，根据磨煤机的转速大致可分为三种。

（1）低速磨煤机：它通常指筒式钢球磨煤机（简称球磨机），其转速 $n=16\sim 20\text{r/min}$ 。

（2）中速磨煤机：它包括中速平盘式磨煤机（简称中速平盘磨）、中速环球式磨煤机（又叫 E 型磨）、碗式磨煤机、MPS 磨煤机（简称 MPS 磨），其转速 $n=50\sim 300\text{r/min}$ 。

（3）高速磨煤机：包括风扇磨煤机（简称风扇磨）和锤击式磨煤机（简称锤击磨），其转速 $n=500\sim 1500\text{r/min}$ 。

磨煤机是煤粉制备系统的主要设备，其作用是将具有一定尺寸的煤块干燥、破碎并磨制成煤粉。煤在磨煤机中被磨制成煤粉，主要是受到撞击、挤压和研磨三种力作用的结果。中速磨煤机和高速磨煤机对煤种要求较高，低速磨煤机适合磨制各种煤，下面以低速筒式钢球磨煤机为例介绍它的结构及工作