

电力工业学校重点教材

电厂热力系统及辅助设备

合肥电力学校 张燕侠 主编

China Electric Power Press

中国电力出版社

电厂热力系统及运行设备

第二版



电力工业学校

电厂热力系统及辅助设备

合肥电力学校 张燕侠 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书以 300MW、600MW 火力发电机组为典型,主要讲述发电厂热力辅助设备的基本结构、工作原理和运行知识,以及实际热力系统的组成、连接方式和运行知识;定性分析火力发电机组的热经济性;较详细地介绍了发电厂管道、阀门及其运行维护知识;对发电厂的辅助生产系统和设备也作了适当介绍。

本书为电力工业学校电厂热力设备运行与检修专业和火力发电厂运行专业教材,也可作为 300MW、600MW 火力发电机组运行岗位的培训教材,亦可供火力发电厂有关专业技术人员学习与参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂热力系统及辅助设备/张燕侠主编. —北京:中国电力出版社, 1999

电力工业学校重点教材

ISBN 7-5083-0006-8

I. 电… I. 张… III. 火电厂-热力系统-专业学校-教材 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 05634 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

实验小学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1999 年 7 月第一版 1999 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 298 千字
印数 0001—5000 册 定价 21.00 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)

序

近年来，电力职业技术教育在结构改革过程中，创建了将中专和技校融为一体的新型办学模式——形成统一的电力工业学校，与此同时，进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可或缺的信息载体，其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果，推动改革持续深入发展，满足电力工业学校教学工作的急需，并促进教学质量不断提高，从1996年底开始，便着手组织力量进行教材改革的研究、探索和教材建设的安排部署，先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组，制订了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》，组建了电力工业学校教材编审委员会，并于1997年末在电力职业技术教育委员会各教学研究会和网、省电力公司教育部门推荐的基础上，经过审议，遴选确定了电力工业学校第一批（23种）重点教材编审出版计划。

为了加快教材建设步伐，繁荣教材创作局面，电力工业学校教材建设采取点面结合、分分结合的方法，以重点教材带动一般教材。重点教材的建设旨在对教材改革起重点研究、典型引路、以点带面的龙头作用。这批重点教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标，突出教材的定向性或针对性，以电力行业工作岗位需要的综合职业能力和素质要求，作为界定教材内容的依据，不片面追求学科体系的完整性，而强调贴近生产实际和工作实际，使理论同实践紧密结合，传授知识同培训技能紧密结合；精选教材内容，删繁就简，返璞归真，充实技术性、工艺性、实用性的内容，而且体现先进性和科学性的原则；注重定性分析，阐明物理意义和应用方法，简化某些论证，减少不必要的数学推导；在内容的编排、组合上，一是最大限度地做到模块化，增强教材使用的灵活性，便于不同教学阶段、不同专业采用，二是使理论阐述同实践指导有机结合，便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线，采用以实际训练为轴心，把讲授、实验、实习融于一体的教学方式；适应各校功能延伸的新要求，兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果，仍需再接再厉，继续深化教材改革，推进教材建设。预期经过几年的努力，会形成一套具有电力职业技术教育特色，以职业能力培养为主线，门类比较齐全，形式比较多样，并能与其他教育相衔接，兼顾职工培训需要的教材体系。

中国电力企业联合会教育培训部
电力工业学校教材编审委员会

1998年9月

前 言

电厂热力系统及辅助设备是电力工业学校“电厂热力设备运行与检修”专业的一门主干课程(属于第一模块),是按照中国电力企业联合会教育培训部1996年11月颁发的教学计划(试行)和动力类专业教研会组织审定的教学大纲为依据进行编写的。

本书是电力工业学校教材编审委员会确定的重点教材,遵照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路,力求贯彻以能力为本的思想,紧密联系热力岗位实际,以300MW、600MW火力发电机组为典型,重点讲述电厂热力辅助设备的基本结构、工作原理和各热力系统的组成、连接方式;突出了现代大型火力发电机组的新设备、新技术:双压凝汽器,卧式高、低压加热器,卧式喷雾淋水盘除氧器,单管—双管式和双管—单管—双管式主蒸汽系统,不设凝结水升压泵的主凝结水系统,自密封轴封蒸汽系统,驱动锅炉给水泵汽轮机的配汽、排汽方式和热力系统,真空泵的抽真空系统,发电机的水—氢—氢冷却系统,汽轮机三用旁路阀及其液压控制系统,恒力吊架,燃运系统计算机程序控制等;增加了电厂热力系统和辅助设备的运行知识、典型事故案例和有关实验内容;对火电厂的热经济性只作定性分析;加强了针对性和实用性。教材内容精炼,文字通俗易懂,全部插图由计算机绘制,清晰美观。各章前有内容提要,章后有小结和复习思考题。

