

电力工程建设技术经济丛书

高压送电线路

中国电力企业联合会 编
电力建设技术经济咨询中心

图书馆



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力工程建设技术经济丛书

高压送电线路

中国电力企业联合会 编
电力建设技术经济咨询中心



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分 11 章。前六章为专业知识，其内容是电力系统及电力网概述、架空线路的主要构件及作用、送电线路设计、电缆输电、直流输电和送电线路施工等；第七章及以后的五章，集中讲述送电线路工程建设预算项目划分、预算编制及有关事项。

本书是集知识、工具资料、技术经济规定等内容为一体的电力工程建设技术经济专业丛书，也可供其他建设、设计和施工单位技术经济人员和大专院校工程经济专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高压送电线路/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, 2002

(电力工程建设技术经济丛书)

ISBN 7-5083-1239-2

I. 高... II. ①中...②电... III. 高电压-输电线路 IV. TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 073736 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 1 月第一版 2006 年 3 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 404 千字

印数 14001—17000 册 定价 45.50 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)

随着我国电力建设事业的快速发展，与电力建设事业紧密相关的电力建设工程造价管理和工程计价依据的改革也在不断深化并取得了优异成绩，这些成绩的取得与广大电力建设技术经济工作者的努力是分不开的。

21 世纪，科学技术飞速发展，新技术、新工艺、新设备、新材料不断涌现，300MW、600MW 火电机组已成为我国电力生产的主力机组，330kV、500kV、 ± 500 kV 高压输电线路已成为我国电网的主网架，750kV 输电线路也即将开始建设。随着我国加入 WTO，电力行业的投资体制、企业经营机制等方面的改革将会继续深化，并逐步与国际接轨。与此相适应，必然对从事电力建设工程的广大技术经济工作者在经济、技术和法律法规方面提出更高的要求。为了适应形势，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这套电力工程建设技术经济丛书，作为广大电力工程建设技术经济工作者继续教育、充实提高的学习资料和新上岗人员的培训教材。这套丛书的编写标志着电力建设技术经济队伍建设向着系统化、规范化方向迈出了可喜的一步。

“十五”计划纲要报告中要求：“实施人才战略，培养和造就掌握先进科学技术和知识、创新能力强、适应经济和社会发展需要的各类专业人才队伍和企业经营管理者队伍。”市场竞争的本质是人才竞争，要抓好控制和合理计定工程造价，一个十分重要的问题就在于继续加强技术经济队伍的建设，提高整体素质。电力建设技术经济队伍承担着电力建设工程造价的计定、管理和控制等多方面的任务，多年来，对建设项目投资效益的提高，保证市场的有序、规范，提高企业经济效益等方面发挥了重要的作用，作出了很大贡献。今后，还要更加努力，把电力建设技术经济工作做得更好。

与时俱进，学习、学习、再学习，是摆在广大电力建设技术经济工作者面前的新任务。这套丛书内容新颖、系统、实用、权威，便于电力建设技术经济人员全面学习，便于掌握施工、机械、材料、设备等工程技术问题和定额、技术经济原理方面的知识，是一套极具实用价值的丛书；丛书中同时包括了与技术经济工作相关的经济、财会、项目管理、合同管理和专业定额、概预算实例等诸多内容，亦可作为电力建设技术经济工作者的工具书。

这套丛书的出版必将促进我国电力工程建设经济专业的发展和进步，并为我国电力工业的发展做出贡献！

张宏

2002 年 9 月

为适应社会主义市场经济体制和电力建设工程项目实行全过程工程造价管理的需要,满足电力建设工程经济专业发展的要求,加强电力工程建设技术经济人员行业管理,不断提高电力工程建设技术经济专业队伍人员整体素质,逐步将电力建设概预算人员资格认证工作与全国建设行业造价工程师考试和注册工作相结合,电力建设技术经济咨询中心在全国范围内组织技术经济专家、学者编写了《电力工程建设技术经济专业丛书》。丛书全套共分五册:《工程造价综合知识》、《机务》、《电气及热工控制》、《建筑》、《高压送电线路》。

