



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

FADIANCHANG DIANQI BUFEN

发电厂电气部分

(第四版)

熊信银 主编

朱永利 副主编



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

FADIANCHANG DIANQI BUFEN
发电厂电气部分
(第四版)

主 编 熊信银
副主编 朱永利
编 写 律方成 李永刚 刘继春
主 审 涂光瑜 张伏生



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。

本书是以发电厂电气部分为主,着重叙述发电、变电和输电的电气主系统的构成、设计和运行的基本理论和计算方法,相应地介绍主要电气设备的原理和性能。全书共分为10章,主要内容包括绪论,能源和发电,发电、变电和输电的电气部分,常用计算的基本理论和方法,电气主接线及设计,厂用电接线及设计,导体和电气设备的原理与选择,配电装置,发电厂和变电站的控制与信号,同步发电机的运行及电力变压器的运行等。本书与第三版相比,反映了现代电力工业的现状和特点,增加了1000kW大容量发电机组的电气主接线和特点,750kV超高压和1000kV特高压在电力系统中的作用,以及数字化发电厂和数字化变电站等内容。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的本科教材,也可作为高职高专和函授教材,同时还可供从事发电厂和变电站电气设计、运行、管理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂电气部分/熊信银主编. —4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 978-7-5083-8830-4

I. 发… II. 熊… III. ①发电厂—电气设备—高等学校—教材
②电厂电气系统—高等学校—教材 IV. TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第072315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

*

1987年11月第一版

2009年7月第四版 2009年7月北京第三十九次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23.75印张 577千字

定价33.00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

本书第三版自 2004 年 8 月问世以来，承各兄弟院校、电气工程领域同仁与广大读者的厚爱，纷纷采用本书作为电气工程及其自动化专业本科生的教材，并于 2007 年被评为电力行业精品教材。

面对如此众多的读者，编者深感社会责任之重大。特别是随着科学技术日新月异的进步和我国电力工业的快速发展，电力技术有许多观点需要更新、许多理论需要修正、许多方法需要补充和改进，也有许多算例需要充实。这也是本书再版时考虑应达到的目标，但由于时间和精力限制，这次改版来不及做系统的重大修改，只是作了局部的调整和修正，以便适时满足教学之急需，敬请读者见谅。

本书与第三版相比，有以下一些特点。

(1) 与时俱进，反映了现代电力工业的现状与特点，如节能减排，“一特四大”，1000kW 大容量发电机组的电气主接线和特点，750kV 超高压和 1000kV 特高压在电力系统中的作用，以及数字化发电厂和数字化变电站等。

(2) 新增封闭母线的发热与散热平衡和电动力的计算、电气主接线可靠性计算方法，既有理论分析，又有算例，可操作性强，便于教与学。

(3) 有规律性，也就是人们认识、掌握、分析、设计与运行，进而创新的规律，为读者将来从事发电厂、变电站及电力系统领域的科学研究、设计、试验、运行及管理等方面的工作奠定基础。本书遵循和围绕这条规律，先后介绍发电厂和变电站中的电气设备的原理与功能，常用计算的基本理论和方法，电气主接线、厂用电接线及设计，电气设备的选择，发电厂和变电站的控制，以及同步发电机和电力变压器的运行。这是一个完整过程，为后续学习、创新夯实基础。

本书共分 10 章，内容包括绪论，能源和发电，发电、变电和输电的电气部分，常用计算的基本理论和方法，电气主接线及设计，厂用电接线及设计，导体和电气设备的原理与选择，配电装置，发电厂和变电站的控制与信号，同步发电机的运行和电力变压器的运行。书中带“*”号标记的内容供选学。

本书是由华中科技大学、华北电力大学和四川大学联合编写的。其中，绪论和第一、二、三、五、七章由华中科技大学熊信银教授编写，第八、九、十章分别由华北电力大学朱永利教授、律方成教授、李永刚教授编写，第四、六章由四川大学刘继春副教授编写。本书由熊信银教授任主编并统稿，朱永利教授任副主编，由华中科技大学涂光瑜教授和西安交通大学张伏生教授主审。

