

普通高等教育



“十五”

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIWU  
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

# 电力工程

尹克宁 编著



中国电力出版社

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

普通高等教育



“十五”

TM7  
21

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIWU  
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

# 电 力 工 程

编著 尹克宁



中国电力出版社

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

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

本书全面介绍了电力系统、电力网以及发电厂和变电所电气部分的基本知识、原理及其分析方法。全书共七章,包括电力系统概述,电力网及其稳态分析,发电厂和变电所的一次系统,电力系统短路,电力系统稳定,发电厂和变电所的二次系统,远距离输电等。

本书是根据著者在20世纪80年代先后两度出版的同名教材的基础上重新编写而成的。原书曾于1992年在全国高校优秀教材评选中荣获能源部优秀教材二等奖。在重新编著本书时,本着面向21世纪电力技术的原则,补充了大量新的知识,介绍了未来的发展方向。此外,本书还继续保持了原书在叙述上深入浅出、便于自学,在内容上做到理论与生产实际紧密结合等风格,并增加了较多的复习思考题与习题,以利于教学的深化。

本书的读者对象为高等院校电气工程类的本科生、研究生,也可供成人高校及中等专业学校相关专业的师生参考,还可供电力行业以及高压电气设备制造行业中广大的科技工作者和工程技术人员自学参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力工程/尹克宁编著. —北京:中国电力出版社,  
2005

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2917-1

I. 电... II. 尹... III. 电力工程—高等学校—  
教材 IV. TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第004318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2月第一版 2005年2月北京第一次印刷  
787毫米×1092毫米 16开本 25.5印张 594千字  
印数 0001—5000册 定价 38.00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

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多种教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237）

**中国电力教育协会**

# 前 言

本书是根据著者于 20 世纪 80 年代先后两度编写出版的同名教材重新编著而成的。

原《电力工程》教材出版后，受到了广大读者的欢迎。在十多年中曾先后印刷了八次，读者遍及全国各地和各部门。另外，原书还曾于 1992 年在全国高校优秀教材评选中荣获能源部优秀教材二等奖。

为了适应我国电力工业和电力技术的飞速发展以及高校教学改革的不断深入，编著者应广大读者的要求以及中国电力教育协会的邀请，又重新编著了本书。根据面向 21 世纪电力技术的特点，在本次编著中不仅增加了大量的新技术内容与热点课题（如中性点接地、无功补偿、谐波治理、直流输电、FACTS 技术、环境保护等）的介绍，而且还继续保持了原书在基本原理的叙述上深入浅出、便于自学和在内容上做到理论与当前的生产实际紧密结合等风格；此外，还总结了笔者二十多年来讲授本课的经验，并考虑了广大读者对原书所提出的意见和建议；书中还增加了较多的复习思考题与习题，以利于教学的深化等。

鉴于当前高校的专业课教学时数有所紧缩，建议在使用本教材时，可根据各专业方向的特点，除最基本内容外，再适当选学其中有关章节，其余内容可留待未来工作中继续学习时参考。

本书在编著过程中，曾参阅了大量国内外的教材和科技书刊（详见参考文献），编著者在此谨向有关作者一并表示诚挚的谢意。

由于本书的编写时间仓促，内容面广，肯定有不少疏漏与不妥之处，恳请读者提出宝贵的意见，批评指正（E-mail: yinkn@tom.com）。

笔者

2004 年国庆佳节

于西安交通大学

# 目 录

序	
前言	
<b>第一章 电力系统概述</b>	1
第一节 电力工业在国民经济中的地位和我国电力工业的发展	1
第二节 电力系统的组成和特点	2
第三节 发电厂的类型及其生产过程简介	6
第四节 电能的质量指标	13
第五节 电力系统的接线方式和电压等级	15
第六节 电力系统的负荷和负荷曲线	19
复习思考题与习题	23
<b>第二章 电力网及其稳态分析</b>	25
第一节 电力线路的结构	25
第二节 输电线路的电气参数	34
第三节 电力网参数计算中变压器参数的计算方法	50
第四节 输电线的等值电路	58
第五节 电力网电压计算	69
第六节 电力系统的无功平衡和电压调节	72
第七节 电力系统的有功平衡及频率调节	85
第八节 电力网的功率损耗和电能损耗	91
第九节 电力系统潮流分布计算	101
第十节 输电线路导线截面的选择	113
第十一节 电力系统的中性点接地方式	116
第十二节 谐波对电力系统的影响及其治理	131
复习思考题与习题	142
<b>第三章 发电厂和变电所的一次系统</b>	147
第一节 电气主接线图	147
第二节 高压电器	157
第三节 配电装置的一般问题	176
第四节 屋内配电装置	181
第五节 屋外配电装置	187
第六节 成套配电装置和 SF <sub>6</sub> 全封闭式组合电器	195
第七节 保护接地	201
复习思考题与习题	206
<b>第四章 电力系统短路</b>	207