本套丛书从1999年4月开始启动,历时2年半,经过多次审查,几易其稿。在编写中力求更好地吸取以往类似教材的优点,针对当前技术经济人员技术、施工基础较弱的现状,加大了技术部分的比重,力求符合当前电力建设实际工艺、设备、施工情况。本丛书选材广泛,案例联系实际并具有代表性,较充分地反映和符合当前的政策、法规和文件规定,是为从事电力工程经济管理工作的在职人员知识更新、继续教育而编写的,也可供从事电力工程建设的各级领导人员、工程技术人员和大专院校相关专业师生作学习参考,同时,亦将作为电力工程建设概预算人员考试认证的培训教材。

本丛书编写过程中得到了中电联、国家电力公司电源部、国家电力公司电网部领导的大力支持,得到了华北电力大学、西北电力设计院、华北电力设计院、北京恒信诚达工程造价咨询事务所有限责任公司、电力规划设计总院及部分网省电力公司、设计院、施工单位的大力支持,在此表示衷心感谢!向提供素材并参与审查的所有人员表示感谢!

本丛书尽管各方面给予了大量关注,编写组亦十分认真努力,但由于编写组理论和实践上都可能存在不足和不当之处,诚恳希望广大读者提出宝贵意见,并请各方面的专家予以指正。

中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心

中国电力企业联合会电力建设定额站

国家电力公司电力建设定额站

2002年8月

本书为《电力工程建设技术经济丛书》之一。全书共分 11 章，另加附录。前六章为专业知识，其内容是电力系统及电力网概述、架空线路的主要构件及作用、送电线路设计、电缆输电、直流输电和送电线路施工等；第七章及以后的五章，集中讲述送电线路工程建设预算项目划分、预算编制及有关事项。

本书融知识性、资料性为一体，并将有关技术经济规定等内容贯穿在书中。本书是电力工程建设技术经济专业人员的培训教材，也可供其他建设、设计和施工单位技术经济人员和大专院校工程经济专业师生参考。

本书由刘羌同志撰写。其中第四章经蔡生泉，第七、八、九、十、十一章经张千驹、林静撰改补充。各章校审由以下同志负责：第一章，郭文典；第二章，胡其秀、刘万才；第三章，朱继贤；第四、五、六章，刘万才；第七、八、九、十、十一章及附录，沈吉洋。

本书在编写过程中，得到西北电力设计院：罗命达、黄耀亮、杨林、施柳武、刘卓平、冯沂等同志；兄弟单位：黄惠芳、张孝宇、程子秋、吕涛、金耀谦、叶锦树、黄永兴、韩寂等同志的大力帮助，提供资料、图片和指导；张平朗同志在繁忙中撰写宝贵文稿等等，在书稿落成出版之际，谨致崇高的敬意，由衷的感谢！

由于编者受学识水平限制，书中难免存在错误和缺点，敬请读者批评指正，以便进一步修改。

编者

2002 年 8 月于西安

序一

序二

前言

◆第一章 电力系统及电力网概述	①
第一节 电力系统构成	1
第二节 电力系统的技术特点与运行方式	4
第三节 电力网接线和系统要求	7
第四节 输配电的种类与作用	11
复习思考题	15
◆第二章 架空线路主要构件及作用	⑩
第一节 导线	16
第二节 架空地线和拉线	25
第三节 绝缘子	31
第四节 架空送电线路金具	37
第五节 杆塔	44
第六节 基础	50
第七节 接地装置	55
复习思考题	60
◆第三章 架空送电线路设计	⑪
第一节 安全距离和路径选择	61
第二节 设计文件及名词术语	70
第三节 送电线路大跨越	75
复习思考题	77
◆第四章 架空送电线路施工	⑫
第一节 工程建设施工程序	78
第二节 架空送电线路施工安装工序	83
第三节 工程施工计划进度网络及其他	125

复习思考题	129
◆第五章 电缆输电	●
第一节 电缆输电线路	130
第二节 电缆附件	135
第三节 路径选择与电缆选型	140
第四节 电缆敷设	142
复习思考题	152
◆第六章 直流输电基础	●
第一节 直流输电的发展及应用	153
第二节 系统构成与机理	155
第三节 直流输电线路	163
第四节 直流输电与交流输电的比较	168
复习思考题	171
◆第七章 工程建设预算编制依据与项目划分	●
第一节 建设预算编制依据	172
第二节 项目划分与费用构成	173
第三节 建设预算编制工具资料的使用调整	174
复习思考题	177
◆第八章 送电线路工程概预算编制基础工作	●
第一节 编制前准备	178
第二节 送电线路外业现场识别	185
第三节 运输方案和平均运距的确定	192
第四节 地形的划分和计算	194
复习思考题	197
◆第九章 送电线路工程计量	●
第一节 工地运输	198
第二节 土石方工程	200
第三节 基础工程	206
第四节 杆塔工程	210
第五节 架线及附件安装工程	212
第六节 电缆工程	215
复习思考题	220

