



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 热力发电厂

杨义波 张燕侠 合编  
杨作梁 刘玉莲



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 热力发电厂

杨义波 张燕侠 合编  
杨作梁 刘玉莲  
叶涛 葛挺 主审



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书以大机组为例,以培养学生职业应用能力为依据,紧密结合现场实际,追随新知识、新技术在现场的应用情况,系统地阐述了大、中型热力发电厂工作过程的基本原理、电厂热经济性的评价方法,着重介绍了热力系统辅助设备的结构、热力系统组成及其热经济性、热力系统经济运行的基本原理和基本知识,对发电厂的辅助设备也进行了详细的介绍,同时对供热系统也作了一般的介绍。

本书可作为高职高专学校热能动力工程专业和火电厂集控运行专业的教材,也可作为电力职工大学、高等院校成人教育、函授相应专业的教材,并可供有关专业技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

热力发电厂/杨义波等编. —北京:中国电力出版社, 2005.8

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-3468-X

I. 热... II. 杨... III. 热电厂-高等学校:技术学校-教材 IV. TM621

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第082283号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2005年8月第一版 2006年8月北京第三次印刷  
787毫米×1092毫米 16开本 20印张 426千字 2插页  
印数6001—9000册 定价26.00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)

# 前言

---

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织评审，同意列为全国电力高等职业教育规划教材，作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书可以作为学历教育的教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书共分为七章，以大机组为例，以培养学生职业应用能力为依据，紧密结合现场实际，追随新知识、新技术在现场的应用情况，深浅适度、分量合适。主要内容包括评价发电厂热经济性的基本方法及其应用、发电厂的热经济性的发展方向、发电厂的主要热力辅助设备及其热力系统、发电厂的辅助生产设备及系统、发电厂的经济运行、发电厂的阀门及管道及热电厂供热系统等。

郑州电力高等专科学校杨义波编写绪论、第四章和第五章，并参加了第一章和第二章部分内容的编写；第一章和第二章另外一部分内容由哈尔滨电力职业技术学院刘玉莲编写；第三章由安徽电力职业技术学院张燕侠编写；第六章和第七章由保定电力职业技术学院杨作梁编写。杨义波负责全书的统稿工作。

华中科技大学能源与动力学院叶涛教授和河南电力试验研究院葛挺高级工程师担任本书主审。两位专家在审稿过程中提出了许多建设性的意见和建议，使我们受益匪浅。同时，在本书在编写过程中，参考了兄弟院校、科研院所和发电企业的诸多文献和科研成果，并得到有关院校教师和同事们们的热情帮助，在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限，因此对书中缺点和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

**编者**

2005年5月

# 目 录

## 前言

绪 论	1
第一节 电力工业在国民经济发展中的地位	1
第二节 电力工业的可持续发展	3
第三节 电力工业生产特点和发展方针	7
第四节 发电厂的类型	8
第一章 评价发电厂热经济性的基本方法及其应用	11
第一节 热量法及其应用	11
第二节 作功能力分析法及其应用	17
第三节 纯凝汽式发电厂的主要热经济指标	23
复习思考题	25
第二章 影响发电厂热经济性的因素及提高热经济性的发展方向	26
第一节 蒸汽参数对发电厂热经济性的影响	27
第二节 再热循环对电厂经济性的影响	32
第三节 给水回热循环对电厂经济性的影响	35
第四节 热电联合能量生产	41
第五节 燃气—蒸汽联合循环	48
复习思考题	52
第三章 发电厂主要辅助设备及其热力系统	54
第一节 回热加热器及回热系统	54
第二节 除氧器及其管道系统	73
第三节 主蒸汽与再热蒸汽系统	84
第四节 再热机组的旁路系统	91
第五节 发电厂的汽水损失及锅炉排污利用系统	98
第六节 汽轮机轴封蒸汽系统	105
第七节 主凝结水系统	109
第八节 给水系统	116
第九节 汽轮机本体疏水系统	124
第十节 辅助蒸汽系统	129
第十一节 工业冷却水系统	132
第十二节 发电厂原则性热力系统	136
第十三节 发电厂全面性热力系统	154