本书由合肥电力学校张燕侠主编,并编写绪论和第二、四章;合肥电力学校马宏编写第一、三章;长沙电力学校李邵霞编写第五章。全书由山东电力学校孙玉民主审。

本书在编写过程中,得到电力职业技术教育研究中心教材建设研究室主任田金玉的热情帮助和指导,得到上海石洞口二厂、上海苏尔寿工程机械制造有限公司、哈尔滨第三发电厂、大亚湾核电站、平圩发电厂、洛河发电厂、马鞍山电厂、石门电厂、湘潭电厂、安徽电力试验研究所、武汉电力学校等单位的协助,还得到有关学校领导和老师们的大力支持,在此谨致谢意。

对于书中存在的缺点和不足之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1998年12月

目 录

序

前言

绪论	1
第一章 发电厂的热经济性	8
第一节 发电厂的生产过程	8
第二节 凝汽式发电厂的效率及热平衡	12
第三节 凝汽式发电厂主要热经济指标	16
第四节 提高发电厂热经济性的途径	18
第五节 发电厂原则性热力系统	26
第二章 热力辅助设备	33
第一节 凝汽设备	33
第二节 回热加热器	48
第三节 除氧器	60
第三章 发电厂管道与附件	74
第一节 管道的材料和规范	74
第二节 阀门	78
第三节 管道的膨胀、支持与保温	96
第四节 管道的运行与维护	104
第四章 发电厂热力系统	113
第一节 主蒸汽系统	113
第二节 再热蒸汽系统	117
第三节 再热机组的旁路系统	121
第四节 主蒸汽、再热蒸汽及旁路系统的运行	126
第五节 回热加热器的抽汽、疏水和放气系统	129
第六节 凝汽器的抽真空系统	135
第七节 主凝结水系统	140
第八节 给水系统	146
第九节 汽轮机的轴封蒸汽系统	151
第十节 汽轮机本体疏水系统	155
第十一节 小汽轮机热力系统	159
第十二节 辅助蒸汽系统	164
第十三节 锅炉的排污系统	167
第十四节 工业冷却水系统	171
第十五节 发电机冷却系统	176
第五章 发电厂辅助生产系统和设备	186
第一节 发电厂燃料运输系统和设备	186
第二节 发电厂的供水系统	199

绪 论

内 容 提 要

电能的特点以及对电力生产的要求；发电厂的分类；国内、外电力工业发展概况及我国电力工业的发展政策；本课程的学习要求。

一、电力工业在国民经济中的作用和地位

电力工业是把一次能源转变为电能的生产行业。一次能源是指以原始状态存在于自然界中、不需要经过加工或转换过程就可直接提供热、光或动力的能源，如石油、煤炭、天然气、水力、原子能、风能、地热能、海洋能等，上述前五种能源是当前被广泛使用的，所以称为常规能源，世界能源消费几乎全靠这五大能源来供应。一次能源通过加工、转化生成的能源称为二次能源。电能是优质的二次能源，一些不宜或不便于直接利用的一次能源（如核能、水能、低热值燃料等），可以通过转换成电能而得到充分利用，由此扩大了一次能源的应用范围。电能可较为方便地转换为社会所需要的各种形式的能源，如机械能、光能、磁能、化学能等，而且转换效率高；它容易控制，无污染；以电能作为动力，可有效地提高各行各业生产的自动化水平，促进技术进步，从而提高劳动生产率，改善劳动者的工作环境和条件；电能是提高人民的物质文化水平方面同样起着非常重要的作用。世界各国都把电力工业的发展速度和电能消耗占总能源消耗的比例，作为衡量一个国家现代化水平的标志。

一个国家的电气化发展速度，用电力弹性系数来表示，它是指电力工业的年增长速度与国民经济总产值年增长速度的比值。当经济发展过程中高电耗的重工业和基础工业的比重增大时，特别是发展中国家，使用电力来替代直接使用的一次能源和其他动力的范围不断扩大，电力总消费量增长率会不断增大，则电力弹性系数呈现大于1的趋向；当经济发展过程中基本上保持原来结构和原有技术水平时，电力弹性系数接近于1或等于1；当产业结构和产品结构向节能型方向调整，用电效率提高，使得单位产值电耗降低时，电力弹性系数就会小于1。截止到1994年，我国电力弹性系数平均大于1。近几年，随着市场经济体制的进一步完善，产业结构调整，科技含量逐步提高，单位产值能耗不断降低，电力供应紧张的矛盾趋于缓和，电力弹性系数已连续四年小于1。

