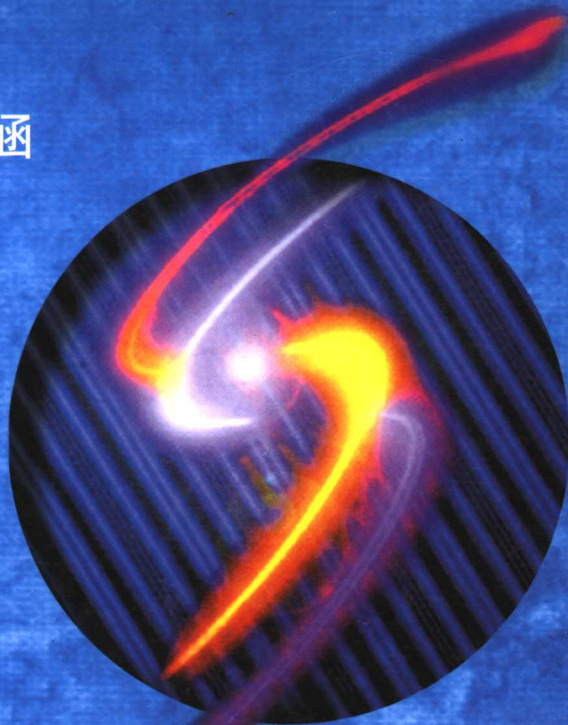




21世纪电气与电子工程系列教材

电气工程基础

主编 熊信银 张步涵



华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com

电气工程基础

主编 熊信银 张步涵

编写 戴明鑫 罗毅 吴耀武

曾克娥 姜素华

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础/熊信银 张步涵 主编
武汉:华中科技大学出版社,2005年9月
ISBN 7-5609-3539-7

- I. 电…
- II. ①熊… ②张…
- III. 电气工程-高等学校-教材
- IV. TM92

电气工程基础

熊信银 张步涵 主编

责任编辑:李 德

封面设计:潘 群

责任校对:陈 骏

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心设计室

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:30.5

字数:570 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:40.80元

ISBN 7-5609-3539-7/TM·83

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

21 世纪电气与电子工程系列教材

编委会

主任委员	潘 垣	院 士	华中科技大学
副主任委员	辜承林	教 授	华中科技大学
	熊 蕊	教 授	华中科技大学
委 员	顾国彪	院 士	中科院电工所
	梁维燕	院 士	哈尔滨动力设备 股份有限公司
	张勇传	院 士	华中科技大学
	杨奇逊	院 士	华北电力大学
	陈德树	教 授	华中科技大学
	尹相根	教 授	华中科技大学
	何仰赞	教 授	华中科技大学
	陈 坚	教 授	华中科技大学
	王兆安	教 授	西安交通大学
	孙雨耕	教 授	天津大学
	孙亲锡	副教授	华中科技大学
	姜新祺	副编审	华中科技大学
秘 书	李 德	副编审	华中科技大学

前 言

本书是根据加强基础、拓宽专业知识面的教学改革需要而编写的,涉及电力系统的各个方面,诸如:电力系统的基本概念及知识,发电系统,输变电系统,配电系统,电力系统负荷,电力网的稳态计算,电力系统的短路计算,电气主接线的设计与设备选择,现代电力系统的运行,电力系统继电保护,发输变配电系统的二次系统,电力系统内部过电压及其防护,电力系统防雷保护,电力系统绝缘配合和现代电力系统管理等。为加深对课程内容的理解,书中大部分章节附有例题、思考题和习题。本书为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,亦可作为机电类专业的参考书。

本书由华中科技大学电力工程系统组织编写,参加编写的有:熊信银教授(第一章、第二章),戴明鑫副教授(第三章、第八章),罗毅副教授(第四章、第五章、第十三章),吴耀武副教授(第六章、第十二章),张步涵教授(第七章、第九章),曾克娥教授(第十章、第十一章)和姜素华讲师(第十四章、第十五章)。熊信银教授、张步涵教授担任主编,由熊信银教授负责全书的统稿。由于编写时间仓促,书中错误及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2005年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 我国电力工业发展概况及前景	(1)
第二节 电力系统基本概念	(9)
第三节 电能的质量指标	(15)
第四节 电力系统的电压等级及其选择	(19)
第五节 电力系统中性点接地	(24)
思考题与习题	(30)
第二章 发电系统	(31)
第一节 能源及电能	(31)
第二节 火力发电厂	(35)
第三节 水力发电厂	(41)
第四节 核能发电厂	(47)
第五节 其他发电厂	(52)
思考题与习题	(54)
第三章 输变电系统	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 输变电设备	(56)
第三节 电气一次接线	(63)
第四节 配电装置	(72)
第五节 保护接地	(75)
第六节 高压直流输电	(79)
思考题与习题	(83)
第四章 配电系统	(84)
第一节 概述	(84)
第二节 配电网主接线	(88)
第三节 配电网开关设备	(91)
第四节 低压配电网的保护接零	(98)
第五节 配电自动化及系统	(100)

