

Electric Power Technology

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



GONGYONGDIAN SHEBEI
YU XITONG

供用电设备 与系统

羊本勇 主 编
胡永红 副主编



中国电力出版社

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

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



GONGYONGDIAN SHEBEI
YU XITONG

供用电设备 与系统

主 编 羊本勇
副主编 胡永红
编 写 李凌舟 王晓玲
主 审 苏庆民 刘增良



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

全书共十一章，主要内容包括电力系统的基本知识、电力系统中性点运行方式、用电设备、开关设备、互感器、导体和绝缘子、电气主接线、配电装置、供用电网络分析计算、电气设备选择、供用电网络的电压调整。书后附有相关电气设备的技术参数及特性，每章末均附有小结、学习指导和习题。本书贯彻了构建新型职业教育课程体系的要求，结合职业能力培养的需求和学生实际，依据人们的认知规律，对本课程涉及的知识和技能进行了重新编排，力求做到基本概念准确、逻辑关系清晰、分析计算简洁、能力培养具体，在阐述成熟的专业理论的同时，注重介绍新技术、新设备、新材料、新工艺在电力系统中的应用。

本书可作为高职高专供用电技术、输配电技术、电力市场营销等相关专业的教材，也可作为成人教育的辅导教材，还可作为相关工程技术人员的培训和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电设备与系统/羊本勇主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5083-5948-9

I. 供... II. 羊... III. ①供电-电气设备-高等学校-教材②供电-电力系统-高等学校-教材IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 112396 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

*

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 482 千字
印数 0001—3000 册 定价 29.60 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

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

《供用电设备与系统》是供用电技术专业的主干专业课。主要讲授电力系统基础知识,常见用电设备及其用电特点,开关电器等主要一次设备的类型、结构及工作原理,电气主接线、配电装置及电气运行的基本知识,电力系统短路及潮流计算的基本知识,电力系统调整与维护的基本知识等。

本教材是根据教育部和中国电力教育协会有关文件精神,结合近几年高职高专教育教学改革研究成果和教学实际编写的,努力体现高等职业技术教育的特点,贯彻电力高等职业教育教学改革的思想,突出教材的针对性、实用性、科学性。根据职业能力培养目标确定了本教材的理论体系,以最新的国家或行业标准、规程、规范为依据,结合了编者多年的教学经验和教改课题研究成果,并参考了大量相关专业书籍、相关教材,努力做到基本概念准确逻辑关系清晰、分析计算简洁、能力培养具体,在阐述成熟的专业理论的同时,注重介绍新技术、新设备、新材料、新工艺在电力系统中的应用。

本教材变革了传统教材先学抽象的理论知识、再学习基本应用到复杂应用的体系,而是从“任务”开始,追述所需的设备、系统及其技术理论支撑。因此,在知识构架、安排上,先从实际生活中、厂矿企业、电力系统的供用电设备的应用开始,然后介绍设备的配置,再介绍应用、配置设备必备的基本电气知识,最后说明如何选用设备,充分体现了“以就业为导向、以能力培养为目标”的职业教育理想。

教材体例新颖,章前有明确的知识目标和能力目标,使读者对学习要求一目了然,书后有学习指导,便于把握学习重点和难点,在学习方法的选择上做到心中有数。章后有小结和习题,利于培养读者自学能力,提高解决问题的能力。

教材涉及的内容广泛,深入浅出,实践性较强,在教学过程中,如有条件,应尽量采用现场情景教学模式,或实施一体化教学,对不具备条件的,也应尽量利用实物或模型进行教学,以期达到良好的教学和学习效果。