在本书编写过程中，参阅了书末所列的参考文献，以及国内有关制造厂、设计院、发电厂和高等院校编写的说明书、图纸和运行规程等技术资料。在此，一并谨致诚挚谢意。

限于编者水平，书中难免有错误和不足之处，热诚希望读者和同仁批评指正、提出宝贵意见。

编 者

2009 年 2 月

第三版前言

本书是根据中国电力教育协会 2002 年 12 月选题立项而编写的普通高等教育“十五”规划教材，作为电气工程及其自动化专业《发电厂电气部分》课程的教学用书。本书第二版由四川联合大学范锡普教授主编，经过多年教学实践检验，对培养高级专门人才起了很好的指导作用，在全国影响很大。随着国民经济的迅速发展，电力工业的腾飞，举世瞩目的三峡工程按期实现了蓄水、通航、发电三大目标，一举圆了中华民族几代人的梦，“西电东送，南北互供，全国联网”战略正在顺利推进，新技术、新设备的广泛应用，对高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大的变化，本着“与时俱进，开拓创新”的精神，在充分吸取许多高校教学成果的基础上，对第二版教材进行了修订完善，使之更加适合在新形势下本课程教学的要求。

《发电厂电气部分》（第三版）教材具有下述特点：

(1) 先进性，反映了现代发电厂、变电站和电力系统的现状及特点，例如，大容量发电机组（300MW，600MW）的电气主接线和运行，330~750kV 超高压输电在电力系统中的作用，交流 500kV 变电站电气主接线的特点，500kV 抽能并联高压电抗器、串联电容器补偿设备的基本原理，直流 500kV 输电系统的设备功能、电气主接线及运行方式，以及计算机技术在发电厂和变电站的应用等。

(2) 规律性，符合人们认识事物和获取知识的规律，例如，电能的生产、变换、输送、分配和使用的过程，以及人们对发电厂和变电站的电气部分的了解、理解、掌握，进而设计和运行的过程，循序渐进，由浅入深，做到加强基础，不断拓宽知识。

(3) 适用性，便于教与学。在讲述常用计算的基本理论和方法时，尽量做到原理叙述完整，公式推演清楚，既有理解分析，又有例题验证，利于培养和训练分析问题和解决问题的能力以及开拓创新能力，且便于自学，使那些没有机会进入课堂听讲的也能看懂。

本教材内容包括：绪论，能源和发电，发电、变电和输电的电气部分，常用计算的基本理论和方法，电气主接线及设计，厂用电接线及设计，导体和电气设备的原理与选择，配电装置，发电厂和变电站的控制与信号，同步发电机的运行和电力变压器的运行。本书为普通高等学校电气工程及其自动化专业、电力系统及其自动化专业以及相关专业的教材，同时亦可供从事发电厂和变电站的电气设计、运行、管理及有关工程技术人员的参考用书。书中带“*”号标记的节供选学。

本教材是由华中科技大学、华北电力大学和四川大学联合编写的。其中，绪论、第一、二、三、五、七章由华中科技大学熊信银教授编写，第八、九、十章分别由华北电力大学朱永利教授、律方成教授、李永刚副教授编写，第四、六章由四川大学刘继春博士编写，由熊信银对全书进行统稿。本教材由熊信银教授主编，朱永利教授副主编，华中科技大学涂光耀教授、西安交通大学张伏生教授、东南大学李扬教授、华北电力大学张东英副教授主审。

在编写过程中，华中科技大学毛承雄教授认真阅读了本书绪论，第一、二、三、五、七章书稿；华北电力大学赵书强副教授、盛四清副教授认真阅读了本书的第八、九、十

章书稿，并提出了宝贵的修改意见和建议。研究生唐剑东对全书书稿作了技术性的整理。在本次编写中，参阅了书中“参考文献”所列文献，以及国内有关制造厂、设计院、发电厂和高等院校编写的说明书、图纸和运行规程等技术资料。在此，一并谨致诚挚谢意。

限于编者水平，书中难免有错误和不足之处，热诚希望读者和同仁批评指正。

编 者

2004年6月



第三版前言

本书是在总结《发电厂电气部分》第一版教材的基础上，根据1987年高等学校电力工程类专业教学委员会通过的“发电厂电气部分课程的基本内容和基本要求”及1992年在成都召开的发电厂教学小组会上通过的“发电厂电气部分第二版编写大纲”进行重新编写的。

