



中国
电力企业
联合会
CHINA
ELECTRICITY
COUNCIL

电力工程造价专业
资格认证考试指定用书

电力工程造价执业教育丛书

电力工程概论

中国电力企业联合会 电力工程造价与定额管理总站
电力建设技术经济咨询中心

编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



中国电力企业联合会
CHINA ELECTRICITY COUNCIL

电力工程造价专业
资格认证考试指定用书

电力工程造价执业教育丛书

电力工程概论

中国电力企业联合会 电力工程造价与定额管理总站 编
电力建设技术经济咨询中心



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《电力工程造价执业教育丛书》是根据电力工程造价职业岗位技能知识结构编写而成。

本丛书以工程造价知识、电力专业知识为基础,结合电力建设工程费用计算标准、定额及工程量清单计价规范的要求,力求系统完整,通俗易懂,使电力工程造价人员能识图、懂工艺、会预算、知管理。

本册为《电力工程概论》,全书共分四章。第一章介绍电力系统的构成和我国电力系统概况;第二章主要介绍我国发电企业概况、主要发电形式和原理以及电力工程建设基本知识;第三章介绍电网系统的构成和我国电力网络概况;第四章主要介绍电力通信工程的基本原理和发展概况。

本丛书作为电力工程造价专业资格认证考试指定用书,同时作为电力工程建设、设计、施工、监理、咨询等单位的技术经济人员岗位技能学习、继续教育用书,还可作为高等院校工程与经济类专业师生的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程概论/中国电力企业联合会电力工程造价与定额管理总站,中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心编. —北京:中国电力出版社,2012.3

(电力工程造价执业教育丛书)

ISBN 978-7-5123-2808-2

I. ①电… II. ①中… ②中… III. ①电力工程-中国-教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第043705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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年4月第一版 2012年4月北京第二次印刷

889毫米×1194毫米 16开本 7.5印张 211千字

印数5001—8000册 定价38.00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

电力工程造价执业教育丛书

编 委 会

主任委员 魏昭峰

副主任委员 沈维春

编	委	郭 玮	黄成刚	张天文	许子智	陈 洁
		李国胜	李国华	奚 萍	雷雪琴	安建强
		顾 游	易建山	傅剑鸣	汤定超	张海庭
		肖 红	温卫宁	叶大革	黄 昆	牛东晓
		张慧翔	马黎任	李大鹏	赵文建	朱林生

专 家 组

(按姓氏笔画排序)

文上勇	王振鑫	王道静	卢金平	申 安	刘 毅	刘 薇
吕世森	何永秀	张伟中	张轶斐	陈开如	周 霞	易 涛
罗 涛	金莺环	金耀谦	柳瑞禹	赵建勇	赵喜贵	郭 兵
钱 丽	陶鹏成	黄文杰	董士波	褚得成	赖启杰	廖毅强

编 写 组

组 长	张慧翔				
副组长	解改香	李希光			
成 员	叶锦树	王维军	叶子菀	廖世园	陈水广
	王 卉	陈 伟	张盛勇	周宝明	焦艳燕
	徐 辉	邹 扬	马卫坚	王 培	徐慧超
	张 波	刘 强	陈海涵	孟大博	李春蔚
	朱大光	姚 毅			

本 册 编 审 人 员

主 编	王维军				
副 主 编	张慧翔				
编写人员	刘早霞	徐 辉	马卫坚	杨剑勇	陈海涵
主 审	叶锦树	陶鹏成	张伟中	张轶斐	

序

近年来,我国电力工业保持了持续快速发展的良好态势,“十一五”期间,每年新增发电装机容量近1亿kW,风电装机容量连续五年实现翻倍增长,水电装机容量和核电在建装机容量均居世界第一位,电网建设不断增速,电压等级不断提升,1000kV特高压交流试验示范工程和 ± 800 kV特高压直流示范工程相继建成投运,电力工业正从大机组、超高压、西电东送、全国联网的发展阶段,向绿色发电、特高压、智能电网的发展新阶段加快迈进。电力工程造价管理以更好地服务电力工业发展为宗旨,与时俱进,锐意创新,计价标准体系日趋健全,从业人员业务能力逐步提升,执业操守日渐规范,为强化电力工程建设投资管理作出了重要贡献。

“十二五”时期是我国全面建设小康社会的关键时期,也是深化改革开放、加快发展方式转变的攻坚时期。电力工业面临着严峻的改革和发展任务,必须加快转变电力工业发展方式,依托科技创新和体制机制创新,全面提高电力生产与利用效率,逐步实现从大到强转变。面对新形势下的新挑战,电力工程造价管理工作必须立足自身能力建设,不断完善技术、经济 and 法律法规等知识体系,及时跟踪技术、工艺和管理等发展的新趋势,以执业技能和工作水平提升带动电力行业工程造价管理工作不断升级。

