



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

DIANLI XINJISHU GAILUN

电力新技术概论

王仁祥等 编著



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。

本书从多学科、多视角、多领域，综合性地、系统而详细地介绍了电力技术的发明与发展历程，现代电力新技术发展概况及其技术特点、基本原理及其相关理论基础，比较全面地介绍了中国电力系统中的新技术及最新技术成就和发展趋势。

全书共分7章，主要内容包括现代电力系统的发展、现代电力系统新技术、现代电力系统自动化技术、电力工业市场化改革、能源与新能源发电技术、电力需求侧管理和环境资源与环境保护。

本书可作为普通高等院校电气信息类相关专业的研究生、本科生教材或教学参考书，也可作为高职高专相关专业教材，还可供电力工业及其他行业的相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力新技术概论 / 王仁祥等编著. —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 - 8554 - 9

I. 电… II. 王… III. 电力工业—新技术—高等学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 030357 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年4月第一版 2009年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25.5印张 622千字

定价 38.20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

现代电力新技术是电力系统及其自动化学科中的一个多学科交叉的前沿方向分支,它的发展与多学科高新技术的发展紧密相关,包含和涉及的新技术十分广泛。本书是向读者全面介绍现代电力新技术及其相关理论的重要应用和新发展的专门书籍。为了全面反映现代电力系统的发展历程,在书中,作者考证和参考了大量历史文献和最新科技文献,从多学科、多视角、多领域、综合性、系统地介绍电力技术的发明与发展历程,现代电力系统中的新技术和相关技术发展概况及其技术特点、基本原理及发展趋势,强调科学发展、科技创新是电力发展的源动力。通过本书可拓展专业视野和专业知识,有利于提高专业技能。书中列举的新技术有的已经实现,有的即将实现,有的将在 21 世纪有较大发展,但不是幻想的未来技术,这些将成为今后电力科技创新计划中的一些课题,希望能在推动电力科技创新中起到一些作用。

本书共分 7 章。第 1 章现代电力系统的发展,是作者在考证历史文献的基础上,从电的发现开始,较详细地介绍了电力的发现、世界电力工业的起源与发展、核能发电的发明与发展、电力工业的兴起与发展、现代大电网的发展及其概况等,并系统介绍了中国电力工业的起源与发展、中国火力发电、水力发电、核能发电及电力系统发展历程、中国电力体制改革与发展等,其中列举了大量历史事实,并客观地对历史事件进行了描述,为尊重历史,不加以评论,对涉及的人物,均对其生平进行了考证,文中注明了其外文全称,同时也客观地纠正了现有文献中的一些谬误,读者可依此为线索进一步查找原始资料。第 2 章现代电力系统新技术,主要介绍超大容量远距离输电、交流灵活输电、紧凑输电、高压直流输电、超导、状态维修技术等。第 3 章现代电力系统自动化技术,主要介绍中国电力系统的信息化技术、电网调度自动化、数字变电站自动化、电力地理信息系统等,并简要介绍了电力系统中正在发展应用的现场总线技术。第 4 章电力工业市场化改革,主要介绍世界电力工业市场化改革背景、中国电力市场化改革及电力市场的基本概念。第 5 章能源与新能源发电技术,主要介绍中国能源结构概况,太阳能、风能等新能源发电技术。第 6 章电力需求侧管理,主要介绍电力需求侧管理的措施、电力负荷管理系统与节能技术。第 7 章环境资源与环境保护,主要介绍环境与资源的概念、环境污染及对生态的影响、燃煤发电厂空气污染控制技术、清洁煤技术、环境保护与可持续发展等。书中有些内容是为事件或知识的连续性、方便阅读而编写,可作为学生课外阅读内容。建议授课学时 36 学时。本书各章节相对独立,教师授课时,可根据课时安排取舍内容。本书附有可供教师授课用的多媒体课件。

本书可作为高等学校电力系统及其自动化专业、电气工程专业及相关专业的研究生、本科生的教材或教学参考书,也可作为高等职业学校、中等专业技术学校的电力系统及其自动化专业、电气工程专业及相关专业的教学参考书,还可供电力企业及其他行业的相关工程技术人员阅读。

本书由王仁祥、刘湘波、徐培新、贾春萍、王小曼等编著，由王仁祥负责全书的定稿，由肖登明主审。在本书写作过程中获得了一些专家同仁的帮助，并提出了一些宝贵意见，在此一并表示感谢。在写作过程中，作者参考了大量中外网站上的资料及专家学者的论文资料，由于各种原因不能当面致谢，在此一并表示感谢。由于作者水平及时间有限，书中难免存在谬误，敬请专家同仁指正，将不胜感谢。