二、电力生产的特点及基本要求

目前，电能还不能大量储存。这就要求发电厂所发出的电功率必须随时与用户所消耗的电功率保持平衡，以保证用户对电量的需求。为此，发电设备的运行工况必须随着外界负荷的变化而变化。根据电能生产的这一特点，对电能生产提出了如下要求。

1. 安全可靠

电力工业是连续进行的现代化大生产，一个小事故处理不当就可能发展成大面积的停

电事故，给工农业生产和人民生活造成严重的损失。所以，电力生产必须保证发电和供电的可靠性与安全性。在电力生产系统中备有必须的备用容量，以备在检修或事故情况下向外供电，对重要用户要采用双回路供电。

2. 力求经济

电力生产所消耗的一次能源多，而能源的利用率又极低，我国的能源利用率仅为30%，先进国家在40%~50%，因此节能的潜力很大，在电力生产过程中，要力求经济运行，提高能源利用率。

3. 保证电能质量

随着电力工业的不断发展，电网愈来愈大，为保证电能质量，在电力系统中设有适应用户有功功率变化的调频厂，使电网频率保持在规定的范围内。为了保证电能质量，在电网中无功功率差异较大的局部地区要安装电力电容器或调相机组，给予补偿。

4. 控制污染，保护环境

当今电力生产主要还是依靠火电厂，火电厂在生产过程中产生的灰尘、SO₂、NO₂、废水、灰渣和噪声都要污染环境，危害人民的身体健康，必须采取有效措施，严格控制。目前采用煤或烟气的脱硫脱硝、流化床及低温分段燃烧等技术，使烟气中有害气体的含量得到有效控制，利用高效的电气式除尘器使烟气中的粉尘含量大为减少。可以说火电厂环保的优劣已成为一个国家电力工业技术水平高低的标志之一。

三、发电厂的类型

(一) 按产品分

可分为凝汽式电厂和热电厂两种。凝汽式电厂只生产电能，在汽轮机作完功的蒸汽，排入凝汽器凝结成水。热电厂既生产电能，又对外供热，供热是利用汽轮机较高压力的排汽或可调节抽汽送给热用户。

(二) 按使用的能源分

1. 火力发电厂

以煤、油、天然气为燃料的电厂称为火力发电厂，简称火电厂。按照我国的能源政策，火电厂要以燃煤为主，并且优先使用劣质煤，除国家批准的燃油电厂外，严格控制电厂使用燃油。

2. 水力发电厂

以水能作为动力发电的电厂称为水力发电厂。其生产过程是由拦河坝维持的高水位的水，经压力水管进入水轮机推动转子旋转，将水能转变成机械能，水轮机带动发电机旋转，从而使机械能转变为电能，在水轮机中作完功的水流经尾水管排入下游，其生产流程如图0-2正向所示。

与火力发电相比较，水力发电具有发电成本低、效率高、环境污染小、启停快、事故应变能力等优点，但需要修筑大坝，投资大，工期长。我国的水力资源丰富，从长远利益看，发展水电将会取得很好的综合效益。因此，国家把开发水力资源放在重要的位置。

3. 原子能发电厂

将原子核裂变释放出的能量转变成电能的电厂称为原子能发电厂，简称核电站。以目

前应用最多的压水堆核电站为例，它由两部分组成，一部分是利用核能产生蒸汽的核岛，它包括核反应堆和一回路系统，核燃料在反应堆中进行链式裂变产生热能，一回路中的冷却水吸收裂变产生的热能后流出反应堆，进入蒸汽发生器将热量传给二回路中的水，使之变成蒸汽；另一部分是利用蒸汽的热能转换成电能的常规岛，它包括汽轮发电机组及其系统，与火电厂中的汽轮发电机组大同小异。图 0-1 所示为压水堆核电站的简要流程图。

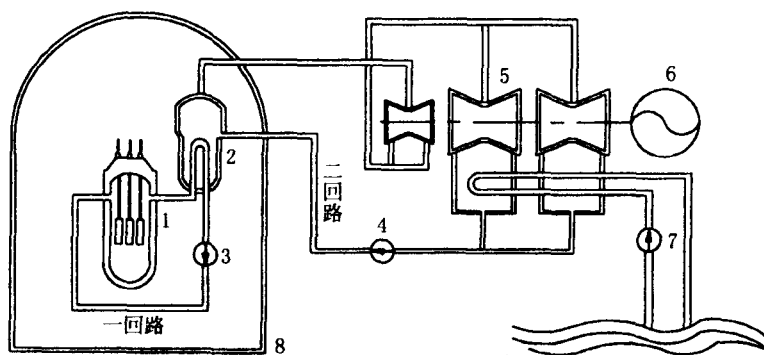


图 0-1 核电站简要流程图

1—反应堆压力容器；2—蒸汽发生器；3—主冷却剂泵；4—给水泵；5—汽轮机；
6—发电机；7—循环水泵；8—安全壳

原子能发电比火力发电有许多优越性，其燃料能量高度密集，避免燃料的繁重运输，运行费用低，无大气污染等，但基建投资大。在能源短缺的今天，原子能发电将会得到更大的发展。

