



SHUDIAN XIANLU DAIDIAN ZUOYE PEIXUN JIAOCAI

输电线路带电作业

培训教材

刘宏新 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



SHUDIAN XIANLU YUNJIAN PEIXUN JIAOCAI

输电线路带电作业

培训教材

刘宏新 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要内容包括电力系统概述, 带电作业基础知识, 带电作业常用材料、工具及其试验, 特高压电网, 110~220kV 带电作业项目标准化操作流程, 500kV 带电作业项目标准化操作流程, 1000kV 带电作业项目标准化操作流程。力求参培人员能够通过对本书的学习, 进一步规范作业, 提高素质, 作用于生产。

本书以岗位能力为核心, 以贴近现场为原则, 以适用培训为宗旨, 可作为输电线路带电作业人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路带电作业培训教材/刘宏新主编. —北京: 中国电力出版社, 2017.12 (2018.2重印)
ISBN 978-7-5198-1454-0

I. ①输… II. ①刘… III. ①输电线路-带电作业-技术培训-教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第291684号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王杏芸(010-63412394)

责任校对: 郝军燕

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 杨晓东

印 刷: 北京大学印刷厂

版 次: 2017年12月第一版

印 次: 2018年2月北京第二次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 11.75

字 数: 238千字

印 数: 2501—4000册

定 价: 45.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

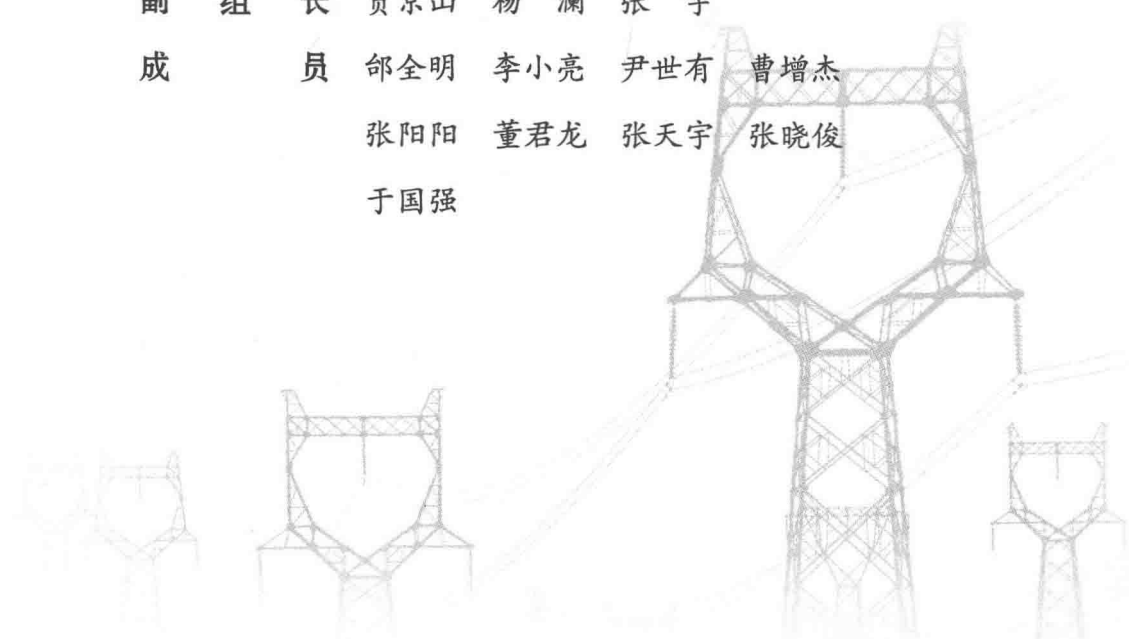
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 刘宏新
副 主 编 刘永奇 武登峰 张 涛
编委会成员 刘建国 张冠昌 刘金印 解芙蓉
贾京山 杨 澜 张 宇 武国亮
牛彪 陈 嘉

编 写 组

组 长 张冠昌
副 组 长 贾京山 杨 澜 张 宇
成 员 邵全明 李小亮 尹世有 曹增杰
张阳阳 董君龙 张天宇 张晓俊
于国强



前 言

为推进国家电网公司“人才强企”战略，加快培养高素质技能人才队伍，提高输电线路带电作业人员的职业素质，加强和规范输电线路带电作业专业持证上岗培训工作，由国网山西省电力公司具有丰富理论知识和实践经验的人员共同编写了《输电线路带电作业培训教材》。

本书作为输电线路带电作业培训教材，突出以岗位能力为核心，以贴近现场为原则，以适用培训为宗旨，力求参培人员能够通过对本书的学习，进一步规范作业，提高素质，作用于生产。