◆第十章 工程概预算编制	●
第一节 送电线路本体工程投资的编制	221
第二节 辅助设施工程	229
第三节 其他费用	231
第四节 线路特殊区段(大跨越)预概算编制中的问题	235
第五节 总表编制和概预算书	238
复习思考题	243
◆第十一章 概预算书编制程序及事项	●
第一节 编制的基本要点和编制程序	245
第二节 控制电力工程造价与概预算编制	248
第三节 技经工作中的完善提高	251
复习思考题	252
附录: 附录 I 送电工程概预算案例	253
附录 II 参考资料和零星表格实例	265
主要参考文献	275



电力工程建设技术经济丛书

第一章 电力系统及电力网概述

第一节 电力系统构成

一、动力系统和电力系统的概念

谈及电力系统,首先得从动力系统谈起,因为电力系统是动力系统的一部分。由发电厂、变电所及用户的用电用热设备,其互相间以电力网及热力网连接起来的总体,叫做动力系统。而动力系统中的一部分,即由各类发电机、升压及降压变电所、电力网及用户的用电设备所组成的部分称为电力系统。换言之,电力系统与动力系统的区别,在于前者不包括热力或水力等动力部分,即不包括有关原动机和供给原动机力能的部分以及供热和用热设备。

由发电厂、变电所、输电线路和用电负荷设施,即组成为实现电力生产与消费平衡的最简单的电力系统。但简单的电力系统满足不了经济、可靠与运行灵活等要求。随着电力工业的发展,简单的或孤立的地区电力系统将发展为区域性电力系统,并进一步发展为跨区域的互联电力系统。当前,火电厂的单机容量已从几万千瓦、几十万千瓦发展到上百万千瓦,蒸汽初压也从高压、超高压、亚临界发展到超临界。交流输电电压已从几十千伏、几百千伏发展到1000kV以上。我国单机容量为300~600MW的机组已成为电力系统中的主力发电机组。区域性电力系统主网电压已达500kV。东北、华北、华东和华中电力系统装机容量均已超过30000MW。华中和华东两大区域电力系统已通过 ± 500 kV直流输电线路连接成交直流混合的容量逾50000MW的大型互联电力系统。总装机容量达18200MW的三峡水电枢纽工程建设,于2003年6月1日下闸蓄水,8月首批机组并网发电,把华中、华东和西南等几个大区域电力系统连接成总容量超过亿千瓦的互联电力系统。电力工业到20世纪,全国装机规模超过3亿kW,我国第一条750kV电压等级的线路,将在第十个五年计划的末期,出现在西北地区。

现代电力系统应是一个由电能的生产、输送与分配、消费、控制四个子系统构成的不可分割的大系统。电能的生产子系统即电源系统,是由各类发电厂构成的。电能的输送与分配子系统,即是各级电压输电、变电与配电构成的电力网。电能的消费子系统,是由和发电容量相适应的各种特性的用电负荷组成的。而控制子系统则是和电源、电力网、用电负荷各子系统有机相连发挥作用。典型的电力系统结构示意图如图



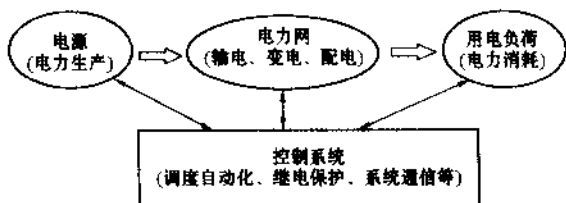


图 1-1 现代电力系统典型结构示意图

电力负荷的中间纽带。广义的电力网，不仅包括了组成电力网的线路，并且也包括了变电所和所有的电气装置，例如开关设备以及为了操作开关及调整电压等项的相当的器具和计量仪表。