编著者

2008.12

目 录

前言	
绪论	1
第1章 现代电力系统的发展	10
1.1 电与电力的发现	10
1.1.1 导体和绝缘体 (10)	
1.1.2 莱顿瓶与蓄电池的发明 (10)	
1.1.3 避雷针的发明 (11)	
1.1.4 库仑定律与静电学的建立 (11)	
1.1.5 电磁感应定律与电磁应用 (12)	
1.1.6 电照明与电能应用 (13)	
1.2 电力工业的发展	13
1.2.1 锅炉与汽轮机的发展 (14)	
1.2.2 电机的发明 (16)	
1.2.3 水力发电的发展 (18)	
1.2.4 火力发电的发展 (19)	
1.2.5 电力输送技术的发展 (20)	
1.2.6 核能发电技术的发展 (23)	
1.3 中国电力工业的发展	25
1.3.1 中国电力工业的起源 (25)	
1.3.2 中国火力发电的发展 (26)	
1.3.3 中国水力发电的发展 (27)	
1.3.4 中国核能发电的发展 (28)	
1.3.5 中国电力工业发展概况 (29)	
1.3.6 中国电网简介 (34)	
1.4 世界电力工业发展概况	40
1.4.1 概述 (40)	
1.4.2 美国电力工业概况 (41)	
1.4.3 加拿大电力工业概况 (42)	
1.4.4 德国电力工业概况 (42)	
1.4.5 俄罗斯电力工业概况 (43)	
1.4.6 法国电力工业概况 (43)	
1.4.7 日本电力工业概况 (44)	
第2章 现代电力系统新技术	45
2.1 大电网技术	45
2.1.1 概述 (45)	
2.1.2 特高压输电 (47)	
2.2 柔性交流输电系统与用户电力技术	52
2.2.1 柔性交流输电系统 (53)	
2.2.2 用户电力技术 (60)	
2.3 紧凑输电技术	70
2.3.1 紧凑输电技术的特点 (71)	
2.3.2 中国紧凑输电技术的发展 (71)	
2.3.3 紧凑型超高压交流输电线路的关键技术 (72)	
2.4 高压直流输电	73
2.4.1 高压直流输电的发展 (74)	
2.4.2 中国高压直流输电技术发展状况及特点 (75)	
2.4.3 高压直流输电技术的优缺点 (76)	
2.4.4 高压直流输电系统的结构和类型 (77)	
2.5 超导电力技术	80
2.5.1 超导现象与超导材料 (81)	
2.5.2 超导技术的发展 (82)	
2.5.3 超导技	

术在电力系统中的应用 (85)	
2.6 电力系统中的状态维修技术与可靠性	91
2.6.1 状态维修技术 (92)	2.6.2 电力系统可靠性 (95)
2.6.3 电力系统安全与安全性评价 (99)	
2.7 清洁煤发电技术	104
2.7.1 洁净煤发电技术的发展 (105)	2.7.2 清洁煤技术 (110)
第3章 现代电力系统自动化技术	117
3.1 电力信息化技术	118
3.1.1 电力信息化概述 (119)	3.1.2 电力管理信息系统 MIS 的概念 (123)
3.2 电网调度自动化	126
3.2.1 电网调度自动化的发展 (126)	3.2.2 电网调度的概念 (127)
3.2.3 能量管理系统 EMS 的概念 (128)	3.2.4 能量管理系统 EMS 的结构原理 (129)
3.3 变电站自动化	133
3.3.1 变电站自动化技术的发展 (134)	3.3.2 数字化变电站自动化的概念 (134)
3.3.3 IEC 60870 与 IEC 61850 国际标准简介 (135)	3.3.4 IEC 61850 标准的主要功能简介 (142)
3.4 电力地理信息系统	157
3.4.1 地理信息系统 GIS 的发展 (158)	3.4.2 地理信息系统的基本概念 (160)
3.4.3 地理信息系统的构成 (160)	3.4.4 空间数据 (162)
3.4.5 地理信息系统的功能概述 (162)	3.4.6 电力 GIS 应用软件的功能 (166)
3.4.7 电力 GIS 应用系统例 (167)	3.4.8 常用 GIS 平台软件简介 (173)
3.5 现场总线技术简介	176
3.5.1 现场总线通信协议模型 (176)	3.5.2 现场总线控制系统的体系结构 (179)
3.5.3 现场总线控制系统的组成 (181)	3.5.4 现场总线控制系统的拓扑结构 (184)
3.5.5 IEC 61158 现场总线的类型 (185)	3.5.6 PROFIBUS 和 PROFINet 简介 (198)
3.5.7 现场总线网络硬件与现场总线产品 (207)	
第4章 电力工业市场化改革	209
4.1 世界电力工业市场化改革背景	209
4.1.1 世界电力工业市场化改革的特点 (209)	4.1.2 世界各国电力市场化改革简介 (210)
4.2 中国电力市场化改革简介	218
4.2.1 模拟电力市场的发展 (218)	4.2.2 中国电力体制改革的总体目标 (220)
4.2.3 中国电力工业运行及市场秩序 (223)	4.2.4 中国电力市场的现状 (224)
4.3 电力市场的基本概念	224
4.3.1 电力市场体制与建设 (225)	4.3.2 电力市场所需的技术支持系统 (229)
4.3.3 电力市场营销原理 (230)	
4.4 博弈论与电力市场	238
4.4.1 博弈论的基本原理和方法 (238)	4.4.2 博弈理论的发展 (242)
4.4.3 博弈论与电力市场 (243)	

第 5 章 能源与新能源发电技术	246
5.1 能源概述	246
5.1.1 能源的分类 (246)	5.1.2 化石燃料 (249)
5.1.3 可再生能源 (250)	
5.2 中国能源资源概况	257
5.2.1 中国的一次能源资源 (259)	5.2.2 中国的新能源及可再生能源资源 (263)
5.2.3 中国的能源发展战略 (268)	5.2.4 能源经济与分析方法 (272)
5.3 新能源发电技术	277
5.3.1 太阳能的利用技术 (277)	5.3.2 风力发电技术 (290)
5.3.3 微型燃气轮机发电系统 (291)	
第 6 章 电力需求侧管理	295
6.1 电力需求侧管理概述	295
6.1.1 电力需求侧管理的特点 (296)	6.1.2 实施电力需求侧管理的措施 (297)
6.1.3 实施电力需求侧管理的必要性 (299)	6.1.4 实施电力需求侧管理产生的效益 (299)
6.1.5 电力需求侧管理的评价 (302)	
6.2 电力需求侧管理的技术手段	304
6.2.1 电力系统的负荷特性 (304)	6.2.2 典型行业负荷调整措施 (306)
6.2.3 提高终端用电效率的途径 (307)	6.2.4 推广新技术与能效指标 (310)
6.3 节能技术	310
6.3.1 工矿企业节电途径 (311)	6.3.2 通用变频器在工业锅炉控制上的应用 (319)
6.3.3 中央空调节能控制 (320)	
6.4 电力负荷管理系统	324
6.4.1 电力负荷管理系统的结构 (324)	6.4.2 电力负荷管理系统的功能 (327)
第 7 章 环境资源与环境保护	332
7.1 环境与资源的概念	332
7.1.1 环境的定义 (332)	7.1.2 环境保护议程的背景 (333)
7.1.3 世界著名的公害事件 (336)	7.1.4 环境的形成与演化 (346)
7.1.5 生态系统中的物质循环与平衡 (348)	7.1.6 人类面临的环境问题 (350)
7.2 环境污染及对生态的影响	357
7.2.1 环境污染的分类与控制 (357)	7.2.2 能源开发利用与环境问题 (362)
7.3 燃煤发电厂空气污染控制技术	366
7.3.1 烟气脱硫技术发展概况 (367)	7.3.2 脱硫技术简介 (369)
7.4 环境与可持续发展	379
7.4.1 可持续发展的概念 (379)	7.4.2 中国的环境保护与可持续发展 (381)
7.4.3 中国电力工业的可持续发展 (391)	
参考文献	395