“抓住机遇,迎接挑战,走人才强国之路,是增强综合国力和国际竞争力,实现中华民族伟大复兴的战略选择”。《国务院关于加强职业培训促进就业的意见》指出大力加强职业培训工作是“贯彻落实人才强国战略,加快技能人才队伍建设,建设人力资源强国的重要任务”。电力工程造价人员作为咨询业专才,承担着电力行业工程造价的计定、管理和控制等多重任务,对保证电力建设市场和谐、有序、健康发展,提高建设项目投资效益和企业经济效益发挥了重要作用。为提升电力行业工程造价人员业务素质和执业水平,中国电力企业联合会组织编写的这套《电力工程造价执业教育丛书》,可作为电力工程造价从业人员执业技能教育的培训教材,同时也作为继续教育学习和日常工作查阅的电力技术经济工具用书。

本丛书重新规划构架了电力行业工程造价人员知识结构体系,将基本建设全过程造价管理延伸至建设项目全寿命周期造价管理。本丛书采用模块化结构编写方式,使知识要点更加清晰,便于工程造价人员全面系统掌握工程造价基础理论和专业技能等方面的知识。本丛书凝聚了电力行业建设管理、设计、施工和咨询等领域和高等院校数十位专家的智慧与汗水,希望本丛书的出版能为推进电力工程造价管理工作的系统化、规范化、专业化和全面化作出新的贡献!

孙玉才

前 言

为贯彻实施国家人才强国战略，培养电力工程造价管理领域高技能专业人才，规范电力工程造价从业人员专业资格认证工作，提高培训教材编制的实效性和系统性，促进职业培训工作的健康有序发展，中国电力企业联合会电力工程造价与定额管理总站、中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心组织编写了《电力工程造价执业教育丛书》（简称本丛书）。

本丛书涵盖了电力工程概论、电力工程造价基础知识、火力发电工程、核电工程、新能源工程、电网工程、通信工程七大领域，其中，火力发电工程包括建筑、机务与电气三册，电网工程包括建筑、变电站安装、换流站安装、架空输电线路、电缆输电线路和配电网六册。各专业册教材采用模块化设计，包含了专业基础知识、设备与材料、设计、施工、检修与技术改造等内容。

本丛书编制工作于2011年1月启动，组建了编委会、专家组和编写组，来自电力建设、设计、施工、咨询、高校等领域和单位的数十名专家参与了教材的研究策划和撰稿工作，经过各方密切配合，多方征求意见，反复修改完善，前后历时一年多，终定其稿。本丛书在充分汲取以往教材优点的基础上，密切结合电力工程造价管理工作的特点和发展趋势，系统介绍了工程造价基础理论和专业技能。本丛书不仅是电力工程造价从业人员上岗资格认证的考试教材，也可为电力行业从事工程造价工作的管理和技术人员以及高等院校师生提供工作和学习参考。

本丛书在编写过程中得到了国家电网公司、中国南方电网有限责任公司、中国华能集团公司、中国大唐集团公司、中国华电集团公司、中国广东核电集团有限公司和华北电力大学等单位领导的大力支持，在此表示衷心感谢！同时，对为教材编制提供素材和参与审查的所有人员表示诚挚谢意！

本丛书在编写过程中尽管各方面给予了大力支持和关注，编写组亦十分认真努力，但由于编制人员在理论与实践结合、各专业领域沟通协作等方面仍存在认识不足之处，且电力工程造价从业人员所需专业知识深度需要经过反复摸索才能确切把握，因此，疏漏和不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

中国电力企业联合会电力工程造价与定额管理总站
中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心

2012年3月

目 录

序

前言

第一章 综述	1	第二节 电网建设运行	83
第一节 电力系统概述	1	第三节 特高压	87
第二节 我国的电力系统	7	第四节 智能电网	89
第二章 发电厂工程	13	第五节 数字化变电站	91
第一节 发电企业现状	13	第六节 电网环境保护	94
第二节 发电厂概述	16	第四章 电力通信	96
第三节 发电厂建设管理	54	第一节 电力通信概述	96
第四节 火力发电厂的环保及节能	60	第二节 电力系统通信的构成	97
第三章 电网工程	79	第三节 电力系统通信展望	109
第一节 电网概述	79	参考文献	110