思考题与习题·····	(106)
第五章 电力系统负荷·····	(107)
第一节 电力系统负荷及负荷曲线·····	(107)
第二节 用电设备计算负荷的确定·····	(111)
第三节 电力系统负荷特性及模型·····	(121)
思考题与习题·····	(125)
第六章 电力网的稳态计算·····	(126)
第一节 电力线路的结构·····	(126)
第二节 架空输电线路的参数计算和等值电路·····	(132)
第三节 变压器的等值电路及参数计算·····	(137)
第四节 网络元件的电压和功率分布计算·····	(147)
第五节 电力网络的潮流计算·····	(151)
思考题与习题·····	(160)
第七章 电力系统的短路计算·····	(162)
第一节 电力系统的短路故障·····	(162)
第二节 标幺制·····	(164)
第三节 无限大功率电源供电网络的三相短路·····	(171)
第四节 网络化简与转移电抗的计算·····	(178)
第五节 有限容量系统供电网络三相短路电源的实用计算·····	(184)
第六节 电力系统各元件的负序与零序参数·····	(193)
第七节 电力系统各序网络的建立·····	(202)
第八节 电力系统不对称短路的计算·····	(208)
思考题与习题·····	(215)
第八章 电气主接线的设计与设备选择·····	(217)
第一节 概述·····	(217)
第二节 主变压器和主接线的选择·····	(217)
第三节 载流导体的发热和电动力·····	(220)
第四节 电气设备的选择·····	(227)
第五节 设备选择举例·····	(240)
思考题与习题·····	(246)
第九章 现代电力系统的运行·····	(248)
第一节 电力系统有功功率与频率的调整·····	(248)
第二节 电力系统无功功率与电压的调整·····	(253)

第三节 电力网运行的经济性·····	(265)
第四节 电力系统运行的稳定性·····	(270)
思考题与习题·····	(289)
第十章 电力系统继电保护·····	(291)
第一节 继电保护的作用和原理·····	(291)
第二节 继电保护装置的构成·····	(295)
第三节 对继电保护的基本要求·····	(299)
第四节 输电线路的电流保护·····	(301)
第五节 输电线路的自动重合闸·····	(320)
第六节 主要电气设备的保护配置·····	(327)
思考题与习题·····	(330)
第十一章 发输变配电系统的二次系统·····	(332)
第一节 基本概念·····	(332)
第二节 断路器的控制和信号回路·····	(335)
第三节 变电站的综合自动化·····	(342)
思考题与习题·····	(345)
第十二章 电力系统内部过电压·····	(347)
第一节 概述·····	(347)
第二节 操作过电压·····	(348)
第三节 谐振过电压·····	(360)
第四节 工频电压升高·····	(374)
思考题与习题·····	(377)
第十三章 电力系统防雷保护·····	(379)
第一节 雷电的放电过程和雷电参数·····	(379)
第二节 电力系统的防雷保护装置·····	(383)
第三节 架空输电线路的防雷保护·····	(396)
第四节 发电厂和变电站的防雷保护·····	(405)
思考题与习题·····	(416)
第十四章 电力系统绝缘配合·····	(417)
第一节 概述·····	(417)
第二节 绝缘配合方法·····	(419)
第三节 输变电设备绝缘水平的确定·····	(423)
第四节 架空输电线路的绝缘配合·····	(424)

思考题与习题·····	(429)
第十五章 现代电力系统的管理·····	(430)
第一节 概述·····	(430)
第二节 电力企业计划管理·····	(436)
第三节 电力企业生产管理·····	(451)
思考题与习题·····	(461)
附录 I 各种常用架空线路导线的规格·····	(462)
附录 II 架空线路导线的电抗和电纳·····	(464)
附录 III 短路电流周期分量计算曲线数字表·····	(466)
附录 IV 导体及电气设备技术数据·····	(472)
参考文献·····	(475)

