



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANLI GONGCHENG GAILUN

电力工程概论

(第三版)

韦 钢 张永健
陆剑峰 丁会凯 编著



中国电力出版社

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



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

DIANLI GONGCHENG GAILUN

电力工程概论

(第三版)

编著 韦 钢 张永健

陆剑峰 丁会凯

主审 陈章潮 程浩忠



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“十一五”国家级规划教材。

本书是普通高等教育“十一五”规划教材。全书共四篇，分别为动力系统概述、输配电系统概述、电气设备及保护控制概述、电力市场建设概述。其中，动力系统概述包括能量转换基本知识、火力发电、水力发电、核能发电、新能源发电；输配电系统概述包括电力系统基本知识、电力系统运行特性及分析、电力系统故障及分析、电力系统稳定性、电力系统的规划及可靠性；电气设备及保护控制概述包括电气设备、发电厂和变电所的一次系统、电力系统保护与控制；电力市场建设概述包括电力改革的市场化趋向、电力市场建设的基础性工作、我国电力市场建设实践。本书概要性地介绍了整个电力工业的基本情况，内容丰富，浅显易懂。

本书主要作为非电气类、能源动力类等专业的本科教材，也可作为成人高校、高职高专相关专业的教材，还可供从事相关领域技术工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力工程概论/韦钢等编著. —3版. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5083-9268-4

I. 电… II. 韦… 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 (2009) 第 133833 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 2 月第一版

2009 年 11 月第三版 2009 年 11 月北京第九次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 463 千字

定价 31.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
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

本书第一版、第二版是普通高等教育“十五”、“十一五”规划教材（第一版获2007年度上海市优秀教材二等奖），在全国各类高校中广泛使用。根据使用本教材后的一些体会，以及部分学校的教师提出的一些建设性的意见，编者在前两版的基础上做了相应的改进和删减，特此向使用本书的学校和提出宝贵意见的教师表示衷心的感谢。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分为四篇，第一篇动力系统概述，第二篇输配电系统概述，第三篇电气设备及保护控制概述，第四篇电力市场建设概述。

本书是为电力类高等学校非电气类专业学生的通识课程而编写的。全书概要性地介绍了电力工程（动力、电气、电力市场）的相关基础知识，对内容中涉及的理论以及繁杂的分析计算进行了大量的简化和定性的描述处理。全书贯穿的宗旨是“介绍性和说明性”，内容比较丰富，又力求浅显易懂，学生在学习本书时对先修课程的基础要求较低，这样，非电气类专业学生，均可在任何一个学期开设本课程，教师在讲授中，可以根据不同的专业以及课时数的多少进行选择性地讲解。书中每一篇均附有一定数量的思考题，帮助学生在学中思考、复习本课程。

本书由上海电力学院韦钢（第二篇）、张永健（第三篇）、陆剑峰（第一篇）、丁会凯（第四篇）编著，韦钢负责全书的统稿。上海交通大学的陈章潮教授、程浩忠教授担任本书的主审，提出了一些宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。同时，在此向本书所引用参考书目的作者表示感谢。

限于编者的水平，书中难免存在缺点和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

前言	1
概论 电力工业发展概要	1
第一篇 动力系统概述	
第一章 能量转换基本知识	9
第一节 热力学基本定律	9
第二节 水蒸气动力循环	12
第三节 换热器	16
第二章 火力发电	18
第一节 火电厂生产过程	18
第二节 锅炉设备	19
第三节 汽轮机设备	29
第四节 火电厂对环境的影响及措施	38
第五节 蒸汽—燃气联合循环	40
第六节 洁净煤发电技术简介	43
第三章 水力发电	48
第一节 水电站的生产过程及类型	48
第二节 水电站主要动力设备——水轮机	52
第三节 水力发电的特点	54
第四章 核能发电	56
第一节 核裂变反应堆	56
第二节 压水堆核电站生产过程	61
第三节 核电站对环境的影响	63
第五章 新能源发电	65
第一节 地热发电	65
第二节 海洋能发电	68
第三节 太阳能发电	69
第四节 生物质能发电	75
第五节 风力发电	78
第六节 氢能发电	82