第一节	概述	207
第二节	标么制	209
第三节	由“无限大”电力系统供电的简单电力网三相短路电流的计算	214
第四节	由同步发电机供电的简单电力网三相短路电流的计算	218
第五节	对称分量法	229
第六节	不对称故障的序网图	232
第七节	电力系统中各元件的负序电抗和零序电抗	237
第八节	电力系统不对称短路故障的计算	253
第九节	电力系统的非全相运行计算简介	266
	复习思考题与习题	269
<b>第五章</b>	<b>电力系统稳定</b>	273
第一节	稳定性问题的提出及其基本概念	273
第二节	电力系统的静态稳定	274
第三节	电力系统的暂态稳定	278
第四节	电压稳定性的概念	286
	复习思考题与习题	288
<b>第六章</b>	<b>发电厂和变电所的二次系统</b>	289
第一节	概述	289
第二节	测量表计回路和互感器的配置	294
第三节	控制和信号回路	296
第四节	继电保护的一般问题	302
第五节	继电器	305
第六节	过电流保护	314
第七节	变压器的继电保护	325
第八节	输电线路的自动重合闸	335
	复习思考题与习题	340
<b>第七章</b>	<b>远距离输电</b>	342
第一节	概述	342
第二节	交流远距离输电线路的自然功率与传输容量	343
第三节	远距离输电线的并联补偿与串联补偿	345
第四节	高压直流输电 (HVDC)	349
第五节	柔性交流输电系统 (FACTS)	365
第六节	远距离输电线路的环境保护	371
	复习思考题与习题	384
<b>附录</b>		385
附录一	多导线系统的磁链计算	385
附录二	考虑大地影响后多导线系统的电容算法	387
附录三	线路常用导线技术数据	389
	附表 3-1 钢芯铝绞线的结构及主要技术参数	389



附表 3-2	用钢芯铝线敷设的架空线路的感抗和电阻 .....	390
附表 3-3	用钢芯铝线敷设的架空线路的电纳 .....	390
附表 3-4	110~750kV 架空线路导线的电容及充电功率 .....	391
附表 3-5	铜芯三芯电缆的感抗和电纳 .....	391
附录四	单相接地电容电流的计算 .....	391
附录五	短路电流运算曲线图 .....	393
<b>参考文献</b>	.....	<b>398</b>

## 第一章 电力系统概述

### 第一节 电力工业在国民经济中的地位和我国电力工业的发展

电力工业是国民经济的重要部门之一，它是负责把自然界提供的能源转换为供人们直接使用的电能的产业。它既为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供必不可少的动力，又和人民群众的日常生活有着密切的关系。电力是工业的先行。电力工业的发展必须优先于其他的工业部门，整个国民经济才能不断前进。

据记载，世界上第一个发电厂是于 1882 年在美国纽约市建立的，机组容量只有 30kW。此后，随着生产和科学技术的进步，电力工业有了迅速的发展，特别是近半个世纪以来发展得更快。据统计，到 1997 年底为止，全世界的发电厂的总装机容量已达 313300 万 kW，最高交流输电电压已超过 1,000kV，最高直流输电电压已达到  $\pm 600$ kV，最远输电距离已超过 1,000km。从世界各国经济发展的进程来看，国民经济每增长 1%，就要求电力工业增长 1.3%~1.5% 左右。因此，一些工业发达的国家几乎是每 7~10 年（个别的为 5~6 年）装机容量就要增长一倍。