本教材第二版编写大纲在广泛征求有关学校意见的基础上，采用了大家从教学中总结出的、更切合本课程教学的新体系。此外，本教材还从教学进程上作了改革，首先阐明物理概念，讲完理论部分，即用实例加以说明和印证，让学生牢固掌握所学内容。新教材除保留了第一版教材行之有效的部分外，还针对我国电力工业的发展，增加了相应的新技术和内容，而且图形符号全部采用新国标。

本教材第一、四、七章由四川联合大学范锡普教授编写；第八、九章由华北电力学院戴克健教授编写；第四（4—8）、五、六章由华中理工大学胡能正副教授编写；第二、三、五（5—2）章由西安交通大学李朝阳副教授编写。全书由范锡普教授主编，重庆大学阎超教授主审。

在此次编写中，充分吸取了许多学校的教学经验和宝贵意见，并承有关单位提供了不少新的有益资料，对此深表谢忱。

第一版前言

本书是根据水利电力部电力类专业编委会 1982 年 9 月通过的大纲编写的，作为“电力系统及其自动化”专业《发电厂电气部分》课程的教材。

发电厂是电力系统的重要组成环节，它直接影响整个电力系统的安全与经济运行。本书主要讲述发电厂的电气部分。在发电厂中，电气一次系统是主干系统，处于关键的地位。本书阐述一次系统及其设备的原理、设计和运行方面的内容，力求概念清楚，层次分明，便于自学。每章末附有小结。另外，为了加深理解每章的内容，还附有一定数量的复习思考题和习题。

本教材共分十章：一、绪论；二、载流导体的发热和电动力；三、电气主接线；四、厂用电；五、电气设备的选择；六、配电装置；七、电气主设备的控制和信号；八、高压断路器的运行；九、同步发电机的运行；十、变压器的运行。

参加本教材编写的有：华中工学院范锡普教授（一、二、七章）和胡能正副教授（五、六章），华北电力学院戴克健教授（九、十章），西安交通大学李朝阳副教授（三、四、八章）。全书由范锡普教授主编，南京工学院朱家果副教授主审。

本书在编写过程中，曾得到不少单位的支持，并提供了大量的资料和有益的建议，对此表示衷心的感谢。

目 录

前言	
第三版前言	
第二版前言	
第一版前言	
绪论	1
第一章 能源和发电	10
第一节 能源和电能	10
第二节 火力发电厂	14
第三节 水力发电厂	18
第四节 核能发电厂	23
小结	27
思考题	28
第二章 发电、变电和输电的电气部分	29
第一节 概述	29
第二节 发电厂的电气部分	31
第三节 高压交流输变电	38
* 第四节 高压直流输电	53
小结	61
思考题	62
第三章 常用计算的基本理论和方法	63
第一节 正常运行时导体载流量计算	63
第二节 载流导体短路时发热计算	70
第三节 载流导体短路时电动力计算	74
第四节 电气设备及主接线的可靠性分析	80
第五节 技术经济分析	91
小结	98
思考题和习题	98
第四章 电气主接线及设计	100
第一节 电气主接线的基本要求和设计程序	100
第二节 主接线的基本接线形式	104
第三节 主变压器的选择	120
第四节 限制短路电流的方法	124
第五节 电气主接线设计举例	127
小结	132
思考题和习题	132

第五章 厂用电接线及设计	134
第一节 概述	134
第二节 厂用电接线的设计原则和接线形式	135
第三节 不同类型发电厂的厂用电接线	142
第四节 厂用变压器的选择	148
第五节 厂用电动机的选择和自启动校验	154
* 第六节 厂用电源的切换	163
小结	167
思考题和习题	168
第六章 导体和电气设备的原理与选择	170
第一节 电气设备选择的一般条件	170
第二节 高压断路器和隔离开关的原理与选择	173
第三节 互感器的原理及选择	183
第四节 限流电抗器的选择	198
第五节 高压熔断器的选择	201
第六节 裸导体的选择	203
第七节 电缆、绝缘子和套管的选择	209
小结	213
思考题和习题	213
第七章 配电装置	215
第一节 概述	215
第二节 屋内配电装置	222
第三节 屋外配电装置	227
第四节 成套配电装置	232
* 第五节 封闭母线	238
* 第六节 发电厂和变电站的电气设施平面布置	250
小结	254
思考题和习题	255
第八章 发电厂和变电站的控制与信号	256
第一节 发电厂和变电站的控制方式	256
第二节 二次回路接线图	257
第三节 断路器的传统控制方式	264
* 第四节 传统的中央信号系统	271
* 第五节 变电站自动化系统	275
第六节 变电站自动化数据通信技术	281
小结	284
思考题	285
第九章 同步发电机的运行	286
第一节 同步发电机的参数及其额定值	286
第二节 同步发电机的正常运行	291
第三节 同步发电机的非正常运行	295
第四节 同步发电机的特殊运行方式	298