绪 论

人类文明社会的发展是从认识自然界现象、改造自然界开始的,是伴随着科学新发现和新技术的发明而不断发展的。原始工具的制造是人类社会文明的萌芽。科学是推动历史发展的动力。人类对自然界的认识表现为科学,对自然界的改造表现为技术。科学技术的发展历史归根到底是人类智慧的发展史。之前,自然界的奥秘似乎已暴露无遗,但在进入第2个千禧年之际,人们发现太阳系边缘竟然冒出了一颗天体“齐娜”,一觉醒来,似乎感觉到原来“太阳系九大行星”的概念是错的!有的说应该是8+1,有的说应该至少是12甚至更过多。但我们相信,我们被大自然无穷的奥秘所包围着,大自然的奥秘呼唤着我们去研究它,同时也赋予了我们智慧去揭开这些奥秘。人类的认识是永无止境的,科学将永远面临着各种各样难以解释的问题,人类需要解决的问题也会愈来愈多,人类真正的追求是智慧。对大自然所有分支的科学研究,对人类过去和现在的研究,以及对所有事业的培育是世界上最伟大、最高贵的事业,我们只有更全面地了解过去,才能继往开来。

科学上的每一个重大突破,不仅在一定时期内出现新技术而影响人类生活,还丰富了人类进一步认识自然的技术手段;新技术的发展又丰富了人类认识自然的实验手段,从而推动科学的进一步发展。在人类最伟大的科学发现中,中国古代四大发明及中医中药、赤道坐标系、十进制制、雕版印刷等,是对世界的重要贡献和科学创新。牛顿提出了运动的三大定律,解释了宇宙中所有物体的运动。17世纪,电学之父吉尔伯特发现了磁石。18世纪,卡诺等科学家发现在诸如机车、人体、太阳系和宇宙等系统中,从能量转变成“功”的四大定律。19世纪,科学家发现电、磁、无线电波和光是各种不同形式的电磁力,放射性元素的发现,表明元素是可变的。20世纪初,波尔、普朗克和爱因斯坦发现光是波也是粒子,这种似是而非的观点导致了量子力学的诞生。量子力学是20世纪物理学的重大成就,是对“宇宙实际由什么构成”的最深刻描述。原子核结构和DNA结构的阐明,用重粒子轰击破碎原子核弄清了原子核是由质子和中子构成的,这些都极大地影响了整个人类社会、科学与技术的发展。

科学技术是推动历史发展的源动力及复杂的社会历史现象,它与社会政治、经济、教育、意识形态等存在着不可分割的联系和作用关系。社会发展到一定历史阶段产生的新的科学技术和重大技术突破,总是要推动社会各领域发生深刻变革,这一历史现象通常被称为技术革命或科技革命。科学总是先于技术发展,技术的发展又为科学认识提供了更好的手段,并促进科学的发展,科技创新和技术发明相互促进,形成良性循环。因此,发展科学必然是现代文明社会的基本特征,人们为发展新技术而不遗余力地寻找发明的机会,通过科学研究迅速把科学转化为新的实用技术,把新技术迅速应用于科学研究中去,这也就是我们学习和研究新技术的目的、指南和目标。

从18世纪中叶以来,人类经历了三次技术革命:第一次技术革命源于带有飞梭的织机和水力织机的发明,期间,新纺织机和炼铁工艺的革新,在工艺上都是人类最重要的发明。1733年,工匠凯(John Kay, 1704~1764)发明飞梭,提高了织布效率;1764年,织布工