我国具有极其丰富的能源资源。据最新统计，全国水能资源的蕴藏量为 69400 万 kW（其中可开发利用的约为 40200 万 kW），居世界首位。此外，煤、石油、天然气等资源也很丰富。这些优越的自然条件为我国电力工业的发展提供了良好的物质基础。但是，旧中国的电力工业却是非常落后的，到 1949 年，全国的总发电装机还不到 200 万 kW。新中国成立后，在党和政府的领导下，我国的电力工业有了很大的发展。到了 1979 年我国的发电装机容量和年发电量已分别为 1949 年的 21 倍和 65 倍，特别是进入 1980 年后，随着改革开放的深入发展，我国电力工业的发展更快，到 1987 年全国发电装机容量突破了 1 亿 kW，2000 年 4 月突破了 3 亿 kW，截止到 2004 年 5 月底，我国总发电装机容量已突破了 4 亿 kW 大关达到 40060 万 kW，并早已跃升到世界的第 2 位，电力工业的发展为我国的国民经济的高速发展做出了巨大的贡献。

不仅如此，目前我国的电力工业已开始进入“大电网”、“大机组”、“超高压交、直流输电”、“电网调变自动化”、“状态检修”等新技术发展的新阶段，一些世界水平的先进的高新技术，已在我国电力系统中得到了广泛的应用。举世无双的三峡水电站（总装机容量为 1820 万 kW）已经在 2003 年开始投产发电，预计在 2009 年全部机组发电后，将进一步促使全国统一电力系统的形成。500kV 的超高压交流输电线路已遍及全国各地，而 750kV 的超高压交流输电线路也正在建设中。 $\pm 500$ kV 超高压直流输电线路已投运和正建设中的共达 6 条，所有这些，都证明我国电力工业在技术水平上正迈向世界的前列。

但是，随着近年来我国国民经济的高速发展与人民生活用电的急剧增长，电力工业的发展仍不能满足整个社会发展的需要，未能很好起到先行的作用，仅以 2004 年夏季的供电负荷高峰期为例，全国预计总共缺电 3000 万 kW 左右，有 24 个省区都先后出现了拉闸限电的

情况, 这样的局面预期还要再过 2~3 年才能得到较好的解决。

另外, 由于我国人口众多, 因此在按人口平均用电方面, 迄今不仅仍远远落后于一些发达国家, 即使在发展中国家中, 也只处于中等水平, 尚不及全世界平均人口用电量的一半。因而, 要实现在 21 世纪初全面建设小康社会的要求, 我国的电力工业必须持续、稳步地大力发展, 一方面是要大力加强电源建设, 搞好“西电东送”, 以确保电力先行, 另一方面, 要继续深化电力体制改革, 实施厂网分开、竞价上网, 并建立起符合社会主义市场经济法则的、规范的电力市场。

展望未来, 我们坚信, 在新世纪中, 中国的电力工业必将持续、高速地发展, 取得更加辉煌的成就。

## 第二节 电力系统的组成和特点

### 一、电力系统的形成和优越性

#### (一) 电力系统的形成

在电力工业发展的初期, 发电厂都建设在用户附近, 规模很小, 而且是孤立运行的。随着生产的发展和科学技术的进步, 用户的用电量和发电厂的容量都在不断增大。由于电能生产是一种能量形态的转换, 发电厂宜于建设在动力资源所在地, 而蕴藏动力资源的地区与电能用户之间又往往隔有一定距离。例如, 水能资源集中在河流落差较大的偏僻地区, 热能资源则集中在盛产煤、石油、天然气的矿区; 而大城市、大工业中心等用电部门则由于原材料供应、产品协作配套、运输、销售、农副产品供应等原因以及各种地理、历史条件的限制, 往往与动力资源所在地相距较远, 为此就必须建设升压变电所和架设高压输电线路以实现电能的远距离输送。而当电能输送到负荷中心后, 又必须经过降压变电所降压, 再经过配电线路, 才能向各类用户供电。

随着生产的发展和用电量的增加, 发电厂的数目也不断增加。这样一来, 一个个发电厂再保持孤立运行的状态就没有什么好处了。当一个个地理上分散在各处、原来孤立运行的发电厂通过输电线路、变电所等相互连接形成一个“电”的整体以供给用户用电时, 就逐步形成了现代的电力系统。换句话说, 电力系统就是由发电厂、变电所、输配电线路直到用户等在电气上相互连接的一个整体<sup>①</sup>, 它包括了从发电、输电、配电直到用电这样一个全过程。另外, 还把由输配电线路以及由它所联系起来的各类变电所总称为电力网络(简称电网), 所以, 电力系统也可以看作是由各类发电厂和电网以及用户所组成的。