为了保证电力系统的经济、可靠与灵活运行，现代电力系统必须具备保证系统正常运行和处理异常和事故状态的先进控制手段，这包括电力系统的调度自动化、继电保护和安全稳定控制、电力专用通信网及各电力设备的运行监控系统等。这个控制系统也称电力系统的二次系统或神经系统，是电力系统不可分割的有机组成部分。

二、电力系统的接线图及系统的主要元件

图 1-2 表示一个大型电力系统，包括巨型水力发电厂、大型火电厂、核能电厂以及地区水电站和地方热电厂，计五个类型的电厂，彼此用电力网互相联系起来向用户供电。电力网电压的等级有 500, 330, 220, 110, 35, 10~6kV 等的不同电压。这里有变电所、换流站，交、直流输电系统。

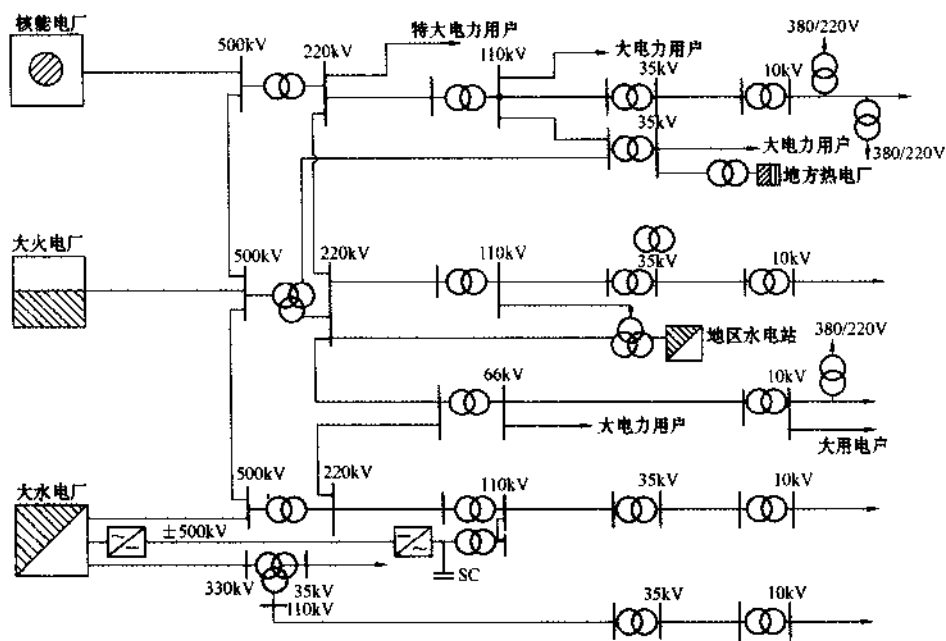


图 1-2 电力系统接线示意图

1-1 所示。

从图 1-1 可见，电能是由电源送入电力网，再由电力网送到各级用电负荷的。也就是说，电力网是电力系统的一部分，是依照电压来区分的。它包括变电所和各种不同电压等级的线路。电力网是电能从电源输送到电

由该图中可以看出，除控制系统外，电力系统是由以下两类元件组成：

第一类是输送元件，其作用是输送电能。如架空线路及电缆线路，断路器，隔离开关，发电厂和变电所、换流站的母线等。

第二类是交换元件，通过这些元件，将一种形态的能量变换为另外一种形态的能量。如发电机、变压器、电动机、照明及家用电器、整流器和变频机等。

各个元件，具有其“本身参数”，如变压器的阻抗和导纳；还有“运行参数”，如变压器一次侧和二次侧的电流、电压和功率。已知系统中各个元件的参数后，则元件的特性也随之而决定。在给定的条件下，根据各个元件的特性，可以分析整个电力系统运行的特性。

三、电力系统的控制系统

现代电力系统的控制系统主要包括调度自动化、继电保护与安全自动装置及系统通信等部分。它是电力系统不可分割的组成部分，不仅贯穿于电力系统正常、异常、紧急及恢复等运行状态的各个过程，也直接或间接与系统中每一电力设备相联系，是保证现代电力系统安全优质、经济运行的技术手段。