复习思考题与习题 .....	159
<b>第四章 发电厂的辅助生产设备及系统</b> .....	162
第一节 发电厂的燃料输送设备及系统 .....	162
第二节 发电厂的除尘设备及系统 .....	176
第三节 发电厂的除灰除渣设备及系统 .....	183
第四节 发电厂的供水设备及系统 .....	196
复习思考题 .....	201
<b>第五章 发电厂的经济运行</b> .....	202
第一节 电力负荷的预测与工况系数 .....	202
第二节 发电厂的电能成本 .....	204
第三节 发电厂运行管理和安全管理的概念 .....	205
第四节 发电厂的运行方式和调度管理 .....	207
第五节 发电厂经济运行及指标管理 .....	211
第六节 发电厂热力设备的动力特性 .....	213
第七节 发电厂热力设备的经济运行 .....	216
第八节 单元机组的运行 .....	219
复习思考题 .....	227
<b>第六章 发电厂的阀门及管道</b> .....	228
第一节 管道的技术规范及管道计算 .....	228
第二节 管道的支吊架和管道的补偿 .....	235
第三节 发电厂常用的阀门 .....	242
第四节 管道及热力设备的保温技术 .....	252
第五节 管道的运行维护 .....	254
复习思考题 .....	257
<b>第七章 热电厂的供热系统</b> .....	258
第一节 热负荷的特性 .....	258
第二节 热电厂的对外供热系统及设备 .....	261
第三节 热电厂供热管道系统及设备 .....	264
第四节 供热系统的运行 .....	266
复习思考题 .....	271
<b>参考文献</b> .....	272

# 绪 论

## 第一节 电力工业在国民经济发展中的地位

### 一、行业概况

#### 1. 电力工业是国民经济的重要先行产业

电力工业是国民经济的重要基础工业，是国家经济发展战略中的重点和先行产业。我国早在 20 世纪 50 年代初就确立了电力工业先行的地位。从各时期电力生产与经济增长的比较来看，往往在经济持续增长的年份，电力生产的增长超过了 GDP 的增长。“九五”期间，随着国民经济结构的调整，电力生产的增长速度开始下滑，并且低于 GDP 的增长，但在国家积极的财政政策作用下，自 1999 年始，电力生产的增长速度又大幅回升，见表 0-1。电力工业作为国民经济的重要先行产业的作用十分明显。

表 0-1 1996~2004 年电力增长速度与 GDP 增长速度对比表

项 目	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
电力增长速度(%)	7.2	5.1	2.1	6.5	11	7.7	15.17	15.4	12.8
GDP 增长速度(%)	9.7	8.8	7.8	7.1	8	7.3	8	9.1	9.5

从电力能源消费在一次能源中的比重和在终端能源消费的比重来看，发电能源占一次能源消费的比重已由 1980 年的 20.60% 上升到 2003 年的 43.8%。电能在终端能源消费中的比重由 1980 年的 4.81% 上升到 2000 年的 11.2%，电力行业已成为能源工业中的支柱产业。电力工业成为国民经济重要的基础产业的作用，呈现逐渐增强的态势。

#### 2. 技术装备水平不断提高

自 1978 年改革开放以来，经过 20 多年的大规模建设，我国电力工业的技术装备水平有了很大的提高，大容量、高参数、高效率的大机组成倍增长，电网的覆盖面和现代化程度不断提高，有力地提升了我国工业整体的电气化水平。

1978 年我国 200MW 及以上机组只有 18 台，2000 年 200MW 以上机组已有 545 台，是 1978 年的 30 倍。在大机组和大电厂已成为我国电力工业主力机组和电源单位的同时，我国电网的规模也进一步扩大和加强。电力体制改革之前，全国已经形成华北、东北、华东、华中、西北和南方 6 个跨省区电网，和山东、福建、云南、贵州、广西、广东、海南、川渝 8 个独立省区电网。全国各主要电网已基本形成 500kV 和 330kV 的骨干网架，大电网已覆盖全部城市和大部分农村。500kV 主网架开始逐步取代 220kV 电网，承担跨省、跨地区电力输送和交换任务。一批跨大区电网互联工程前期工作已经陆续完成，2000 年我国第一个大区间 500kV 交流联网工程——东北与华北联网工程建成。南方电网互联，实现了广西、云南、贵州季节性电能向广东的输送。蒙西电网向京津唐电网、华中电网向华东电网等大电网间的电量交流也大幅增加。以三峡工程为中心的电网工程的建成，标志着将逐步实现全国联网的目标。国家电力公司百万伏特高压骨干网架示范工程已决定建在山西晋城—河南南阳—湖北荆门，全长 720km，预计 2008 年建成投入使用。

### 3. 电源结构和资源分布不平衡, 电能局部地区供应不足

我国电力以火电为主, 水电、核电和其他新能源发电所占比重较少, 电力结构发展不平衡。到 2004 年底, 我国总装机容量达到 440.70GW, 其中火电、水电、核电装机容量分别达到 324.90、108.26、6.84GW, 占总装机容量的比重分别为 73.7%、24.7%、1.6%。2004 年全年发电量达到 21870 亿 kW·h, 其中火力发电厂 18073 亿 kW·h, 占 82.7%, 水力发电 3280 亿 kW·h, 占 15%, 核电 501 亿 kW·h, 占 2.3%。2004 年全国 24 个省级电网拉闸限电, 夏季高峰时期电力缺口达到 30GW, 相当于总发电量的 8%。