第一章

综 述



知识目标

1. 了解我国电力行业的发展历史和现状;
2. 熟悉电力系统的组成和特点;
3. 掌握我国电力工业的发展前景。



教学重难点

1. 重点: 电力系统的概念和组成。



教学内容与学时建议

1. 电力系统概述, 1 学时;
2. 我国的电力系统, 1 学时。

本章主要介绍电力系统的构成和我国电力系统概况。

第一节 电力系统概述

一、电力系统的形成和发展

1831 年, 法拉第发现了电磁感应定律, 促进了发电机和电动机的发明, 从而开始了电能的生产和使用。当时采用的是低压直流, 主要供给照明用电, 供电范围很小。1834 年, 第一台实用电动机诞生, 电动机进入了实用化阶段。由于当时发电机发出的电能仅用于化学工业和电弧灯, 而电动机所需的电能又来自蓄电池, 电机制造和电力输送技术的发展最初集中于直流电。原始的电力线路使用的就是 100 ~ 400V 低压直流电。由于输电电压低, 输送的距离不可能远, 输送的功率也不可能很大。

第一次高压输电出现于 1882 年。法国人 M. 德波列茨将位于弥斯巴赫煤矿的蒸汽机发出的电能输送到 57km 外的慕巴黑, 并用以驱动水泵。当时采用的发电机电压为直流 1500 ~ 2000V, 输送的功率约 1.5kW。这个输电系统虽规模很小, 但却被认为是世界上第一个电力系统, 因为它包含了电力系统的各个重要组成部分, 即发电、输电、用电设备。同年, 爱迪生在美国纽约的珍珠街建成了世界上第一个中心电站, 装有 6 台蒸汽式直流发电机, 通过地下电缆将 110V 的直流电输送到 1mile^① 外的曼哈顿中心供给 59 个照明用户, 共 1284 盏电灯。

① mile 为英制长度单位, 1mile = 1.659km。

随着生产的发展,对传输功率和输电距离提出了更高的要求,特别是为了提高输电效率,需要采用更高的输电电压,以便减少线路流过的电流从而降低线路电阻中的损耗。但是对用电设备来说,为了安全又不得不采用较低的电压,而直流输电显然不能适应这种要求。

1891年,在制成三相变压器和三相异步电动机的基础上,实现了三相交流输电。在法兰克福举行的国际电工技术展览会上,在德国人奥斯卡·冯·密勒主持下展出的输电系统,奠定了近代输电技术的基础。这一系统起自劳芬镇,止于法兰克福,全长178km。设在劳芬镇的水轮发电机组功率为230kVA,电压为95V,转速为150r/min。升压变压器将电压升高至25000V,电功率经直径为4mm的铜导线输送至法兰克福。在法兰克福用两台降压变压器将电压降至112V。其中一台变压器供电给白炽灯,另一台给异步电动机,电动机又驱动一台功率为75kW的水泵。显然,这已是近代电力系统的雏形,它的建成标志着电力系统的发展取得了重大突破。

交流电力系统可以提高输电电压,增加装机容量,延长输电距离,节省导线材料,具有无可争辩的优越性。交流输电地位的确定,成为电力系统大发展的新起点。从此,三相交流制得到了迅速发展,而且逐步在同步发电机之间进行并列运行,在输、配电过程中采用多个电压等级。经过100多年的发展,形成电压越来越高、容量和规模越来越大的区域性、地区性、全国性甚至跨国性的电力系统。

电力系统的出现,使高效、无污染、使用方便、易于调控的电能得到广泛应用,推动了社会生产各个领域的变化,开创了电力时代。我国现代化的进程对电能领域内的技术发展和创新充满着期待,也提供着广阔的空间。

二、电力系统的组成

1. 电力系统的概念

由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的电能生产、传输、分配和用电的系统称为电力系统,包含电能的生产、输送、分配和使用。电力系统加上发电厂的动力部分,如锅炉、汽轮机、水轮机、核反应堆、风力机等,称为动力系统,如图1-1所示。

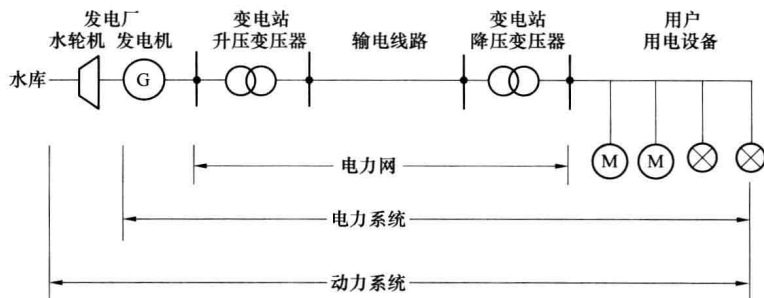


图 1-1 动力系统构成示意图

电力系统的功能是将自然界的一次能源通过发电装置转化成电能,再经输电、变电和配电将电能供应到各用户。为实现这一功能,电力系统在各个环节和不同层次还设有相应的信息与控制系统,对电能的生产过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度,以保证用户获得安全、经济、优质的电能。

