



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



ELECTRICAL SYSTEMS OF POWER PLANTS

# 发电厂电气部分

(第五版)

苗世洪 朱永利 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 发电厂电气部分

(第五版)

主编 苗世洪 朱永利  
编写 律方成 李永刚  
刘继春 卢锦玲  
主审 涂光瑜 张伏生



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

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。全书共分为十章,主要内容包括能源和发电,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。本书与第四版相比,突出反映了现代电力工业的现状、特点及发展方向,增加了高压直流换流站、600MW和1000MW机组及智能变电站等方面的新技术内容,删除了一些陈旧、不适合当前教学的内容。

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/苗世洪,朱永利主编. —5版. —北京:中国电力出版社,2015.8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5123-7280-1

I. ①发… II. ①苗…②朱… 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. ①TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第039521号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.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

2015年8月第五版 2015年8月北京第五十五次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 24.75印张 608千字

定价 49.00元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
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

本书是根据第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材的编写要求及2013年8月在北京召开的“发电厂电气部分（第五版）修订会议”确定的大纲进行修订的。

本书在广泛征求有关学校意见的基础上，保留了《发电厂电气部分（第四版）》教材的主要内容，并进行了如下修订：突出反映了现代电力工业的现状、特点及发展方向，增加了高压直流换流站、600MW及1000MW机组及智能变电站等方面的新技术内容，删除了一些陈旧、不适合教学的内容。

本书由华中科技大学、华北电力大学和四川大学联合编写。第一、二、五章由华中科技大学苗世洪教授编写、修订，第七、八、九、十章分别由华北电力大学卢锦玲副教授、朱永利教授、李永刚教授、律方成教授编写、修订，第三、四、六章由四川大学刘继春教授编写、修订。本书由苗世洪教授、朱永利教授任主编，由苗世洪教授负责全书的统稿。

在本书的编写过程中，限于编写人员的理论水平与实践经验，加之编写时间仓促，书中难免有缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者  
2015年7月

## 第四版前言

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,这次改版本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特点,如节能减排,“一特四大”,1000MW 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	
第四版前言	
第三版前言	
第二版前言	
第一版前言	
<b>第一章 概述</b> .....	1
第一节 电力工业发展概况 .....	1
第二节 发电厂类型 .....	9
第三节 变电站类型 .....	24
第四节 发电厂和变电站电气部分概述 .....	27
小结 .....	41
思考题 .....	42
<b>第二章 载流导体的发热和电动力</b> .....	43
第一节 概述 .....	43
第二节 导体的发热和散热 .....	44
第三节 导体的长期发热及其载流量的计算 .....	48
第四节 短路时导体的发热及其最高温度的计算 .....	51
第五节 短路时导体电动力的计算 .....	55
小结 .....	61
思考题和习题 .....	61
<b>第三章 灭弧原理及主要开关电器</b> .....	62
第一节 电弧的形成和熄灭 .....	62
第二节 切断交流电路时电压的恢复过程 .....	65
第三节 交流电弧熄灭的基本方法 .....	71
第四节 高压断路器原理及主要结构 .....	74
第五节 特高压断路器和智能断路器 .....	85
第六节 高压断路器操动机构 .....	89
小结 .....	93
思考题 .....	94
<b>第四章 电气主接线及其设计</b> .....	96
第一节 电气主接线的基本要求和设计程序 .....	96
第二节 主接线的基本接线形式 .....	100

第三节	主变压器的选择	116
第四节	限制短路电流的方法	120
第五节	电气设备及主接线的可靠性分析	124
第六节	技术经济分析	134
第七节	电气主接线设计举例	139
小结		144
思考题和习题		144
<b>第五章</b>	<b>厂用电接线及设计</b>	146
第一节	概述	146
第二节	厂用电接线的设计原则和接线形式	147
第三节	不同类型发电厂的厂用电接线	154
第四节	厂用变压器的选择	160
第五节	厂用电动机的选择和自启动校验	166
*第六节	厂用电源的切换	175
小结		179
思考题和习题		180
<b>第六章</b>	<b>导体和电气设备的原理与选择</b>	182
第一节	电气设备选择的一般条件	182
第二节	高压断路器和隔离开关的选择	185
第三节	互感器的原理及选择	188
第四节	限流电抗器的选择	203
第五节	高压熔断器的选择	206
第六节	裸导体的选择	208
第七节	电力电缆、绝缘子和套管的选择	214
小结		218
思考题和习题		219
<b>第七章</b>	<b>配电装置</b>	220
第一节	概述	220
第二节	屋内配电装置	227
第三节	屋外配电装置	232
第四节	成套配电装置	237
*第五节	封闭母线	243
*第六节	发电厂和变电站的电气设施平面布置	256
小结		260
思考题和习题		260
<b>第八章</b>	<b>发电厂和变电站的控制与信号</b>	261
第一节	发电厂和变电站的控制方式	261
第二节	二次回路接线图	262
第三节	断路器的传统控制方式	270