从我国资源的分布情况看, 我国的煤炭资源主要分布在北部和西北部, 其中华北和西北两地区占总量的 80%。水能资源主要集中在西部和西南部, 这两个地区的可开发量占总量的 82.09%, 而开发率只有 9.25%。在总量基本平衡的同时, 当前各地区的电力供需情况存在明显差异: 2004 年, 华东、广东、福建、重庆的电力供应比较严峻, 广东、华东电网的缺电情况最为严重, 四川、华中、华北和南方电网供应紧张; 东北电网和西北电网供求平缓, 而发达的南方和华东沿海地区的电力供应紧张, 直接影响了国民经济的快速发展。

## 二、行业发展导向及电力体制改革

### 1. 行业发展导向

我国的能源资源结构、分布、储量决定了我国能源结构以火电为主, 能源的构成比例失调。“十五”规划中指出, 调整电力结构、促进产业升级是 21 世纪初期电力工业的首要任务。主要有以下几个方面: 一是调整电网与电源比例。二是调整东西部的电源布局, 实施“西电东送”。三是调整电源中水、火、核电的比例, 加大水电开发力度, 适当发展核电、因地制宜发展新能源发电等。四是采用多种能源, 引进清洁能源 (如天然气)、发展新能源发电。五是加大“以大代小”和技术改造力度, 即大力发展火电 600MW 及以上的超临界机组, 加快 600MW 超临界压力机组和 1000MW 等级的超超临界压力机组的研制和示范工程建设; 重点发展 500MW 以上大型混流式水轮发电机组, 加速发展 300MW 级抽水蓄能机组、核电 600~1000MW 级压水堆核电机组技术和燃气轮机技术。六是加强电网调峰能力。

### 2. 电力体制的改革

我国电力体制改革大体上经历了四个历史发展阶段: 一是 1985 年之前政企合一、国家独家垄断经营阶段。这一时期的突出矛盾是体制性问题造成电力供应严重短缺。二是 1985~1997 年, 为了解决电力供应严重短缺的问题, 开放了部分发电市场, 以鼓励社会投资。这一时期的突出矛盾是存在着政企合一和垂直一体化垄断两大问题。三是 1997~2000 年, 以解决政企合一问题作为改革的重点, 成立了国家电力公司, 同时将政府的行业管理职能移到经济综合部门。这一时期的突出矛盾演变成垂直一体化垄断的问题。从这一改革的历史轨迹可以清晰地发现, 改革的主线是市场化取向, 改革逐步深化、政企关系逐步确立, 以及集中解决不同时期存在的突出矛盾。四是从 2002 年 4 月实行的电力体制改革, 其目的就是要破除垂直一体化的垄断, 通过结构性重组引入市场竞争机制, 建立竞争性市场条件下的电力监管制度。国家电力监管委员会等十二家涉及电力改革的相关企业和单位, 已于 2002 年 12 月 29 日正式成立。此次同时挂牌的十二家电改单位, 包括国家电力监管委员会、国家和南方两大电网公司、五大发电集团和四大辅业集团。五大发电集团为华能集团、华电集团、龙源集团、电力投资集团和大唐集团, 四大辅业集团为水电规划设计院和电力规划设计院两个设计单位, 以及葛洲坝集团和水利水电建设总公司两个施工单位。南方电网公司由广西、



贵州、云南、海南和广东五省电网组合而成。国家电网公司下设华北（含山东）、东北（含内蒙古东部）、华东（含福建）、华中（含四川、重庆）和西北 5 个区域电网公司。

相比之下，地方性的发电企业在新市场格局中存在较大的不确定性。除了一些已经有较大规模的地方性发电集团，如粤电资产管理公司、内蒙古电力集团、深圳能源集团等，或者一些地方发电企业组织起来形成的发电集团，其他的小规模发电企业在新格局中将很难找到自己的位置。

## 第二节 电力工业的可持续发展

### 一、开发与节约并重

电力工业是资金密集的装置型产业，同时也是资源密集型产业。无论电源和电网，在建设和生产运营中都需要占用和消耗大量资源，包括土地、水资源、环境容量以及煤炭、石油、燃气等各类能源。电力工业节约资源的内容，主要是提高能源转换效率，降低转换损失，包括节煤、节油、节水、节地，降低输送损耗以及粉煤灰资源综合利用等。从实施的过程看，贯穿于规划、设计、建设一直到生产运营全过程。由于电力工业具有的生产、输送与消费瞬间完成的特点，需求侧的节能与节电也对电力发展有重要影响。

长期以来，电力工业坚持“开发与节约并重，把节约放在优先地位”的方针，根据国家法律、法规、政策，建立了较为系统的电力行业节约资源规范、标准和管理体系，并把节约资源作为规划、建设、生产、经营的重点工作之一，与效益目标相结合，不断加大基础性管理和设备治理力度，取得了很大的成绩。