思考题	85
-----------	----

第二篇 输配电系统概述

第六章 电力系统基本知识	87
第一节 交流电路的基本概念	87
第二节 电力系统概述	93
第三节 电压的变换和电能的传输	96
第四节 电力网络的接线和电压等级	100
第五节 电力系统的负荷	103
第六节 电力系统中性点的运行方式	106
第七节 电能的质量指标和电力系统的特点	110
第七章 电力系统运行特性及分析	114
第一节 电力系统的潮流分布	114
第二节 电力系统频率的特性及调整	125
第三节 电力系统电压的管理及调整	131
第八章 电力系统故障及分析	136
第一节 电力系统故障的基本概念	136
第二节 电力系统三相短路故障	138
第三节 电力系统不对称短路故障	146
第九章 电力系统稳定性	154
第一节 概述	154
第二节 电力系统静态稳定性	155
第三节 电力系统暂态稳定性	161
第四节 电力系统电压稳定性	167
第十章 电力系统的规划及可靠性	169
第一节 电力系统规划	169
第二节 电力系统可靠性	172
第三节 世界上几起大停电事件的经验和教训	175
思考题	182

第三篇 电气设备与保护控制概述

第十一章 电气设备	183
第一节 电气接线图	183

第二节 发电机	183
第三节 发电机励磁系统	186
第四节 变压器	187
第五节 高低压开关设备	191
第六节 母线、电缆	201
第七节 开关设备与导体的选择与使用	201
第八节 互感器	202
第十二章 发电厂、变电所的一次系统	209
第一节 发电厂、变电所电气主接线	209
第二节 发电厂、变电所自用电	213
第三节 直流系统	216
第四节 配电装置	217
第五节 过电压保护与接地保护	225
第六节 电气安全知识	232
第十三章 电力系统保护与控制	234
第一节 继电保护基本原理	234
第二节 电力系统自动装置	242
第三节 发电厂、变电所的控制、信号回路	249
第四节 电力系统调度与自动化	251
思考题	260

第四篇 电力市场建设概述

第十四章 电力改革的市场化趋向	261
第一节 电力工业模式的综合描述	262
第二节 变化中的中国电力工业	266
第三节 国外电力改革与电力市场建设	266
第十五章 电力市场建设的基础性工作	270
第一节 电力市场主体的确立	270
第二节 电力市场模式选择	272
第三节 电力市场中的交易方式	273
第四节 电力市场中的电价问题	274
第五节 电力市场监管问题	276
第十六章 我国电力市场建设实践	278
第一节 我国电力改革与电力市场建设回顾	278

概论 电力工业发展概要

电力工业的建立至今已有一个多世纪的历史。今天,电与人们的生产、生活、科学技术研究和社会文明建设息息相关,对现代社会的各个方面已产生直接或间接的巨大作用和影响,已成为现代文明社会的重要物质基础。

一、欧美电力工业的发展简史

1800年物理学家伏特发明第一个化学电池,人们开始获得连续的电流。随后,安培、欧姆、亨利、法拉第、爱迪生、西门子、楞次、基尔霍夫、麦克斯韦、赫兹、特斯拉、威斯汀豪斯等一大批电气工程界的伟大先驱们创造了一系列理论与实践成果,为电力工业的诞生开辟了现实的途径。

1831年,法拉第发现电磁感应原理,并制成最早的发电机——法拉第盘(Faraday's Disk),奠定了发电机的理论基础。

1866年,西门子发明了自激式发电机,并预见:电力技术很有发展前途,它将会开创一个新纪元[几乎同时,王尔德(Wilde)等人也发明了自激式发电机,但西门子拥有优先权]。

1870年,比利时的格拉姆(Gramme)制成往复式蒸汽发电机供工厂电弧灯用电。

1875年,巴黎北火车站建成世界上第一个火电厂,用直流发电供附近照明。

1879年,旧金山建成世界上第一座商用发电厂,两台发电机供22盏电弧灯,收费\$10/(灯·周)。同年,先后在法国和美国装设了试验性电弧路灯。

1879年,爱迪生发明了白炽灯。

1881年,第一座小型水电站建于英国。

1882年9月,爱迪生在美国纽约珍珠街建成世界上第一座正规的发电厂,装有6台蒸汽直流发电机,共662kW(900hp,1hp=0.735kW),通过110V地下电缆供电,最大送电距离1英里,供59家用户,1284盏白炽灯,收费25美分/(kW·h),装设了熔丝、开关、断路器和电表等,建成了一个简单的电力系统。

1882年9月,美国还在威斯康星州富克斯(Fox)河上建立了一座25kW的水电站。

1882年,法国人德普勒(Deprez)在慕尼黑博览会上表演了电压为1500~2000V的直流发电机经57km线路驱动电动泵(最早的直流输电)。

1884年,英国制成第一台汽轮机。

1885年,制成交流发电机和变压器,于1886年3月用以在马赛诸塞州的大巴林顿建立了第一个单相交流送电系统,电源侧升压至3000V,经1.2km到受端降压至500V,显示了交流输电的优越性。