由于编者水平有限，疏误之处在所难免，敬请同行及各界专家读者批评指正，使之不断完善。

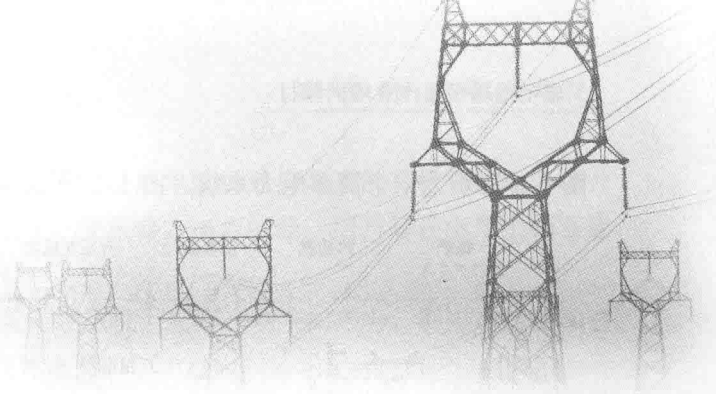
编 者

2017年12月

前言

第一章 电力系统概述	1
模块 1 发电厂、电力系统及电力网	1
模块 2 电力系统中性点运行方式	10
第二章 带电作业基础知识	17
模块 1 带电作业基本方法分类	17
模块 2 带电作业中的高压电场	27
模块 3 过电压的基本知识	34
模块 4 带电作业安全距离	41
模块 5 静电感应及防护	44
模块 6 泄漏电流对带电作业的危害	46
模块 7 强电场的危害及其防护	47
第三章 带电作业常用材料、工具及其试验	58
模块 1 带电作业常用材料	58
模块 2 带电作业常用工具	66
模块 3 带电作业工器具的试验及其保管	78
第四章 特高压电网	84
第五章 110~220kV 带电作业项目标准化操作流程	92
模块 1 等电位更换悬垂绝缘子串（紧线丝杠法）	92
模块 2 等电位更换悬垂绝缘子串（滑车组法）	97
模块 3 等电位更换双串耐张任意整串绝缘子	102
模块 4 地电位更换双串耐张任意整串绝缘子	106
模块 5 地电位更换耐张中间任意单片绝缘子	111
模块 6 等电位更换导线防振锤	115
模块 7 等电位带电修补导线	119
模块 8 地电位带电检测绝缘子	123

模块 9 等电位带电处理导线异物	127
第六章 500kV 带电作业项目标准化操作流程	132
模块 1 等电位更换耐张串导线侧单片绝缘子	132
模块 2 等电位更换“V形”整串绝缘子	136
模块 3 等电位更换耐张双串中间任意单片绝缘子	141
模块 4 地电位更换耐张横担侧单片绝缘子	144
模块 5 等电位更换耐张双联任意整串绝缘子	148
模块 6 等电位更换悬垂任意单片绝缘子	153
模块 7 等电位更换悬垂整串绝缘子	157
模块 8 等电位带电更换导线间隔棒	161
模块 9 地电位带电修补架空地线	165
第七章 1000kV 带电作业项目标准化操作流程	169
模块 1 等电位更换直线杆塔 I 型、双 I 型复合绝缘子	169
模块 2 等电位更换导线间隔棒	174



第一章

电力系统概述

模块 1 发电厂、电力系统及电力网

一、基本概念

电力系统——由发电厂、变电所、输电线、配电系统及负荷组成的，现代社会中最重要、最庞杂的工程系统之一。

电力网络——由变压器、电力线路等变换、输送、分配电能设备所组成的部分。

动力系统——在电力系统的基础上，把发电厂的动力部分（如火力发电厂的锅炉、汽轮机和水力发电厂的水库、水轮机以及核动力发电厂的反应堆等）包含在内的系统。

总装机容量——指该系统中实际安装的发电机组额定有功功率的总和，以千瓦(kW)、兆瓦(MW)、吉瓦(GW)为单位计。

年发电量——指该系统中所有发电机组全年实际发出电能的总和，以千瓦时(kW·h)、兆瓦时(MW·h)、吉瓦时(GWh)为单位计。

最大负荷——指规定时间内，电力系统总有功功率负荷的最大值，以千瓦(kW)、兆瓦(MW)、吉瓦(GW)为单位计。

额定频率——按国家标准规定，我国所有交流电力系统的额定功率为 50Hz。

最高电压等级——指该系统中的最高的电压等级电力线路的额定电压。

二、电力系统的构成

电力系统的主体结构有电源（水电站、火电厂、核电站等发电厂），变电所（升压变电所、负荷中心变电所等），输电、配电线路和负荷中心。各电源点还互相连接以实现不同地区之间的电能交换和调节，从而提高供电的安全性和经济性。输电线路与变电所构成的网络通常称电力网络。电力系统的信息与控制系统由各种检测设备、通信设备、安全保护装置、自动控制装置以及监控自动化系统、调度自动化系统组成。电力系统的结构应保证在先进的技术装备和高经济效益的基础上，实现电能生产与消费的合理协调。