完整的电力调度自动化系统包括能量管理系统（Energy Management System, EMS）及配电网管理系统（Distribution Management System, DMS）两大部分，根据各个电力网的具体情况不同，可以具有不同规格、不同规模和功能。其中对 EMS 最基本的要求是，实现监控与数据采集（Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA），此外还必须具备自动发电控制（Automatic Generation Control, AGC）、经济调度（Economic Dispatch Control, EDC）和安全分析等功能，以实现电力生产管理的高度自动化。

继电保护是电力系统中每一电力设备不可缺少的保护控制装置，当电力系统或电力设备发生故障或出现影响安全运行的异常情况时，用以及时准确地切除故障和不安全因素。对继电保护的基本要求，可概括为可靠性、速动性、选择性和灵敏性等方面，它们是紧密联系，既矛盾又统一的，必须在保证电力网安全的基础上协调处理。

电力网的安全自动稳定控制系统以整个电力系统为保护对象，目的在于防止发生系统性事故，特别是发生大面积恶性停电事故。所采取的措施有：在送端系统，快速控制汽轮机进汽阀门（即快关），电气制动，切机与强励等；在电力网上，快速切除故障及自动重合闸，直流输电线路快速功率调节；在受端系统，采用减负荷及解列装置等。随着电力系统规模的扩大，使得分散式安全自动装置配置难以满足系统安全性要求，区域性或全网性安全稳定控制系统已在系统中得到应用。

继电保护与安全自动稳定控制系统的正确动作，能保证电力设备及电力系统的安全，但一次错误动作或拒绝动作，往往成为扩大事故或酿成大停电事故的根源，这是对继电保护与安全自动稳定控制的技术要求及对设备质量要求特别严格的原因。

电力系统通信是以电力线载波、微波、光纤、卫星等各种通信手段构成的专用通信网，为电力调度、生产、基建、继电保护及安全自动稳定控制以及各种信息的传输服务，也是确保电力系统安全经济运行不可缺少的控制手段。



第二节 电力系统的技术特点与运行方式

一、电力系统的技术特点

电能的生产与其他工业部门的生产是不相同的。因此，电力工业在技术上也就有某些与其他工业不相同的特点。

(1) 电能是不能储藏的。电能生产不容间断。电力系统中发电厂发电量的多少，决定于用户的需要，发电和用电是平衡的。电能的生产、分配和消费是在同一个时间内进行的。这一过程的同时性，就使电力系统中各个元件和各个环节形成了一个有机的整体。任何一个元件或某一环节发生问题，都会对整体，即电力系统产生影响。

(2) 电力系统的电磁过渡过程非常迅速。如短路及发电机运行稳定性的丧失过程等都是十分之几秒内或几秒内完成的。为防止危害，需要非常灵敏和迅速的操作与调整，自动化程度要求高。促使了电力系统中自动装置的广泛采用。

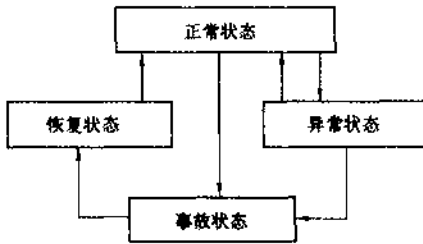


图 1-3 电力系统四种运行状态

(3) 电能生产影响面广，且电力工业和国民经济各部门间有着极其密切的联系。电能的不足或停止供应，将直接影响各个部门的发展或使生产停顿，并将影响人民生活。“先行”的电力工业，其电力系统中发电机设备容量，总是比电力系统实际需要的容量大一些，以确保供电的可靠和随时满足电能需求增长的要求。

二、电力系统运行状态

电力系统的运行状态，一般分为正常运行状态、异常运行状态、事故运行状态和恢复运行状态四种情况。电力系统四种运行状态及其转化态势，如图 1-3 所示。

(1) 正常运行状态。在这种方式下，应保证各个用户的用电需要和电能质量，电力供需平衡，并且满足系统经济运行的要求。由于负荷常有规律的变化，以及计划检修机组或线路时，需要经常改变系统的运行方式以适应新的情况。但这种改变是按计划进行的。

(2) 异常运行状态，亦称应警戒状态。这时系统受扰动后，仍维持稳定运行，但运行参数偏离正常值。例如，一些设备过负荷，系统频率或某些地区电压异常等。如果及时进行恰当处理，使运行参数恢复正常，可以直接恢复到正常运行状态。