图 1-1 所示是现代高压电力系统的一个例子, 它具有较大容量的水力发电厂、火力发电厂和热电厂。图中的水力发电厂由于容量较大、输电距离较远, 所以把电压升高到 500kV 后经线路送出。火力发电厂-1 的电能升压至 220kV 后由线路送到变电所-3, 并通过线路

<sup>①</sup> 按传统说法还有“动力系统”和“电力系统”的区别。动力系统还包括发电厂的热力部分(或核动力部份)和水力部分, 而电力系统只包括从发电机起的发电厂电气部分以及变电所、线路、用户等, 由于本课的重点是电气部分, 故本书仅着重提出电力系统的概念。

与220kV电网相联系。所谓热电厂是指装有供热式汽轮发电机组的发电厂，它除了发电外，还兼向附近的工厂供热，这样可以提高热能利用的效率。由于它要兼供热，所以总是把热电厂建在用户附近，它除了用10kV电压供给附近地区用电外，还通过升压变压器与220kV电网相联系，以进行功率交换。火力发电厂-2为建立在燃料产区的区域性火电厂，它所发出的电能主要通过220kV线路送往负荷中心。图中由变电所-1、变电所-2和火力发电厂-2以及高压线路所构成的220kV环形电力网是本系统的主要电力网，它是联系发电厂和用户的核心部分。

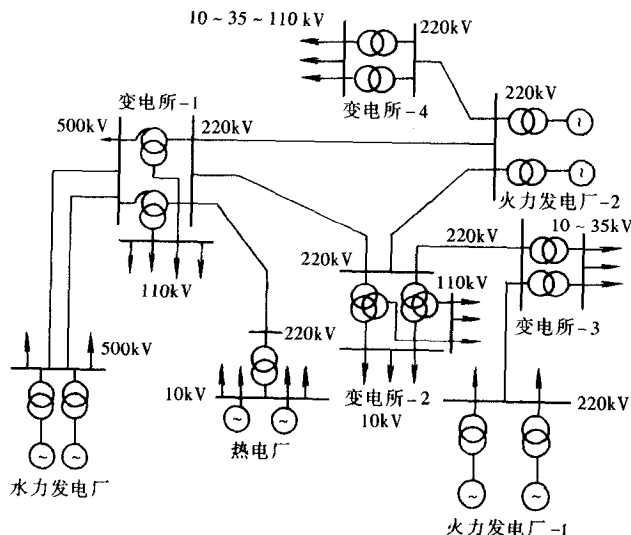


图 1-1 电力系统单线接线图

为了进一步了解电力系统的组成，就必须了解发电厂、电力网和变电所的组成、分类等情况。关于发电厂的类型及其生产过程将在下一节中介绍。这里先简单介绍一下电力网和变电所的类型。

电力网按其供电容量和供电范围的大小以及电压等级的高低可分为地方电力网、区域电力网以及超高压远距离输电网络等三种类型。地方电力网是指电压不超过110kV、输电距离在几十公里以内的电力网，主要是城市、工矿区、农村等的配电网。区域电力网则把范围较广地区的发电厂联系在一起，而且输电线路也较长、用户类型也较多。目前我国，区域电力网主要是电压为220kV级的电力网，基本上各省（区）都有。超高压远距离输电网络主要由电压为330~500kV及以上电压的远距离输电线路所组成，它担负着将远区发电厂的功率送往负荷中心的任务，同时往往还联系几个区域电力网以形成跨省（区）的、全国的，甚至国与国之间的联合电力系统。

下面再谈谈变电所的类型。电力网中的变电所除了有升压、降压的分类方法外，还可分为系统枢纽变电所、地区变电所、中间变电所以及终端变电所等等。枢纽变电所一般都汇集多个电源和大容量联络线，且容量较大，处于联系电力系统各部分的中枢位置，地位重要，

如图 1-1 中的变电所-1 和变电所-2 都属于这种类型。中间变电所则处于发电厂和负荷中心之间, 从这里可以转送或抽引一部分负荷, 如图 1-1 中的变电所-3。终端变电所一般都是降压变电所, 它只是负责供应一个局部地区的负荷而不承担转送功率, 如图 1-1 中的变电所-4。