哈格里夫斯发明珍妮机；1768年，理发师阿克莱特（Richard Arkwright, 1732~1792）利用木匠海斯的发明制成了水力纺车；1785年，牧师卡特赖特（Edmund Cartwright, 1743~1823）发明水力织布机。纺织业的这一系列发明推动了净棉、梳棉、漂白和染整等工序的改革，各部门普遍采用机器生产取代手工操作，成为第一次工业革命的导火索。从17世纪起，人们就已开始设计和试验蒸汽机，直到由英国发明家、工程师詹姆斯·瓦特（James Watt, 1736~1819）解决了蒸汽机的热能和机械运动以后，蒸汽机才成为普遍应用于工业和交通运输业的动力机。以瓦特发明双向蒸汽机及其应用为主要标志，称为工业革命。瓦特在1766~1790年，完成了蒸汽机发明的全过程，并获得了4项发明专利，发明了世界上第一台具有连杆、飞轮和离心调速器的双动作蒸汽机，瓦特蒸汽机一问世就得到了广泛应用。1775~1800年，仅瓦特与博尔顿合办的一家蒸汽机制造厂就制造了173台蒸汽机，其中，93台用在纺织业中，52台用在采矿业中，28台用在冶金业中。由于社会生产对瓦特蒸汽机的需求量越来越大，从而使以蒸汽机制造业为主体的机器制造业随之发展起来。随后，车床、刨床、钻床、磨床、播种机、收割机、打谷机、割草机等各种机床制造业及纺织、采矿、冶金、运输、农机等各种工作机的制造业也相应地发展起来。蒸汽机的发展，是19世纪前最重要的一项科学应用。蒸汽机的发明，大大促进了人类从手工业生产转向机器的大生产，并直接引发了火车、轮船的发明，人们将蒸汽机应用到了各行各业，称其为“万能动力机”。因此，英国在18世纪迎来了“蒸汽机时代”，获得了“世界工厂”的称号，在英国发生了历史上前所未有的科学革命、技术革命和产业革命。第一次工业革命不但在工业领域迅猛发展，而且迅速波及工业以外的其他领域，使社会生产力发生了根本性的变革，以机器操作代替工场手工业，使人类进入机器时代。

第二次技术革命以电磁理论的应用、电的发明、发电机和电动机的发明、电力工业的发展和电力应用为主要标志，称为电力革命。电力的广泛应用，标志着人类从蒸汽时代进入了电气时代，社会生产力进入电力时代，社会工业化进入一个崭新阶段，科学与技术开始密切结合，新技术发明不断涌现。可以说第二次技术革命源于1831年8月29日英国物理学家迈克尔·法拉第发现了感应电流，以及他发明的电动机和发电机的最初实验模型。之后，于1832年，法国发明家希克发明了手摇发电机。1834年，德国发明家雅可比发明了带有转动电枢和换向器的实用发电机。1850年，美国工程师佩奇制造了一台10马力（7.5kW）电动机。1857年，英国工程师惠斯特发明自激式发电机。1867年，德国工程师西门子发明了自馈式发电机，后来，经过许多发明家、工程师、科学家的努力，发电机逐步得到改进，可由蒸汽或水力带动，最终把机械能变为电能。这在电力技术发展中具有划时代的意义。1882年，法国科学家德普勒发现了远距离输电方法；同时，美国发明家、企业家爱迪生于1882年在纽约建立了美国第一个火力发电厂，用输电线连成网络，从而将电力应用于生产和生活。接着，电灯、电车、电钻、电焊机等电气产品如雨后春笋般涌现出来，从此使电能得到了广泛应用，电能开始在人类生产和生活中发挥着越来越大的作用。直到今天，电能已与人类的生存和发展息息相关，甚至被认为是理所当然的，已成为现代文明社会的重要物质基础。由于电力的发明和广泛使用，带动了如输电、配电、电力变换等一系列技术和设备的发明与改进，还促成了一大批新兴工业部门的诞生，如化学工业、钢铁工业、石油工业等，这从根本上改变了人类生产劳动的面貌，同时也为信息时代的到来奠定了基础。

第三次技术革命以20世纪中期的原子能、电子计算机和空间技术的发明、应用和发展

为主要标志，称为新技术革命，新的科学技术包括人工合成材料、分子生物学和遗传工程等高新技术，人类由此进入电子、原子时代。这三次技术革命期间还经历了化学革命、内燃机革命、高分子革命等，使人类社会发生了巨大发展和进步，其中，科学、技术和生产三者密切结合、紧密联系、相互促进，科学技术推动生产力的发展、转化为直接生产力的速度加快，各个领域相互渗透。20世纪50年代美国“硅谷”的诞生，人类开始了以微电子技术为特征的新的科技革命，使社会生产方式发生了根本性变革，随着计算机的发明，信息技术IT (Information Technology) 和信息产业的迅猛发展，到20世纪90年代中期，信息技术和信息产业成为社会经济的支柱产业之一。它以计算机技术、生物工程技术、激光技术、空间技术、新能源技术和新材料技术的应用为先导，把人类社会推向了信息时代。美国“硅谷”不仅是高新技术的孵化地，更重要的是，它使科学研究成为一种独立的产业，以科学家和技术专家为主体，通过科学研究和技术开发，直接将新技术转化为社会生产力，成为一种“科学研究业”，简称为“科业”。“硅谷”模式迅速向全世界扩张，展开了一场伟大而深刻的“科业革命”。“科业革命”迎来了一个全新的信息科技社会，数字化和网络化已成为21世纪社会经济发展的主要特征。同样，电力工业也进入了电力信息化的新时代。

可以说，18世纪人类先进生产力的代表是蒸汽和蒸汽机及其拖动的机械，19世纪末、20世纪初的先进生产力是电力和电气。电能对人类的影响远远超过了18世纪的蒸汽，它不仅是一种比蒸汽更强大的动力源，同时成为人类赖以生存的源泉。现在我们可以想象，如果没有电，人类社会会成什么样子？可见，电能从根本上改变了人类的生存和生活方式。恩格斯晚年曾以兴奋的心情表达他所看见的远距离输电模型，他认为，如果远距离输电成为现实，那将成为消灭城乡差别的巨大杠杆。现在，信息技术的出现，使人类的生存、生活方式又一次发生了彻底改变，信息技术改变了传统生产力和产业结构，同时也改变了人类的思维方式，使整个社会经济与产业结构发生了巨大变革。先进生产力的代表已经不是工业化时代的大机器，而是以IT产业为代表的新兴产业，使生产力跃迁到一个信息化空间时代，使工业社会发展成为信息社会。同时，由于产业结构的改变，促使了整个社会经济活动发生了巨大改变，形成全球化经济社会。以IT为代表的高新技术是当代社会的最先进生产力，是社会发展的一个新的顶峰，正在推动着社会生产力奔向新的飞跃。