1891年,德国在劳芬电厂安装了第一台三相100kW交流发电机,通过第一条三相输电线路送电至法兰克福。

1893年,芝加哥展示了第一台交流电动机。

1894年,建成尼亚加拉大瀑布水电站。1896年采用三相交流输电送至35km外的布法

罗, 结束了 1880 年以来交、直流电优越性的争论, 也为以后 30 年间大量开发水电创造了条件。

1899 年, 加州柯尔盖特 (Colgate) 水电站至萨克拉门托 (Sacramento) 建成 112km 的 40kV 交流输电线。这也是当时受针式绝缘子限制可能达到的最高输电电压。

1903 年, 威斯汀豪斯电气公司装设了第一台 5000kW 汽轮发电机组, 标志着通用汽轮发电机组的开始。但因受当时锅炉蒸汽参数的限制, 容量未能扩大, 而主要建立水电站。

1904 年, 意大利在拉德瑞罗地热田首次实验成功 552W 地热发电装置。

1907 年, 美国工程师爱德华 (Edward) 和哈罗德 (Harold) 发明了悬式绝缘子, 为提高输电电压开辟了道路。

1916 年, 美国建成第一条 90km 的 132kV 线路。

1920 年, 世界装机容量为 3000 万 kW, 其中美国占 2000 万 kW。

1922 年, 在加州建成 220kV 线路, 1923 年投运。

1929 年, 美国制成第一台 20kW 汽轮机组。

1932 年, 前苏联建成第聂伯水电站, 单机 6.2 万 kW。

1934 年, 美国建成 432km 的 287kV 线路。

二战期间, 德国试验 4 分裂导线, 解决了 380kV 线路电晕问题, 并制成 440kV 汞弧整流器, 建成从易伯 (Elbe) 至柏林的 100km 地下直流电缆, 大大促进了超高压交流输电的发展和直流输电的振兴。

战后, 美国于 1955、1960、1963、1970 和 1973 等年份分别制成并投运 30 万、50 万、100 万、115 万 kW 和 130 万 kW 汽轮发电机组。

二战期间开发的核技术还为电力提供了新能源。1954 年前苏联研制成功第一台 5000kW 核发电机组。1973 年法国试制成功 120 万 kW 核反应堆。

1954 年, 瑞典首先建立了 380kV 线路, 采用 2 分裂导线, 距离 960km, 将北极圈内的哈斯普朗盖特 (Harspranget) 水电站电力送至瑞典南部。

1954 年, 前苏联在奥布宁斯克建成第一座核电站。

1964 年, 美国建成 500kV 交流输电线路, 前苏联也于同年完成了 500kV 输电系统。

1965 年, 加拿大建成 765kV 交流线路。

1965 年, 前苏联建成 ± 400 kV 的 470km 高压直流输电线路, 送电 75 万 kW。

1970 年, 美国建成 ± 400 kV 的 1330km 高压直流输电线路, 送电 144 万 kW。

1989 年, 前苏联建成一条世界上最高电压 1150kV、长 1900km 的交流输电线路。

二、中国电力工业的发展

1879 年 5 月, 上海虹口装设的 10hp 直流发电机供电的弧光灯在外滩点燃, 是中国使用电照明之始。

1882 年, 英商创办的上海电光公司则是在中国的第一家公用电业公司, 在上海乍浦路创建了中国第一个发电厂, 装机容量 12kW。后改为上海电力公司, 由美国人经营。

1888 年 (清光绪十四年) 4 月, 中国开始自建电厂, 以 15kW 发电机供皇宫用电。

1907 年, 中国开工兴建了第一座水电站——石龙坝水电站, 1912 年建成, 初期装机容量 2×240 kW。

1911年，民族资本经营电力共12275kW。

1949年新中国成立之初，全国年发电总量为 $4.31 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，列世界第25位，装机容量为 $1.849 \times 10^6 \text{ kW}$ ，为世界第21位，全国人均电量不超过 $8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

1949年10月新中国诞生后，电力建设蓬勃发展。特别是改革开放以来，我国电力工业得到了迅猛发展。

1970年，中国在广东丰顺开始用地下热水发电。1975年西藏羊八井地热电站始建，1977年第一台1000kW机组投运，1986年总装机容量13000kW，为迄今为止中国最大的地热电站。

1978年，改革开放开始，全国发电装机容量达到5712万kW，年发电量达2566亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。1980年全国装机容量为6587万kW，列居世界第8位，发电量为3006亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，列居世界第6位。