## (二) 系统联系的优越性与存在问题

实践证明, 当各孤立运行的发电厂通过电力网连接起来形成并联运行的电力系统后, 将在技术经济上带来很大好处, 下面就分别叙述。

### 1. 减少系统中的总装机容量

由于负荷特性、地理位置等的不同, 电力系统中各发电厂孤立运行的最大负荷并不是同时出现的, 因此系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时的最大负荷的总和, 从而, 相应地可减少系统中的总装机容量。

### 2. 合理利用动力资源, 充分发挥水力发电厂的作用

如果不形成电力系统, 很多能源就难以得到充分利用。例如, 水力发电厂的出力决定于河流的来水情况, 一年中的水流情况却是受自然条件影响而多变的, 很难与电力负荷相适应, 往往枯水季节出力不足, 而在丰水季节却要弃水。当水力发电厂联入电力系统以后, 则它的运行情况就可以与火电厂相互配合调剂。在丰水季节, 可以让水力发电厂尽量多发电以减少火力发电厂的出力、节省燃料; 而在枯水季节则让水力发电厂担负尖峰负荷, 火力发电厂则担负固定的基本负荷。这样既充分利用了水能资源, 又提高了火力发电厂的运行效率, 降低了煤耗。

### 3. 提高供电的可靠性

通常, 孤立运行的发电厂必须单独装设一定的备用容量, 以防止机组检修或事故时中断对用户的供电。但当联成电力系统后, 则随着系统容量的增大, 不仅可以减少备用机组的台数与容量, 提高设备的利用率, 而且不同发电厂之间在电厂或线路故障时还可以相互支援, 因而也提高了供电可靠性。

### 4. 提高运行的经济性

除了前述可以充分利用动力资源外, 在电力系统中还可以通过在各发电厂之间合理地分配负荷, 使得整个系统的电能成本降低。另外, 随着系统容量的增大, 则有可能采用单台容量较大的大型发电机组, 从而降低了单位千瓦的设备投资和运行损耗。以上这些因素都提高了系统运行的经济性。

从上述可知, 随着系统联系的扩大, 显著地提高了运行的可靠性与经济性。因此, 不妨把电力事业的发展史就看成是电力系统不断扩展与增强联系的历史。但是, 随着电力系统的日益壮大、联系的日益增强, 由于一处发生故障而波及到其他广大地区的情况也愈易发生。这种事故波及现象可以说是联成系统后所带来的问题。近二三十年, 世界上发生的著名大停电事故都是由于事故波及所致。另外, 系统短路容量也将随着系统容量的增大而不断增加, 甚至达到设备所不能容许的程度。因此, 如果不采取有效的措施, 系统联系的增强将是有限的。换句话说, 并不是在所有场合下都是系统规模越大就越好, 而且是应当区别不同情况以适当的方式、按照适当的程度来实现系统的联系才是最重要的。

## 二、电力系统的特点以及对电力系统的要求

### (一) 电力系统的特点

由于电能生产本身所固有的特点以及联成电力系统后所出现的新问题,决定了电力系统与其他工业部门有着许多不同的特点,其中主要有以下几点。

(1) **电能不易贮藏**。由于电能生产是一种能量形态的转换,从而要求生产与消费同时完成。迄今为止尽管人们对电能的贮存进行了大量的研究,并在一些新的贮藏电能方式上(如超导贮能、燃料电池贮能等)取得了一定突破性的进展,但是仍未能解决经济而高效率的大容量贮能问题。因此电能难于贮存,可以说是电能生产的最大特点。

从电能难于贮存的这个特点出发,在运行时就要求经常保持电源和负荷之间的功率平衡;在规划设计与电源建设时则要求确保电力先行,否则其他工厂即使建成也因缺电而无法投产。再者,由于发电和用电同时实现,还使得电力系统的各个环节之间具有十分紧密的相互依赖关系。不论变换能量的原动机或发电机,或输送、分配电能的变压器、输配电线路以及用电设备等,只要其中的任何一个元件故障,都将影响到电力系统的正常工作。

(2) **电能生产与国民经济各部门和人民生活有着极为密切的关系**。现代工业、农业、交通运输业等都广泛用电作为动力来进行生产,可以把电力系统视为各工业企业共同的“动力车间”。此外,在人民的日常生活中还广泛使用各种家用电器。随着现代化的进展,各部门中电气化的程度将愈来愈高。尤其是随着信息化社会的发展,各个部门对电力的依赖程度都非常高。因而,电能供应的中断或不足,不仅将直接影响国防与工农业生产、交通,造成人民生活紊乱,在某些情况下甚至会酿成极其严重的社会性灾难。历史上一些大停电事故的教训,都证实了这一点。