第一章 绪 论

第一节 我国电力工业发展概况及前景

一、电力工业发展概况

电能对人类非常重要。它是人们生活中不可缺少的重要能源,给黑夜带来光明,给人类带来幸福,没有电能的世界是不可想像的。

电能是现代社会文明的基础。它为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供必不可少的动力,在国民经济中占有十分重要的地位。

电能在我国的应用已有 100 多年的历史。

中国最早的火力发电是在 1882 年,在上海安装了第一台机组发电。举办水力发电比火力发电晚了 30 年,始于 1912 年,在云南省离昆明 40 km 的螳螂川上建成石龙坝水电站,装机容量为 2×240 kW。

从 1882 年 7 月上海第一台机组发电开始,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,电力发展迟缓,有时还遭到破坏,全国只有几个大城市有电能供应。

1949 年全国发电设备的总装机容量为 184.86×10^4 kW(当时占世界第 21 位),年发电量仅 43.1×10^8 kW·h(当时占世界第 25 位),人均年占有电量不足 10 kW·h。当时中国的电力系统大多是城市发、供电系统,跨地区的只有东北中部和南部的 154 kV、220 kV 电力系统,东北东部的 110 kV 电力系统(分别以丰满、水丰和镜泊湖等水电站为中心)以及冀北电力系统。

新中国成立以来,电力工业有了很大的发展,尤其是 1978 年以来,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。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,进入世界电力生产和消耗的大国行列。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。

我国发电装机容量的几大跨越在历史的丰碑上清晰可见:1987 年,发电装机容量突破 1×10^8 kW;1995 年 3 月,突破 2×10^8 kW;2000 年 4 月,突破 3×10^8 kW;2004 年 5 月,以三峡电站 7 号机组投产发电为标志,我国发电装机突破 4×10^8 kW。这段时期,是新中国成立以来电力建设发展最快的时期。仅 2004 年,全国新增发电装机容量达 5100×10^4 kW,为历史上增长最多的一年,如此快的发展速度,这在世界电力发展史上是罕见的。

我国电力工业的飞速发展,还体现在电力网、单机容量和电厂规模等方面的大幅度提高上。

1974年建成了我国第一条 330 kV 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 500 kV 输电线路,由河南姚孟火电厂到武汉。

电力系统输电电压等级,除西北电网为 330/220/110 kV 外,其他电网采用的都是 500/220/110 kV。国内各省电网都已形成 220 kV 网架,华北、东北、华东、华中、南方等电网都已建成 500 kV 大容量输电线路和跨省联络线,并将逐步形成跨大区互联的骨干网络。正在建设中的西北 750 kV 输变电工程,标志着我国电网输电电压等级由目前最高的 500 kV 即将升级为 750 kV,实现历史性跨越。

除超高压交流输电外,1988年建成了从葛洲坝水电厂到上海南桥变电站的 ± 500 kV 直流输电线路,全长 1080 km,输送容量 120×10^4 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。

现在,我国最大的火电机组容量为 90×10^4 kW(外高桥第二发电厂),最大的水电机组容量为 70×10^4 kW(三峡工程),最大的核电机组容量 100×10^4 kW(岭澳核电厂);最大的火力发电厂容量 300×10^4 kW(北仑港电厂, $5 \times 60 \times 10^4$ kW),最大的水力发电厂 330×10^4 kW(二滩水电厂, $6 \times 55 \times 10^4$ kW),最大的核能发电厂 200×10^4 kW(岭澳核电厂, $2 \times 100 \times 10^4$ kW),最大的抽水蓄能电厂 240×10^4 kW(广东抽水蓄能电厂, $8 \times 30 \times 10^4$ kW),这也是目前世界上最大的抽水蓄能电厂。

举世瞩目的三峡工程,装机容量 32 台(含地下电厂 6 台机组),单机容量 70×10^4 kW,年均发电量 847×10^8 kW · h,比全世界的 70×10^4 kW 机组的总和还多,将是世界上最大的发电厂,经过半个多世纪的论证,十多年艰辛建设,按期实现了蓄水、通航、发电三大目标,攻克了一系列的世界级难题,刷新了一系列的世界记录,制造了一系列人间奇迹,实现了几代中国人民执著追求的百年梦想,谱写了世界水电建设史上光辉的一页。