(三) 其他类型的发电厂

1. 燃气—蒸汽轮机发电厂

利用燃气—蒸汽联合循环动力装置，能充分利用燃气轮机的余热发电，因此热效率高，净效率可达 50% 以上。利用深层煤炭地下气化技术，结合燃气—蒸汽联合循环发电，不仅能提高发电效率，而且避免深井煤炭的开采，有利于煤的脱硫，其综合效益将是非常显著的。当利用工业企业排放出的废气，如煤气、石化厂的火炬气、高炉烟气作为燃气轮机的能源时，还可减轻公害。

2. 抽水蓄能电厂

将电力系统负荷处于低谷时的多余电能转换为水的势能，在电力系统负荷处于高峰时又将水的势能转换为电能的电厂称为抽水蓄能电厂或称抽水蓄能电站，如图 0-2 反向所示。这种水电站因有两次水的势能与电能之间的转换，运行效率较低，但随着电力负荷的急剧增长，特别是对有大型核电站带基本负荷的电力系统，在电力系统调峰、调频中的作用更为显著，因而发展较快。

3. 太阳能发电厂

利用太阳能发电的电厂称为太阳能发电厂。太阳能发电有两种基本方法，一种是将太阳光聚集到一个容器上，加热水或其他低沸点液体产生蒸汽，带动汽轮发电机组发电。另

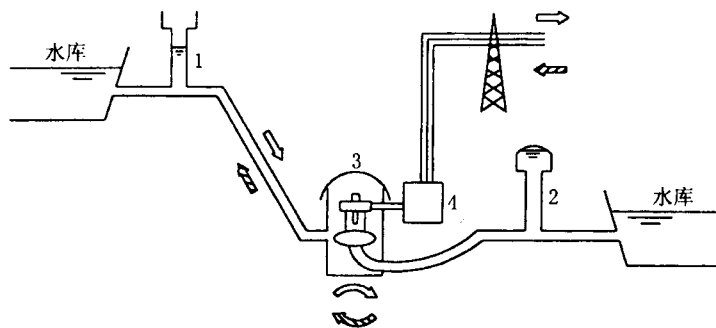


图 0-2 抽水蓄能电厂示意图

1、2—调压井；3—水电站；4—变压器

一种是用光电池直接发电。

4. 地热发电厂

利用地下热水（蒸汽或汽水混合物），经过扩容器降压产生蒸汽，或通过热交换器使低沸点液体产生蒸汽，通过汽轮发电机组发电的电厂称为地热发电厂。

另外还有利用潮汐能、风能、海洋能、磁流体等发电的电厂。

火力发电机组还按汽轮机的进汽参数分为中低压机组（进汽压力 $<3.43\text{MPa}$ ）、高压机组（进汽压力为 8.83MPa ）、超高压机组（进汽压力为 $12.75\text{MPa}\sim 13.24\text{MPa}$ ）、亚临界压力机组（进汽压力约为 16.17MPa ）、超临界压力机组（进汽压力约为 24.2MPa ）。

四、国内外电力工业的发展概况

1. 我国电力工业发展概况

我国电力工业自从1882年第一台容量为 0.015MW 发电机组投运以来，已有100多年的历史。在解放前的近70年里，我国的电力工业非常落后，发电设备完全依赖国外进口，全国总装机容量仅有 1850MW ，年发电量只有 $43\times 10^8\text{kW}\cdot\text{h}$ ，供电质量很差，年设备利用小时数常在 3000h 以下，发电标准煤耗率达 $1200\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 以上。

新中国成立以来，我国的电力工业有了很大的发展。特别是近年来，电力工业的发展突飞猛进，从1988年起，全国已连续10年，每年新增大中型机组超过 10000MW 。从1993年开始，发电量每年平均以 6.2% 的速度增长，到1997年底，全国发电总装机容量达到 $2.5\times 10^5\text{MW}$ ，年发电量达到 $1135\times 10^9\text{kW}\cdot\text{h}$ ，全国发电总装机容量与发电量均已跃居世界第二位，如此高的发展速度，在世界电力发展史上也是罕见的。东北、华北、华中、华东四个跨省大电网总容量超过 20000MW 以上，已基本形成 500kV 和 330kV 的骨干网架，并建成了调度自动化设施。