* 第五节 汽轮发电机的扭振稳定	305
* 第六节 汽轮发电机的故障诊断	309
小结	315
思考题	316
第十章 电力变压器的运行	317
第一节 概述	317
第二节 电力变压器的发热和冷却	318
第三节 电力变压器的绝缘老化	323
第四节 电力变压器的正常过负荷和事故过负荷	325
第五节 多绕组变压器和第三绕组	329
第六节 自耦变压器的特点和运行方式	331
第七节 分裂绕组变压器	339
第八节 电力变压器的并联运行	341
* 第九节 变压器的故障检测技术	348
小结	351
思考题和习题	352
附录 常用数据与系数表	354
参考文献	364

绪 论

一、我国电力工业发展简况

1882年7月26日，在上海成立了上海电气公司，安装了一台以蒸汽机带动的直流发电机，正式发电，从电厂到外滩沿街架线，供给照明用电，这是我国的第一座火电厂。和世界上第一座火电厂——于1875年建成的法国巴黎火车站电厂相距仅7年，和美国的第一座火电厂——旧金山实验电厂相距3年，和英国的第一座火电厂——伦敦霍尔蓬电厂同年建成，这说明当年我国电力建设和世界强国差距并不大。我国水力发电始于1912年农历4月12日，在云南昆明附近的螳螂川上建成了石龙坝水电厂，装有两台240kW的水轮发电机组。以上这些是人们公认的我国电力工业的起点。

但是，从1882年7月上海第一台发电机组发电开始到1949年新中国成立，在60多年中经历了辛亥革命、土地革命、抗日战争和解放战争，这时期电力工业发展迟缓，全国发电设备的总装机容量184.86万kW（当时占世界第21位），年发电量仅43.1亿kW·h（当时占世界第25位），人均年占有发电量不足10kW·h。当时我国的电力系统大多是大城市发、供电系统，跨地区的有东北中部和南部的154、220kV电力系统、东北东部的110kV电力系统（分别以丰满、水丰和镜泊湖等水电厂为中心）及冀北电力系统。

新中国成立后电力工业有了很大的发展，尤其是1978年以后，改革开放、发展国民经济的正确决策和综合国力的提高，使电力工业取得了突飞猛进、举世瞩目的辉煌成就。到1995年末，全国年发电量已达到10000亿kW·h，仅次于美国而跃居世界第二位；全国发电设备总装机容量达2.1亿kW，当时居世界第三位。从1996年起，我国发电装机容量和年发电量均跃居世界第二位，超过了俄罗斯和日本，仅次于美国，成为名副其实的电力大国。半个多世纪的风雨历程，铸造了共和国的繁荣昌盛，50多年的艰苦奋斗，成就了我国电力工业的灿烂辉煌。

2007年电力建设继续保持较快速度，发电生产能力再创历史新高，继2006年底全国电力装机容量突破6亿kW，在短短一年的时间内，全国电力装机容量再上新台阶，突破了7亿kW，又一次一年新增装机容量超过1亿kW。

截至2007年底，全国发电装机容量达到7.1329亿kW，同比增长14.36%。从电力生产情况看，全国发电量达到32559亿kW·h，同比增长14.44%。全国日发电量首次达到100亿kW·h，电力生产基本满足社会用电需求，从而有条件关闭大批小火电，为全国节能与减排二氧化碳作出了重要贡献。照此速度发展下去，预计在2020年前后全国发电装机容量将超过美国，跃居世界第一位。

我国电力工业的飞速发展，还体现在电力系统电压等级、电厂规模和单机容量的大幅度提高上。

1972年建成了我国第一条超高压330kV输电线路，由甘肃刘家峡水电厂到陕西关中地区。

1981年建成了第一条超高压500kV输电线路，由河南姚孟火电厂到武汉。

2005年9月,我国第一个超高压750kV输变电工程正式投入运行,这是我国电力工业发展史上一个新的里程碑。750kV输变电工程是目前国内电压等级最高的电网工程,也是西部大开发的又一项重点工程。项目的建设,对于加快我国电网发展和积累电网建设经验都具有重要的示范作用,也为充分利用西部地区丰富的能源、加快资源优势向经济优势转化,创造了更好的条件和机遇。这一示范工程的建成投产,标志着我国电网建设和输变电设备制造水平跨入世界先进行列。