图 1-1 所示为一个简单电力系统，图 1-2 所示为一个复杂的电力系统。

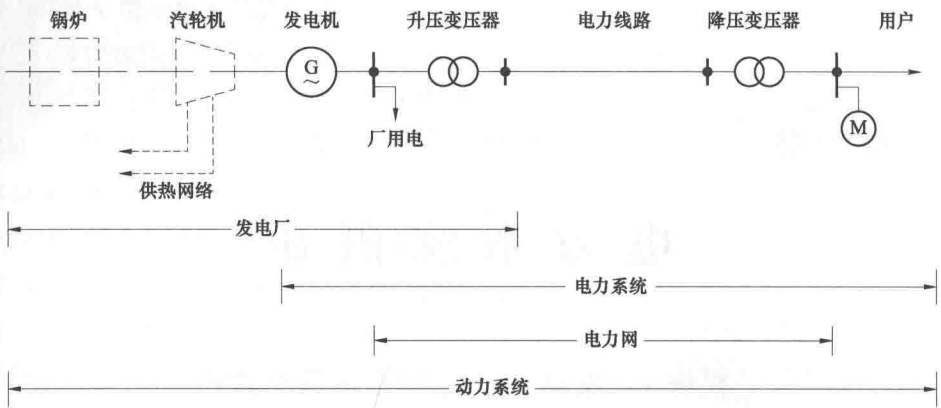


图 1-1 简单电力系统示意图

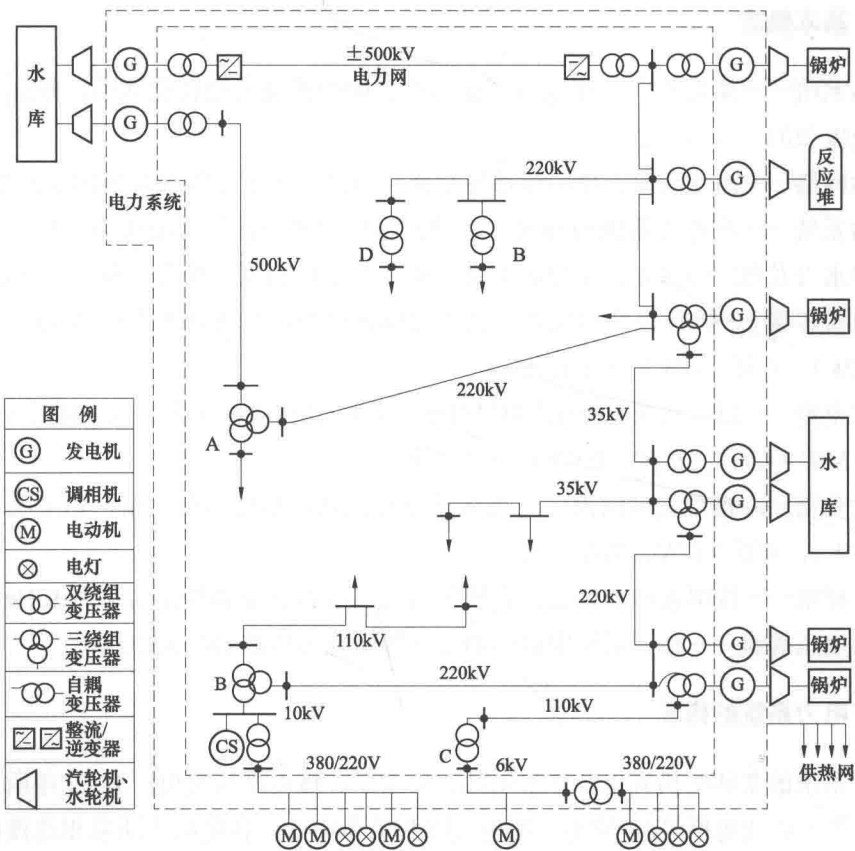


图 1-2 复杂电力系统示意图

电力系统中的电气设备也称电力系统的元件，它们之间相互作用完成发电/输配电/用电的过程。发电机产生电能，升压变压器把发电机发出的低压电能变换为高压电能，电力系统输送高压电能，降压变压器把网络中的高压电能变换为低压电能便于用户使用

电能。这样一个生产电能、输送和分配电能、使用电能所连接起来的有机整体成为电力系统。确切地说，电力系统是指由发电机、变压器、电力线路、用户等在电气上相互连接所组成的有机整体。

在图 1-1 所示简单电力系统中，除去发电机、用户，剩下的部分，即电力线路和它两边连接的变压器，称为输配电网，简称电网。

电网是指由各种电压等级的输、配电线路以及由它们所联系起来的各类变电所所组成的电力网络。

由电源向电力负荷中心输送电能的线路，称为输电线路，包含输电线路的电力网络为输电网。而主要担负分配电能任务的线路称为配电线路，包含配电线路的电力网络称为配电网。

电力系统再加上它的动力部分称为动力系统。换言之，动力系统是指“电力系统”与“动力部分”的总和。

所谓动力部分，随电厂的性质不同而不同，主要有以下几种：

- (1) 火力发电厂的锅炉、汽轮机、供热网络等，如图 1-1 所示。
- (2) 水力发电厂的水库、水轮机。
- (3) 核能发电厂的反应堆。
- (4) 风能、太阳能等。