火力发电方面，在引进了亚临界 300MW 、 600MW 和超临界 600MW 机组的成套设备制造、设计、安装技术之后，我国的火电技术水平有了显著提高。这些机组的供电煤耗率已降低到 $356\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ （亚临界 600MW 机组）和 $316\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ （超临界 600MW 机组）。同时，我国自行开发的 200MW 、 300MW 大型供热机组，为大、中城市的集中供热提供了良好的条件，有效地减少了污染，节约了能源。今后， 300MW 、 600MW 机组将作为我

国火力发电的主力机组。

在水电方面，我国已掌握大流量、高水头等复杂水文、地质条件下进行水电厂的勘探、设计、施工、运行等技术，在 30 多条河流上建成了大、中型水力发电厂 108 座，最大的葛洲坝水电厂装机容量达 2715MW，宏伟的长江三峡工程和黄河小浪底工程正在加紧建设之中。长江三峡工程总投资 954.6 亿元（按 1993 年 5 月的价格计算），水电厂的总装机容量为 18200MW（单机容量为 700MW，装机总台数为 26 台），预计年平均发电量可达 $847 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，大坝高程 180m，坝长 2335m，总库容量为 $393 \times 10^8 \text{m}^3$ ，改善航道里程 570~650km。它将为我国在利用丰富的水能资源取得发电、防洪、灌溉、养殖、航运等综合效益方面谱写光辉篇章。

在核电方面，我国也开始起步。我国自行设计、制造了第一座浙江秦山核电站，第一台机组容量为 300MW，已于 1991 年并网发电。我国第二座核电站，广东大亚湾核电站，两台 984MW 压水堆核电机组也于 1994 年投入商业运行。“九五”期间，我国将新建四座跨世纪的核电站，它们分别是秦山二期、秦山三期、广东岭澳核电站和江苏连云港核电站。计划到 2005 年，我国将有 11 台核电机组投入运行，总装机容量达到 8700MW。

我国还具有非常丰富的地热资源，已先后在各地建立了一批小型地热发电厂，目前容量最大的西藏羊八井地区的地热电厂，总容量为 18MW，为我国开发利用地热资源积累了经验。

同时我国相继还建成了一批潮汐发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂等，走出了一条充分利用各种能源发电的道路。

2. 国外电力工业发展概况

国外的电力工业发展较快，总的趋势是向着三大、三高的方向发展。所谓三大是指：大电厂，电厂的总装机容量火电厂可达 4000~5000MW，水电厂为 12600MW 以上，核电站也在 5000MW 以上；大机组，目前已投入运行的火电机组有前苏联生产的单轴汽轮机组，容量为 1200MW，有安装在美的双轴汽轮机组，容量为 1300MW，最大的核电机组容量为 1400MW；大电网，联网的区域不断扩大，一个电网的总容量可达 30000~40000MW。三高指的是：高参数，锅炉和汽轮机的蒸汽参数向着亚临界、超临界发展（最高蒸汽参数为 35.2MPa, 650/566/566℃），以适应单机容量不断增大的需要；高电压，随着电网区域扩大，输电距离增长，要求输电电压愈来愈高，现在世界上最高等级交流输电电压高达 1150kV；高度自动化，对 300MW 及其以上的亚临界、超临界机组，均实行了锅炉、汽轮机、发电机的集中控制和计算机分散控制，有的电厂或车间还实现了用计算机程序控制的无人值班制度。

五、我国电力工业发展政策

我国的电力工业虽然取得了一定的成就，但与发达国家相比还有较大的差距。截止到 1997 年底，世界经济发达国家，人均拥有发电装机容量已达 1.5~2kW，人均年用电量达 $7500 \text{kW} \cdot \text{h} \sim 10000 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，而我国目前人均拥有发电装机容量只有 0.21kW，人均年用电量仅有 $900 \text{kW} \cdot \text{h}$ 。为促进电力工业持续、快速、健康的发展，今后一个时期，要做好以下几个方面的工作。

(1) 调整产业结构, 优化资源配置。因地因网制宜地确定与地区经济发展相适应的电力工业发展速度, 鼓励和提倡跨行政区域投资开发电力, 优先开发中西部地区的能源资源, 加快坑口电厂建设, 变输煤为输电。

