

普通高等教育



“十五”

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

发电厂电气部分 (第三版)

熊信银 主编 朱永利 副主编 (第三版)
四川联合大学 范锡普 主 编 (第二版)



中国电力出版社

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

普通高等教育



“十五”规划教材

《电力系统分析》
《电力系统分析》
《电机学》
《电力系统继电保护》
《数字电子技术基础》
《模拟电子技术基础》
《信号与系统分析》
《自动控制理论（第三版）》
《微型机继电保护基础（第二版）》
《电机学》
《电力系统概论》

► 《发电厂电气部分（第三版）》

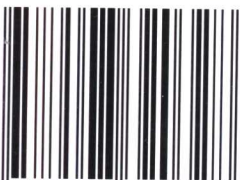
《电力系统自动化（第四版）》
《发电厂及变电站的二次回路（第二版）》
《电力系统分析（第二版）》
《电力系统自动化》
《电力系统自动装置原理（第三版）》
《电能质量分析与控制》
《高电压技术（第二版）》
《电力系统远动》
《电网监控与调度自动化》
《PLC应用技术》
《电气控制与PLC应用》
《可编程序控制器原理及应用》
《电能计量技术》
《电力市场》
《电力市场营销管理》
《电力市场运营系统》
《运筹学》

夏道止主编
陈怡等编著
胡虔生等编著
张保会等主编
王树昆主编
赵世平主编
宗伟等主编
孙扬声主编
杨奇逊主编
陈世元主编
杨淑英编

熊信银主编（第三版）

范锡普主编（第二版）
李先彬主编
何永华主编
于永源等编
孙莹等编著
杨冠城主编
肖湘宁主编
周泽存等编
柳永智等编著
张永健主编
弭洪涛编著
范永胜等编
郁汉琪等主编
黄伟主编
杜松怀主编
刘秋华编著
刘继春主编
施泉生编

ISBN 7-5083-2032-8



9 787508 320328 >

ISBN 7-5083-2032-8

定价：33.00 元

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

发电厂电气部分

(第三版)

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
李 扬 张东英 (第三版)
主 编 四川联合大学 范锡普 (第二版)



中国电力出版社

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

内 容 提 要

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。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参考用。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂电气部分/熊信银主编. —3版. 范锡普主编. —2版. —北京:中国电力出版社, 2004.9

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2032-8

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 (2004) 第 085525 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

2004年8月第三版 2004年10月北京第二十三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23印张 533千字

印数 192811—197810册 定价 33.00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的各类教材，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 010-63416222）

中国电力教育协会

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。

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,使之更加适应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,330kV~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,同时亦可作为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、十、九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,华中科技大学涂光瑜教授、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，做了技术性的整理。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

目 录

序

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	9
第一节 能源和电能	9
第二节 火力发电厂	13
第三节 水力发电厂	17
第四节 核能发电厂	22
小结	26
思考题	27
第二章 发电、变电和输电的电气部分	28
第一节 概述	28
第二节 发电厂的电气部分	30
* 第三节 高压交流输电	33
* 第四节 高压直流输电	46
小结	53
思考题	54
第三章 常用计算的基本理论和方法	55
第一节 导体载流量和运行温度计算	55
第二节 载流导体短路时发热计算	68
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	81
第五节 技术经济分析	92
小结	100
思考题和习题	101
第四章 电气主接线及设计	102
第一节 电气主接线设计原则和程序	102
第二节 主接线的基本接线形式	107
第三节 主变压器的选择	121
第四节 限制短路电流的方法	125
第五节 电气主接线设计举例	129
小结	133

思考题和习题	134
第五章 厂用电接线及设计	135
第一节 概述	135
第二节 厂用电接线的设计原则和接线形式	136
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	147
第五节 厂用电机的选择和自启动校验	154
第六节 厂用电源的切换	163
小结	166
思考题和习题	167
第六章 导体和电气设备的原理与选择	168
第一节 电气设备选择的一般条件	168
第二节 高压断路器和隔离开关的原理与选择	170
第三节 互感器的原理及选择	182
第四节 限流电抗器的选择	196
第五节 高压熔断器的选择	199
第六节 裸导体的选择	200
第七节 电缆、绝缘子和套管的选择	206
小结	209
思考题和习题	210
第七章 配电装置	211
第一节 概述	211
第二节 屋内配电装置	218
第三节 屋外配电装置	223
第四节 成套配电装置	229
第五节 发电机引出线装置	232
第六节 发电厂和变电站的电气设施平面布置	236
小结	239
思考题	240
第八章 发电厂和变电站的控制与信号	241
第一节 发电厂和变电站的控制方式	241
第二节 二次回路接线图	243
第三节 断路器的传统控制方式	250
* 第四节 传统的中央信号系统	258
* 第五节 变电站自动化系统	262
第六节 变电站自动化数据通信技术	267
小结	270
思考题	271
第九章 同步发电机的运行	272