2006年8月19日,我国特高压试验示范工程1000kV晋东南—南阳—荆门工程正式奠基。这是我国首个特高压交流试验示范工程,是我国能源发展的一次跨越。随着特高压试验示范工程的奠基,能源新格局初露端倪,全国范围内的能源资源高效配置成为可能。

除超高压交流输电外,1988年还建成了从葛洲坝到上海南桥的±500kV高压直流输电线路,全长1080km,输送容量120万kW,使华中和华东两大电网互联,形成了跨大区的联合电力系统。

2006年12月19日云广特高压直流输电工程开工,这也是世界首个±800kV特高压直流输电工程,是继特高压交流试验示范工程全线开工建设、稳步推进之后,我国电力工业发展史上具有重要里程碑意义的又一件大事,标志着我国特高压电网建设又迈出了重要的一步。

现在,我国最大的火电机组容量100万kW(玉环发电厂),最大的水电机组容量70万kW(三峡水电厂),最大的核电机组容量100万kW(田湾核电厂);最大的火力发电厂容量454万kW(邹县发电厂,4×33.5+2×60+2×100万kW),最大的水力发电厂1820万kW(三峡水电厂,26×70万kW),最大的核能发电厂305万kW(秦山核电厂,1×31+2×65+2×72万kW),最大抽水蓄能电厂240万kW(广东抽水蓄能电厂,8×30万kW),这也是目前世界上最大的抽水蓄能电厂。

华东、华北、东北和华中四大电网的容量均已超过4000万kW。

举世瞩目的三峡工程,装机32台(含地下电厂6台机组),单机容量70万kW,装机总容量2240万kW,年均发电量847亿kW·h,比全世界70万kW机组的总和还多,是世界上最大的发电厂,经过半个多世纪的论证,10多年艰辛建设,按期实现了蓄水、通航、发电三大目标。

我国核电力工业起步较晚,自行设计、制造、安装、调试的30万kW浙江秦山核电厂于1991年12月首次并网发电,实现了核电厂零的突破。大亚湾核电厂引进2台90万kW压水堆核电机组,1994年投入运营,其安装、调试和运行管理等方面都达到了世界先进水平。经过一期、二期和三期的建设,秦山核电厂已是我国目前最大的核能发电厂。

二、电力系统发展前景

为国民经济各部门和人民生活供给充足、可靠、优质、廉价的电能,是电力系统的基本任务。节能减排,“一特四大”,实现高度自动化,西电东送,南北互供,发展联合电力系统,是我国电力工业的发展方向,也是一项全局性的庞大系统工程。为了实现这一目标,还有很多事要做,且依赖于以下各方面相关技术的全面进步。

1. 节能减排,世纪之约

节能减排这个人类与自然的约定、企业与社会约定、世界各国人民个体与整体的约定,伴随着人类历史长河的涓涓细流如期而至。2007年,在遥远的巴里岛,全世界187个

国家的代表已经就未来气候谈判战略达成共识,《联合国气候变化框架公约》的蓝图初步形成。可以清晰地看到,人类与自然的和谐相处将成为 21 世纪各国政府的头号议题。对于发展中的中国,我们有理由给予更多期待。

2006 年,我国确定了 5 年内单位 GDP 能耗降低 20% 和主要污染物排放总量降低 10% 的目标。节能减排,不只在这是“国家确定,人大通过”的国家规划,具有法律尊严,更在于其成败关系到国家的核心竞争力。在国际范围内,特别是在经济全球化的快车道上,这是一场很严酷的较量,讲的是经济质量,论的是科技含量与知识含量,究的是投入产出比率,影响到的是国家前途和命运。

节能减排的困难在于,“节能”符合利润原则,相对简单;“减排”则涉及全局利益与局部利益的矛盾、眼前利益与长远利益的矛盾、国家利益与人类利益的矛盾等复杂的关系,有一个先发展后治理还是边发展边治理,抑或只发展不治理的问题。但有一点是肯定的,如果不是在发展中寻求治理的办法,在治理中探求发展的道路,其代价则会更为惨重,甚至无法挽回,对不起我们的子孙后代。