坚持优化发展火电、优先发展水电、适当发展核电、积极利用新能源的方针。大力发展大容量、高参数、高效率机组, 重点建设 600MW 及以上亚临界和超临界机组, 逐渐淘汰小机组。重视有调峰能力电厂的建设, 特别是加快东部地区抽水蓄能电站的建设。

(2) 切实加强电网建设, 积极推进全国联网。加强主干网的建设, 尽快建设一批 500kV 输变电工程, 提高输电线路的输送能力和供电质量。积极推进全国联网, 充分发挥和提高大电网的整体优势和效益。增加投入, 加快城市电网的改造和建设。

(3) 依靠科技进步, 加快技术改造。集中力量, 使我国电力工业在大型电力系统运行的综合分析技术和稳定控制技术、电力系统继电保护技术、水电高坝筑坝技术等方面处于世界领先水平。对于国际上先进实用的技术, 有重点、有选择地引进、吸收、创新, 加速实现国产化。对于老电厂, 通过技术改造实现节能降耗, 提高电力工业的总体技术水平和安全经济运行水平。

(4) 高度重视节约与环保。坚持资源开发和节约并重, 把节约放在首位。积极引进和消化吸收国外先进的循环流化床技术和脱硫技术, 加快流化床锅炉和脱硫设备的国产化步伐。加强对火电厂污染的治理, 使火电厂的排放达到环保标准。

(5) 开拓农村用电市场, 促进农村电气化。

(6) 坚持“多家办电、多渠道筹资办电”的方针。增强企业筹资功能, 进一步拓宽筹资渠道, 积极、合理、有效地利用外资。

六、本课程的性质和任务

本课程是电厂热力设备运行与检修专业三、四年制(第一模块)一门与电厂生产实际紧密相联、综合性较强的主干课程。它以火电厂整体为研究对象, 重点讲述 300MW、600MW 机组的热力辅助设备的基本结构、工作原理和初步运行知识, 以及各热力系统的组成、连接方式和运行知识; 定性分析火电机组的热经济性; 详细介绍电厂管道、阀门及其运行维护; 对电厂辅助生产系统和设备也作适当介绍。通过本课程的学习应达到下列要求:

- (1) 掌握发电厂热力辅助设备的结构、工作原理和初步运行知识。
- (2) 掌握发电厂各热力系统组成、连接方式及其基本运行知识。
- (3) 能定性分析发电厂的热经济性, 熟悉发电厂的主要经济指标。
- (4) 熟悉发电厂管道及其附件的基本知识。
- (5) 了解发电厂辅助生产系统的作用、组成及工作过程。

本章小结

(1) 电能是优质的二次能源。电力弹性系数是指电力工业的年增长速度与国民经济总产值年增长速度的比值, 在国民经济发展的不同阶段, 其值可大于 1, 也可小于 1。

(2) 由于发电厂所发出的电功率必须随时与用户所需的电负荷相适应, 电力工业又是

连续进行的现代化大生产，所以，电力生产必须做到安全、经济运行，保证供电质量，同时控制污染，保护环境。

(3) 发电厂按产品分为凝汽式电厂和热电厂；按使用的能源分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂等；另外还有燃气—蒸汽轮机发电厂、抽水蓄能发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂等，火电机组按汽轮机进汽参数分为中低压机组、高压机组、超高压机组、亚临界和超临界机组。

(4) 我国的电力工业取得了很大的成就，但与经济发达国家相比还有较大的差距。在今后一段时期内还要做大量工作。

复习思考题

1. 电能有哪些优点？对电能生产有哪些基本要求？
2. 发电厂按产品和使用的能源各分为哪些类型？
3. 简述水力发电及原子能发电的过程。
4. 简述我国电力工业的发展概况及政策。

第一章 发电厂的热经济性

内 容 提 要

本章主要讲述凝汽式发电厂的生产过程、效率、热平衡、主要热经济指标及原则性热力系统，并定性分析提高发电厂热经济性的途径。

第一节 发电厂的生产过程

一、发电厂的生产流程

热力发电厂的生产过程实质上就是按一定顺序进行的能量转换过程：燃料在锅炉中燃烧，将水加热成蒸汽，燃料的化学能转变成蒸汽的热能；在汽轮机中高温高压的蒸汽冲动汽轮机转子，蒸汽的热能转变为转子高速旋转的机械能；在发电机中机械能转变成电能；通过主变压器升压后，经升压站和输电线路送入电网，再由电网调度中心统一分配给电力用户。图 1-1 为燃煤发电厂生产流程示意图。