我国核电力工业起步较晚,自行设计、制造、安装、调试的 30×10^4 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。引进 $2 \times 90 \times 10^4$ kW 压水堆核电机组,1994 年投入运营(大亚湾核电厂),其安装、调试和运行管理等方面,都达到了世界先进水平。岭澳核电厂($2 \times 100 \times 10^4$ kW)是我国目前最大的核能发电厂,标志着我国的核电力工业迈入了一个新的发展阶段,标志着我国电力工业在技术上向现代化方向大步迈进。

华东、华北、东北和华中四大电网的容量均已超过 4000×10^4 kW。

目前,东北与华北、华北与华中,华中与华东、华中与南方以及西北与华中电网已经互联,全国联网格局基本形成。三峡送变电工程中已完成三峡—常州、三峡—广东等 ± 500 kV 高压直流输电工程。因此,实现全国联网战略正在顺利推进。

电力工业从一体化垄断模式向竞争的市场模式转变是一项艰巨而复杂的任务。2004年1月,我国首家区域电力市场东北区域电力市场进入模拟运行,同年5月,华东电力市场也正式进入模拟运行阶段,此外,南方电力市场建设工作已经启动,全国第一个大用户直接购电试点在吉林起步,这些都标志着我国电力市场改革已迈出实质性一步。

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。厂网分开,竞价上网,实现高度自动化,走向联合电力系统,是电力系统的发展方向,这是一项全局性的、庞大的系统工程,为了实现这一目标,还有很多事要做,且要依赖各方面相关技术的全面进步,如下述一些方面有待进一步研究和解决。

1. 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。而电能是一种无形的、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,这是世界电力工业的发展规律,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61.80 GW,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,造成公路堵塞;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,或在高温下冒着酷暑步行回家。这次停电,给美、加两国造成的经济损失是巨大的。因此,我们要吸取这次美、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。

2. 电力工业现代化

在21世纪中叶基本实现社会主义现代化是我国社会主义建设的战略目标,也是全

国人民在新时期的总任务。实现社会主义现代化,就是要逐步用当代先进的科学技术来武装我国的农业、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“四化”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,就是要用当代先进的科学技术装备和改造电力工业企业。目前国外电力技术的先进水平主要表现为超高压、大系统、大机组、大电厂、高度自动化以及核电技术和直流输电技术。

(1)高电压、大系统:系统统调容量在 $3000 \times 10^4 \sim 4000 \times 10^4$ kW 以上,交流输电电压为 500 kV、750 kV、1000 kV,直流输电电压为 ± 500 kV、 ± 800 kV。

(2)大电厂、大机组:火电厂容量 $460 \times 10^4 \sim 640 \times 10^4$ kW;最大机组容量:单轴 $60 \times 10^4 \sim 130 \times 10^4$ kW,双轴 $100 \times 10^4 \sim 165 \times 10^4$ kW;水电厂容量 1260×10^4 kW,最大机组容量 $70 \times 10^4 \sim 80 \times 10^4$ kW;抽水蓄能电厂容量 210×10^4 kW,最大机组容量 45.7×10^4 kW;核电厂容量 $400 \times 10^4 \sim 800 \times 10^4$ kW,最大机组容量 $100 \times 10^4 \sim 145 \times 10^4$ kW。

(3)高度自动化:普遍建立了以电子计算机为中心的安全监测和经济调度系统,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。

我国电力工业今后发展的目标是:优化发展煤电,规划以 30×10^4 kW、 60×10^4 kW 发电机组为主干,进一步发展 80×10^4 kW、 100×10^4 kW 和 130×10^4 kW 的大型发电机组,建设一批 $400 \times 10^4 \sim 500 \times 10^4$ kW 的大规模发电厂;大力开发水电,以总装机容量为 2240×10^4 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;积极推进核电,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;稳步发展天然气发电,加强新能源发电,同步发展电网,认真治理对环境的污染,实现电力、经济、社会和环境统筹协调发展。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、高效率运营的健康发展道路。

3. 联合电力系统

负荷的不断增长和电源建设的发展,以及负荷和能源资源分布的不均衡,使得一个又一个电网与邻近的电网互联,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网如此,国与国之间的电网也是这样。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,电网都已互联。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,基本上无感觉上的差别。

在我国,联网的经济效益也很大。如山西向华北送电,一年要送出几十亿千瓦·时。北京缺电,山西的煤多而运不出去,输电比运输煤要方便。特别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,北京与沈阳时差半小时,与兰