在当今世界中,节能减排已经不是一个国家或一个地区的内部事务,而是整个人类所需要共同面临的一个严肃问题。当人类发现,传统的工业发展方式已经没有出路,能源和生态的危机已经严重影响到人类自身的生存和发展时,唯一的出路就是立即转变观念,走节能减排的新型工业化道路。

“十一五”规划《纲要》明确提出了节能和减排两个约束性目标,电力工业是国家实施环保改造的重点领域,上大压小、脱硫脱硝,对于我国工业改革的战略布局具有十分重要的意义。在国家一系列政策的支持和鼓励下,电力工业挑起了保障我国经济可持续发展的重任,在节能减排的道路上一马当先,为实现人类与自然和谐相处的世纪约定做出了重要贡献。

我国电力工业结构不合理的矛盾十分突出,特别是能耗高、污染重的小火电机组比重过高。到 2005 年底,全国单机 10 万 kW 及以下小火电机组容量达到 1.15 亿 kW 左右。因此,电力工业将“上大压小”、加快关停小火电机组放在“十一五”期间工作的首位。截至 2007 年 12 月 27 日,关停小火电机组 1438 万 kW,超额 43% 完成年初制定的关停 1000 万 kW 目标。小机组与大机组相比,每 kW·h 的供电煤耗要高出 50% 以上,仅此一项,每年可节省原煤 1971 万 t,减排二氧化硫 33 万 t、二氧化碳 3943 万 t。

“十一五”期间,关停的小火电可达 6500 万 kW,而与其对应的新上大火电机组可达 1 亿 kW 以上。2007 年全国投产发电装机 1.1 亿~1.2 亿 kW,超过 2006 年水平。考虑关停小火电机组因素后,2007 年底我国发电装机容量达到 7.2 亿 kW,同比增长 16.1%。照此速度发展下去,到 2010 年底全国装机容量将达到 9.5 亿 kW。

2. 做好电力规划,加强电网建设

电力工业是能源工业、基础工业,在国家建设和国民经济发展中占据十分重要的地位,是实现国家现代化的战略重点。电能是发展国民经济的基础,是一种无形的、不能大量储存的二次能源。电能的发、变、送、配和用电,几乎是在同一瞬间完成的,须随时保持功率平衡。要满足国民经济发展的要求,电力工业必须超前发展,这是世界电力工业发展规律,因此,做好电力规划、加强电网建设就尤为重要。

电力规划就是根据社会经济发展的需求,能源资源和负荷的分布,确定合理的电源结构

和战略布局,确立电网电压等级、输电方式和合理的网架结构等。电力规划合理与否,事关国民经济的发展,直接影响电力系统今后运行的稳定性、经济性、电能质量和未来的发展。

2003年8月14日(美国东北时间),美国东北部和加拿大东部联合电网发生了大面积停电事故。这次停电涉及美国俄亥俄州、纽约州、密歇根州等6个州和加拿大安大略省、魁北克省2个省,共计损失负荷61.80GW,多达5000万居民瞬间便失去了他们赖以生存的电力供应。在纽约,停电使整个交通系统陷入全面瘫痪;成千上万名乘客被困在漆黑的地铁隧道里;公共汽车就地停运,造成道路堵塞,人们在高温下冒着酷暑步行回家;许多人被长时间困在电梯里;空调停运,人们只能聚集在大街上。这次停电,给美、加两国造成的经济损失是巨大的。因此,要吸取这次美、加大停电事故的经验教训,引以为鉴。

根据我国社会经济发展的需求,加强电力总体规划,确定合理的电源结构和布局,留有足够的容量和能量的备用,建成容量充足、结构合理、运行灵活的联合电力系统,并采取必要的措施,防患于未然,确保联合电力系统安全稳定运行,为国民经济的正常运转和人民正常的生活提供充足、可靠、优质而又廉价的电能。

3. 电力工业现代化

实现现代化,就是要逐步用当代先进的科学技术武装我国的农业、工业、国防和科学技术事业,使之达到国际先进水平。工业要现代化,作为基础和先行工业的电力工业,更要实现现代化。