在电力系统中,发电机、变压器、线路、断路器和隔离开关和受电器等直接参与生产、输送、分配和使用电能的电力设备通常称为主设备或一次设备,由它们组成的系统又称为一次系统。一次设备及其连接的回路称为一次回路。实际上,在电力系统中还包含各种对一次设备进行测量、保护、监视和控制的设备,习惯上将它们称为二次设备或二次系统。二次设备通过电压互感器和电流互感器从一次设备取得电压和电流的信息。二次设备按照一定的规则连接起来以实现某种技术要求的电气回路称为二次回路。

2. 发电厂

生产电能的工厂称为发电厂,发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为二次能源——电能的工

厂。发电厂包括火力发电厂、水力发电厂、核能电站、风力发电场、太阳能发电厂、地热发电厂和潮汐发电厂等。各种发电厂的发电原理和流程将在后面的章节中详细介绍。

3. 电力输送网络

发电机产生的电能，由于受绝缘水平、散热、机械特性等的限制，发电机机端电压一般低于 30kV，用这样低的电压将电能进行远距离输送是不可行的。因此，电压变换在电力生产过程中是一个很重要的环节。进行电压变换就需要相应的电气设备、控制设备和保护设备，这些设备按照其功能和规定要求组合起来，就构成了变电站。升压变电站多建在发电厂内，把电能升高后，再进行长距离输送。输电线路的高电压不能直接供用户使用，一定要经过降压变压器，把高电压变成低电压再供给用户。降压变电站多设在用电区域，对某地区或用户供电。变电站除了承担变换电压的任务外，还具有交换功率和汇集、分配电能等功能。

把电能从一处集中送到较远的另一处的线路称为输电线路，它的额定电压比较高。把电能分别送到多个用户的线路称为配电线路，它的额定电压比较低。在电力系统中，各种电压等级的输、配电线路和升、降压变电站组成的部分又称为电力网络，简称电力网。我国把电力网分成输电网和配电网两大类，如图 1-2 所示。

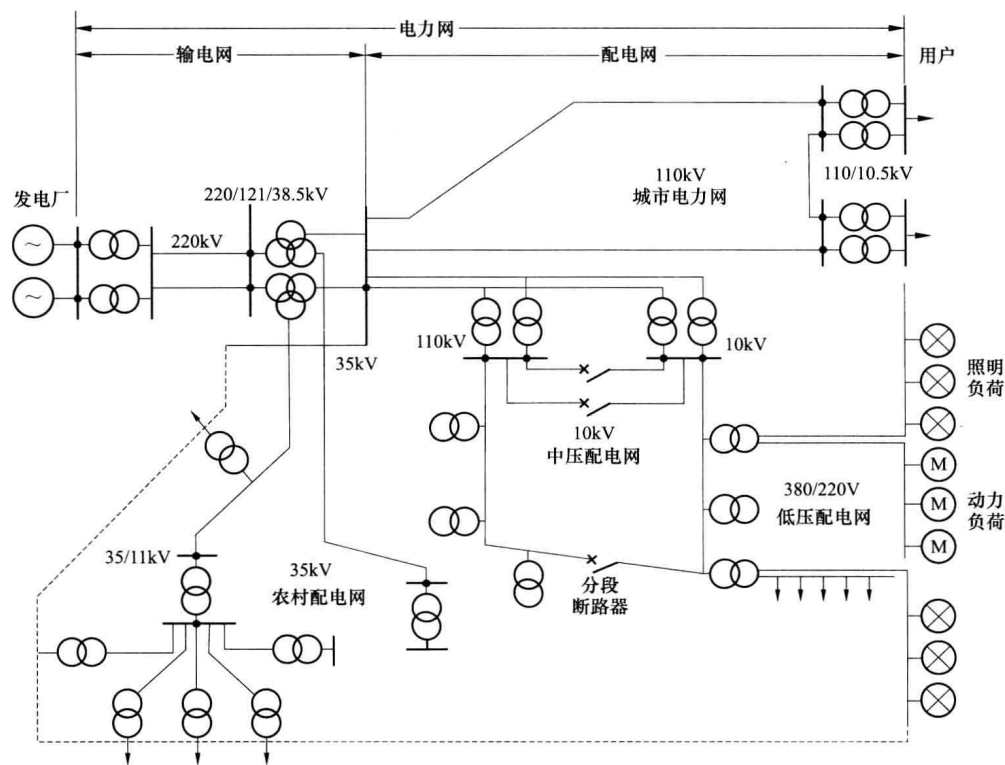


图 1-2 电力输电网、配电网示意图

输电网设施包括输电线路、变电站、开关站等，如图 1-3 所示。输电网把电能从各个发电厂送到负荷相对集中的地方，担任输送电能的任务。输电方式主要有交流输电和直流输电两种。输电网的供电范围比较大，可能包括若干个地、市或省区，国内也俗称为区域电网，又称为电力网中的主网架。