(3) 事故运行状态。当电力系统遭受大的扰动或出现异常状态后处理不当，均可能酿成事故。在事故状态下，电力供需失去平衡，运行参数严重越限，如不及时采取有效的控制措施，可能使系统失去稳定，发生系统崩溃。如发生短路或系统某设备故障，此时系统各元件处在一种不正常的运行状态中，各元件运行参数和正常允许规定值相差很大，将会损坏设备或事故范围更加扩大。事故运行情况所造成的后果，与此过程的久暂有关。事故运行，应尽快加以清除。

(4) 恢复运行状态。故障已经切除，如果此时运行参数，并不超过容许的范围而且具



有足够的可靠度，则此事故后的运行情况具有良好的结局。频率、电压恢复正常，但电网可能处于解列运行状态，用户尚未全部恢复用电，需要尽快使系统恢复到正常运行方式。

三、电力系统的自动化

系统全部和局部运行情况的研究，特别是系统最佳运行方式的确定，是极其重要的问题。由于电力系统是一个有机的整体，系统中任何一个主要元件运行情况的改变，均将影响整个电力系统，因此在电力系统中设有统一的调度指挥机构，通过电力系统通信和电力系统自动化，实现系统调度和有效指挥。

电力系统调度管理的任务是指挥和协调电力系统内发电、输电、变电、配电、用电设备的运行、操作和事故处理，保证安全经济发、供电，向用户供应符合质量标准的电能。为此，各级电力调度中心的调度员需要监视辖区各发电厂、变电所的设备运行状态，抄录、记录和运算各种运行数据，进行分析、判断决策和控制。这种复杂而繁重的运行管理任务，就依托电力自动化系统，这一现代化技术装备。

电力调度自动化系统是电力系统中控制系统的组成部分，是电力调度中心进行调度管理，完成各项调度任务的一种技术手段。它是在应用微电子技术和计算机技术的基础上，按调度管辖范围，收集各种运行信息，掌握实时工况，进行安全监控，调整发电出力，协助调度员管理和指挥电力系统生产运行工作。

计算机系统、运动系统和人机联系系统是调度自动化系统的主要组成部分，其体系结构可归纳为集中式和分布式两类。前者在 20 世纪 80 年代得到很大发展，但是随着电网规模不断扩大，功能要求日益增加，这种结构日益暴露出许多弊端，很难满足电力系统发展的需要。随着计算机技术和网络技术的发展，以及网络和接口的标准化，以局域网和工程工作站为基础构成的分布式体系结构具有配置灵活、扩充升级方便、系统使用寿命长和投资效益可以得到充分发挥等优点。因此，调度自动化系统的发展方向是采用分布式体系结构。

(一) 调度管理系统

电力调度系统实质上是一个统一调度、分级管理、分层控制的系统。凡对电力系统运行有全局性影响，需要广泛协调的任务，应由较高的层次负责。局部性的运行管理和直接操作的任务主要由基层进行。调度管理体制和层次根据电力发展历史形成的电力系统结构、运行特点和行政管理体制而定。一般可分为统一调度与联合调度；统一调度是对全电力系统的负荷平衡、电力生产分配和安全经济运行等实行统一的调度管理，中小型电力系统一般采用这种方式；联合调度是通过有关各方之间的协议、约定和信息交换，达到运行上的协调一致，实现电力系统的安全经济运行，弱联系的大电力系统一般采用这种方式。而那些由于网络结构紧密和能源分布特点而需要对安全经济运行进行广泛协调的大电力系统，则以实行统一调度为基础的分层调度为宜。调度自动化系统必须与电力系统的调度管理系统相适应（见图 1-4）。