1985年，我国国民经济发展第六个五年计划完成时，全国年发电总量已达 $4 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，装机容量为 $8 \times 10^7 \text{ kW}$ ，升至世界第5位。全国已形成了六大跨省区的电力系统，汽轮发电机组、水轮发电机组的单机容量分别达到 $6 \times 10^5 \text{ kW}$ 和 $3 \times 10^5 \text{ kW}$ ，在运行的调度和管理中，普遍采用了计算机等先进技术。到1987年全国装机容量超过1亿kW。

1989年，中国第一条±500kV直流输电线路（葛洲坝—上海，1080km）建成投入运行，实现华中电网与华东电网互联，形成中国第一个跨大区的联合电力系统。

1993年，中国第一座核电站——秦山核电站（300MW）建成投产（1984年8月动工）。1994年大亚湾核电站（2×984MW）建成投产（1986年动工）。水电建设也在加速：1993年和1994年分别跨上了年投产300万kW和400万kW的台阶；1991年至1996年共增加1800万kW；1994年三峡工程开工，1997年截流，2003年7月第一台机组开始发电，当年投产6台；1998年6月二滩水电站（6×55万kW）正式发电。此外，风能、地热能、太阳能、潮汐能等新能源都有发展，形成多种能源互补发展的局面。

1980年至2008年我国装机容量、发电量及其组成见表0-1。

表0-1 我国装机容量、发电量及其组成

年份	装 机 容 量				发 电 量			
	总量 (亿 kW)	火电 (%)	水电 (%)	核电及 其他 (%)	总量 (亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$)	火电 (%)	水电 (%)	核电及 其他 (%)
1980	0.6587	69.2	30.8		3006	80.6	19.4	
1985	0.8705	69.7	30.3		4107	77.5	22.5	
1990	1.3789	73.9	26.1		6213	79.8	20.2	
1993	1.8290	75.4	24.2	0.33	8374	81.6	18.1	0.3
1995	2.12	74.9	24.1	1.0	9880	80.0	18.7	1.3
2000	3.19	74.4	24.85	0.71	13685	80.96	17.76	1.22
2003	3.91	74.03	24.24	1.63	19052	82.88	14.77	2.30
2005	5.0841	75.61	22.92	1.47	25002.6	81.89	15.88	2.24
2008	7.9253	74.87	21.64	2.49	34334	80.95	16.41	2.64

我国的电力工业在电源建设、电网建设和电源结构建设等方面均取得了令世人瞩目的成就。2003 年, 拥有 1000MW 电厂 107 座, 200MW 及以上火电机组 553 台, 占火电装机容量比 56.64%; 200MW 及以上水电机组 104 台, 占水电装机容量比 33.82%; 核电机组 8 台, 容量为 300~990MW。我国已开始步入“大电厂”、“大电网”、“高电压”、“高自动化”的新阶段, 步入了正确、快速的发展轨道。在煤矿附近建设大型火电厂的同时, 逐步把重点放在水电建设上, 长江三峡工程是世界上最大的水电站, 其装机容量达 $1.82 \times 10^7 \text{ kW}$, 2009 年将全部 26 台 70 万 kW 机组投产。利用核能发电在我国已经开始并稳步发展, 秦山核电站、大亚湾核电站、岭澳核电站相继建成并网发电, 其他地区新的核电站的建设发展计划已在审议中。地热发电、太阳能发电、潮汐发电等在我国都得到了成功的应用。

2002 年电力体制改革之后, 我国电力工业获得了空前发展。在 2004 年实现 4 亿 kW 发电装机的基础上, 自 2005 年起, 我国发电装机容量每年跨越 1 亿 kW 平台, 先后实现了 5 亿、6 亿、7 亿 kW 的历史性跨越。自 2002~2007 年五年间, 我国新增发电装机规模约 3.5 亿 kW, 相当于建国至 2002 年 50 多年的总和, 也相当于英国、法国、意大利三个发达国家电力装机的总和, 创造了世界电力发展史上的奇迹。2008 年中期, 我国电力装机容量达到 74000 万 kW (上半年关停小火电 836 万 kW) (见图 0-1), 但新增电力装机容量增速明显回落。2008 年上半年, 新增电力装机容量 3302 万 kW, 比 2007 年同期少增长 536 万 kW (见图 0-2)。