输电网的作用是将各个发电厂通过较高电压（如 220、330、500、750、1000kV）的线路相互连接，使所有同步发电机之间并列运行，并同时发电厂发出的电能送到各个大的负荷中心。由于每条线路上需要输送功率的大小以及传输距离不同，在同一个输电网络中可能需要同时采用几种不同等级的电压，这就需要在输电网中采用大量的变压器，将发电机电压通过升压变压器进行升压，并通过变压器连接不同电压等级的线路。在发电厂远离负荷中心且需要传输大量功率的情况下，采用交流输电将会出现系统

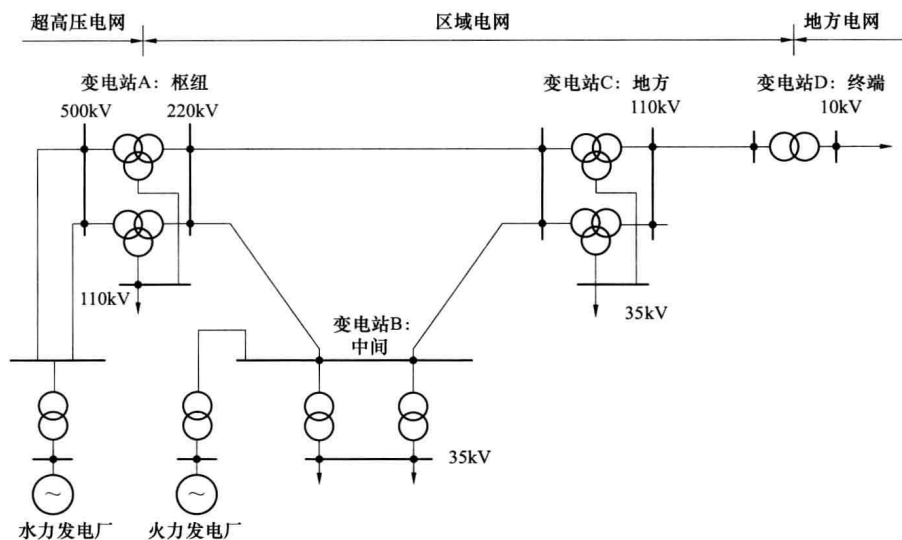


图 1-3 电力输电网示意图

稳定性等技术问题。在此情况下采用高压直流输电将比交流输电更为经济，故目前电压为 $\pm 500\text{kV}$ 和 $\pm 800\text{kV}$ 的高压直流输电已经成为大功率远距离输电的主要手段之一。

电能送到负荷中心以后，需要经过配电网进行电能的分配，用较低电压（如 110、35、10kV 或 6kV 以及 380/220V）的线路供给各个集中的大工厂和分散的中、小工厂以及千家万户的生活用电。

4. 变电站

为了节省燃料的运费和方便运输，发电厂多建在煤炭、水力资源丰富的地方，通过长距离输电线路向用户供电。因为线路有电阻和电抗，电能传输过程中就有电能损耗和电压损失。电能损耗和电压损失与电压的二次方成反比，因此，提高输送电压就可以大大降低损耗。用电设备的额定电压一般在 12kV 以下，因此需要建设升压变电站和降压变电站进行电压变换。将电能送到城市、农村和工矿企业后，还要经过配电线路向各类用户进行配电，以满足不同等级的电力需求。

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，起变换和分配电能的作用。根据在电力系统中的地位，变电站可分为以下四种类型：

（1）枢纽变电站。枢纽变电站是联系电力系统各部分的中枢，由大电网供电，电压等级较高，变压器容量大，进出线回路数多。其高压侧电压一般为 330 ~ 550kV。全站一旦停电，将引起整个系统解列，甚至使部分系统瘫痪。

（2）中间变电站。中间变电站将发电厂、枢纽变电站及负荷中心联系起来，处于电源与负荷的中间位置。主要用以交换潮流或使长距离输电线路分段，同时降低电压给所在区域供电。其高压侧电压一般为 220 ~ 330kV。全站一旦停电，将引起区域电力系统解列。

（3）地区变电站。地区变电站是一个地区或城市的主要变电站，高压侧电压一般为 110 ~ 220kV。全站一旦停电，将使该地区中断供电。

（4）终端变电站。终端变电站是电网的末端变电站，一般为降压变电站，由地区变电站供电。高压侧电压一般为 10 ~ 110kV。全站一旦停电，将使用户中断供电。

另外，仅用来接收和分配电能而不承担变换电压的场所称为配电所，多见于工业企业内部的供电系统。

5. 用电

通常把用户的用电设备所消耗的功率称为负荷。电力系统总的用电负荷就是系统中所有用电设备消



耗功率的总和。电力系统的用户包括工业、农业、交通运输等国民经济各个部门以及日常生活用电,而受电器的种类则有灯泡、电动机、电热器、整流器和电弧炉等,它们将电能分别转换为光能、机械能、热能等。