厂外来煤由输煤皮带送到锅炉房的原煤斗中，原煤斗中的煤通过给煤机均匀地送入磨煤机，由空气预热器来的热风作为干燥剂也送入磨煤机，对煤进行干燥，并携带磨制的煤粉离开磨煤机进入粗粉分离器，在粗粉分离器中不合格的粗煤粉被分离出来，经回粉管返回磨煤机中继续磨制，合格的细煤粉被干燥剂带入细粉分离器，其中约 90% 以上的细煤粉被分离出来，送入煤粉仓，再根据锅炉燃烧的需要通过给粉机均匀地将煤粉送入一次风管，并由乏气（从细粉分离器出来的携带少量未被分离煤粉的热空气）携带，通过燃烧器送入炉膛燃烧。

冷空气通过送风机进入空气预热器，被加热成热空气，一部分送入磨煤机作为干燥剂和输粉介质，另一部分作为二次风经燃烧器喷入炉膛，和携带煤粉的一次风混合燃烧。燃烧产生的热量主要以辐射方式传给炉膛四周的水冷壁和屏式过热器等受热面。燃烧生成的高温烟气在流经水平烟道和尾部烟道时，主要以对流传热方式将热量传给过热器、再热器、省煤器和空气预热器，随后，在除尘器中除去飞灰，通过引风机和烟囱排入大气。

锅炉冷灰斗的炉渣由排渣槽经过碎渣机粉碎后，排入灰沟。锅炉尾部烟道灰斗和除尘器灰斗中的细灰，由冲灰器排入灰沟。灰沟中的灰渣被水冲入灰渣泵房，经灰渣泵输送到灰场。

给水通过省煤器加热后，送入汽包，经炉墙外的下降管到水冷壁，并在水冷壁中主要吸收燃烧火焰的辐射热量，形成汽水混合物，返回汽包，在汽包内经汽水分离装置将汽水分离，水回到下部水空间，继续循环流动，饱和蒸汽进入过热器，并被加热成过热蒸汽。