改革开放以来，我国电力工业得到了长足的发展。发电量和装机容量均居世界第二位，同时技术装备水平也在稳步提高，技术经济指标逐步改善。

发电的供电煤耗和输电线损率是衡量电力行业能源效率和经济运行水平的重要指标。自 1980 年到 2003 年，供电标准煤耗由 448g/(kW·h) 下降到 381g/(kW·h)；发电厂用电率由 6.4% 下降到 6.1%；线损率由 8.9% 下降到 7.71%。与 1980 年指标相比，2003 年电力行业相当于年节约标准煤 1.2 亿 t。

单位发电量耗水量是发电生产水资源利用水平的重要指标。2002 年，火力发电单位发电量耗水量 3.54kg/(kW·h)，平均装机耗水率 0.98m<sup>3</sup>/(GW·s)，比 20 世纪 80 年代大机组平均耗水指标 1.42~1.56m<sup>3</sup>/(GW·s) 下降 1/3，火电年降低耗水 10.3 亿 m<sup>3</sup>，工业用水重复利用率达到 69%。

按照 2002 年排放绩效指标分析，电力工业节能同时带来年减少排放烟尘 61 万 t、二氧化硫 173 万 t、氮氧化物 120 万 t、二氧化碳 2.1 亿 t 的效果，起到了资源节约与保护环境的作用。

同时，通过设备治理和强化可靠性管理，电力设备运行可靠性持续改善，为经济运行水平的提高奠定了基础。从 1988 年至 2003 年的 16 年间，我国单机 200MW 等级火电机组的等效可用系数从 75.99% 提高到 90.79%，提高 14.8%，相当于增加 28 台 200MW 机组；单机容量 300MW 等级火电机组的等效可用系数从 77.99% 提高到 90.42%，提高 12.43%，相当于增加了 25 台 300MW 机组。共计相当于节约投资超过 500 亿元，每年多发电 700 亿 kW·h。

一次能源转换为电能的比重和电能占终端能源消费量的比重是衡量一个国家经济发展水

平、能源使用效率乃至整个经济效率的高低和环境保护程度的重要标志。2002年,我国电力消耗能源占一次能源的比重为43.56%,比1980年提高了22.96%;电力能源在终端能源消耗的比重为12.89%,比1980年提高了8.08%。

电力工业能源利用效率的提高,主要反映在以下四个方面:一是在电力能源结构方面,火电、水电、核电都得到了不同程度的发展,并通过开发新能源和可再生能源,在满足电力需求和经济发展的同时,尽可能地减少了石油、煤炭等不可再生能源的使用。二是通过技术进步,不断提高火电机组参数和容量等级,减少电力生产过程中自身能源消耗,积极推进热电联产,能源转换和利用效率得以提高;通过对火电厂锅炉、汽轮机,及其辅机、控制系统等进行大量适应现代化要求的改造,提高了机组可靠性和技术经济水平。三是通过电网建设和城网、农网改造,优化调度方式,取得了巨大的节能降损效果。四是在政府的政策引导下,电力企业与客户密切配合,电力需求侧管理取得了一定的成效。

## 二、电力工业节约资源工作任重道远

虽然电力工业节约资源成就显著,但与世界主要工业国家相比,差距也是明显的。

供电煤耗与世界先进水平仍然相差约60g/(kW·h),也就是说,按世界先进水平,目前我国一年发电多耗标准煤约1.3亿t。就单机容量300MW等级机组而言,国产机组的供电煤耗比进口亚临界压力机组高4~12g/(kW·h),比进口超临界压力机组高15~20g/(kW·h);就单机容量600MW等级机组而言,国产机组的供电煤耗比进口亚临界压力机组高20~23g/(kW·h),比进口超临界压力机组高28~39g/(kW·h)。

输电线损率比国际先进电力公司高2.0~2.5%,相当于一年多损耗电量450亿kW·h,大体相当于我国中部地区一个省一年的用电量。

火电厂平均装机耗水率比国际先进水平高40%~50%,相当于一年多耗水18亿m<sup>3</sup>。

供热机组的容量比例与世界先进水平相比仍然较低,2002年我国6MW及以上火电机组中,供热机组1937台,总装机容量为37.4367GW,占火电机组总容量的14.1%,装机容量为俄罗斯供热机组的1/3,美国供热机组的一半,比重远低于供热系统先进国家。大机组的比重过小。2002年全国6MW及以上的火电机组4670台,总容量为256.6555GW,平均机组容量为53.4MW,300MW及以上机组占总容量的41.7%。发电设备技术参数相对落后,高效率的超临界压力机组只有12台608万kW,只占火电总装机容量的2.4%,而美国、日本、俄罗斯已占50%以上。全国火电机组中,亚临界压力及以上参数机组占41%,高压、超高压参数机组占43%,中、低压参数机组占16%。燃气—蒸汽联合循环机组的比例过低,仅占火电总装机容量的2.3%,整体煤气化联合循环(IGCC)、增压循环流化床(PFBC)、大型循环流化床(CFBC)等洁净煤技术仍在发展过程中,新能源、可再生能源发电技术及设备水平尚需提高。