由以上分析可知，电网是电力系统组成部分，而电力系统又是动力系统的一个组成部分。动力部分是产生电能的动力。下面以火力发电厂凝汽式汽轮发电机组为例说明电能的生产过程。

如图 1-3 所示，原煤由输煤传送带运至原煤斗后又落入磨煤机中，磨成煤粉后再经过粗粉及细粉分离器进入煤粉仓里，排粉机给出的煤粉与风机送来的暖风混合后送入炉膛燃烧，使冷水管壁中的水加热蒸发为蒸汽，蒸汽经过汽包、过热器变为过热蒸汽，然后通过主蒸汽管道被送入汽轮机。进入汽轮机的蒸汽膨胀做功，喷打汽轮机的叶片，推动汽轮机的大主轴转动。由于发电机与汽轮机同轴，发电机的转子固定在大轴上随大轴一起转动，定子固定不动，在定子槽内放有按一定规律连接的 a、b、c 三相定子绕组。在转子磁极上缠绕励磁绕组，当给励磁绕组通上直流电后，转子转动就形成了旋转磁场，定子绕组在旋转的磁场中切割磁场，于是便感应产生了电动势，因定子回路与外电路形成闭合的三星电路，于是有三相交流电流流通。发电机发出的电能，再经升压后送入高压电力网。

根据电力系统中装机容量与用电负荷的大小，以及电源点与负荷中心的相对位置，电力系统常采用不同电压等级输电（如高压输电或超高压输电），以求得最佳的技术经济效益。根据电流的特征，电力系统的输电方式还分为交流输电和直流输电。交流输电应用最广。直流输电是将交流发电机发出的电能经过整流后采用直流电传输。

由于自然资源分布与经济发展水平等条件限制，电源点与负荷中心多处于不同地区。

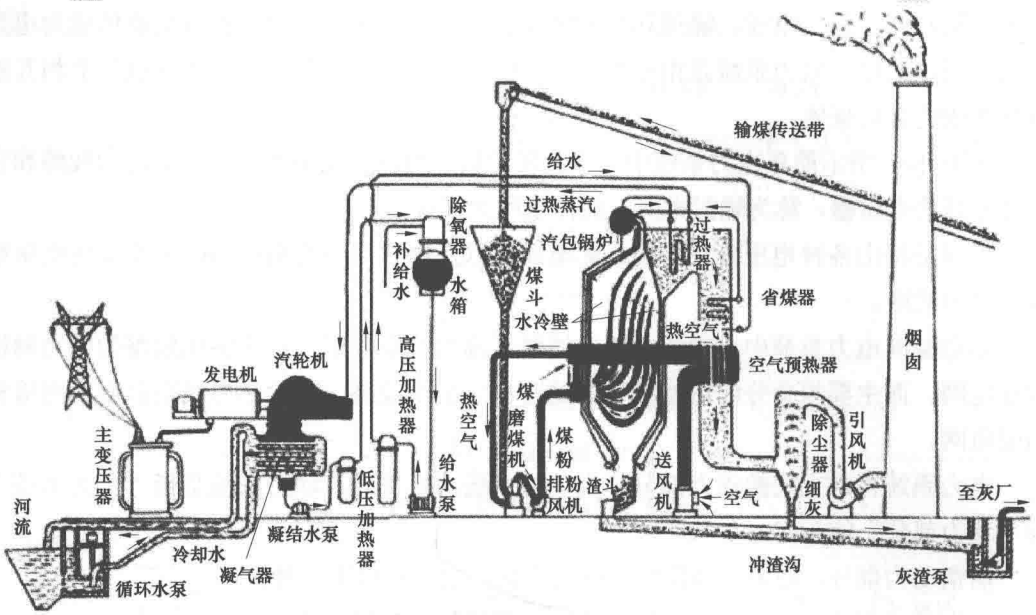


图 1-3 凝汽式火力发电厂生产过程

由于电能目前还无法大量储存，输电过程本质上又是以光速进行，电能生产必须时刻保持与消费平衡。因此，电能的集中开发与分散使用，以及电能的连续供应与负荷的随机变化，就成为制约电力系统结构和运行的根本特点。

三、电力发展过程与现状

在电能应用的初期，由小容量发电机单独向灯塔、轮船、车间等的照明供电系统，可看作是简单的住户式供电系统。白炽灯发明后，出现了中心电站式供电系统，如 1882 年 T.A.托马斯·阿尔瓦·爱迪生在纽约主持建造的珍珠街电站。它装有 6 台直流发电机（总容量约 670kW），用 110V 电压供 1300 盏电灯照明。19 世纪 90 年代，三相交流输电系统研制成功，并很快取代了直流输电，成为电力系统大发展的里程碑。