在过去的一个世纪中，水力发电、火力发电及核能发电构成了世界上的主要发电方式，由于电站规模日益增大，厂址也愈发偏远。为了将电力从偏远地区输送到用户，需要建造的远距离高压输电线往往延伸数百公里至数千公里，一个纵横交错的单一电力系统，可以覆盖数百万平方公里地域甚至更广，可以向数亿人口供电。管理这样一个庞大系统，还要保证其运行稳定，对数量众多的每个用户的需求迅速响应，实在是一项非常艰巨的工作。世纪之交，电力发展令人振奋，但在过去的半个世纪中，电力系统扩张异常迅速，地球上一度非常成功的技术和所使用的燃料，也因环保要求而面临日益严峻的境地。在世界范围内，发展电力已从单纯的公共的、经济的行为，被扯上了社会上的和政治上的色彩。几乎任何一个重大的电力建设方案，都会招致来自地区内的和国际上的反对，反对的部分原因是拟建工程会对环境造成影响。在拥有相对成熟的电力系统的经济合作与发展组织(OECD)的成员國中，反对的呼声尤为强烈，如中国长江三峡水利枢纽工程在国内与在OECD成员國中都引起了强烈反对，成为世界上最具争议性的工程项目之一。工程的所有数据都是破纪录的，最耀眼的是2km宽、185m高的大坝，及由此在上游形成的达600km的巨大水库，也许可在月球

上看见。到 2009 年, 电站达到满出力, 届时工程总造价将达 300 亿美元。2800km² 的土地将因此被淹没, 其中包括堪称世界上最秀美的风景之一——瞿塘峡、巫峡、西陵峡。由此还造成达 130 万的移民, 他们的村庄将由于水位上升而被淹没。中国政府建设这一项目, 不仅是为了满足国内日益增长的电力需求, 还将其作为治理长江的手段。这条汹涌的大江发源于中国西部四川省的高原地区, 绵延 6300km, 最终在上海流入中国东海。长江周期性的泛滥曾对沿岸地区造成严重破坏, 并使成千上万的人丧生。1998 年的特大洪水是 40 年来最严重的一次。早在 1920 年, 中国革命先驱孙中山先生就曾设想修建三峡大坝, 以治理洪水并利用水力发电。从那时起, 这个设想就引起了同样强烈的支持和反对。1992 年, 中国政府宣布将建设三峡水利枢纽工程 (简称三峡工程), 此举立即在国际上引起广泛争议, 批评意见认为此工程将对沿岸地区的水文、鱼类资源、耕地造成巨大的环境影响, 因而是得不偿失的, 认为与其花十多年的时间建造一座单一的巨型电站, 不如采用其他方式来发电, 将更便宜、更经济、也更有效率。一直热衷于为重要水电项目提供资金的世界银行, 也决定不参与三峡工程, 因为在它看来, 此项目经济上不可行, 而且还将导致环境和人权问题。美国政府不允许其进出口银行为寻求参与三峡工程的美国公司提供融资支持。私人投资银行也采取了同样立场。但中国政府声明, 三峡工程是中国整个国家电力发展规划中的关键, 中国将依靠自己的力量筹措资金进行建设。一些国际上著名的工程公司拒绝参与三峡工程项目的投标活动, 而另一些公司则认为是一个不容错过的机遇, 积极参与中国政府发起的招标活动。1997 年 8 月, 涉及 14 台发电机组、价值 4.2 亿美元的合同由 GEC-阿尔斯通公司和 ABB 公司组成的联合体争得; 另外涉及 6 台机组、价值 3.2 亿美元的合同由 Voith、西门子公司和加拿大 GE 公司组成的联合体夺得。同时, 三峡大坝的土建工程开工。1997 年 11 月准备工作就绪, 完成了长江截流和改道, 使大坝建设得以正式开始。毫无疑问, 争论将继续。但三峡工程生产的巨大电力足以向 18 个城市供电, 从这个意义上说, 三峡工程是一个空前绝后的电站, 包括中国在内, 恐怕今后世界上再也不会会有如此巨大的工程出现。中国长江三峡水利枢纽工程标志着一个世纪以来世界电力的辉煌, 其规模、造价和影响都是独一无二的, 无疑, 它是世界电力系统发展史上的一个顶峰和典范。建造这样一个巨型工程需要勇气、需要想象力、需要智慧和胆略。

近些年来, 世界范围出于环境保护考虑, 同样对核能发电及燃煤发电提出质疑, 给电力系统快速增长的前景提出了不少难题。继续发展核能发电的最大难题来自无法找到可接受的方法处理核废料, 另外还有成本和可靠性的问题, 以及安全性方面的担忧。20 世纪 80 年代, 水力发电和核能发电的发展处于低谷, 燃煤发电则大行其道, 主要得益于一系列新技术的产生, 从而最大限度地减少了环境污染, 如烟尘和酸雨。然而, 到了 20 世纪 80 年代末期, 燃烧煤和石油产生的二氧化碳气体, 不断在大气层中聚积, 可能会造成温室效应, 并进而影响全球气候的问题, 引起全世界的关注。好在此前已经发明了燃气轮机, 使用天然气发电的燃气轮机电站较之燃煤电站效率更高、更方便, 也更清洁。20 世纪 90 年代, 探明的天然气资源十分丰富, 从而促使了燃气轮机迅速发展, 成为增长最快的发电技术。同时, 其他新的发电技术和先进系统及信息技术一起出现了。随着新技术的不断推进, 人们理所当然地会使传统电力系统发生新的变化, 整个世界到处充满创新的机遇, 使想要突破电力困境的人们面临一个绝好的机会。不过, 在不到 10 年的时间里, 气候变化也成了许多政府间高层会议和国际协议的首要环境议题。燃煤发电仍然是世界范围内二氧化碳排放的主要来源之一,