教材体现了国家创建节约型社会的思想。

教材参考学时 140~160 学时,各校可根据不同专业教学需要适当增减。带※的内容作为选学选讲内容。

全书共分十一章,其中第二、五、六、七、九章由羊本勇编写,第四章由胡永红编写,第三、八、十章由王晓玲编写,第一、十一章由李凌舟编写。全书由羊本勇统稿。

本书聘请苏庆民主审,在审阅过程中提出了很多宝贵意见,谨在此表示衷心感谢。本教材在编写过程中得到众多同行和企业专家的帮助、指导,安徽铜陵学院刘增良教授对本课程

大纲给予了充分的指导，在此一并致谢。

由于编者知识水平、教学水平和专业实践经验有限，加之时间仓促，对于本书中存在的缺点和错误，恳请广大读者批评指正，不胜感激。

编者

目 录

前言

第一章 供用电网络的基本知识	1
第一节 电力系统及供用电网络	1
第二节 额定电压	7
小结	10
学习指导	10
习题	11
第二章 电力系统中性点运行方式	12
第一节 中性点不接地系统	12
第二节 中性点经消弧线圈接地系统	16
第三节 中性点直接接地系统	18
小结	18
学习指导	19
习题	19
第三章 用电设备	20
第一节 电力拖动	20
第二节 电焊设备	29
第三节 电解电镀	32
第四节 电加热设备	36
第五节 电力牵引设备	40
第六节 电气照明	46
小结	50
学习指导	50
习题	51
第四章 开关设备	52
第一节 电弧及触头的基本知识	52
第二节 高压开关电器	61
第三节 低压开关电器	89
第四节 熔断器	107
小结	117
学习指导	118
习题	118
第五章 互感器	120
第一节 互感器概述	120
第二节 电流互感器	121
第三节 电压互感器	130

第四节 组合互感器	139
第五节 新型互感器	140
小结	144
学习指导	144
习题	144
第六章 导体和绝缘子	146
第一节 导体	146
第二节 绝缘子	154
小结	157
学习指导	157
习题	158
第七章 电气主接线	159
第一节 电气主接线基本知识	159
第二节 典型电气主接线形式	161
第三节 电气主接线实例	168
小结	171
学习指导	171
习题	171
第八章 配电装置	173
第一节 概述	173
第二节 屋内配电装置	179
第三节 屋外配电装置	182
第四节 成套配电装置	188
第五节 箱式变电所	197
小结	203
学习指导	204
习题	205
第九章 供用电网络分析计算	206
第一节 供用电网络的参数及等值电路	206
第二节 供用电网络的潮流计算	213
第三节 供用电网络的短路电流计算	227
小结	249
学习指导	250
习题	251
第十章 电气设备选择	255
第一节 高压电器的选择	255
第二节 低压电气设备选择	263
第三节 载流导体的选择	269
第四节 短路电流的限制	277
小结	278
学习指导	281
习题	282

第十一章 供用电网络的电压调整.....	283
第一节 供用电网络的无功补偿.....	283
第二节 供用电网络的电压调整.....	290
小结.....	299
学习指导.....	299
习题.....	300
附录 技术参数	302
参考文献	308

第一章 供用电网络的基本知识

(一) 知识教学目标

- (1) 了解电能生产的过程及对电力系统的基本要求;
- (2) 掌握电力系统、电力网及供用电网络的概念;
- (3) 掌握供用电网络的基本接线形式及特点;
- (4) 熟悉电力网常用电压等级。

(二) 能力培养目标

学会确定电气设备的额定电压。

第一节 电力系统及供用电网络

一、发电厂类型及电能生产过程

电力工业属于能源工业。能源分为一次能源和二次能源:直接从自然界取得的能源称为一次能源,如煤、石油、水能、天然气等;二次能源是一次能源经过加工、转变后得到的产品,电能是最优质的二次能源。

一次能源除了煤、石油、水能、天然气外,还有风能、太阳能、生物质能、地热能、铀能、海洋能(潮汐能、波浪能、温差能)等。在自然界中能不断再生并可以有规律地得到补充的能源称为可再生能源,如水能、风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能等,它们取之不尽,无污染,应充分利用。在自然界中短期内无法恢复的能源称为非再生能源,如煤、石油、天然气等,它们正被人们大量开发利用。我国的一次能源储量丰富,但从人均储量和可持续发展的角度看,存在着严重的能源问题。因此,如何利用可再生能源和新能源发电技术始终是电力工业可持续发展的关键课题之一。

将一次能源转变为电能的过程称为电能生产过程,在发电厂中完成。目前主要用于发电的一次能源有煤、水力、原子能等,利用这些能源发电的电厂分别称为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂,另外还有潮汐发电厂、地热发电厂和风力发电厂等。在火力发电厂中,利用燃料燃烧,在锅炉中加热水产生高温高压水蒸气,冲动汽轮机的叶片使其转子转动,带动发电机转子转动发电从而得到电能。在水力发电厂中,利用水流冲动水轮机转子转动,带动发电机转子转动发电从而得到电能。在原子能电厂中,利用原子核的裂变或聚变放出的原子能将物质加热为蒸汽,冲动汽轮机的叶片使其转子转动,带动发电机转子转动发电从而得到电能。与火电厂相比,水电厂具有节省燃料、污染小、发电成本低、机组启动快、适宜担任调峰负荷和事故备用等优点,但建设周期长、一次投资大,受自然气候条件影响较大。所以在电力系统中,水、火电厂要并举,因地制宜、取长补短,充分发挥各自的特点。原子能发电厂一次性投资很大,运行维护技术含量高。