要实现电力工业现代化,首先必须使电能满足和谐社会建设的需要、满足工农业生产和人民生活用电不断增长的需要。其次,就是要用当代先进科学技术装备和改造电力企业。目前电力技术的先进水平主要表现为特高压、大系统、大电厂、大机组、高度自动化以及核电技术。

(1) 特高压、大系统:系统容量在4000万~8000万kW以上,交流输电电压为超高压500、750kV和特高压1000kV,直流输电电压为 ± 500 kV和特高压 ± 800 kV。

(2) 大电厂、大机组:大电厂包含大火电基地、大水电基地、大核电基地和大可再生能源发电基地。大机组通常是指:火电厂容量为460万~640万kW时,最大机组容量为100万~160万kW;水电厂容量为1260万kW时,最大机组容量为70万~80万kW;抽水蓄能电厂容量为240万kW时,最大机组容量为45.7万kW;核电厂容量为400万~800万kW时,最大机组容量为100万~170万kW;风力发电厂容量为100万~200万kW时,最大机组容量为1000万~7200万kW。

(3) 高度自动化:建立以电子计算机为中心的安全监测、控制和经济调度系统,实行功率和频率的自动调整,火电厂实行单元集中控制,水电厂和变电站实行无人值班和远方集中控制。

电力工业发展的规划目标是:优化发展火电,规划以60万kW和100万kW火力发电机组为主干,进一步发展110万、130万kW和160万kW的大型火力发电机组,建设一批400万~600万kW的大规模发电厂;优先开发水电,以总装机容量为1820万kW的长江三峡水利枢纽工程建设为龙头,坚持滚动、流域、梯级、综合开发的水电建设方针,加快我国的水电建设步伐;积极发展核电,在沿海和燃料短缺的地区,加快建设一批占地面积少,节省人力和燃料、不污染环境的大型核电厂;因地制宜发展新能源,同步发展电网,努力实现节能降耗新突破,认真治理对环境的污染。这一符合我国国情的规划目标,将使我国的电力

工业走向低能耗结构、低环境污染、高效率运营的和谐发展道路。

4. 联合电力系统

电力工业发展的经验告诉我们,电力系统愈大,调度运行就愈能合理和优化,经济效益就愈好,应变事故的能力就愈强。所以世界上很多发达国家的电力系统都已联合成统一的国家电力系统,甚至联合成跨国电力系统。这可以说是现代化电力工业发展的重要标志。

由于负荷的不断增长和电源建设的发展,因为负荷和能源分布不均衡,将一个电力系统与邻近的电力系统互联,是历史发展的必然趋势。不仅城市与城市之间、省与省之间、大区与大区之间的相邻电力系统如此,国与国之间的电力系统也是这样。例如,西欧各国、前苏联与东欧各国、北欧各国、北美的美国与加拿大的电力系统都已互联。这是因为电和其他产品相比有很大不同,就是运输时间短暂(接近光速),在地球范围内传输,无论相距多远基本上感觉不到差别。

形成全国性电力系统后将大大有利于优化电源结构,充分利用水能,水火互补,相得益彰;可充分利用各地区的时间差和负荷特性差,收到巨大的错峰效益。我国幅员广阔,各地区不仅有时间气候差异,人民生活习惯和工农业构成及发达程度也不相同,直接影响电力负荷特性,联网可收到更大的效益。如北京缺电,山西的煤多又运不出去,输电比输煤要方便。山西向华北送电,一年送出几十亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。特别是在交通运输紧张的情况下,通过联网把电送出去,效益更大。另外,在错峰方面,北京与沈阳时差 0.5h ,与兰州时差 1h ,与乌鲁木齐时差 2h ,从东到西联网,可以把早晚高峰错开,称为经度效益或时差效益。如果南北联网,则可把夏冬季高峰错开,称为纬度效益或温差效益。

总的看来,发展联合电力系统,主要有下述效益。

(1) 各系统间电负荷的错峰效益。由于各电网地理位置、负荷特性和人们生活习惯等情况的不同,利用时差,错开高峰用电,可削减尖峰,因而联网后的最高负荷总比原有各电力系统最高负荷之和为小,这样就可减少电力系统总装机容量,从而节约电力建设投资。

(2) 提高供电可靠性、减少系统备用容量。联网后,各子系统的备用容量可以相互支援,互为备用,能增强抵抗事故的能力,因而提高供电可靠性。由于联网降低了电网的最高负荷,因而也就降低了备用容量,同时,由于联合电力系统容量变大了,系统备用系数可降低一点,也可减少系统备用容量,而保证安全。