面对这种困境的各国政府都在重新审视电力发展，寻找解决问题的前提及所采取的政策。1997年12月在日本京都举行了有关气候政策方面的政府间谈判，许多国家签署了《京都议定书》，大多数 OECD 成员国政府承诺减少二氧化碳的排放量，以缓解日益严峻的全球气候变化的威胁，这些国家的政府同时也是电力自由化最热心的支持者，坚信电力自由化会降低电价、电更易于使用、更便宜、更易获得、更可靠。这恐怕是 20 世纪 90 年代最混乱的论调。整个 20 世纪 90 年代，电力自由化浪潮席卷全球，对各个国家都造成了影响。中国于 1998 年 5 月签署并于 2002 年 8 月核准了《京都议定书》，成为第 37 个签约国。欧盟及其成员国于 2002 年 5 月 31 日正式批准了《京都议定书》。美国作为全球废气排放量最高的国家却坚拒遵守协议，有研究指出，美国现时温室气体排放量占全球的 21%。在 1997 年，前美国总统克林顿曾签署《京都议定书》框架文件，承诺会减少 7% 的废气排放量，但美国国会拒绝接受该框架文件，认为会损害美国经济，并指责中国及印度等发展中国家未纳入减排范围。2001 年 3 月，布什政府以“减少温室气体排放将会影响美国经济发展”、“发展中国家也应该承担减排和限排温室气体的义务”和“协议会损害美国经济”为由，拒绝签署《京都议定书》，更称协议是“不完整的科学结论”。就是这样的一个混乱逻辑把“中国环境威胁论”推到了前台，以经济总量和发展速度为理由，要求中国与发达国家一样承担责任。不过从历史累计看，1950~2002 年，中国化石燃料燃烧排放的二氧化碳只占世界同期累计排放量的 9.33%，而同期发达国家排放量占了 77%，而此前的 200 年间，发达国家更是占到了 95%；从人均水平看，2004 年中国人均二氧化碳排放量仅为世界平均水平的 87%，1950~2002 年的 50 多年间，中国人均排放量只居世界第 92 位；从单位 GDP 二氧化碳排放的弹性系数看，1990~2004 年的 15 年间，单位 GDP 每增长 1%，世界平均二氧化碳排放要增长 0.6 个百分点，但中国仅增长 0.38 个百分点。从这些数据看，今天的全球变暖问题，应从 18 世纪中叶西方发达国家开始的工业革命算起，从那时开始，西方发达国家就开始了无约束地排放大量温室气体，才造成今天全球变暖的困境。现在要求中国为发达国家过去的“错误”埋单，显然是逻辑上的“错误”。《联合国气候变化框架公约》早已确定共同但有区别责任的原则，发达国家应承担减排主要义务，这已经成为国际社会的共识。

20 世纪 80 年代中期，智利政府首先进行了电力体制改革，政府作为电力系统的拥有者宣布将整个系统出售给私有投资者，立即引起世界性的反响并得以迅速推广。在美国、德国、日本及许多其他国家，尽管电力系统被称作在政府监督机制下运行，但他们的电力系统的全部或大部分为私有投资者所拥有。1987 年末，在没有任何先兆的情况下，英国撒切尔政府突然宣布准备将英国的电力系统私有化，由于新近私有化的英国天然气公司变国家垄断为私人垄断，对用户和供应商都表现得极为傲慢而专横，因此，将电力系统变为另类私人垄断的计划立刻遭到反对，于是撒切尔政府不得不宣布，电力系统不是简单地私有化，而是“重组”。为了让公众接受，政府宣布在原来的垄断中引入竞争机制。原先用户只能从唯一的指定供电者那里获得电力，而且无论供电者制定什么样的电价，用户只有接受。如今用户可以自由选购电力，由此带来的好处是电价的降低。重组、竞争及其他政策创新联系在一起，陷入了异常激烈的争论，并迅速造成国际影响。20 世纪 90 年代初，其他国家政府也开始对电力系统进行改革。挪威与英国恰好相反，同样引入竞争机制但不进行私有化。瑞典、芬兰、澳大利亚和新西兰及其他许多国家则采取了折中方案，在不同程度上启动了私有化、重组和引入竞争机制的进程，即采用不同形式的电力自由化。大多数 OECD 成员国政府进行

了自上而下的改革，政府将其拥有的资产，包括电站、输电线路、配电网甚至整个电力系统，出售给私人投资者，包括国外的投资者和企业。发电、输电和配电被分为三个独立核算环节，甚至成为完全分离的机构和业务。由于输电和配电网仍居垄断地位，政府引入并加强中立“监管者”机制，由“监管者”负责制定基本规则、电网使用价格，并解决各系统参与方之间的争端与冲突。一些政府鼓励建立电力市场，使得电可以和其他商品一样进行交易。如今在某些国家，电力交易与合同签订已完全类同于买卖小麦、咖啡、大豆及“期货”，穿着红马甲的经纪人可以买卖数千千瓦时甚至更多的电。20世纪90年代初，欧共体各成员国开始筹建一个“单一市场”，单一的电力市场意味着竞争不再局限于国内，而是越过国界在各成员国之间展开。对此前景，有的成员国政府表现得极为热心，如英国，但有的成员国则坚决反对，如法国。最终在1996年12月，欧共体各成员国通过了一项电力市场指导原则，同意逐步建立跨国界的竞争，但对于具体运作程序仍存在很大分歧。当欧共体其他成员国的政府开始着手电力系统自由化和重组时，法国电力公司（EDF）则拒绝采取任何类似的步骤，而且法国政府也采取了同样的态度，使EDF继续在法国国内保持垄断地位。电力自由化和重组的直接后果无一例外地是失业，有时甚至是成千上万人的失业，这多半是企业削减开支、追求效益而导致的后果。OECD成员国中的工会组织一直力争保护工会成员的就业，但常常以失败告终。不过，虽然不同OECD成员国电力体制的演变形式大相径庭，但后来经实践证明都很成功。中国是一个世界上人口众多的发展中社会主义国家，按照自己的逻辑进行电力体制改革是自然的、无可非议的。