(二) 调度自动化系统的任务和功能

各级调度可根据所管辖电力系统的不同情况和不同调度任务，采用不同规模、不同功



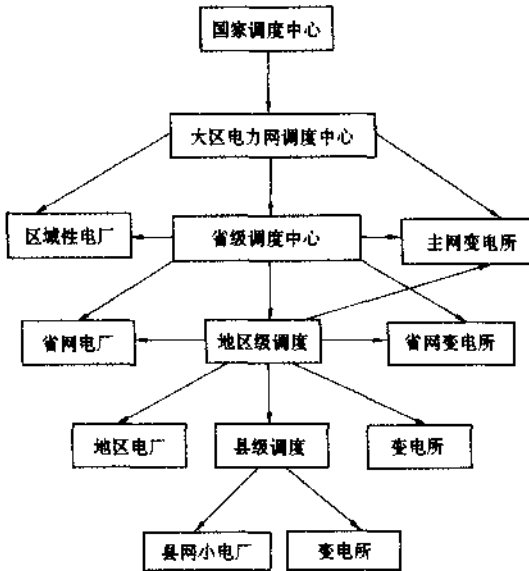


图 1-4 电力系统调度管理系统示意图

能的调度自动化系统。调度自动化是一种系统工程，按其层次可以归纳为能量管理系统（EMS）与配电管理系统（DMS）两大类。前者是发电、输电过程的综合自动化系统，主要包括数据采集与监控，发电计划与控制 and 网络分析与对策三个部分，主要应用于高层调度，如大区电力网调度和省级调度。后者是变电、配电、用电过程的综合自动化系统，主要包括数据采集与监控，负荷管理与控制和网络分析与对策三个部分，主要应用于基层调度，如地区调度和县级调度。EMS/DMS 应采取自上而下总体设计，分步开发实施的原则。

1. EMS 主要功能

EMS 主要功能分三级：数据级、发电级和网络级。

(1) 数据级是数据采集与监控（SCADA），是 EMS 的基本功能和基础。一般包括数据的采集、处理与存储，监视控制，越限报警，事件顺序记录，事故追忆，打印制表，通道质量监测等。

(2) 发电级包括发电控制和经济调度（AGC + EDC），主要解决发电的质量和经济学问题。具体功能有发电控制、系统负荷预报、发电计划、机组组合计划、水电计划、交换计划、燃料计划、检修计划和水库调度计划等。

(3) 网络级包括实时型和研究型两类应用，主要解决安全运行问题。实时型的网络应用有实时网络状态分析、实时安全约束调度和实时故障分析等。研究型的网络应用有母线负荷预报、调度员潮流、安全约束调度、故障分析、最优潮流、在线短路计算、在线稳定分析和调度员培训模拟等。

2. DMS 主要功能

DMS 主要功能有信息管理、安全性管理、经济性管理、电压管理和负荷管理等。

(1) 信息管理的内容与 EMS 的数据级基本相同，是 DMS 的基本功能。

(2) 安全性管理包括故障分析、故障隔离和恢复供电等。

(3) 经济性管理主要为通过改变接线等手段，使功率在网络和设备上均衡分布，以降低网损。

(4) 电压管理包括通过改变接线、调整补偿设备和变压器分接头等以保证电压质量。

(5) 负荷管理包括分时用电计费，用于错峰填谷、事故处理中限制负荷和恢复供电过程中降低冲击电流等。



第三节 电力网接线和系统要求

一、电力网的接线方式

电力系统的接线方式，在很大的程度上，决定了电力系统运行的可靠程度和运行的经济性。因此，它是系统设计的重要课题之一。

任何形式电力网的接线，均应尽量满足下述几个基本要求：

(1) 供电可靠：当电力网中某一部分发生故障时，自动化可靠性管理系统发挥作用，隔离故障区段和保证其他部分持续运行。对于不容许间断供电的重要用户，给以备用电源。根据各用户的级别和需要，配置优先级的设定与调整。