(3) **暂态过程十分短暂**。由于电是以光速传播的,所以运行情况发生变化所引起的电磁方面和机电方面的暂态过程都是十分迅速的。电力系统中的正常操作(如变压器、输电线路的投入运行或切除)是在极短时间内完成的;用户的电力设备(如电动机、电热设备等)的起停或负荷增减也是很快的;电力系统中出现的故障(如短路故障、发电机失去稳定等)及其发展进程都是极其短暂的,往往只用微秒( $\mu\text{s}$ )、毫秒( $\text{ms}$ )甚至纳秒( $\text{ns}$ )来计量时间。因此,不论是正常运行时所进行的调整和切换等操作,还是故障时为切除故障或为把故障限制在一定范围内以迅速恢复供电所进行的一系列操作,仅仅依靠人工操作是不能达到满意效果的,甚至是不可能的。必须采用先进的信息控制技术和各种自动装置来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。电力系统的这个特点给运行、操作带来了许多复杂的课题。

(4) **电力系统的地区性特点较强**。由于各个电力系统的电源结构与其资源分布情况和特点有关,而负荷结构却与工业布局、城市规划、电气化水平、人均用电量等有关,至于输电线路的电压等级、线路配置等则与电源与负荷间的距离、负荷的集中程度等有关,因而各个电力系统的组成情况将不尽相同,甚至可能很不一样。例如,有的系统是以水力发电厂为主,而有的系统则是以火力发电厂为主(或完全没有水力发电厂),有的系统电源与负荷距离近、联系紧密,而有的系统却正好相反,等等。因而,在系统规划设计与运行管理时,必须针对系统特点从实际出发来进行,如果盲目地搬用其他系统或国外系统的一些经验而不加以具体分析,则必将违反客观规律,酿成错误。

## (二) 对电力系统的要求

从电力系统上述特点出发, 根据电力工业在国民经济中的地位和作用, 决定了对电力系统有下列基本要求。

(1) **最大限度地满足用户的用电需要, 为国民经济的各个部门提供充足的电力。**为此, 首先应按照电力先行的原则作好电力系统发展的规划设计, 认真搞好电力建设, 以确保电力工业的建设优先于其他的工业部门。其次, 还要加强现有设备的维护, 以充分发挥潜力, 确保足够的备用容量, 以防止事故的发生。

(2) **保证供电的可靠性。**这是电力系统运行中的一项极为重要的任务。运行经验表明, 电力系统中的整体性事故往往是由于局部性事故扩大而造成的。所以, 为保证供电可靠性, 首先要保证系统各元件的工作可靠性, 这就需要搞好设备的正常运行维护和定期的检修试验。其次, 要提高运行水平, 防止误操作的发生, 在事故发生后应尽量采取措施以防止事故扩大等等。

应当指出, 要绝对防止事故的发生是不可能的, 而各种用户对供电可靠性的要求也是不一样的。因此, 必须根据实际情况区别对待这些不同类型的用户。对于某些重要用户(如某些矿井, 连续生产的化工厂、钢铁厂, 市政中心和交通运输, 医院等), 停电将会带来人身危险、设备损坏和产生大量废品以及社会生活混乱等严重后果时, 则在任何情况下都必须保证供电不致发生中断。而对于一些次要用户, 则可以容许不同程度的短时停电。

(3) **保证电能的良好质量。**主要是维持电压和频率以及波形偏差不超出一定的范围, 具体详见本章第四节。

(4) **保证电力系统运行的经济性。**要致力于使电能在生产、输送和分配过程中效率高、损耗小, 以期最大限度地降低电能成本。电能成本的降低不仅意味着能源的节省, 还将影响到各用电部门成本的降低, 因而给整个国民经济所带来的好处是很大的。

把上述各点归纳起来可知: **保证对用户不间断地供给充足、优质而又价廉的电能, 这就是电力系统的基本任务。**

## 第三节 发电厂的类型及其生产过程简介

众所周知, 电能是由一次能源转换而得的, 所以发电厂的类型一般根据一次能源来分类。以往, 电力系统中主要是水力发电厂和火力发电厂, 从 20 世纪 60 年代以来, 核能发电厂的建设逐年增加, 在一些国家的电力系统中已占据有很大的比重。下面将主要介绍这三类发电厂的简况。但是, 考虑到能源资源对电能生产的重大影响, 首先需要对一次能源资源的有关情况做一个简要介绍。