三、电力系统运行的特点和要求

1. 电力系统运行的特点

电能作为一种特殊的产品,其生产、变换、输送、分配及使用与其他工业不同。电力系统的运行与其他工业系统相比,具有如下明显的特点:

(1) 电能不能大量储存。发电厂在任意时刻所生产的电能必须等于在该时刻负荷所吸收的有功功率和电能传输过程中的功率损耗之和,这就决定了在电力系统中,电能的生产、输送和使用是同时进行的,即电能不能大量储存,这是电能生产的最大特点。这要求电力系统的生产、输送、消费各个部门或各环节同时工作,保持整个系统的连续性,任一个环节出现故障,都会影响整个系统。

(2) 过渡过程十分短暂。电能的传播速度很快,约为 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。因此电力系统正常运行时,任一设备运行状态的转换都是瞬间完成的。当电力系统出现异常情况时,其在电磁方面和机电方面的过渡过程也是十分短暂的。这就要求电力系统的自动控制和保护装置反应迅速和灵敏,以使其能自动而准确地完成各种调整和操作任务,保证电力系统安全可靠地运行。

(3) 电力和国民经济各部门间的关系密切。电力产业是国民经济的支柱产业,现代工业、农业、国防、交通运输业等都广泛使用电能,人们日常生活中也广泛使用各种电器。因此,电能供应的中断或不足,不仅直接影响各行业的生产,造成人们生活紊乱,在某些情况下,甚至会造成政治上的损失或极其严重的社会性灾难。这些特点的存在,对电力系统的运行提出了严格要求。

2. 电力系统运行的基本要求

(1) 保证系统安全可靠的运行。保证安全可靠的发电、供电和用电是对电力系统运行的基本要求,也是一项极为重要的任务。供电中断将导致生产停顿、生活混乱,甚至危及人身和设备安全,造成十分严重的后果。虽然保证可靠、不间断的供电是电力系统运行的首要任务,但并不是所有负荷都绝对不能停电,一般可按负荷对供电可靠性的要求将负荷分为三级,运行人员根据各种负荷的重要程度不同,区别对待。《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)将我国的电力负荷等级分为三级:

1) 符合下列情况之一时,应视为一级负荷:① 中断供电将造成人身伤害时;② 中断供电将在经济上造成重大损失时;③ 中断供电将影响重要用电单位的正常工作。

在一级负荷中,当中断供电将造成人员伤亡或重大设备损坏或发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,应视为一级负荷中特别重要的负荷。

2) 符合下列情况之一时,应视为二级负荷:① 中断供电将在经济上造成较大损失时;② 中断供电将影响较重要用电单位的正常工作。

3) 不属于一级和二级负荷者应为三级负荷。

对于一级负荷,至少要由两个独立电源供电,其中每一个电源的容量都应在另一个电源发生故障时仍能完全保证一级负荷的用电;对于二级负荷是否需要备用电源,要进行技术经济比较后才能确定;对于三级负荷,不需要备用电源。

(2) 保证良好的电能质量。任何商品都有其质量指标,电能作为商品,也有一定的质量指标,只有当送到用户的电能符合质量指标时,它才能发挥最佳的效益。电能质量是指通过公用电网供给用户端的交流电能的品质。

导致用户电力设备故障或误操作的电压、电流或频率的静态偏差和动态扰动统称为电能质量问题,其表现为:① 电压、频率有效值的变化;② 电压波动和闪变、电压暂降、短时中断和三相电压不平衡、谐波;③ 暂态和瞬态过电压以及这些参数变化的幅度。电能与其他产品有所不同,发、输、变、配和

用电是同时完成的，发、输、变、配电设备和用电设备是连接在一个系统的。因此，电能质量不但取决于发、输、变、配电环节，而且还取决于用电环节；电能质量不但取决于发、输、变、配电的勘测、设计、施工、运行环节，而且取决于用电的勘测、设计、施工、运行环节。如果说电能质量是一个环境，那么这个环境需要上述各方特别是电力部门和各个环节的协调配合，共同努力来创造。