过热蒸汽进入汽轮机高压缸膨胀做功，其排汽送入再热器，经再加热后，送回汽轮机

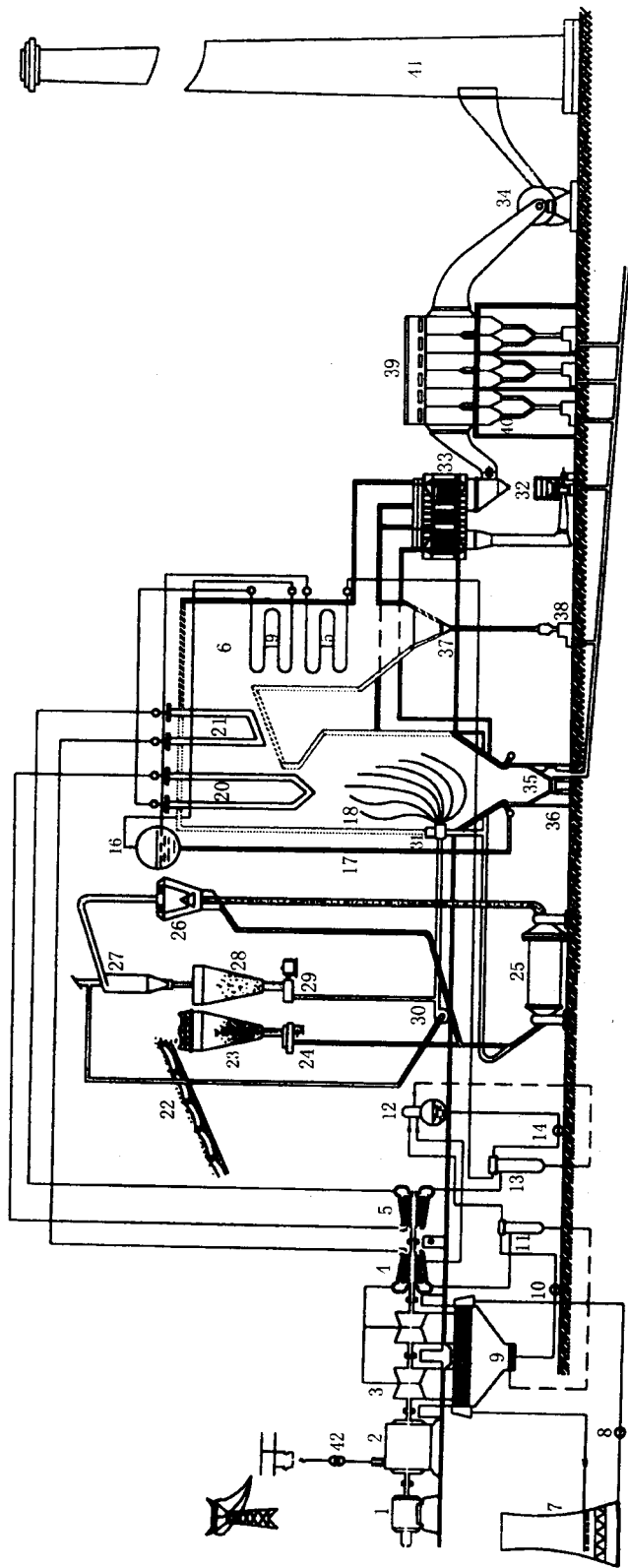


图 1-1 燃煤发电厂生产流程图

1—励磁机；2—发电机；3—低压缸；4—中压缸；5—高压缸；6—锅炉；7—冷水塔；8—循环水泵；9—凝汽器；10—凝结水泵；11—低压加热器；12—除氧器；13—高压加热器；14—给水泵；15—省煤器；16—汽包；17—下降管；18—水冷壁；19—低温过热器；20—高温过热器；21—再热器；22—输煤皮带；23—原煤斗；24—给煤机；25—磨煤机；26—粗粉分离器；27—细粉分离器；28—煤粉仓；29—给粉机；30—排粉机；31—燃烧器；32—送风机；33—空气预热器；34—引风机；35—冷灰斗；36—排渣槽；37—尾部烟道灰斗；38—冲灰器；39—电除尘器；40—除尘器灰斗；41—烟囱；42—发电机变压器

中低压缸继续膨胀做功，最后排入凝汽器，并在凝汽器中凝结成水，经除盐装置、凝结水泵、低压加热器送入除氧器，经除氧加热后经过给水泵、高压加热器，送入省煤器中。

循环冷却水由循环水泵送入凝汽器，吸收汽轮机排汽的凝结放热量后，被送入冷水塔，通过淋水装置形成许多小水滴自上淋下，与从冷水塔下部进入向上流动的冷空气对流换热，经冷却降温后，进入贮水池，再由循环水泵打入凝汽器中循环使用。

二、发电厂电气系统

发电厂电气系统示意图如图 1-2 所示。

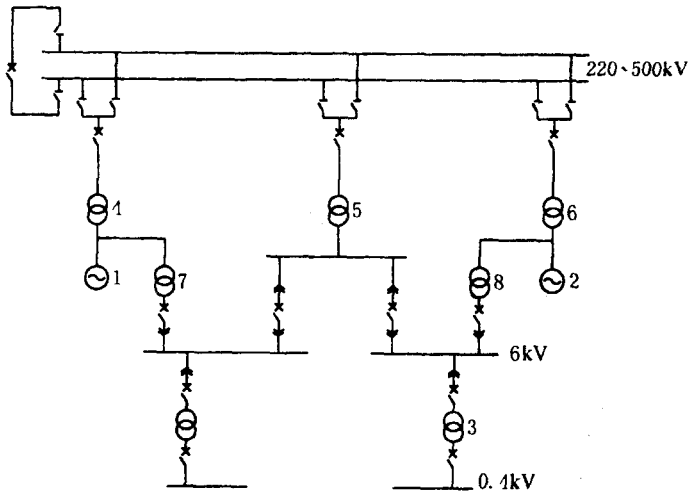


图 1-2 发电厂电气系统示意图

1—1#发电机；2—2#发电机；3—低压厂变压器；4—1#主变压器；5—启动备用变压器；6—2#主变压器；7—1#高压厂变压器；8—2#高压厂变压器

发电机发出的电能一部分由主变压器升高电压后，经高压配电装置和输电线路向外供电，另一部分由厂用变压器降低电压，并经厂用配电装置和电缆供发电厂内部各种辅助机械及照明等使用，这部分称为厂用电。厂用电一般占总发电量的 5%~10%。

发电机输出端电压一般为 6~20kV，为便于长距离输送和减少电能在线路上的损失，必须通过主变压器升压后接入母线。与母线连接的所有线路都要装设断路器和隔离开关等设备。断路器用来接通或断开电路，在保护装置控制下，可自动切断故障电路。隔离开关用来隔离电路，保证检修时的安全。

为了提高发电厂供电的可靠性和经济性，合理使用资源，将发电厂、变电站、输电线路和用户连成一个发电、变电、输电、配电、用电的整体，称为电力系统。电力系统中由各种电压等级的输配电线路和变电所所组成的部分，称为电力网。

三、发电厂生产过程自动化

发电厂的热力设备及其系统在运行中必须协调配合，才能达到安全、经济生产的目的，随着机组容量的增大和参数的提高，热力设备和热力系统越来越复杂，运行中要监视和操作的项目也显著增加。