### 一、一次能源与电力生产

一次能源, 可以说与粮食和水一样, 是人类赖以生存以及支撑现代社会文明的主要物质基础之一。从原始社会起, 人类就是通过消耗能量而生活, 并进行各种社会活动的, 目前世界上可以利用的一次能源资源主要为化石能源(煤、石油、天然气)、自然能源(水能、风能、太阳能等)以及核能源。电能主要通过这些一次能源变换而生产出来, 其能源形态间的

相互关系，可简略地用图 1-2 表示。

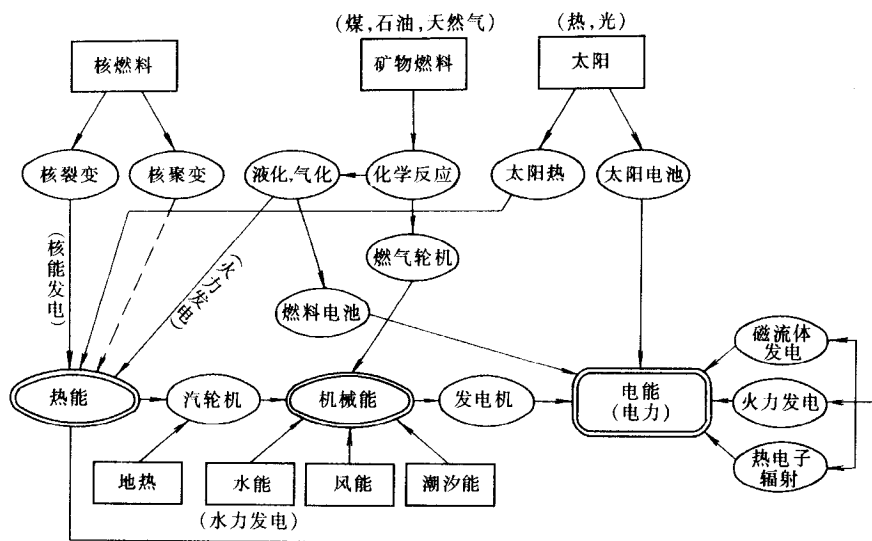


图 1-2 能量形态与电能生产的相互关系

由于电能可以很容易转变为其他能量形态（如机械能，热能，光能，化学能等），其转换过程中的损耗极小，电能可以高效率地实现远距离的大容量输送，电能又是一个清洁、环保的能源。以上这些优点，都使电能在整个社会的能源消耗中所占比重愈来愈大，尤其是随着家用电器的普及与信息技术的发展其作用愈来愈大，今后人类对电能的需要将愈来愈大。

但是，地球上的一次能源资源的贮存量是有限的，如不注意节约与合理使用，必有一天人类将面临能源枯竭的危险。因此，在 21 世纪中，对节约能源与开发新能源的研究，将是人类社会的可持续发展所面临的一项重大的挑战。

## 二、火力发电厂

火力发电厂是以煤、石油、天然气等作为燃料，燃料燃烧时的化学能被转换为热能，再借助汽轮机等热力机械将热能变换为机械能，并由汽轮机带动发电机将机械能变为电能。迄今为止，在世界上的绝大多数国家中，火力发电厂在系统中所占的比重都是较大的，据统计，全世界发电厂的总装机容量中，火力发电厂占了 70% 以上。

火力发电厂所用燃料种类较多。由于煤素称“黑色的金子”，煤既是基础能源，优质煤还是冶金、化工等部门所必需的，我国目前的方针是尽量利用低质煤来发电。在世界上其他一些国家，由于燃料供求关系等原因，也有不少火力发电厂主要是用石油或天然气作燃料的。我国的煤矿资源极其丰富，根据我国的能源政策，在相当一段时期内，火力发电厂的燃料将主要用煤。但是，用燃煤来发电，不仅需要的燃煤量大，而且排出的烟尘（主要是具有温室效应的  $\text{CO}_2$  气体）等废弃物都极易污染环境，按环保部门的要求，对这些废弃物进行处理是一项繁重的任务。相对而言，用石油发电，在环保方面的问题就要少一些。