电能质量历来是发、供、用电部门十分关注并且刻意提高的重要指标。我国现行电能质量的国家标准体系主要由以下几个标准构成：

- 1) 《电能质量 供电电压偏差》(GB/T 12325—2008)；
- 2) 《电能质量 电力系统频率偏差》(GB/T 15945—2008)；
- 3) 《电能质量 三相电压不平衡》(GB/T 15543—2008)；
- 4) 《电能质量 电压波动和闪变》(GB/T 12326—2008)；
- 5) 《电能质量 公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)；
- 6) 《电能质量 公用电网间谐波》(GB/T 24337—2009)；
- 7) 《电能质量监测设备通用要求》(GB/T 19862—2005)；
- 8) 《标准电压》(GB/T 156—2007)。

衡量电能质量的指标是电压偏差、频率偏差、谐波畸变率、电压波动和闪变及三相不平衡度等。电力系统的电压和频率是保证电能质量的两大基本指标，电压质量和频率质量一般以偏离额定值的大小来衡量。实际用电设备均按额定电压设计，若电压偏高或偏低都将影响用电设备运行的技术和经济指标，甚至令其不能正常工作。一般规定，电压偏移不应超过额定电压的 $\pm 5\%$ 。频率的变化同样影响用电设备的正常工作，以电动机为例，频率降低引起转速下降，频率升高则转速上升。规定电力系统，频率偏移不得超过 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$ 。

在我国，对波形质量的有关规定还有待继续完善。所谓保证波形质量，就是指限制系统中电流、电压的谐波，而其关键则在于限制各种换流装置、电热电炉等非线性负荷向系统注入的谐波电流。至于限制这类谐波电流的方法，则有更改换流装置的设计、装设滤波器、限制不符合要求的非线性负荷的接入等。

(3) 努力提高电力系统运行的经济性。电能所消耗的能源在国民经济能源的总消耗中所占比重很大，因此使电能在生产、输送和分配的过程中耗能小、效率高，最大限度地降低电能成本有着十分重要的意义。在这方面又有两个考核电力系统运行经济性的重要指标，即煤耗率和线损率。所谓煤耗率，是指每生产 1kWh 电能所消耗的标准煤重，以 g/kWh 为单位，而标准煤则是指含热量为 29.31MJ/kg 的煤。所谓线损率或网损率，是指电力网络中损耗的电能与向电力网络供应的电能的百分比。

提高电力系统运行的经济性，可从以下方面采取措施：

1) 在发电环节，要综合各类发电厂的运行特点，合理安排其发电顺序，实现电源的优化组合。例如，在丰水时期，应最大可能利用水力发电；充分利用自然界中的风能、太阳能等可再生能源；同时，使有功功率负荷在各发电设备之间的分配达到最优，从而使其在生产电能的过程中消耗的能源最少。

2) 在输送电能环节，要采取各种措施降低网络损耗，提高电能的传输效率。

3) 结合本地区的区域特点，积极致力于新能源的开发和利用，减少电能的生产和输送成本。例如，在大城市的周边建造垃圾发电厂，在农村积极推进生物质发电、沼气发电，以及在条件允许地区建设地热发电等。

(4) 防止环境污染。随着工业的发展，人类生存环境正在遭受破坏，环境保护已成为当前全球性战略课题。燃煤的火电厂占我国总发电装机容量的 70% ，如不采取措施，燃烧排到大气中的二氧化硫、氮氧化物以及飞灰都是严重的污染源。为此，除应在火电厂采用除尘器、脱硫塔之外，在规划建造火电厂时还应注意厂址的选择、烟囱的高度以及燃料的含硫量等。当前，我国正在提倡大力发展水电，但水

以上对电力系统的四项基本要求，要求在保证可靠性、电能质量的前提下力求经济和环保，同时也是电力系统运行的基本任务。



kW, 2008 年为 8000 万 kW 左右。特别是“十一五”期间增长更为迅速,截至 2010 年底,装机容量达到 9.66 亿 kW,五年增长了 84%,年发电量达到了 4.23 万亿 kWh,五年增长了 72%。发电装机容量与美国基本接近,发电量与美国基本持平。

2. 我国电力系统的发展和改革

(1) 我国电力系统的发展规模。我国在电力系统发展规模方面,大体可以分为四个阶段:① 20 世纪 50 年代为城市电网发展阶段;② 20 世纪 60 年代逐渐形成以省为单位的电力系统(即省网);③ 20 世纪 70~90 年代为区域电力系统(区域电网)发展阶段;④ 20 世纪 90 年代以后为区域电网之间的互联阶段并逐步形成全国统一电网。

(2) 电力体制的改革。我国电力体制改革大体上经历了四个历史发展阶段:一是 1985 年之前政企合一国家独家垄断经营阶段,这一时期的突出矛盾是体制性问题造成电力供应严重短缺。二是 1985~1997 年,为了解决电力供应严重短缺的问题,实行了发电市场的部分开放,以鼓励社会投资。这一时期的突出矛盾是存在着政企合一和垂直一体化垄断两大问题。三是 1997~2000 年,以解决政企合一问题作为改革的重点,成立了国家电力公司,同时将政府的行业管理职能移交到经济综合部门。这一时期的突出矛盾演变成垂直一体化垄断的问题。从这一改革的历史轨迹可以清晰地发现,改革的主线是市场化取向改革的逐步深化、政企关系的逐步确立,以及集中解决不同时期存在的突出矛盾。四是从 2002 年 4 月开始的电力体制改革阶段。