二、电力系统的组成

由发电、输电、配电和用户等的各种电气设备组成的统一整体称为电力系统,它包括发电厂

电气部分,升、降压变电所,输、配电线路及各类用电设备。电力系统加上各类发电厂中的动力部分,如热力部分、水力部分、原子能反应堆部分等称为动力系统。电力系统中,除发电厂发电设备和用电设备以外的部分称为电力网。图 1-1 所示为动力系统、电力系统和电力网的示意图。

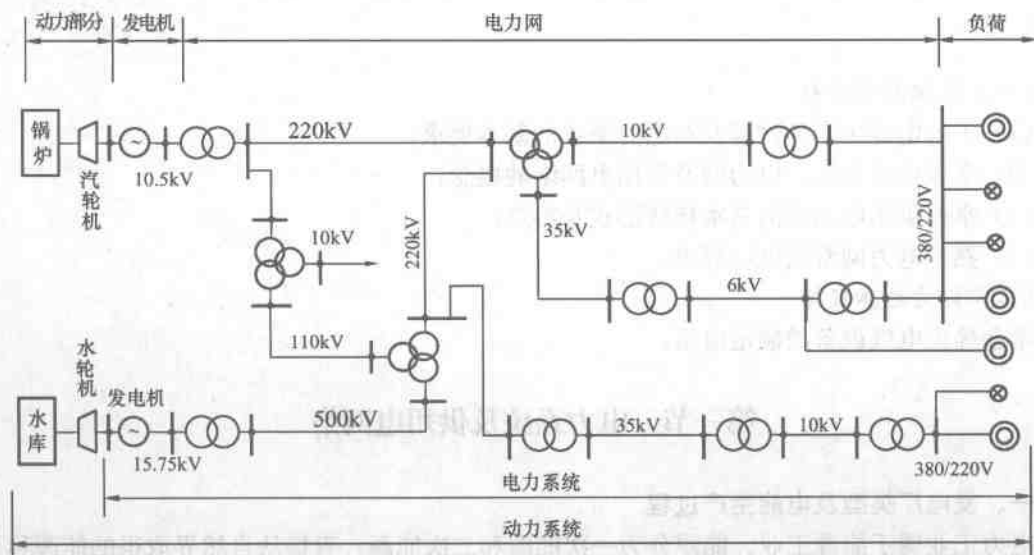


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网的示意图

为了节约燃料运输费用,现代大型火力发电厂多建在煤炭、石油的产地;水力发电厂又需建在江河落差集中的山区。这样,一般大型电厂远离大中城市等用电量集中的负荷中心,需要对电能进行远距离输送。发电厂发电机出口的电压通常为 $6.3 \sim 20\text{kV}$,用这样的电压直接进行远距离输电是有困难的。因为当输送一定功率的电能时,电压越低,则电流越大,电能会大部分消耗在输电线的电阻上。所以只能用升压变压器将发电机的端电压升高,以降低输送电流,减少输电线路上的能量损耗和电压损耗,将电能远距离输送出去。电能由发电厂通过高压线路送到负荷中心后,为了采用经济安全的电气设备及用电设备,必须用降压变压器将电压降低,以便分给用户使用。将电能由发电厂送到负荷中心的线路称为输电线路。将电能由负荷中心分配到用户的线路称为配电线路。通常 $220 \sim 500\text{kV}$ 等级电压为输电网; 110kV 及以下为配电网,其中 $35 \sim 110\text{kV}$ 为高压配电网, 10kV 为中压配电网,也是直接面对最终用户的配电网, 400V 为低压配电网。

在电力系统中,有的变电所和几个大容量电厂经输电线路直接连接,或者联系系统的几部分,这种变电所称为枢纽变电所;若以某一电压输送到变电所的功率,一部分经同样电压的线路输往其他变电所,只有一部分功率经变压器降压后分配给用户,这种变电所称为中间变电所,输往其他变电所的功率称为穿越功率;若将接收的功率全部降压后输送给用户,则称为终端变电所。直接对低压负载供电的变压器称为配电变压器,它通常将电压从 10kV 降到 400V 。

电力网按担负的任务可分为系统联络网和供用电网络两种。系统联络网用于发电厂、枢纽变电所的联系,用于系统的调度运行。在本书中,将供配电线路和所连接的用户变压器等统称为供用电网络,其任务是向用户变电所供电并向用电设备配电,主要为用户服务。

随着生产的发展和人们生活的需要,用电量逐年增加,用电范围不断扩大,将各地区各类

型发电厂、变电所和电力用户经输、配电线路连接形成大容量联合电力系统后具有很多优点:

(1) 提高了供电的可靠性。如一个发电厂检修或发生事故停止运行时,其所带负荷可以由其他发电厂负担。

(2) 提高了电能的质量。由于电力系统的容量不断扩大,个别用电设备负荷的增减,局部设备的故障,对整个系统的影响较小。因此,联合电力系统的电压、频率比较稳定,电流、电压的波形很少畸变,这就提高了电能质量。

(3) 便于采用大容量机组。大容量电力系统的单机容量较大,而大容量机组单位容量消耗的原材料、制造费、能源消耗量、运行检修人员的比例相对较少,技术经济性能好。但同时,大容量机组投入或退出运行对系统造成的冲击也比较大。大容量联合电力系统的存在,使大容量机组的应用成为可能。

(4) 可以减少系统备用容量。在孤立运行的发电厂中,为了提高供电的可靠性,必须安装备用机组以代替检修的或发生事故的机组。而建立联合系统后,由于各地区负荷因时间差、季节差、人们生活习惯不同等因素的影响,总负荷的同时系数小,只需要系统中适当容量的机组作为备用就行了,这就减少了总的备用容量,节约了投资。

(5) 可以合理地利用各种动力资源,提高运行的经济性。在系统中有各种发电厂,在丰水期水电厂可以多发电,火电厂少发电;平时由水电机组负担尖峰负荷而由大型火电厂负担基本负荷,各种电厂相互配合、调剂,能够发挥出各自的特点,提高经济效益,合理使用能源。

电力系统是一个有机整体,系统中任何一个环节的运行情况发生改变或故障,都会影响到整个电力系统的工作。因此,设置统一的调度机构以指挥电力系统的生产运行,保证了电力系统能可靠、安全、经济地生产,同时也保证了电能的质量。在我国现行体制下的电力调度机构分为5级,分别是国家电力调度中心(国调)、区域电网调度中心(网调)、省级电力调度中心(中调)、地市电网调度所(地调)和县域电网调度所(县调)。供用电网络一般由地调或县调指挥生产运行。

三、电力负荷的分类及供用电网络接线方式

(一) 电力负荷的分类

各类用电单位称为电力系统的用户。根据用户类型的不同,一般可分为工业、农林牧渔水利业、交通运输业、商业、建筑业、地质普查勘探业、居民生活用电等类型。各类用户从电力网中取用的功率总和称为电力网的负荷。根据用户性质的不同,按事故停电对用户所造成的影响和损失的程度,将负荷分为以下3类:

(1) 一类负荷。这类负荷突然停电会带来人身伤亡,重大设备损坏、重大产品报废、重点企业的连续生产过程被打乱,需要长时间才能恢复,会造成社会秩序的混乱、重大政治影响和重大经济损失等,如医院手术室、电视台、证券交易所、重要铁路枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型钢铁厂、大型化工厂、大型水泥厂、机场等。对一类负荷应由两个或两个以上的独立电源供电。

(2) 二类负荷。这类负荷突然停电会使企业生产出大量废品,或使企业大量减产,城市公用事业和人民生活受到影响,如交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷,以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要公共场所秩序混乱的负荷,一般工矿企业的负荷。对二类负荷应设置两个独立电源供电或由一回专线供电。

(3) 三类负荷。这类负荷突然停电对用户造成的损失不大,一般不会带来严重的后果,

如居民用电、厂矿企业附属车间等。对这类负荷的供电电源和线路无特殊要求。

(二) 供用电网络的接线方式

供用电网络的接线是用来表示供用电网中各主要元件相互连接关系的。供用电网络的接线对电力系统本身安全性、经济性和对用户供电的可靠性都影响极大。接线用接线图表示, 接线图有电气接线图和地理接线图两种。电气接线图较详细地表示出电力系统各主要元件之间的电气联系, 但不能反映各发电厂、变电所的相对地理位置。地理接线图上, 发电厂、变电所的相对地理位置以及电力线路都按一定比例表示出来, 但各主要元件之间的电气联系却不如电气接线图表示得清楚。这里只介绍电气接线。电气接线图应按国家标准的图形符号和文字符号绘制, 现将常用的电气设备图形符号和文字符号列于表 1-1 中。