电网的网架结构仍然比较薄弱。超高压输电线路比重偏低,变电站的站点布局不足,电压等级不合理,高损耗变压器在部分地区仍占有相当大的比例,部分电网的无功补偿设备的容量不足,导致电网的电压质量下降、功率因数降低,使供电能力受限,线路损耗加大。

电力需求侧管理还有巨大的潜力,当前侧重于对用电需求进行削峰填谷,应对电力紧缺局面而不断提高电能利用效率、提高终端用电效率的作用尚有待进一步发挥。

改革开放以来,我国曾经用20年时间实现了能源增长翻一番,保障了经济总量翻两番。但由于发展阶段的限制和体制上的弊端,从总体上说,电力发展仍然没有摆脱高投入、较高

消耗和较低效益的传统经济增长方式。因此,只有进一步调整电力能源结构,转变电力增长方式,提高资源利用效率,才能满足全社会保证经济社会持续、稳定、健康发展提供有力的支撑,并为对电力供应的需求。

### 三、节约资源是电力全面、协调、可持续发展的战略性任务

近几年的工业发展情况表明,我国工业的发展已进入了工业化中期,即重化工业阶段,社会经济发展对能源的依赖要比发达国家大得多。

2000年世界人均一次能源消费2.1t标准煤,经济合作与发展组织国家为6.7t标准煤,美国、加拿大达到11.7t标准煤。2003年我国人均一次能源消费1.3t标准煤,按照经济发展预测,2020年我国的能源需求约为30亿t标准煤左右,将比2002年能源消费总量14.8亿t标准煤增加一倍,人均接近目前世界平均水平,总量接近目前美国消费水平。由于我国能源结构特点,要再次用能源总量翻一番保证经济翻两番,只能采取更强有力的可持续发展政策,一方面要增加供给,另一方面必须通过资源节约,走新型工业化道路来实现。

我国是以煤炭为主要一次能源的国家,煤电在发电中的主导地位在短期内难以改变。2003年我国煤炭产量16.67亿t,发电用煤占煤炭总产量的50%,同时产生2亿t灰渣,火电消耗水量约53.4亿m<sup>3</sup>。到2020年,燃煤机组容量将达到8亿kW左右,比现在增加一倍,发展受到煤炭资源、水资源、环境容量和运输能力的极大制约。

我国地大物博,能源资源丰富是事实,但我国有13亿人口,化石能源资源人均拥有量仅为世界人均的56%。煤炭资源丰富,但经济可采精查储量不足,勘探程度低,产能建设严重滞后,按目前煤炭产能规划及产能消失趋势,2010年原煤供需缺口约1亿t以上,2020年供需缺口6亿t以上。已经探明的石油资源仅为世界人均的8%,产能增长有限,2010年供需缺口1.2亿~1.7亿t,2020年供需缺口2.5亿~3.3亿t;天然气探明资源储量人均仅为世界人均的6%,2010年供需缺口300亿m<sup>3</sup>,2020年供需缺口约700亿m<sup>3</sup>。我国水资源人均拥有量只有2076m<sup>3</sup>,约为世界平均水平的1/4。当前,水资源短缺已经成为制约我国经济和社会发展的重要因素,特别是在煤炭储量比较集中的华北、西北地区更为突出。当前电力需求强劲,在国内引起了新一轮投资热潮,由于传统的增长方式和产业结构没有改变,从而进一步加剧了我国资源短缺局面,并与已经过热的钢铁、水泥、电解铝等行业互为因果。另外,资源的粗放利用和环保措施的不足,造成对环境的影响的日益加大。因此,走资源节约型道路是电力工业可持续发展的必然选择和战略性任务。

### 四、应该采取的一些措施

面对电力工业可持续发展的战略任务,电力行业必须下大力气,在坚持“开发与节约并举”的同时,切实改变增长方式,做到节约优先。为此,建议采取相应措施。

#### 1. 要依法开展节约资源活动,完善配套政策

国内外经验表明,以节能为代表的节约资源工作是典型的市场失灵的领域,需要政府政策发挥引导作用,行业、企业制定相应规则,推动这项工作开展。应当在《中华人民共和国节约能源法》(以下称《节能法》)、《中华人民共和国清洁生产促进法》(以下称《清洁生产促进法》)的基础上,确立和细化市场主导、企业主体、行业自律、政府宏观调控的地位和作用。