20 世纪以后，人们普遍认识到扩大电力系统的规模可以在能源开发、工业布局、负荷调整、系统安全与经济运行等方面带来显著的社会经济效益。于是，电力系统的规模迅速增长。世界上覆盖面积最大的电力系统是苏联的统一电力系统。它东西横越 7000km，南北纵贯 3000km，覆盖了约 1000 万 km² 的土地。

中华人民共和国的电力系统从 20 世纪 50 年代开始迅速发展。到 1991 年底，电力系统装机容量为 14 600 万 kW，年发电量为 6750 亿 kW·h，均居世界第四位。输电线路以 220kV、330kV 和 500kV 为网络骨干，形成 4 个装机容量超过 1500 万 kW 的大区电力系统和 9 个超过百万千瓦的省电力系统，大区之间的联网工作也已开始。此外，1989 年，台湾省建立了装机容量为 1659 万 kW 的电力系统。

中国电力工业自 1882 年在上海诞生以来，经历了艰难曲折、发展缓慢的 67 年，到

1949年发电装机容量和发电量仅为185万kW·h和43亿kW·h，分别居世界第21位和第25位。1949年以后我国（大陆，下同）的电力工业得到了快速发展。1978年发电装机容量达到5712万kW，发电量达到2566亿kW·h，分别跃居世界第8位和第7位。改革开放之后，电力工业体制不断改革，在实行多家办电、积极合理利用外资和多渠道资金，运用多种电价和鼓励竞争等有效政策的激励下，电力工业发展迅速，在发展规模、建设速度和技术水平上不断刷新纪录、跨上新的台阶。装机先后超过法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本，从1996年底开始一直稳居世界第2位。进入21世纪，我国的电力工业发展遇到了前所未有的机遇，呈现出快速发展的态势。我国发电装机容量和发电量增长情况见表1-1。

表 1-1 我国发电装机容量和发电量增长情况

年 份	装机容量 (万 kW)	装机容量在国际排位	年发电量 (万 kW)
1882	185	21	43
1960	1192	9	594
1987	10 290	5	4973
1995	21 722	4	10 069
1996	23 654	2	10 794
2000	31 932	2	10 794
2003	38 450	2	19 080
2006	62 200	2	28 344

我国电力工业进入了大机组、大电厂、大电网、超/特高压、远距离输电、交直流输电、自动化、信息化，水电、火电、核电、新能源发电全面发展的新时期。目前，我国电力工业正在逐步进入跨大区联网和推进全国联网的新阶段。我国电网已基本实现全国互联，2010年，全国330kV及以上交流线路达11.4万km，变电容量为4.7亿kVA，直流线路为8200km，直流换流站容量为4000万kW。

20世纪80年代以来，我国电力需求连续20年实现快速增长，年均增长速度接近8%。根据我国的具体情况，预计我国全面实现小康社会的人均用电水平在3000kW·h左右。在未来的20年，电力需求仍然需要保持5.5%~6%的快速增长。2010年，全社会用电达到25400亿~26600亿kW·h，装机5.5亿~5.8亿kW；2020年全社会用电将达到39400亿~43200亿kW·h，需要装机8.2亿~9.0亿kW。电力与经济紧密相关，电力是保证经济发展的重要物质基础，经济发展是电力发展的内在动力。为满足全面建设小康社会的需要，电力发展的任务艰巨，责任重大。

发电装机容量、发电量持续增长。“十一五”期间，我国发电装机和发电量年均增长率电网建设不断加强。随着电源容量的日益增长，我国电网规模不断扩大，电网建设不断加强，输变电容量逐年增加。2009年，电网建设步伐加快，全年全国基建新增220kV

及以上输电线路回路长度 41 457km, 变电设备容量 27 756 万 kVA。2009 年底, 全国 220kV 及以上输电线路回路长度 39.94 万 km, 比 2008 年增长 11.29%; 220kV 及以上变电设备容量 17.62 亿 kVA, 比 2008 年增长 19.40%。其中 500kV 及以上交、直流电压等级的跨区、跨省、省内骨干电网规模增长较快, 其回路长度和变电容量分别比 2008 年增长了 16.64%和 25.97%。目前, 我国电网规模已超过美国, 跃居世界首位。西电东送和全国联网发展迅速。我国能源资源和电力负荷分布的不均衡性, 决定了“西电东送”是我国的必然选择。西电东送重点在于输送水电电能。按照经济性原则, 适度建设燃煤电站, 实施西电东送。

国家电网公司在电网建设方面将采取加大加快前期工作力度、加快“西电东送、南北互供、全国联网”工程的建设步伐、抓紧抓好三峡送出的三期工程建设、加快溪洛渡向家坝水电站的送出工程的前期工作、重视抽水蓄能等调频调峰电源的建设、积极采用新技术新工艺、不断提高电网的可靠性等措施。