州时差 1 小时,与乌鲁木齐时差 2 小时。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° 各电力系统间负荷的错峰效益

由于各电网地理位置、负荷特性和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网最高负荷之和为小,这样就可减少全网系统总装机容量,从而节约电力建设投资。例如,华东电网的最高负荷就要比江苏、浙江、安徽和上海三省一市的最高负荷之和小 5%。

2° 提高供电可靠性、减少系统备用容量

联网后,由于各系统的备用容量可以相互支援,互为备用,增强了抵抗事故的能力,提高了供电可靠性,减少了停电损失。系统的备用容量是按照全网发电最大负荷的百分数来计算的,例如,负荷备用 3%~5%,事故备用 8%~10%,检修备用 12%~15%。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。

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,系统总容量增大就为安装大容量机组创造了条件。合理的单机容量与电网容量之间大致有如表 1-1 所示的关系。

表 1-1 单机容量与电网容量的关系

电网可调容量/ $\times 10^4$ kW	25~60	60~200	200~500	300~750	750 以上
最大单机容量/ $\times 10^4$ kW	5	10~12.5	20	30	60

4° 进行电网的经济调度

由于各系统能源构成、机组特性(包括效率)以及燃料价格的不同,各电厂的发电成本存在着差异。电网互联后,利用这种差异进行经济调度,可以使每个电厂和每个地区电网的发供电成本都有所下降。电网经济调度,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;微观上是机组间的经济调度,能耗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° 进行水电跨流域调度

水电可以跨流域调度,在大范围内进行电网的经济调度。

当一个电网具有丰富的发电能源,另一个电网的发电能源不足,或者两个电网具有不同性质的季节性能源时,电网互联后可以互补余缺,相互调剂。如果将红水河、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 350×10^4 kW,经济效益将更为显著。

6° 调峰能力互相支援

电力系统孤立运行时,为了调峰需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,也由于调峰容量可互相支援,调峰能力得到充分发挥,因此,系统调峰机组容量可以减少。

此外,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技术上和经济上的效益。

联网也带来一些问题,并增加联网支出费用:

- (1)增加联络线和电网内部加强所需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,从而增加了投资或运行的复杂性;
- (3)增加了系统短路容量,并可能导致增加或需调换已有设备;
- (4)增加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付出的代价也不会相同,总的说来,联网获得的效益将大于付出的代价。

全国各电力系统互联,形成联合电力系统,是我国电力系统发展的必然趋势,不仅三峡电站的建成要求联网,而且为满足未来的西电东送、南北互供的格局也要求全国联网。

4. 电力市场

世界上许多国家在电力工业中引入竞争机制,开展电力市场,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。

电力市场的基本特征是:开放性、竞争性、计划性和协调性。

电力市场的基本原则是:公平、公开和公正。

改革开放以来,我国电力工业发展很快,形成了由国家、外资、地方等多家办电的局面,这对缓和电力供求矛盾起了很大的作用。但是,产权多元化造成了利益主体多元化,在这种情况下如何协调好投资各方的利益就成为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,而价格应是在交易双方都能接受的水平上。但是,电力系统具有垄断性和发供用电同时性两大特点,使得制定电价的机制与一般商品不同。电价过低,一是影响电力工业的发展,二是影响电力生产;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,作为国家的公用事业,必须考虑国家、电力企业和用户各方面的利益协调。因此,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,其本质是引入公平竞争机制,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。这既是一次体制改革,又是一次技术飞跃。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。它必将引起调度、运行、自动化、财务、规划和用户等方面的系列重大变革。

5. 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。在人类迈入 21 世纪之际,传统电力技术的许多方面出现发展停滞的趋势,如发电机组单机容量、输电线路电压等级等。这一方面是因为相关技术可能达到了极限,另一方面是因为现有的技术水平已能满足人类在这方面的需要,进一步发展,从经济等方面考虑显得没有必要。但引入 IT 技术极大地改变了电力生产的各个环节,带来了极大的经济效益,而且其进一步发展的前景也显得异常广阔。

IT 技术在电力系统中的应用,目前取得成功的主要在两个方面,第一方面是各类电气设备的微机化,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,微机调速器,以及其他各类单台设备的微机监控系统等。在这一方面,人们针对交流采样,数字滤波,抗干扰能力,计算速度等问题进行了大量的研究;第二方面是电力系统各类复杂计算的计算机自动实现,如潮流计算,短路计算,暂态稳定计算,电磁暂态计算,电压稳定计算,小干扰分析,各类优化计算,智能软件和小波分析等很多方面都实现了计算机自动计算。该领域的进展不仅大大提高了电力系统各类计算的精度,提高了工作效率,而且还使得以前不可能定量进行分析计算的成为可能,增加了电力系统分析计算的新内容。