(3) 有利于安装单机容量较大的机组。采用大容量机组可以降低单位容量的建设投资和单位电量的发电成本,有利于降低造价、节约能源、加快建设速度。电网互联后,由于系统总容量增大了,为安装大容量机组创造了条件。

(4) 进行电力系统的经济调度。电力系统经济调度,宏观上是水、火电的经济调度,充分利用丰水期的水能,多发水电,减少弃水损失,大量节约火电厂的燃料;水电还可以跨流域调度,在大范围内进行电力系统的经济调度。如将红水河、长江和黄河水系进行跨流域调度,错开出现高峰负荷的时间和各流域的汛期,可能减少备用容量约 350万 kW ,经济效益将更为显著。微观上是机组间的经济调度,让耗能低的机组尽量多发电,减少能耗。这两方面的效益都是很大的。

(5) 调峰能力互相支援。若电力系统孤立运行时,为了调峰都要装设调峰电站或调峰机组,但其调峰能力并不一定能发挥出来。系统互联后,不仅因负荷率提高,也由于调峰容量的互相支援,调峰能力得到充分发挥,因此可以减少系统调峰机组容量。

此外,它还有提高高效率机组利用率和使用廉价燃料、能承受较大的冲击负荷、有利于改善电能质量等。

联网有好处,但也会带来一些问题:

- (1) 增加联络线和电网内部加强所需的投资以及联络线的运行费用;
- (2) 当系统间联系较弱时,将有可能引起调频方面的复杂性和出现低频振荡,为防止上述现象产生必须采取措施,从而增加投资或运行的复杂性;
- (3) 增加了系统短路容量,可能导致增加或更换已有设备;
- (4) 增加了联合电网的通信和高度自动化的复杂性。

综上所述,由于各系统的具体情况不同,联网所获得的效益和所支出的费用也不会相同,但其获得的效益将超过支出的费用。

5. 电力市场

世界上许多国家在电力工业中引入竞争机制,发展电力市场,这是 100 多年来电力工业发展的一件历史性的改革。

所谓电力市场既是电能生产与运营的组织、指挥、控制和管理中心,也是电能商品集中交易与结算的场所。也就是说,电力市场是依法成立的,采用经济手段,本着公平竞争、自愿互利的原则,对电力系统中发电、输电、供电和用户等进行协调和运行管理的机构。

改革开放以来,我国电力工业发展很快,形成了国家、地方、外资等多家办电的局面,这对缓和电力供求矛盾起了很大的作用。但是,由于产权多元化而造成利益主体多元化,在这种情况下如何协调好投资各方的利益就成了一个非常重要的问题。为此,建立电力市场,给每个参与投资成员以平等竞争的机会,创造一种平等竞争的环境。

在电力市场环境下,电能是一种商品,商品交换靠的是价格,而价格应是交易双方都能接受才能成交。但是,由于电能具有垄断性和发、供、用电同时性两大特点,因而制定电价机制与一般商品不同。电价过低,一方面会影响电力工业的发展,另一方面将影响电力生产;而电价过高,将影响其他工业的发展,甚至影响社会安定。因此,电价是电力市场的支点。

电价的改革无论在世界上哪个国家都是极为慎重的,因为电力工业作为国家公用事业必须考虑国家、电力企业和用户等方面的利益协调。研究市场经济条件下电价问题,要建立科学的电价模型,这个模型应能考虑各种因素及其变化而随时修改,并能接受政府部门与社会的监督。

电力市场是电力工业顺应经济改革的必然发展方向,能够引入公平竞争机制,使电力系统充满生机和活力,同时使电力企业和用户均受益。我国电力体制改革的总体目标是建立全国统一、竞争开放、规范有序的电力市场,这必将引起调度、运行、自动化、财务、规划和用户等方面一系列重大变革。

6. IT 技术

正如 19 世纪末电气技术蓬勃发展曾极大改变人类生活和生产的各方面一样,20 世纪下半叶以来对人类影响最大的技术显然是以计算机为中心的 IT (Information Technology) 技术。

IT 技术在电力系统中的应用,目前取得的成功集中在两个方面。一方面是各类电气设备的微机化和智能化,如微机励磁调节系统、微机继电保护装置、微机无功电压控制装置、