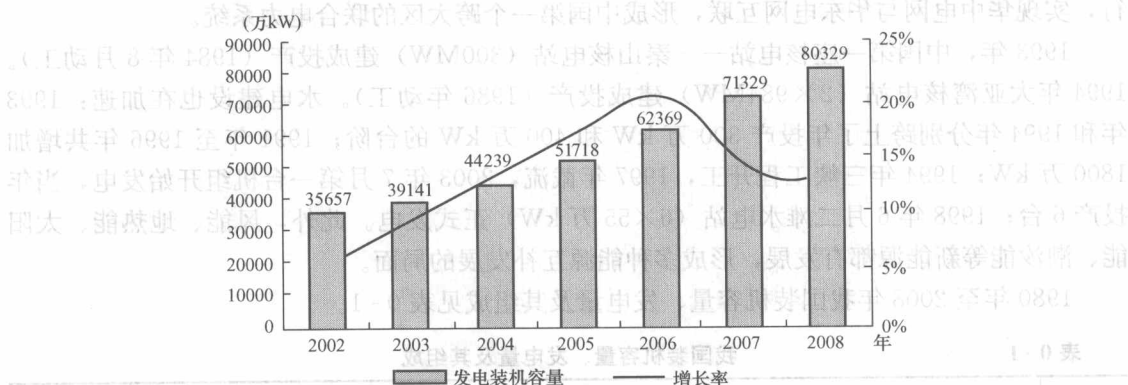


图 0-1 我国电力累计装机容量及增长率

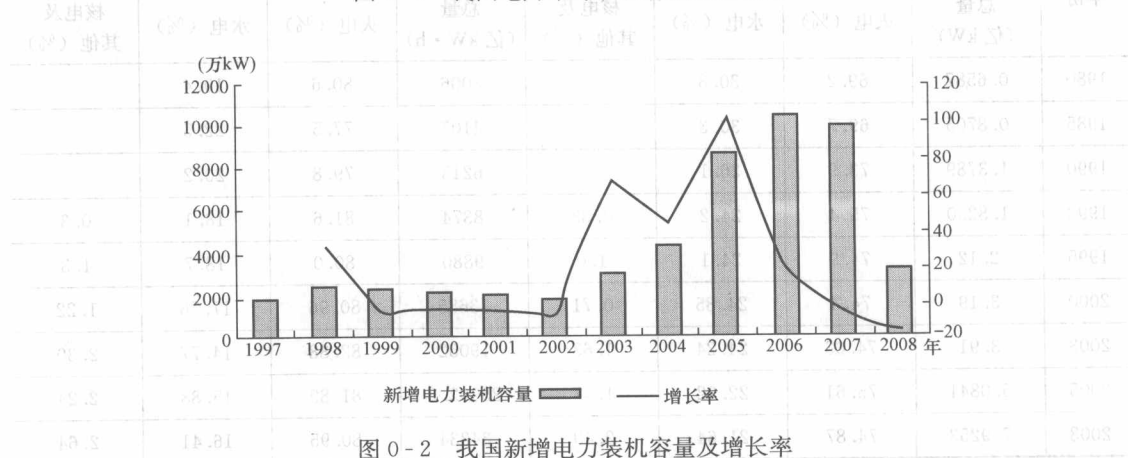


图 0-2 我国新增电力装机容量及增长率

火电：从电力结构看，目前火电在我国现有电力结构中占据绝对的优势，占全国总发电量的比重达到 81%。虽然短期内以火电为主导的格局难以改变，但出于对煤炭资源未来供应能力的担心，以及火电厂对于环境的危害，我们认为国家今后在可再生能源方面的投入将相对较多，火电在整个电力结构中的比例逐步下降将是必然趋势。2002~2010 年火电装机容量及增长率如图 0-3 所示。

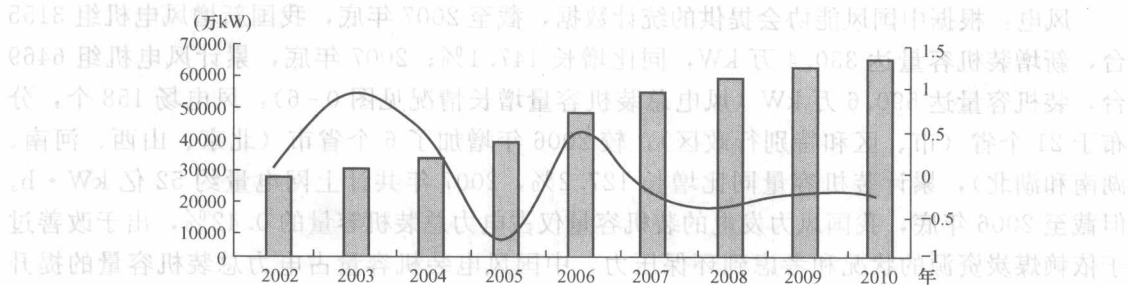


图 0-3 火电装机容量及增长率

水电：截至 2007 年底，我国水电装机容量已经达到 1.45 亿 kW，2007 年新增水电装机 1536 万 kW。2003~2007 年水电总装机容量及增长率如图 0-4 所示。