第一节	同步发电机的参数及其额定值	272
第二节	同步发电机的正常运行	278
第三节	同步发电机的非正常运行	282
第四节	同步发电机的特殊运行方式	285
第五节	汽轮发电机的扭动稳定	292
第六节	汽轮发电机故障诊断	297
小结		302
思考题		303
第十章	电力变压器的运行	304
第一节	概述	304
第二节	变压器的发热和冷却	305
第三节	变压器的绝缘老化	311
第四节	变压器的正常过负荷和事故过负荷	313
第五节	多绕组变压器和第三绕组	317
第六节	自耦变压器的特点和运行方式	319
第七节	分裂绕组变压器	328
第八节	变压器的并列运行	330
第九节	变压器故障检测技术	337
小结		341
思考题和习题		342
附录	常用数据与系数表	343
参考文献		353

绪 论

一、我国电力工业发展简况

我国的动力资源非常丰富,水能资源居世界第一位,而煤、石油和天然气等资源也十分丰富。

1882年7月26日,在中国上海,成立了上海电气公司,安装了1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,引起了极大的轰动。它比世界上最早的公用电厂(1882年1月12日,英国伦敦第一座发电厂)仅晚6个月。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2台240kW的水轮发电机组。这些是人们公认的中国电力工业的起点。

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,电力发展迟缓,全国发电设备的总装机容量仅 $184.86 \times 10^4 \text{ kW}$ (当时占世界第21位),年发电量仅 $43.1 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ (当时占世界第25位),人均年占有发电量不足 $10 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。当时中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、水丰和镜泊湖水电站等为中心)以及冀北电力系统。

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。到1995年末,全国年发电量已达到 $10000 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,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 $2.1 \times 10^8 \text{ kW}$,当时居世界第三位。其中,装机容量从1987年末的 $1 \times 10^8 \text{ kW}$ 到1995年3月突破 $2 \times 10^8 \text{ kW}$,前后只用了7年多时间,这在世界电力发展史上是罕见的。到2003年末全国发电装机容量超过 $3.8 \times 10^8 \text{ kW}$,年发电量超过 $19000 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,人均年占有发电量超过 $1000 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。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。

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

1974年建成了第一条330kV输电线路,由甘肃刘家峡水电站到陕西关中地区。

1981年建成了第一条500kV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330/220/110kV外,其他电网都采用500/220/110kV。国内各省电网都已形成220kV网架,华北、东北、华东、华中、南方等电网都已建成500kV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750kV输变电工程,标志着我国电网输电电压等级由目前最高的500kV即将升级为750kV,实现历史性跨越。

除超高压交流输电外, 1988年建成了从葛洲坝到上海南桥的 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电线路, 全长 1080km , 输送容量 $120 \times 10^4\text{kW}$, 使华中和华东两大电力系统互联, 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 90万 kW (外高桥第二发电厂), 最大的水电机组容量 70万 kW (三峡工程), 最大的核电机组容量 100万 kW (岭澳核电厂); 最大的火力发电厂容量 300万 kW (北仑港电厂, $5 \times 600\text{MW}$), 最大的水力发电厂 330万 kW (二滩水电厂, $6 \times 550\text{MW}$), 最大的核能发电厂 200万 kW (岭澳核电厂, $2 \times 1000\text{MW}$), 最大抽水蓄能电厂 240万 kW (广东抽水蓄能电厂, $8 \times 300\text{MW}$), 这也是目前世界上最大的抽水蓄能电厂。

华东、华北、东北和华中四大电力系统的容量均已超过 4000万 kW 。

举世瞩目的三峡工程, 装机容量 1820万 kW , 单机容量 70万 kW , 年均发电量 $847\text{亿 kW}\cdot\text{h}$, 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, 十多年艰辛建设, 按期实现了蓄水、通航、发电三大目标, 攻克了一系列世界级难题, 刷新了一系列世界记录, 制造了一系列人间奇迹, 实现了几代中国人民执着追求的百年梦想, 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 $30 \times 10^4\text{kW}$ 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 $2 \times 90 \times 10^4\text{kW}$ 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 ($2 \times 1000\text{MW}$) 是我国目前最大的核能发电厂, 标志着我国的核电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迈进。

二、电力工业发展前景

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, 是电力工业的基本任务。厂网分开, 竞价上网, 实现高度自动化, 西电东送, 南北互供, 走向联合电力系统, 是电力工业的发展方向。这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. 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。电能的发生、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力系统发生了大面积停电事故。这次停电涉及美国俄核俄州、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,造成公路堵塞,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,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,更好地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,就是要用当代先进科学技术装备和改造电力企业。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:系统容量在 $(4 \sim 8) \times 10^8 \text{ kW}$ 以上,交流输电电压为 500、750kV 和 1150kV,直流为 $\pm 500 \text{ kV}$ 和 $\pm 750 \text{ kV}$ 。

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

(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:优化发展火电,规划以 30×10^4 、 $60 \times 10^4 \text{ kW}$ 火力发电机组为主干,进一步发展 80×10^4 、 $100 \times 10^4 \text{ kW}$ 和 $130 \times 10^4 \text{ kW}$ 的大型火力发电机组,建设一批 $(400 \sim 500) \times 10^4 \text{ kW}$ 的大规模发电厂;优先开发水电,以总装机容量为 $1820 \times 10^4 \text{ kW}$ 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,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、高效率运营的发展道路。

3. 联合电力系统

世界各国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。我国也必然要向这一方向发展。

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,基本上无感觉上的差别。

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,火水互补,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。由于联网降低了电力系统的最高负荷,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。

(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;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,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。

全国各电力系统互联,走向联合电力系统,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