* 第四节	传统的中央信号系统·····	277
* 第五节	变电站自动化系统·····	281
第六节	变电站自动化数据通信技术·····	287
第七节	综合自动化变电站的基本二次回路·····	291
小结	·····	300
思考题	·····	300
<b>第九章</b>	<b>同步发电机的运行</b> ·····	<b>302</b>
第一节	同步发电机的参数及其额定值·····	302
第二节	同步发电机的正常运行·····	308
第三节	同步发电机的非正常运行·····	312
第四节	同步发电机的特殊运行方式·····	315
* 第五节	汽轮发电机的扭振稳定·····	321
* 第六节	汽轮发电机的故障诊断·····	326
小结	·····	334
思考题	·····	335
<b>第十章</b>	<b>电力变压器的运行</b> ·····	<b>336</b>
第一节	概述·····	336
第二节	电力变压器的发热和冷却·····	337
第三节	电力变压器的绝缘老化·····	342
第四节	电力变压器的正常过负荷和事故过负荷·····	344
第五节	多绕组变压器和第三绕组·····	348
第六节	自耦变压器的特点和运行方式·····	350
第七节	分裂绕组变压器·····	358
第八节	电力变压器的并联运行·····	360
* 第九节	变压器的故障检测技术·····	368
小结	·····	371
思考题和习题	·····	372
<b>附录</b>	<b>常用数据与系数表</b> ·····	<b>373</b>
<b>参考文献</b>	·····	<b>383</b>

## 第一章 概 述

本章首先介绍了电力工业的发展概况，然后对发电厂和变电站的类型及特点进行了介绍，最后对发电厂和变电站的电气部分进行了概述。

### 第一节 电力工业发展概况

#### 一、我国电力工业发展简况

1882年7月26日，上海电气公司在上海成立，安装了一台以蒸汽机带动的直流发电机，并正式发电，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。这与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，与美国的第一座火电厂——旧金山实验电厂相距3年，与英国的第一座火电厂——伦敦霍尔蓬电厂同年建成，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5月28日，在云南昆明附近的螳螂川上建成了石龙坝水电站，装有两台240kW的水轮发电机组。以上这些是公认的我国电力工业起点。

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、镜泊湖水电厂等为中心）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2位；全国发电设备总装机容量达2.1亿kW，当时居世界第3位。从1996年起，我国发电装机容量和年发电量均居世界第2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。

截至2013年底，全国发电装机容量达到12.5亿kW，首次超越美国位居世界第1位。从电力生产情况看，全年发电量达到5.35万亿kW·h，同比增长7.5%。全国火电机组供电标准煤耗321g/kW·h，提前实现国家节能减排“十二五”规划目标，煤电机组供电标准煤耗继续居世界先进水平。

与此同时，我国大力发展非化石能源发电。2013年非化石能源发电装机3.9亿kW，占总装机容量比重达到31.6%，同比提高2.4%。全年常规水电装机新增2873万kW；年底

装机达 2.6 亿 kW, 同比增长 12.9%; 发电量同比增长 4.7%, 发电设备利用小时数为 3592h。全年抽水蓄能新增 120 万 kW, 年底装机容量 2151 万 kW。并网太阳能发电全年新增装机 1130 万 kW, 同比增长 953.2%, 年底装机达 1479 万 kW, 同比增长 335.1%; 发电量 87 亿 kW·h, 同比增长 143.0%。风电延续高速增长, 风电设备利用率明显提高, 全年并网风电新增 1406 万 kW; 年底装机达 7548 万 kW, 同比增长 24.5%; 发电量 1401 亿 kW·h, 同比增长 36.3%, 发电设备利用小时数为 2080h。非化石能源发电的迅速发展, 为全国节能减排作出了重要贡献。

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 年建成了我国第一条超高压 500kV 输电线路, 由河南姚孟火电厂到湖北武汉。

2005 年 9 月, 我国第一个超高压 750kV 输变电工程(官厅至兰州东)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 输变电工程是当时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。

以特高压交流试验示范工程为起点, 我国正“整体、快速”推进特高压电网建设。预计在 2020 年前后, 基本形成覆盖华北、华中、华东地区的特高压电网, 实现“西电东送, 南北互供”。