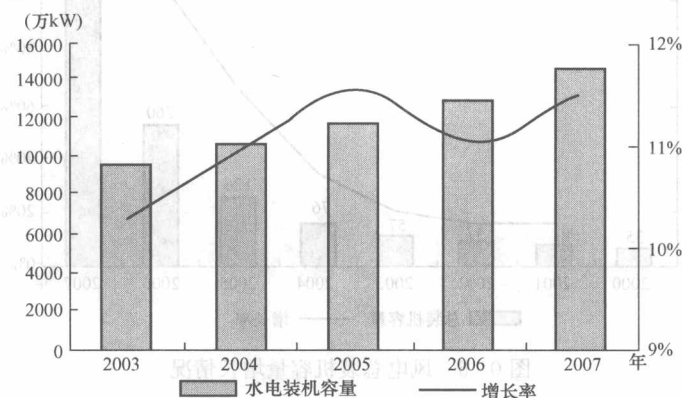


图 0-4 水电总装机容量及增长率

核电：截至 2007 年底，我国大陆地区核电运行机组达到 11 台，运行总装机容量达到 907.8 万 kW，比 2006 年增长了 200 万 kW，2003~2006 年基本没有增长（见图 0-5）。国

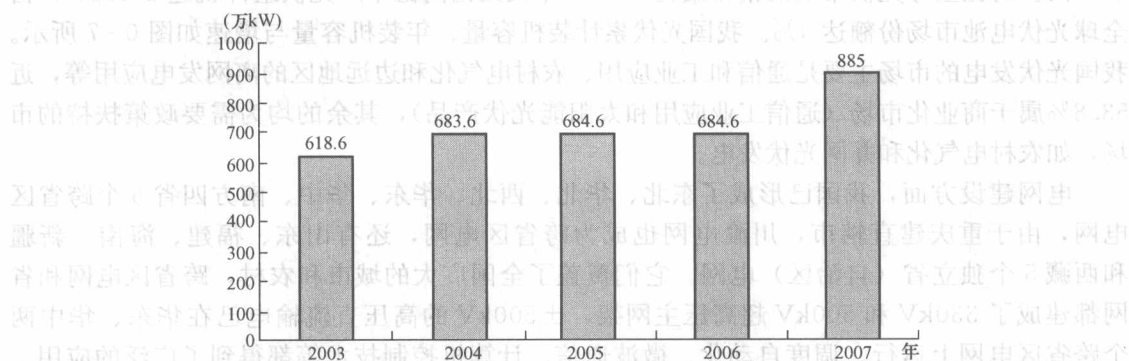


图 0-5 核电总装机容量增长情况

家原子能机构的统计显示,2007年,我国核电总发电量 628.62 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,上网电量为 592.63 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,同比分别增长 14.61%和 14.39%。其中,中国广东核电集团全资和控股的核电机组 4 台,装机容量 394.8 万 kW ,占全国核电总装机容量的 43.5%。我国目前已有秦山一期、秦山二期、秦山三期、大亚湾、岭澳和田湾 6 座核电站的 11 台核电机组投入运行。

风电:根据中国风能协会提供的统计数据,截至 2007 年底,我国新增风电机组 3155 台,新增装机容量达 330.4 万 kW ,同比增长 147.1%;2007 年底,累计风电机组 6469 台,装机容量达 590.6 万 kW (风电总装机容量增长情况见图 0-6),风电场 158 个,分布于 21 个省(市、区和特别行政区),较 2006 年增加了 6 个省市(北京、山西、河南、湖南和湖北),累计装机容量同比增长 127.2%,2007 年共计上网电量约 52 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。但截至 2006 年底,我国风力发电的装机容量仅占电力总装机容量的 0.42%,出于改善过于依赖煤炭资源的状况和考虑到环保压力,中国风电装机容量占电力总装机容量的提升空间很大。