要制定科学的产业政策,对资源配置过程进行干预,修正市场调节的缺陷和不足,以便从资源合理配置和产业结构加速优化中获得经济可持续增长。当前需要政府进一步完善有关

能源价格政策、资源节约激励政策、热电联产机组建设条件、分布式供能系统建设条件和上网规则、新能源及可再生能源电价定价模式、电力系统经济调度模式等。

电力行业（尤其是电网企业）应当积极开展需求侧管理，对用户的合理用电、节约用电给予指导。通过电力需求侧管理，提高终端用电效率和电网经济运行水平，减少电力建设投资，达到节约能源和保护环境的目，实现低成本电力服务。国际经验表明，终端使用提高能效所用的成本，必然低于建设新发电厂以及输配电设施的成本和运行成本。需要政府出台需求侧管理等政策和措施，落实实施主体，采取市场引导、有序推进的策略，提高能效，建设节能型社会。

## 2. 加大结构调整力度，促进产业升级

应按照“加强电网建设，大力开发水电，优化发展煤电，积极发展核电，适当发展天然气发电，加快新能源发电，重视生态环境保护，提高能源利用效率”的方针，合理规划，加大电力产业结构调整的力度，促进产业升级。

电能高效洁净地生产、传输、储存、分配和使用是产业升级的重点领域。要通过对电源、电网、需求侧技术改造，提高电力能源利用效率，包括：鼓励热电联产和热、电、冷技术的推广，提高能源综合利用率；重点发展 500MW 以上大型混流式水轮发电机组，300MW 级抽水蓄能机组；采用超超临界压力、超临界压力等高参数、大容量、高效率、高调节性火电机组；发展清洁燃烧等洁净煤技术；继续研发电厂监控和优化运行、状态检修技术，并对主辅设备进行节能改造；通过节水技术改造、废水再生利用、城市污水及海水等替代水资源工作，节约用水，并在北方富煤缺水地区发展大型空冷机组；进一步开发利用新能源及可再生能源，实现兆瓦级大型风力发电机组的国产化；通过加强电网建设，为开发利用西部水电、新能源、分布式供电提供基础；加强电网规划，加快大容量、远距离、超高压交直流输电技术的应用，通过设备经济运行等手段，降低输送损耗。

## 3. 发展循环经济，实行清洁生产

发展循环经济是实现可持续发展的一个重要途径，同时也是保护环境和有效利用资源的根本手段。近年来，我国在三个层次上逐步开展循环经济的实践探索，即在企业层面积极推行清洁生产，在工业集中区创建生态工业园区，在城市和省区开展循环经济试点，并取得了初步成效。

根据《清洁生产促进法》的要求，需要研究制定以节约资源为主要指标之一的电力清洁生产指标评价体系及实施办法、电力清洁生产审计指南等，大力开展清洁生产企业建设活动，使电力资源节约工作中节能、节水、节油、综合利用和环境保护实现互动式发展。

## 4. 促进电力工业节约资源的行业行动

随着电力体制改革的不断深化，发电资产重组、网厂分开以及建立区域电力市场后，政府宏观调控、企业自主经营、监管机构依法监管和行业协会自律管理与服务的格局逐步形成，电力行业节约资源工作形势发生了很大变化。

电力行业节约资源，广大电力企业是主体。电力企业应按照《节能法》和国家有关法规，进一步加强节约资源工作力度，设立相应的机构和专门人员负责节约资源工作，深入分析潜力，增加节能投入，加快技术改造和科技进步，强化企业管理。电力行业广大职工应自觉提高节约意识，从自身做起，从一点一滴的实事做起，切实抓出实效。

当前，我国经济已进入新一轮快速发展时期，这对电力工业是一次新挑战。通过资源节

约、环境保护和清洁生产,实现可持续发展,电力工业一定能够为经济社会发展和人民生活水平的不断提高,为全面建设小康社会目标的实现提供坚强有力的保障。

### 第三节 电力工业生产特点和发展方针

#### 一、电力工业生产的特点

##### 1. 安全可靠

电力生产的规律主要表现在:发、供、用电设备联成电网,电力的产、供、销同时进行,发、供、用电同时完成,电力不能大量储存;供电必须保持连续进行;电能必须保证质量。随着大容量、高参数机组和特高电压、高电压、长距离输电网络的广泛采用,对电力安全生产提出了更高的要求。这些规律决定了电力生产必须安全进行。如果电力生产或用电设备系统发生事故造成中断供电,不仅影响用户正常生产和生活,还可能造成发、供、用电设备严重损坏和人身伤害。若发生系统瓦解、大面积停电,则会给国民经济和社会带来灾难性的后果。