上述两个方面研究成果的成熟和计算机技术的进一步发展,使得系统集成成为新的研究热点。目前比较成功的有下述几个方面:SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统、EMS (Energy Management System)、DMS (Distribution Management System),就地或区域的综合监控系统,MIS (Management Information System) 等。随着网络技术的进一步发展,系统集成可以说刚刚起步,未来会有更广阔的发展空间。

6. 谐波治理

在电力系统中正弦波形畸变的现象早已存在,只是由于其功率相对较小,因而危害并不明显。但是随着超大容量的电力电子装置的发展,电力电子装置快速、实时可控技

术已应用于电能输送及运行,如正在运行的 $\pm 500\text{ kV}$ 、 $120\times 10^4\text{ kW}$ 葛洲坝直流输电工程,而且还有一些正在开发的独具电力领域特色的应用方向,如动态无功补偿、有源电力滤波、可控移相和柔性交流输电等。目前,一些发达国家50%以上的负荷都是通过电力电子装置供电的。国内有专家统计,我国目前电能的30%是经过各类电力电子装置变换后供用户使用的。

然而作为供电电源与用电设备间的非线性接口电路,在实现功率控制和变换的同时,所有电力电子装置都不可避免地会产生非正弦波形,形成谐波,它不但向电力网注入谐波电流,使公共连接点的电压波形严重畸变,形成附加的能量损失,而且产生很强的电磁干扰。例如,谐波造成电网电压、电流的波形畸变,使电压的峰值上升,涡流和集肤效应增加,造成旋转电机、变压器等用电设备的绝缘损坏,大大降低设备的使用寿命,甚至因谐波谐振烧坏电气设备;它对通信系统产生电磁干扰,使电话通话质量下降;造成重要的和敏感的自动控制与保护装置工作紊乱,影响功率处理器的正常运行等。

随着功率变换装置容量的不断增大,使用数量的迅速上升和控制方式的多样化,谐波问题已成为电气环境的一大公害,由其造成的谐波污染也日益严重,这对电力系统的安全、稳定、经济运行造成极大的影响,因此,电力系统谐波及其治理的研究已经严峻地摆在电力科技工作者面前。

7. 绿色能源的开发和利用

绿色能源的开发与利用作为能源开发的一场革命,正在世界各国如火如荼地展开。

所谓绿色能源是指通过特定的发电设备,将风能、太阳能、生物质能、海洋能和地热能等可再生能源转换得来的电能,其最大特点是生产过程中不排放或很少排放对环境有害的废气和废水等污染物。下面,仅以风能和太阳能的开发和利用为例进行叙述。

中国的风能资源富集,10 m 高度层的风能资源总储量为 $32.26\times 10^8\text{ kW}$,可开发的装机容量有 $2.53\times 10^8\text{ kW}$ 。我国风电发展是从20世纪80年代中期开始的,到2002年底累计建成30多个风力发电场,装机容量 $44\times 10^4\text{ kW}$ 。其中,新疆达坂城风力发电二场,装机容量达 $7.5\times 10^4\text{ kW}$,是中国目前最大的,也是亚洲最大的风力发电场。我国应在风能的开发利用上加大投入力度,使高效清洁的风能在中国能源格局中占据应有的地位。

太阳能既是一次能源,又是可再生能源。万物生长靠太阳,就是因为生长所需要的能源都来自太阳。无论是人类还是动植物,都离不开太阳的光和热。太阳是一个巨大、久远、无尽的能源。它资源丰富,既可免费使用,又无需运输,对环境无任何污染。据统计,每年中国陆地接收的太阳能辐射总量,相当于 $2.4\times 10^{12}\text{ t}$ 标煤,全国总面积三分之二的地区年日照时间都超过2000 h,特别是西北一些地区超过3000 h。太阳能的利用已日益广泛,它包括太阳能的光电利用和太阳能的光利用等。目前,中国具有 $1.5\times 10^4\text{ kW}$ 的太阳能发电容量,力争到2020年建成 $500\times 10^4\text{ kW}$ 的太阳能发电容量,使太阳能成为中国最大的可再生能源。