信息技术的本质是数字化和网络化，它给人类社会的生产、生活、思维、交往等诸方面提供了一个信息化空间，就像电灯、电话的发明曾把人类带到了一个崭新的光明世界一样，使人类跃迁到一个更新、更广阔的空间，人们似乎感觉到原来的世界都是原始的、简陋的、落后的，就像以前由蒸汽时代跃迁到电气时代一样，人们发现原来的世界曾经是个没有光明的黑暗世界，是电灯将人类带入了光明的世界，电话将人类带入了沟通的世界、跨越的世界，使人类能够在遥远的空间中交流信息、沟通生活。现在，我们看过去的一个世纪，会发现原来的电气化时代同样也是非常原始的、落后的、微不足道的。但是，每个历史时代都有着它辉煌的历史，正因为有了它，才催促着人类梦想一个新的世界出现，人类当年不满足煤油灯、煤气灯而发明了电灯、电话，现在同样也不满足于停留在电气化时代，而探索更新的时代。现在，人类不仅生活在一个现实的物质世界中，同时也生活在一个虚拟的、数字化的、网络化的世界中。中国同样正在以信息化技术加速改造传统产业，努力实现着几代人追求的“中华梦”。早在1949年9月30日全国第一届政协第一次会议上毛泽东就提出了“中国梦”，他指出，占人类总数1/4的中国人民从此站立起来了，中国人从来就是一个勇敢、勤劳的民族，只是在近代落伍了，这种落伍完全是被外国帝国主义和本国反动政府压迫和剥削的结果。到了1956年，他在《纪念孙中山》一文中提出“强国梦”的“大跃进论”，他说，再过45年就是2001年进入21世纪的时候，中国的面貌更加要大变，中国将变成一个强大的社会主义工业国。中国应当对人类有较大的贡献。接着，世界巨人邓小平在20世纪70年代末提出了“富民强国”梦，先是在1982年提出“两步走”，进而在1987年提出了“三步走”设想，目的就是要追赶先进发达国家。后来，江泽民提出的中国梦就是“新三步”曲。总而言之，中国按照自己的发展逻辑，努力建设着有中国特色的现代化，不仅融入到了世界经济和世界潮流中，而且还更多地贡献于世界经济和发展。

随着中国电力建设规模的不断扩大,中国电网从发展城市孤立电网开始,逐步形成地区电网,再发展成省内电网,进而发展为大区域电网,到2010年,中国电网将形成北、中、南3个跨大区互联电网,在2010~2015年间基本形成全国统一联合电网。现在,中国电力工业经过几代电力工作者的辛勤劳动和努力,已跻身世界先进水平行列。环境排放控制、生态保护日益加强,电力发展的经济效益、社会效益与环境效益渐趋统一,有力地支撑着国家经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,中国电力工业的发展成就已令世界瞩目,并在世界电力工业发展史上树立了诸多的历史丰碑。

据史料记载,中国自1882年开始有了电能应用,至1949年新中国建立,全国发电总装机容量和发电量分别为185万kW和43.1亿kWh,分别居世界第21位和第25位,人均年用电量只有9kWh;到1978年,全国发电总装机容量和发电量分别达到5712万kW和2566亿kWh,分别跃居世界第8位和第7位;从1978年改革开放到1999年底,全国发电总装机容量和发电量分别达到2.988亿kW和12331亿kWh,发电装机容量和发电量先后超越法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本,稳居世界第2位;进入21世纪,中国电力工业进入了历史上的高速发展时期,至2007年底,全国发电装机容量和发电量分别达到7.13亿kW和32559亿kWh,全社会用电量为32458亿kWh,都仅次于美国,这标志着中国已进入了世界电力生产和消费大国行列。虽然从总体上看,中国电力工业的发展举世瞩目,但是,由于地缘辽阔,人口众多,如果按照国际上惯用的,以能源人均占有量、能源构成、能源使用效率和对环境的影响来衡量一个国家的现代化程度的标准看,我们的差距还很大。据统计,到2007年底,全国人均占有装机容量只有0.538kW,人均发电量只有2521kWh,人均生活用电量仅为246kWh,人均占有装机容量和发电量不到世界平均水平的一半,仅为发达国家的1/6~1/10,全国至今还有几千万人没有用上电。总体电力供应水平、电气化程度和人均年消耗的能源水平仍然很低,也就是说,中国现在是电力生产和消费大国,但不是强国,因此,电力工业在较长的时期内必然会有较快的发展,以满足社会各方面的需求,电力建设任重道远。

1989年,中国建成了第一条跨大区远距离 ± 500 kV直流输电线路(葛南线),开始了大区电网之间的联网。经过近20年的发展,现在,中国电力系统已进入大机组、大电厂、大电网、超高压、自动化、信息化和水电、火电、核电、新能源发电全面发展的新时期,西电东送、南北互供、全国联网格局已基本形成,已形成了东北、华北、华中、华东、西北、南方六大区域电网的500kV交直流输变电主干电网。目前,中国的发电厂单机容量主力机型为30万kW和60万kW机组,单机容量最大、运行参数最高的国产100万kW超临界燃煤机组已于2006年10月13日成功并网发电。2005年,投产了我国第一个750kV输变电示范工程(甘肃官亭至兰州东输变电工程),其中的多项成果达到了世界先进水平;另外,正式投产并安全运行了我国第一个直流国产化工程(灵宝背靠背直流工程),在葛南工程直流输电控制系统中,实现了完全国产化的大容量直流高压输电设备二次系统改造。中国首个1000kV交流特高压试验示范工程,线路全长约653.8km,起于山西省长治变电站,经河南省南阳开关站,止于湖北省荆门变电站,连接华北、华中两大电网,将于2008年建成投运,中国的最高交流输电电压等级将提升为1000kV。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》中明确将“重点研究开发 ± 800 kV大容量远距离直流输电技术和1000kV特高压交流输电技术及装备”列为能源重点领域的优先主题内容,《国民经济和社会发展第