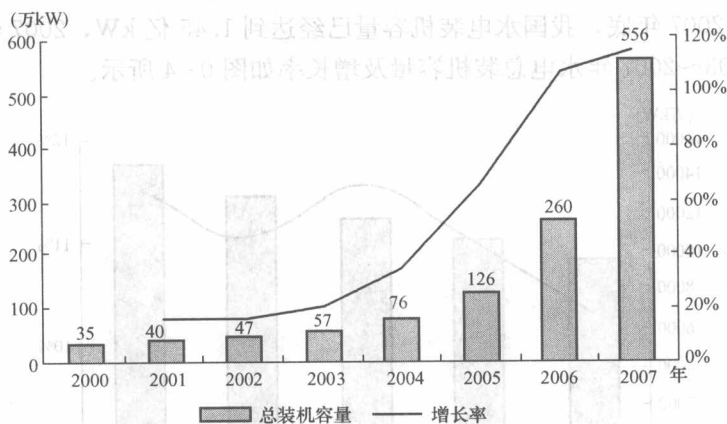


图 0-6 风电总装机容量增长情况

光伏发电:2007 年,我国光伏发电设备新增装机容量 26MW,仅比 2006 年增长 16MW,较低的基数反映在数字上却是惊人的 160% 的增长,年累计光伏装机容量为 106MW,同比增长 32.5%,与全球装机容量的平均增速持平,但只占全球总装机容量的 1.16%。对比全球光伏市场的销售结构,2007 年仅无锡尚德年产光伏组件就达 200MW,占全球光伏电池市场份额达 5%。我国光伏累计装机容量、年装机容量与增速如图 0-7 所示。我国光伏发电的市场主要是通信和工业应用、农村电气化和边远地区的离网发电应用等,近 53.8% 属于商业化市场(通信工业应用和太阳能光伏产品),其余的均为需要政策扶持的市场,如农村电气化和并网光伏发电。

电网建设方面,我国已形成了东北、华北、西北、华东、华中、南方四省 6 个跨省区电网,由于重庆建直辖市,川渝电网也成为跨省区电网,还有山东、福建、海南、新疆和西藏 5 个独立省(自治区)电网。它们覆盖了全国广大的城市和农村,跨省区电网和省网都建成了 330kV 和 500kV 超高压主网架,±500kV 的高压直流输电已在华东、华中两个跨省区电网上运行。调度自动化、微波通信、计算机控制技术等都得到了广泛的应用。

虽然我国的电力工业已居世界前列,但与发达国家相比还是有一定的差距,我国的人均

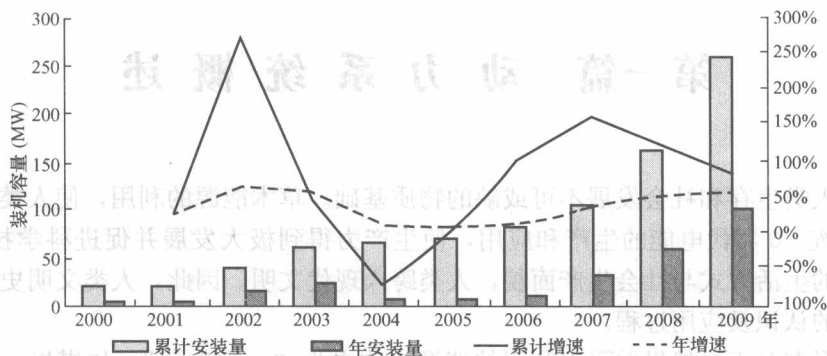


图 0-7 我国光伏累计装机容量、年装机容量与增速

电量水平还很低，电力工业分布也不均匀，还不能满足国民经济发展的需要。跨省区电网的互联工作才刚开始，电力市场还远未完善，管理水平、技术水平都有待提高，因而，电力工业还必须持续、稳步地发展，以实现在 21 世纪我国电力工业达到世界先进水平的目标。

第一篇 动力系统概述

能源是人类生存和社会发展不可或缺的物质基础。草木能源的利用,使人类从原始走进文明。19世纪70年代电能的生产和应用,使生产力得到极大发展并促进科学技术的变革,改变了人类的生活方式与社会生产面貌,人类跨入现代文明。因此,人类文明史发展的过程就是对能源的认识及应用过程。

以自然形态存于自然界并可以利用的能源,称之为“一次能源”,如煤炭、石油、天然气、水能、风能、核能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能等。由一次能源加工转换而来的能源称之为“二次能源”,如电能、氢能、机械能、热能(蒸汽、热水)、煤气、焦炭以及石油提取出来的成品油类等。

一次能源中的煤炭、石油、天然气、原子裂变能随着人类的开发利用而逐渐减少,称之为“非再生能源”,而水能、风能、聚变能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能是用之不竭的,称之为“可再生能源”。

二次能源中的电能是清洁、方便的能源。电能可以很方便地转变成其他形式的能,如机械能、热能、光能、化学能等,而其他形式的能也可以一定方式转变为电能,通过升压设备和输电线路电能可以很方便地实现远距离传输,并且在电能的生产和使用上可以进行有效的精确控制。电能已成为应用最广泛的能源,是推动世界发展的动力。