火力发电厂按其作用来分有单纯发电的和既发电同时又兼供热的这样两种类型，前者即



指一般的火力发电厂，后者称为兼供热式火力发电厂（或称热电厂）。一般火力发电厂应尽量建设在燃料基地或矿区附近，将发出的电用高压线路送往负荷中心，这样既避免了燃料的长途运输、提高了能量输送的效益（燃料中的灰分、杂质可就地处理而不必为此耗费运输力量），还防止了对大城市周围地区的环境污染。通常把这种火力发电厂称为“矿口电厂”，这是我国建设大型火力发电厂（特别是烧低质煤的火力发电厂）的主要方向。热电厂的建设是为了提高热能的利用效率，它由于要兼供热，所以必须建在大城市或工业区的附近。

一般火力发电厂多采用凝汽式汽轮发电机组，故又称凝汽式发电厂，其生产过程如图 1-3 所示。

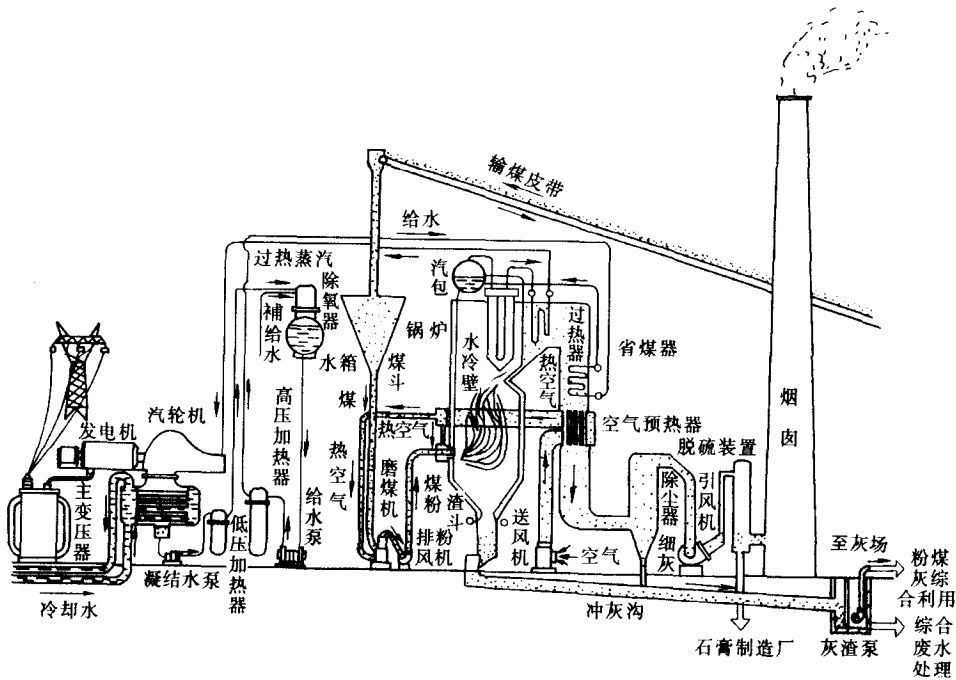


图 1-3 凝汽式火力发电厂生产过程示意图

煤先由输煤皮带运送到锅炉房的煤斗中，再由煤斗进入磨煤机被磨成煤粉，在热空气的输送下，经喷燃器送入燃烧室内燃烧。助燃空气由送风机先送入空气预热器加热为热空气，其中一部分热空气进入磨煤机以干燥和输送煤粉，另一部分热空气则进入燃烧室助燃。在燃烧室内燃料着火燃烧并放出热量，其热量的一部分将传给燃烧室四周的水冷壁，并在流过水平烟道内的过热器及尾部烟道内的省煤器、空气预热器时，继续把热量传给蒸汽、水和空气；而被冷却后的烟气则经除尘器除去飞灰，由引风机从烟囱排入大气。另外，通常用水把由锅炉下部排出的灰渣和由除尘器下部排出的细灰冲到灰渣泵房，再经灰渣泵排往贮灰场。

在水冷壁中产生的蒸汽在流经过热器时进一步吸收烟气的热量而变为过热蒸汽，然后通过主蒸汽管道被送入汽轮机。进入汽轮机的蒸汽，膨胀作功推动汽轮机的转子旋转，将热能