(2) 运行灵活：所谓运行的灵活性，是指电力系统的接线方式必须能适应于各种运行情况，能保证进行各种元件的检查和修理。

(3) 运行经济：即接线图在满足上述两个条件的前提下，应该保证最低的运行费用。

(4) 操作安全。

(5) 发展方便。

为了满足上述要求，在不同的情况下，应该采取不同的接线方式。影响接线方式的因素，是用户的大小、用户的相互地理位置和用户对供电的要求。

电力网结构形式是多种多样的，但归纳起来，基本可以分为下列四种形式：辐射形、干线形、链串形、环形（见图 1-5）。

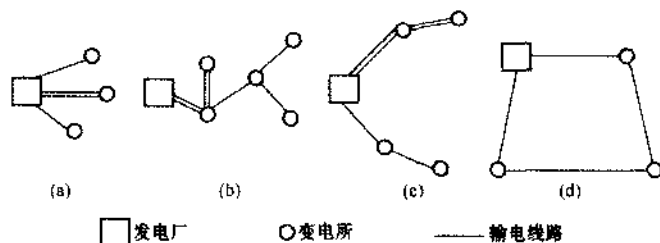


图 1-5 电力网结构的基本形式图

(a) 辐射形；(b) 干线形；(c) 链串形；(d) 环形

各种电力网，可能是上面四种形式中的一种形式，也可能是由这四种基本网络形式混合构成的。各种形式的网络，可以由一回线组成，也可能是由多回线组成，究竟应该采用几回线，主要决定于用户负荷大小及对供电可靠性的要求。

二、对电力系统的运行和电力网建设的基本要求

电力系统的运行情况，以及电力网的建设，必须满足对国民经济发展具有重大意义的事业所决定的一系列的基本要求。这些要求归纳为以下三点进一步说明。

(一) 保证供电可靠性

在任何情况下，都要尽可能地保证电力系统运行的可靠。停电对国民经济所造成的损失，决不能仅以少发电能的价值来衡量。一般来说，提高电力系统的可靠性，应从规划、

设计到运行各方面着手，主要包括：

(1) 保证一定的备用容量。

(2) 提高电网可靠性。必须正确的选择、安装和维护系统的各个元件，保证设备元件的安全可靠。电网结构力求简化，并保证一定的灵活性。

根据对供电的可靠性要求。将电力用户分为三级：对一级负荷，应由两个独立的电源供电，其中一个电源的容量在另一个电源发生故障时，仍能完全保证一级负荷之用电；对二级负荷，是否装设备用容量，要看该用户在国民经济中的地位，经过经济技术比较，再作决定；对于三级负荷，一般可以不用备用电源。

(3) 提高系统运行稳定性。在电网受到不同程度的扰动时，一般不应引起稳定性的破坏，造成系统解列或大面积停电，所以电网应具有抗干扰能力。电网结构的合理性应与保证运行稳定的技术措施协调配合，使电网的建设和发展在技术经济上更为合理。

(二) 保证合格的电能质量

衡量电能质量的指标是电压、频率和谐波。而以电压和频率更为重要。电力系统中的频率和各点的电压应保持在一定的允许变动范围内。电压过高或过低都将对用电设备产生不良影响，轻则影响其正常运行，重则烧坏设备。因为各种用电设备都是按额定电压进行设计和制造的，这些设备在额定电压下运行，能取得最佳效果。对于电力系统，在正常运行和规定的事件（如突然失去一台发电机）后，使电压保持在一定的运行水平上，是保持电力系统运行稳定的基本条件之一。一般而言，系统各点最高允许电压，受电力设备绝缘水平和变压器饱和等限制；系统各点最低允许电压，决定于电力系统稳定运行需要和调压要求以及厂用电要求的制约。国外大多数电力系统允许的电压波动范围都在额定值的 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 范围。我国对各级电压偏差允许值的规定见表 1-1。为把电力系统中具有冲击性功率的负荷对供电电压质量影响控制在合理的范围内，电力系统对电压允许波动和闪变也做出一定的规定。

表 1-1 我国电压偏差允许值

允许偏差值	线路额定电压 U_e	电压允许偏差值
用户受电端电压	35kV 及以上	$\pm 10\% U_e$
	10kV 及以下三相供电电压	$\pm 7\% U_e$
	220V 单相供电电压特殊用户	$(-10\% \sim +5\%) U_e$ 按供用电合同商定值确定
发电厂和变电所的母 线电压	500 (330) kV 母线正常运行时	最高值不大于 $+10\% U_e$ ，最低值不影响 电力系统同步稳定、电压稳定、正常用电 及下一级电压调节
	500 (330) kV 母线向线路充电	在暂态过程衰减后，线路末端电压不 大于 $1.15 U_e$ ，持续时间不大于 20min
	500kV 变电所的 220kV 母线	正常 $0 \sim +10\%$ 事故 $-5\% \sim +10\%$
	220kV 变电所的 35 ~ 110kV 母线	正常 $-3\% \sim +10\%$ 事故 $+10\%$