电力环保取得显著成绩, 污染物排放得到控制。电力工业从 20 世纪 80 年代初开始控制烟尘排放, 目前安装电除尘器比例达到 85%以上, 烟尘排放总量较 1980 年减少 32%以上, 单位电量烟尘排放量减少了 88%。自 2007 年以来, 国电电力发展股份有限公司(简称国电电力)相继投入 74 450 万元, 对所属电厂的火电机组(计划关停除外)进行了脱硫改造, 2003 年底我国大陆已累计建成投产的脱硫机组装置容量约 1000 万 kW, 脱硫设施产生的 SO₂ 去除量为 96.9 万 t, 单位电量 SO₂ 排放量较 1990 年减少了 40%。洁净煤燃烧技术的研究、开发和技术引进取得进展, 已经掌握了低氮燃烧技术。水电、核电和电网的环境保护得到高度重视。

资源节约和综合利用水平不断提高。2006 年全国火电机组平均供电标准煤耗由 2005 年的 370g/(kW·h) 降为 366g/(kW·h), 电网综合线损率由 7.21%降为 7.08%。

电力科学技术水平有较大提高, 交、直流输电系统控制保护设备的技术水平已居于世界领先行列。电力发展水平走在世界前列。一是火电机组参数等级、效率不断提高。二是水电建设代表了当今世界水平, 建成了以三峡工程为代表的一批具有世界一流水平的水电工程。三是核电自主化程度不断提高, 秦山二期建成投产标志着我国已具备 65 万 kW 压水堆核电机组的研发制造能力。四是超高压技术跻身国际先进行列, 500kV 紧凑型、同塔多回、串联补偿等技术得到应用。五是交、直流输电系统控制保护设备的技术水平已居于世界领先行列。

可再生能源发电取得进步, 风力发电建设规模逐步扩大。从“七五”开始建设风电场, 2008 年底, 我国已建成风力发电机组上万台, 风电场 200 多个, 风电机组累计装机超过 1200 万 kW。2008 年风电发电量为 128 亿 kW·h。

地热发电得到应用。西藏电力工业发展较快, 装机容量已达 311MW, 年发电量 6.58 亿 kW·h。地热资源丰富。羊八井地热电站装机容量为 24MW, 年发电量已达 1.1 亿 kW·h, 是我国最大的地热发电厂。

太阳能发电开始起步。到 2007 年底, 全国光伏系统的累计装机容量达到 10 万 kW, 从事太阳能电池生产的企业达到 50 余家, 太阳能电池生产能力达到 290 万 kW, 太阳能电池年产量达到 1188MW, 超过日本和欧洲。电力需求旺盛, 发展潜力巨大。

国民经济持续快速增长, 对电力的拉动作用巨大。“十一五”期间, 全社会需电量增长平均达 7.8%, 发电装机容量增长速度达到 10.6 万 kW/年。2010 年, 全国发电装机达 8.5 亿 kW 左右, 而全社会用电在 3.6 万亿 kW·h 以上, 发电设备综合利用时间可降到 4300h 左右, 电力供应总能力与总需求在宏观上进入平衡状态, 为电力的稳定可靠供应奠定了基础。随着我国经济步入新的增长周期, 我国电力消费在 2012 年之前保持在 10% 左右的增速。整体看来, 由于人均发电装机占有量偏低, 电力供应的高速增长仍难以满足更快增长的电力需求, 电力工业仍存在较大发展空间。

四、电力发展趋势

1. 电力建设任务艰巨

电网安全要求不断提高。我国电网进入快速发展时期, 大电网具有大规模输送能量, 实现跨流域调节、减少备用容量, 推迟新机组投产, 降低电力工业整体成本, 提高效率等优点。但随着目前电网进一步扩展, 影响安全的因素增多, 技术更加复杂, 需要协调的问题更多, 事故可能波及的范围更广, 造成的损失可能会更大。

经济增长方式需要转变。当前我国经济尚属于高投入、高消耗、高排放、不协调、难循环、低效率的粗放型增长模式, 而我国的当前条件是绝对不容许的。突出表现为以下两点:

(1) 资源条件相对匮乏。我国水能、煤炭较丰富, 油、气资源不足, 且分布很不均衡。水能资源居世界首位, 但 3/4 以上的水能资源分布在西部。我国煤炭探明保有储量居世界第 3 位, 人均储量为世界平均水平的 55%。我国天然气和石油人均储量仅为世界平均水平的 11% 和 4.5%。风能和太阳能等新能源发电受技术因素限制, 多为间歇性能源, 短期内所占比重不可能太高, 需要引导积极开发。