目前,人类能够大规模利用的能源是煤炭、石油、天然气、水能、原子裂变能,称为“常规能源”。风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能等可再生能源,称为“新能源”。煤炭、石油、天然气等化石燃料在一次能源的消费量中占80%~90%以上,这些化石燃料在燃烧过程中产生的排放物(粉尘、 SO_2 、 CO_2 、 NO_x)是引起环境污染、生态破坏的重要原因。而新能源是清洁的能源,其开发利用不会(或较少)污染环境。在能源、环境和经济可持续发展的要求下,目前世界正进行着能源革命,其重点是从消耗煤炭、石油、天然气等化石燃料逐步过渡到主要采用洁净的新能源和可再生能源,并提高能源利用率、节约能源。因此,大规模开发利用新能源对建立可持续发展的社会具有重要的全球意义。

电力工业是国民经济的基础产业,也是先行工业,其规模与发展水平是衡量国民经济发展和综合国力的一个重要标志。电力工业的发展常用“电力弹性系数”来衡量,电力弹性系数是指电力增长速度与国民经济总产值增长速度的比值,从我国目前来看其数值应接近1,而低于0.8将制约国民经济的发展。

在第一篇,将介绍电力的生产过程和生产方式。电能是由一次能源转换而来的,具有一定转换规模、能连续不断对外界提供电能的工厂,称为发电厂。

由于一次能源种类和转换方式的不同,发电厂种类很多,但目前已成熟开发利用并大量投入商业运营的发电厂,主要是火力发电厂(火电厂)、水力发电厂(水电站)和原子能发电厂(核电站),而新能源发电世界各国也相继开发利用且发展迅猛。人类要实现可持续发展在呼唤“绿色电力”,在不久的将来“绿色电力”的比重会将逐年提高并占有重要的地位,同时会带动相关的“绿色产业”蓬勃发展。

第一章 能量转换基本知识

这种电能的生产方式在目前占了相当大的比例，如火力发电、核能发电，而新能源发电方式中的地热发电、太阳能热发电、垃圾焚烧发电、海洋温差发电也采用同样的原理。这涉及热能到机械能的转换，因此有必要了解其中的一些常识性知识，以帮助理解各种电厂的生产原理。

第一节 热力学基本定律

一、基本概念

能够将热能转换成机械能的动力设备称之为“热力动力机”（热机），而要完成能量转换所必须借助的中间媒介物质称之为“工质”，工质应具有良好的流动性和膨胀性，因此，热机都采用气（汽）态物质作工质。火电厂的热机是汽轮机和燃气轮机，前者用蒸汽作工质，后者用化石燃料燃烧后产生的烟气作工质。工质在进入热机前，需从其他物体（如锅炉）吸取热能，这物体叫做“高温热源”（热源），而接受工质放出热能的物体（如凝汽器）称为“低温热源”（常称为冷源）。

在研究分析热能与机械功的转换时要选取一定的范围，称为“热力系统”（简称系统），系统外称为“外界”，交界面就是“边界”，边界可以是真实的或虚构的，也可以是固定的或移动的。系统的划分可以根据具体要求人为选定，如可以把图 1-1 中的动力部分作为一个热力系统，也可以将汽轮机选为一热力系统，前者系统与外界只有能量交换而无物质交换是“闭口系统”，后者既有能量交换又有物质交换是“开口系统”，如果系统与外界之间没有热量的交换则称为“绝热系统”，以后在分析汽轮机时，认为其向外界的散热很小，将汽轮机视为绝热系统。

（一）常用参数

为了说明工质在某种状况（热力状态）下的特征，常用一些物理量来描述，如压力、温度、比体积（比容）、焓等，这些物理量就是状态参数。如果一个热力系统在不受外界影响的条件下，其状态能长时间保持不变，则系统处于“平衡状态”，只有在平衡状态时，才可以用参数来描述系统的宏观物理状况，以后分析时都认为系统处于平衡状态。

压力（ P 、压强）、温度（ T 、热力学温标）、比容（ v 、与密度互为倒数）是前期课程接触过的三个基本状态参数，压力、比容是衡量单位工质做功能力大小的一个尺度。这里，还有一个热力学中经常用到的参数“焓”，焓是用来衡量单位工质具有“热力势能”大小的一

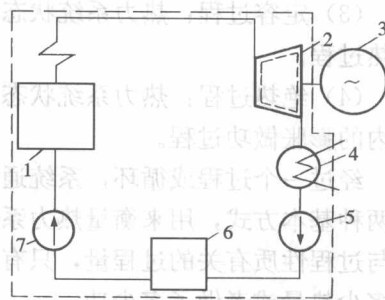


图 1-1 火电厂生产过程原理图

- 1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；
4—凝汽器；5—凝结水泵；6—回
热加热器；7—给水泵