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、华东电网互联, 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。

2014 年 7 月, 溪洛渡左岸—浙江金华 ±800kV 特高压直流输电工程正式投运。该工程在世界上首次实现单回直流工程 800 万 kW 连续运行和 840 万 kW 过负荷输电运行, 创造了超大容量直流输电的新纪录。溪浙工程建成投运后, 我国已经拥有“两交四直”六条特高压线路, 初步构建形成连接中国大型煤电、水电、新能源基地和东中部负荷中心的能源配置平台。截至 2014 年 6 月底, 特高压电网累计送电 1930 亿 kW·h, 实现了能源大范围优化配置, 保障了清洁能源送出和消纳。

目前, 我国最大的火电机组容量为 110 万 kW (新疆农六师煤电有限公司二期工程), 最大的水电机组容量为 80 万 kW (向家坝水电站), 最大的核电机组容量为 175 万 kW (台



山核电站)；最大的火力发电厂装机容量为 540 万 kW (内蒙古托克托电厂,  $8 \times 60$  万 +  $2 \times 30$  万 kW)，最大的水力发电厂装机容量为 2250 万 kW (三峡电厂,  $32 \times 70$  万 +  $2 \times 5$  万 kW)，最大的核电发电厂装机容量为 380 万 kW (大亚湾——岭澳核电站,  $2 \times 90$  万 +  $2 \times 100$  万 kW)，最大的抽水蓄能厂装机容量为 240 万 kW (广东抽水蓄能电厂,  $8 \times 30$  万 kW)。

华东、华北、华中、南方电网的装机容量均已超过 2 亿 kW，东北、西北电网装机容量也超过 1 亿 kW。

举世瞩目的三峡水电厂，共设有 32 台 70 万 kW 的水轮发电机组，分别位于左、右岸电站和地下电站，加上两台 5 万 kW 电源机组，总装机容量达到 2250 万 kW。三峡水电厂第一台机组于 2003 年 7 月 10 日正式并网发电，到 2012 年 7 月全部机组投产，历时 9 年时间。截至 2012 年 7 月 4 日，三峡水电厂发电量累计达到 5648 亿 kW·h，相当于燃烧了近 2 亿 t 标准煤，减排二氧化碳 4 亿 t、二氧化硫 500 多万 t。三峡水电厂是世界上最大的水力发电厂，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。

我国核电工业于 20 世纪 70 年代初开始起步，1984 年第一座自行设计、制造、安装、调试的 30 万 kW 浙江秦山核电厂破土动工，至 1991 年 12 月 15 日成功并网，实现了核电厂零的突破。之后，我国相继建成了浙江秦山二期核电厂、广东岭澳一期核电厂、浙江秦山三期核电厂等，截至 2013 年 8 月底，共有 17 台核电机组相继投入商业运行，总装机容量约 1475 万 kW，使我国核电设计、建造、运行和管理水平得到了很大提高，为我国核电加快发展奠定了良好的基础。

## 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，在印度尼西亚的巴厘岛，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了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作出了重要贡献。

当前,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。“十一五”期间,全国关停小火电机组共7682.5万kW,每年可节约燃煤8700万t,减少二氧化碳排放17700万t。同时,“十二五”规划中指出,要加快转变电力发展方式,保障供应安全、优化能源结构、促进节能减排、实现和谐发展,大力推进电力结构优化,规划2015年全国水电增加1700万kW,煤电减少500万kW,气电增加1000万kW,太阳能发电增加300万kW,生物质能发电及其他增加200万kW。这些政策和举措明确表明了我国优化电力生产结构、促进节能减排的决心。

## 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。

根据我国社会经济需求,加强电力总体规划,确定合理的电源结构和战略布局,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和装备改造电力企业。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 $\pm 500$ kV 和特高压 $\pm 800$ 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 1000~7200kW。

(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:优先开发水电,实行大中小开发相结合,全国常规水电装机 2015 年预计达到 3.0 亿 kW 左右,2020 年预计达到 3.6 亿 kW 左右;优化发展煤电推行煤电一体化开发,加快建设大型煤电基地,预计 2015 年我国煤电装机达到 9.28 亿 kW,2020 年预计达到 11.7 亿 kW;安全高效发展核电,规划 2015 年我国核电装机达 4294 万 kW,主要布局在沿海地区,2020 年规划核电装机达到 8000 万 kW;在充分考虑电价承受能力和保持国际竞争力的条件下,积极发展风电等可再生能源发电。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,电力系统越大,调度运行就越能合理和优化,经济效益就越好,应变事故的能力就越强。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