发电厂安全生产的主要目标是:不发生人身死亡和重大设备事故,控制人身重伤事故率、发电事故率,机组非计划停运次数、可用系数均符合要求并不断提高水平,因此,发电厂必须加强安全管理,实现长期、稳定的安全生产目标。

##### 2. 力求经济

目前,我国电力生产仍以火电为主,如果发电煤耗平均下降  $1\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,按 2004 年的发电量计算,全年可节约标准煤 200 多万 t。若全国送电线损率和厂用电率降低 1%,则全国可节电 200 多亿  $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。因此,在电力生产过程中,必须力求经济运行,提高能源利用率。

##### 3. 保证电能质量

电能是一种商品,衡量电能的质量主要是电网的频率和电压。我国规定,电网的频率为 50Hz,电压等级民用电为 220V,工业用电为 380V。随着电力工业的不断发展,电网覆盖面愈来愈大。为稳定供电电压和频率,保证电能质量,在电力系统中设置适应用户有功功率变化的调频厂或机组,使电网频率保持在规定的范围内,是十分必要的。为了保证电压质量,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

火电厂在生产过程中产生的烟尘、二氧化硫、氮氧化物、废水、灰渣和噪声等,污染环境,危害人民的身体健康,必须采取有效的措施严格控制。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,使烟气中二氧化硫和氧化氮的含量得到有效控制,利用高效的布袋式除尘器减少粉尘的排放量。可以说,火电厂环保效果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。

#### 二、电力工业发展方针

我国能源发展采取以电力为中心,以煤炭为基础的方针。我国电力工业的发展要大力发展水电,坚持优化火电结构,适当发展核电,因地制宜地发展多种新能源发电,同步发展电网,促进全国联网。

##### (一) 大力发展水电

水能是最清洁的一次能源,是循环不息的能源,水电站发电效率高,发电成本低,机组

启动快,宜于调峰和备用。我国已探明水力资源理论蕴藏量为 680000MW,可供开发的水能资源约为 378000MW,相当于年发电量 19200 亿 kW·h,居世界第一。但是我国水能开发程度还很低,到 2004 年末水电总装机容量为 10826 万 kW,发电量为 3280 亿 kW·h,分别占可供开发资源的 2.9%和 5.6%。因水电开发投资较大,工期长,因此水电占全部发电量的比重逐年下降,1985 年占 22.5%,1990 年降至 20.0%,1995 年进一步降至 19.1%。2004 年降至 15.6%。发电能源构成趋向火电单一化,与我国资源状态不相符合,因此要大力发展水电。目前在建设好三峡电站工程的同时,大力开发黄河中上游、长江干支流、红水河、澜沧江和乌江等重点水电资源,适当建设抽水蓄能电站。

### (二) 坚持优化火电结构

(1) 煤炭基地的开发和交通运输建设要统一规划,加快发展大型坑口、港口和路口电站;

(2) 建设大容量电厂,采用大型机组,电厂规模以 1200~2400MW 为主,机组以 300、600、1000MW 机组为主,严格限制小火电发展;推行“以大代小”工程,电力结构从速度、数量型向质量、效益型转变;

(3) 做好环境保护工作,大型机组全部采用高效布袋式除尘器,应逐步增加脱硫电厂的建设,加快洁净煤燃烧发电技术的开发,随着循环流化床大型商业化运行的成功,要鼓励建设一批大型循环流化床电站;

(4) 加强电力建设的前期工作,扩大在建规模,选择最佳方案,发挥火电单位成本低,建设周期短,资金回收快的优势,提高投资效益;

(5) 因地制宜地发展热电联产,提高燃料的综合利用率,改善环境卫生;

(6) 提高火电厂的自动化水平,所有机组应采用计算机分散控制系统,实现管理自动化。

### (三) 适当地发展核电

我国东部及沿海 15 个省市经济与工业发达,也是目前缺电最为严重的地区。因此应因地制宜地适当发展核电,以补充火电供应不足。

核电在技术上是成熟的,生产安全,本身是清洁的能源,建设一台 1000MW 的核电机组,每年可代替 300 万 t 原煤,减少大量灰、渣、二氧化硫和氮氧化物的排放,对环境的污染比一般火电厂小,核电成本比火电成本低 1/3~1/2;核燃料存储运输量少;电厂占地面积小;可用率和可行性与火电不相上下。因此,世界各国都在积极发展核电。

## 第四节 发电厂的类型

### 一、发电厂的类型

#### (一) 按产品分

可分为发电厂和热电厂两种。发电厂只生产电能,如火力发电厂把汽轮机做完功的蒸汽,排入凝汽器凝结成水,所以这种电厂又称为凝汽式电厂。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) 按使用的一次能源分