2002 年 4 月 12 日,国务院下发《电力体制改革方案》(简称 5 号文),被视为电力体制改革开端的标志。新方案的三个核心部分是:实施厂网分开,竞价上网;重组发电和电网企业;从纵横双向彻底拆分国家电力公司。“初步建立竞争、开放的区域电力市场”。为此,原国家电力公司按“厂网分开”原则组建了五大发电集团、两大电网公司和四大电力辅业集团。

2002 年 12 月 29 日,国家电力监管委员会等十二家涉及电力改革的相关企业和单位正式成立。此次同时挂牌的十二家电改单位,包括国家电力监管委员会、国家和南方两大电网公司、五大发电集团和四大辅业集团。五大发电集团为华能集团、华电集团、龙源集团、电力投资集团和大唐集团,四大辅业集团为水电规划设计院和电力规划设计院两个设计单位,以及葛洲坝集团和水利水电建设总公司两个施工单位。南方电网公司由广西、贵州、云南、海南和广东五省电网组合而成。国家电网公司下设华北(含山东)、东北(含内蒙古东部)、华东(含福建)、华中(含四川、重庆)和西北五个区域电网公司。

(3) 五大发电集团。新成立的五大发电集团资产占内地电力资产总额的 33.8%。国家有关部门对五大发电集团制订了较明确的资产重组方案:

1) 华能集团将增加部分水电资产和西部地区发电资产,可控容量将达到 3627 万 kW,权益容量 1938 万 kW。

2) 中电投集团将拥有原国家电力公司在香港注册的中国电力国际有限公司的资产,可控容量将达 2889 万 kW,权益容量为 2196 万 kW。

3) 大唐电力拥有北京大唐发电股份有限公司,可控容量 3225 万 kW,权益容量 2035 万 kW。

4) 华电集团拥有山东国际电源开发股份有限公司,可控容量 3109 万 kW,权益容量 2092 万 kW。

5) 龙源集团拥有国电电力发展股份有限公司,可控容量 3043 万 kW,权益容量 2035 万 kW。

(4) 辅业集团公司。对于重组中设立的辅业集团公司(包括区域公司、省公司设立的辅业集团公司),划拨的参股发电资产权益容量 920.01 万 kW,用于支持主辅业分离改革;为南方电网公司预留用于保留或转让的发电资产可控容量 276 万 kW(权益容量 219 万 kW);国家电网公司保留并转让的发电资产 870 万 kW。

(5) 其他发电公司。在五大发电集团之外,隶属于国家发改委的国华电力、隶属于国家开发投资公司的国投电力以及长江电力,这些公司将组成仅次于五大发电集团的第二梯队。国华电力、国投电力

(6) 地方发电公司。地方性的发电企业在新市场格局中存在较大的不确定性。除了一些已经有较大规模的地方性发电集团，如粤电资产管理公司、内蒙古电力集团、深圳能源集团等，或者一些地方发电企业组织起来形成的发电集团，其他的小规模发电企业在新格局中将很难找到自己的位置。

二、我国电力建设现状

1. 发电装机结构

2. 发电量构成

2011 年度 6000kW 及以上发电厂发电设备平均利用小时为 4731h, 比 2010 年增加 81h。其中, 水电设备平均利用小时 3028h, 比 2010 年降低 376h, 是近 20 年来的最低水平; 火电设备平均利用小时 5294h, 是 2008 年以来的最高水平, 比 2010 年提高 264h; 核电 7772h, 比 2010 年降低 69h; 风电 1903h, 比 2010 年降低 144h。

3. 电网建设情况

根据国家电力公司提出的“西电东送、南北互联、全国联网”的方针，我国的两大电网公司（国家电网公司和南方电网公司）通过 5 年的建设，基本完成了以华中电网为中心的大区域电网的全国性互联。由于直流输电在远距离大容量输电、电网互联等方面的巨大优势，我国大区域电网的全国互联大多采用直流输电工程。早在 1989 年，随着 $\pm 500\text{kV}$ 葛洲坝—上海直流输电线路的投运，我国第一次完成了大区域电网——华中电网和华东电网的互联；2004 年， $\pm 500\text{kV}$ 三峡—广东直流输电工程投运，实现了华中电网和南方电网的互联；2005 年， 500kV 华中电网和 330kV 西北电网通过灵宝背靠背直流系统