(2) 电力发展与资源、环境矛盾日益突出。电力生产高度依赖煤炭, 大量开发和燃烧煤炭引发环境生态问题, 包括地面沉陷, 地下水系遭到破坏, 酸雨危害的地理面积逐年扩大, 温室气体和固体废料的大量排放等。火力发电需要耗用大量的淡水资源, 而我国淡水资源短缺, 人均占有量为世界平均水平的 1/4, 且分布不均, 其中华北和西北属严重缺水地区。同时, 我国也是世界上水土流失、土地荒漠化和环境污染严重的国家之一。以我国的发展阶段分析, 未来若干年, 是大量消耗资源、人与自然冲突极为激烈的时期。目前的能源消耗和发展方式, 是我国能源、水资源和环境容量无法支撑的。因此, 经济增长方式需要根本性转变, 以保证国民经济可持续发展。

2. 电力发展需求强劲

经济增长率仍将持续走高。目前我国处于工业化的阶段, 重化工业产业发展迅速,

全社会用电以工业为主，工业用电以重工业为主的格局还将持续一段时间。未来十多年，中国国民经济将继续持续较快发展，工业化、城镇化、市场化、国际化步伐加快，人民生活进一步改善。与此相适应，电力需求仍将继续保持稳定增长的态势。电力工业将迎来更为广泛的发展空间。

用电负荷增长速度高于用电量增长。考虑加强电力需求侧管理，负荷增长速度与电量增长速度的差距将逐步缩小。2009年全社会用电量36430亿kW·h，同比增长5.96%，增速比上年提高0.47个百分点；预计2020年全社会用电量将不低于6万亿kW·h。

3. 电力发展趋势特点鲜明

我国电力发展的基本方针是：提高能源效率，保护生态环境，加强电网建设，大力开发水电，优化发展煤电，积极推进核电建设，适度发展天然气发电，鼓励新能源和可再生能源发电，带动装备工业发展，深化体制改革。在此方针的指导下，结合近期电力工业建设重点及目标，我国电力发展将呈现以下四个鲜明特点：

(1) 自动化水平逐步提高、安全性和可靠性受到充分重视。先进的继电保护装置、变电站综合自动化系统、电网调度自动化系统以及电网安全稳定控制系统得到广泛应用。随着电网建设和网架结构的加强、电网自动化水平的提高，大陆电网安全稳定事故大幅下降。电网供电可靠性也有较大提高，平均供电可靠性为99.820%。

(2) 经济、高效和环保。随着大容量机组的应用、电网的发展以及先进技术的广泛采用，煤耗与网损逐年下降。新建火电厂将广泛采用大容量、高效、节水机组，采用脱硫技术和控制NO_x的排放。到2020年，在人口密集地区，将建设60GW的天然气发电机组和40GW的核电机组。在电网建设方面，将采用先进技术提高单位走廊输电能力、降低网损，加强环境和景观保护，城市电网将逐步提高电缆化率、推广变电站紧凑化设计。

(3) 结构调整力度将会继续加大。将重点推进水电流域梯级综合开发，加快建设大型水电基地，因地制宜开发中小型水电站和发展抽水蓄能电站，使水电开发率有较大幅度提高。合理布局发展煤电，加快技术升级，节约资源，保护环境，节约用水，提高煤电技术水平和经济性。实现百万千瓦级压水堆核电工程设计、设备制造本土化、批量化的目标，全面掌握新一代百万千瓦级压水堆核电站工程设计和设备制造技术，积极推进高温气冷堆核电技术研究和应用。在电力负荷中心、环境要求严格、电价承受力强的地区，因地制宜建设适当规模的天然气电厂，提高天然气发电比重。在风力资源丰富的地区，开发较大规模的风力发电场；在大电网覆盖不到的边远地区，发展太阳能光伏电池发电；因地制宜发展地热发电、潮汐电站、生物质能（秸秆等）与沼气发电等；与垃圾处理相结合，在大中城市规划建设垃圾发电项目。

(4) 技术进步和产业升级步伐将会加快。电力工业要着眼于走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染小的新型工业化道路，促进电力设备的本土化。需要重点发展以下几方面工作：

推广单机容量 60 万 kW 及以上大容量（超）临界机组。加大大型水电站建设关键技术的研究，加快大容量水电机组设备制造本地化。积极发展洁净煤发电技术；掌握空冷系统设计制造技术和机组节水改造技术；掌握大容量机组烟气脱硫的设计制造技术。加快 100 万 kW 级大型核电站设备制造本地化进程。实现 600kW 至兆瓦级风电设备本地化。引进第三代核电技术。

建设功能完善、信息畅通、相互协调的电力调度自动化系统，建立适应电力市场竞争需要的技术支持系统，电力行业的信息化达到国际先进水平。

加快电网建设，优化资源配置。加快推进西电东送三大通道的输电线路建设，合理规划布局，积极采用先进适用技术提高线路输送容量，节约输电通道资源。建设坚强、清晰、合理、可靠的区域电网。推进大区电网互联，适当控制交流同步电网规模。

继续推进城乡电网建设与改造，形成安全可靠的配电网。完善城乡配电网结构，增强供电能力。加快计算机技术、自动化技术和信息技术的推广应用，提高城网自动化水平和供电可靠性，满足城乡居民用电的需求。完善县城电网的功能、增强小城镇电网的供电能力，扩大电网覆盖面。