##### 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，在水轮机中做完功后的水历经尾水管排入下游。

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. 核能发电厂

将原子核裂变释放出的能量转变成电能的电厂为核能发电厂，简称核电站。原子能发电厂由两部分组成：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，核燃料在反应堆中进行链式裂变产生热能，一回路中冷却水吸收裂变产生的能量后流出反应堆，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。

核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，核能发电将会得到更大的发展。

### (三) 其他类型的发电厂

#### 1. 燃气—蒸汽联合循环发电厂

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，可达55%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，而且能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的废气，如煤气厂、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成水的势能，在电力系统负荷处于高峰时又将水的势能转换成电能的电厂为抽水蓄能电厂，或称抽水蓄能电站。这种水电站因有两次水的势能与电能之间的转换，所在存在一定的能量损失。但随着电力负荷的急剧增长，特别是对大型核电站带基本负荷的电力系统，它在电力系统调峰、调频中的作用会更为显著，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；另一种是用光电池直接发电。

#### 4. 地热发电厂

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。

#### 5. 风力发电厂

利用高速流动的空气即风力，驱动风车转动，从而带动发电机发电的电厂，称为风力发电厂。

另外，还有利用潮汐能、海洋能、磁流体等发电的电厂。

## 二、本课程的性质和任务

本课程是电厂热能动力工程专业与电厂生产实际紧密相联、综合性较强的一门主干课程。它以火电厂整体为研究对象，重点讲述 300、600MW 机组的热力辅助设备的基本结构、工作原理和运行知识。介绍各热力系统的组成、连接方式和运行知识；定性分析火电厂运行的热经济性；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较详细地介绍；对于热电厂的供热系统作了一般性介绍。通过本课程的学习应达到下列要求：

- (1) 了解评价热力发电厂热经济性的方法，掌握用效率法定量评价发电厂的热经济性。
- (2) 掌握提高发电厂热经济性的主要途径和方法。
- (3) 能定性分析发电厂的运行经济性，熟悉发电厂的主要经济指标。
- (4) 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。
- (5) 掌握发电厂各热力系统组成、连接方式及其基本运行知识。
- (6) 了解发电厂辅助生产系统作用、组成及工作过程。
- (7) 熟悉发电厂管道及其附件的基本知识。
- (8) 对热电厂的供热系统可作一般了解。



## 评价发电厂热经济性的基本方法及其应用

评价发电厂经济效益时，会涉及到热经济性、经济性和综合经济效益等不同提法，它们在说明发电厂经济性时起着不同的作用，涉及到不同的范围。

热经济性主要用来说明火电厂燃料利用程度，以及热力过程中各部分的能量利用情况。这些均直接影响到火电厂的发电成本、利润和燃料节约量，一般用热经济性指标来表示，如电厂热效率、汽轮发电机组热效率、热电厂全年的燃料节约量等。火电厂的经济效益包括非常广泛的内容，一般用综合经济效益来予以说明。它包括热经济性、安全可靠、投资、建设工期、物资消耗、人员配置等。由于热经济性代表了火力发电厂能量利用、热功转换技术的先进性和运行的经济性，故它是火电厂一切经济性的基础，也是本章讨论的内容之一。

对热经济性的评价，是通过能量转换过程中能量的利用程度或损失大小来衡量的。

评价能量的利用程度，有两种观点：一种是能量数量的利用，另一种是能量的质量利用。这两种观点导致了评价方法的不一样，分别为以热力学第一定律为基础的热量法（效率法）、以热力学第一定律和第二定律为基础的作功能力分析法（焓分析法和熵分析法）。

### 第一节 热量法及其应用

热量法是从现象看问题，只以燃料产生热量被利用的程度来对电厂进行热经济性评价，单纯以数量来衡量，没有考虑能量的质量问题。但是由于它直观、易于理解，计算方便，目前被广泛地应用于电厂的热经济性评价中。

评价发电厂实际热力循环，主要是分析和研究实际循环中各种热力设备或热力过程中的热量损失，这些热量损失在设备或过程中的分布情况及其对热经济性的影响，其实质是通过热量的利用程度（如热效率）或损失大小（如热量损失、热量损失率）来评价电厂和热力设备的热经济性。

在热量转换及传递过程中，热平衡式为

$$\text{供给热量} = \text{有效利用热量} + \text{损失热量}$$

热效率  $\eta$  定义为

$$\eta = \frac{\text{有效利用热量}}{\text{供给热量}} \quad (1-1)$$

效率的大小，定量地表征了该设备或热力过程的热能转换效果，反映了设备的技术完善程度。

在发电厂的生产过程中，每一个能量的传递环节和转换过程都不可避免地存在着能量的损失，图 1-1 是一个简单的凝汽式电厂的生产过程示意图和朗肯循环的  $T-s$  图，以此为基础分析其能量转换过程中的各种损失和效率。