十一个五年规划纲要》中将“开发 1000kV 特高压交流和±800kV 直流输电成套设备”明确列入振兴重大技术科技装备领域重点和优先主题。其次，引进国际先进技术、国内生产的 30 万 kW 大型循环流化床锅炉发电设备、9F 级联合循环燃气轮机、60 万 kW 级压水堆核电站和 70 万 kW 三峡水轮机组等发电设备已具有国际竞争力。世界上最大的水利枢纽工程是令国人自豪的中国长江三峡水利枢纽工程，于 1994 年 12 月 14 日正式开工建设，规划总工期为 17 年，将于 2009 年全部建成，共安装 32 台 70 万 kW 水轮发电机组和 2 台 5 万 kW 机组，总装机容量 2250 万 kW，年最大发电能力约 1000 亿 kWh，已于 2003 年 10 月开始陆续投产发电，至 2008 年 9 月，已有 25 台机组实现并网发电，32 台 70 万 kW 特大型水电机组几乎全部国产化制造。三峡水利枢纽工程全部建成后，将具有防洪、发电、航运等综合功能和效益，将对华东、华中和华南地区的经济发展和减少环境污染起到重大作用。中国第二大水电站溪洛渡电站工程已于 2005 年 12 月 26 日正式开工建设，设计装机容量 1260 万 kW，左右两岸布置地下式厂房，各装机 9 台单机容量 70 万 kW 机组，装机规模仅次于三峡水电站，居世界第三位。溪洛渡电站预计 2013 年 6 月首批机组发电，2015 年竣工。溪洛渡水电站以发电为主，兼有防洪、拦沙、改善下游航运条件、环境和社会经济等方面的综合效益。中国第三大水电站向家坝水电站也已于 2006 年 11 月 26 日正式开工建设，向家坝电站设计装机容量 600 万 kW，安装 8 台单机容量为 75 万 kW 的水轮发电机组，2015 年工程竣工，机组全部投入运行。向家坝电站建成后，与三峡工程、溪洛渡水电站构成长江干流上的巨型水电站“三驾马车”，除了发电，还兼有防洪、航运、灌溉等功能和效益。除此之外，金沙江下游河段的乌东德水电站和白鹤滩水电站预计 2009 年开工，2020 年基本建成。乌东德水电站、白鹤滩水电站、溪洛渡水电站和向家坝水电站 4 座水电站，总装机容量为 3850 万 kW，规模超过两个三峡水电站。截至 2005 年底，中国水电装机容量已达到 11650 万 kW，发电量 3951 亿 kWh，居世界第 1 位。在未来 20 年内，中国水能资源富集的西南地区将再建 10 多个装机容量超过 300 万 kW 的水电站，到 2020 年，中国水电装机容量将发展到 2.5 亿 kW，水能资源开发度达到 46%，届时，中国将成为名副其实的水电大国，乃至电力王国。

在一个世纪的世界电力发展史中，有着太多太多的丰富多彩的内容，在短短的篇幅中难以全面概括。不过电力发展主题还是显而易见的，它将继续对人类社会产生深远的影响。梳理和回顾电力系统第一个百年史中的主题及其变革，将有助于更好地认识即将来临的新时代。生物学家达尔文曾在《达尔文的生活信件》中提到：“科学就是整理事实，以便从中得出普遍的规律或结论。”历史让人开阔眼界，通过对社会发展历史进程的研究，我们可以看到科学技术的发展、技术发明、新技术和新产品在社会发展过程中的重要地位，可以学习科学家的科学精神。在全球经济高度发展的环境下，唯一的出路就是发展科学技术和科技创新、开发新技术和新产品。曾几何时，我们的大学变得浮躁起来了，苦读寒窗的理念消失得无影无踪，取而代之的是五花八门的“捷径”，现在，已经不是靠灵机一动就能取得重大发明的时代了，现代科学的每一个重大进展都需要付出巨大努力，需要长期工作的积累，有时是个人工作的积累，有时甚至是一个研究集体或几个研究集体几代人长期工作的积累，这也许就是诺贝尔奖为什么只出现在为数不多的一些实验室的原因。英国物理学家斯蒂芬·威廉·霍金（Stephen William Hawking, 1942~ ）在他所著的《时间简史》中提到，我们接近终结，即到了接近了解“上帝意志”的时刻。相反，我们认为，我们确实处于一个新科

学时代的开端。我们正在目睹一种科学的诞生，这种科学不再局限于理想化和简单化情形，而是反映现实世界的复杂性，它把我们和我们的创造性都视为在自然的所有层次上呈现出来的一个基本趋势。科学是人与自然的一种对话，这种对话的结果不可预知。在 20 世纪初，谁能想象到不稳定粒子、膨胀宇宙、自组织和耗散结构？但是，是什么使得这种对话成为可能？时间可逆的世界也会是一个不可知的世界。认识自然始终是科学思想的基本目标之一，然而，不应把认识自然与控制自然等同起来。演化是科学必不可少的条件，事实上它就是知识本身，是智慧，是探索精神。