发展循环经济，创建节约型社会。加强发电、输变电、用电等环节的科学管理，提高能源使用效率。在加快电力建设，保障电力供给的同时，将节约资源和提高能效提升到与电力供应同等重要的地位。通过深化电力需求侧管理，加强全国联网，调整产业结构，逐步降低单位产值能耗等节能、节电的综合措施；通过节能、节电，加强全国联网，调整产业结构，逐步降低单位产值能耗等综合措施。

4. “十三五”电力规划

实事求是地讲，满足国家电力需求更关键的在于电网，主要是通道的建设落后于电源的建设，使很多电力产能无法释放。如果新能源不能发挥实效，不如在规划时更多地建设利于新能源送出的通道、储能等配套项目，确保那些列入规划的新能源项目按规划建设、按规划发挥效能。

按《能源发展战略行动计划（2014—2020 年）》（以下简称“行动计划”），到 2020 年，一次能源消费总量控制在约 48 亿 t 标准煤，煤炭控制在约 42 亿 t（天然煤），占一次能源消费比重控制在 62% 以内，非化石能源比重达到 15%，天然气比重达到 10% 以上；力争常规水电装机达到 3.5 亿 kW 左右，风电装机达到 2 亿 kW，光伏装机达到 1 亿 kW 左右。

按目前我国制造业的能力，风电、光伏达到目标没有问题。特别是光伏，如果能够克服分布式光伏发电的一些制度性制约，光伏发电在“十三五”期间将会井喷式发展。在火电领域，要在经济发达地区继续鼓励天然气发电（分布式）的增长，即便煤电达到天然气的减排标准，如果考虑“碳税”，气电经济性也要优于煤电。

根据国家能源局统计，到 2014 年底，全国装机容量为 13.6 亿 kW，如果按 5200h 计算，发电量就能超过 7 万亿 kW·h，就能满足 2020 年的电力需求。很显然，这样的计算

过于笼统和简单，风电、水电和光伏发电绝对达不到 5200h 的运行时间。根据中电联统计数据，如果不考虑送出影响，合理利用时间为，火电 5500h，水电 3300h，风电 2000h，核电 7000h，光伏 1500h，则按 2014 年底各类发电形式装机计算的发电量为 63 728 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

未来五年核电增加的电量加上 2014 年火电存量机组利用时间增加到 5800h，总的发电量就能基本达到 2020 年全社会电量需求的 7 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。虽然还没有考虑 2015—2020 年火电、水电、风电和光伏发电的增量，有点过于偏激，但足以说明发电能力足以满足我国 2020 年社会发展对电力的需求，即使增加考虑备用容量、送出受限等因素也是如此。

按“行动计划”到 2020 年，核电装机容量达到 5800 万 kW ，常规水电、风电和光伏加起来可达 6.5 亿 kW ，如果再加上 2014 年底存量的火电，整个“十三五”期间不发展火电，全国总装机容量也超过了 16 亿 kW 。但即便在经济发达地区受“大气污染物排放行动计划”限制、在欠发达地区受投资者投资意愿下降等影响因素，火电的装机每年增加 2 千万、3 千万 kW 的容量是可以肯定的。

从必须改变环境角度出发，“十三五”电力规划电源建设要以进一步限制煤电，适度发展水电和核电，全面鼓励和推动新能源的发展。

关于适度发展水电和核电。据中国大坝协会的统计，我国已是世界上建坝最多的国家，坝高超过 30m 的大坝超过 6000 座，过度建坝已经破坏了生物多样性和人文环境，尤其在西南地质脆弱和少数民族集聚区，水电开发的负面影响更为明显。而之所以提出核电要适度发展主要是从安全角度出发。且不提核原料的供应和核废料的处理问题，虽然当前在建核电机组主要是所谓的“三代机”，但实际运行情况未知。更让人担心的是按目前规划的规模，我们确实缺少有实际经验的运行及维护人员，缺少相应配套的监管手段和制度。

新能源发电值得认真研究。从以往的情况看，以风电为例，我国装机早已超过 1 亿 kW ，但实际并网到 2014 年底才 0.96 亿 kW ，即使并网的这些风电每年因限电影响的发电量都超过其总发电量的 10%。光伏发电也一样，除技术性原因外，由体制、机制造成的损失及对整个产业发展的影响不是用数字就可以简单计算的。

因此，目前电源已不是问题，而关键在于电网，通道的建设落后于电源的建设，使很多电力产能无法释放。此外，影响新能源消费的市场化的问题也是亟待解决的，好在国家电力市场化改革已经明确了方向。

“十三五”电力规划要贴近实际，在规划时更多地建设影响新能源送出的通道、储能等配套项目，确保那些列入规划的新能源项目按规划建设、按规划发挥效能。

模块 2 电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点实际上是指电力系统中发电机、变压器的中性点，其接地或不接