表 1-1 常用的电气设备图形符号和文字符号

电气设备名称	文字符号	图形符号	电气设备名称	文字符号	图形符号
刀开关	QK		熔断器	FU	
高压断路器	QF		熔断器式开关	S	
自动开关 低压断路器	Q		阀式避雷器	F	
隔离开关	QS		母线	W	
负荷开关	QL		导线、线路	W	
电缆及其 终端头			三根导线		
端子	X		三相变压器 (Y, yn 连接)	T	
交流发电机	G		三相变压器 (Y, d 连接)	T	
交流电动机	M		电流互感器 (具有一个 二次绕组)	TA	
单相变压器	T		电流互感器 (具有两铁芯和 两个二次绕组)	TA	
电压互感器	TV		电抗器	L	
三绕组变压器	T		电容器	C	
三绕组电压 互感器	TV				

1. 对供用电网络接线的基本要求

- (1) 根据负荷性质的不同要求, 保证相应的可靠性。
- (2) 保证供电的电能质量。
- (3) 简单清晰, 便于运行操作, 维护、检修灵活安全。
- (4) 投资少并且运行经济。

2. 供用电网络的基本接线方式

(1) 无备用接线方式。对于这类接线, 用户只能从一条线路取得电能, 分为单回路放射式、干线式、链式、树枝式, 如图 1-2 所示。其优点是接线简单, 投资少, 运行维护方便; 缺点是供电可靠性较低, 任一线路发生故障或检修时都要中断部分或全部用户供电。

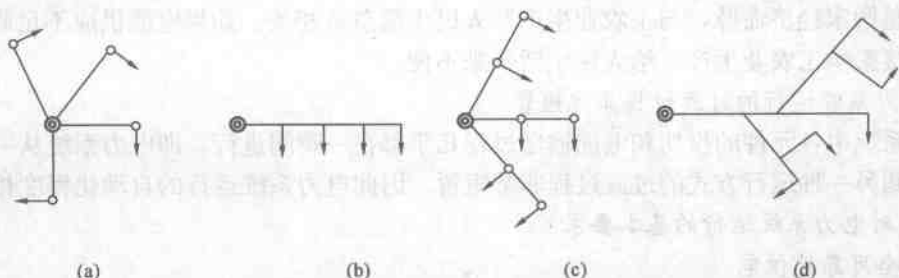


图 1-2 无备用接线形式

(a) 放射式; (b) 干线式; (c) 链式; (d) 树枝式

(2) 有备用接线方式。对于这类接线, 用户可以从两条或两条以上的线路取得电能, 有双回路放射式、干线式、链式、树枝式, 环形以及两端、多端电源供电网络, 如图 1-3 所示。双回路放射式、干线式、链式、树枝式接线方式接线简单, 运行方便, 供电可靠性高, 但投资显著增加; 两端电源供电网中的用户可以由两个独立电源供电, 供电可靠性大大提高。环网是两端电压相等的两端电源供电网。环形及两端电源供电网投资少, 可靠性高, 但运行调度复杂。

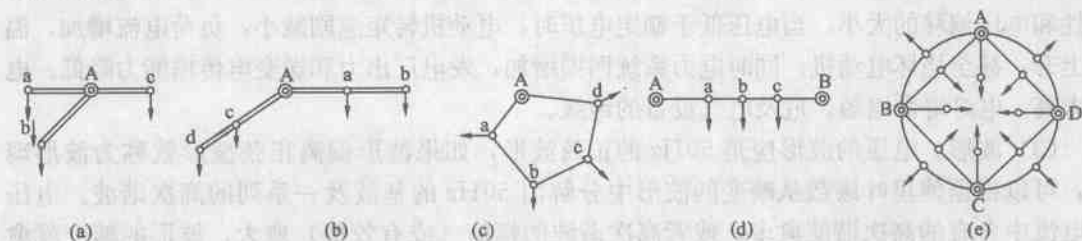


图 1-3 有备用接线形式

(a) 双回路放射式; (b) 双回路干线式; (c) 环式; (d) 两端供电式; (e) 多端供电式

独立电源指在若干电源中, 任一电源发生故障或停止供电时, 不影响其他电源继续供电的电源。具备以下条件的发电厂、变电所的不同母线段属于独立电源:

- 1) 每段母线的电源来源于不同的发电机。
- 2) 每段母线之间无联系, 或有联系, 但当其中一段发生故障时能自动将联系断开, 不影响另一段母线的继续供电。

通常将每一负荷只能从一个方向取得电能的网络称为开式网络,如单、双回路放射式、干线式、链式接线;将每一负荷能从两个以及两个以上方向取得电能的网络称为闭式网络,如环网和两端电源供电网。

四、电力系统运行特点及基本要求

(一) 电力系统的运行特点

1. 电能的生产、输送、分配和使用必须同时进行

电能不能大量地、廉价地储存,各环节同时进行,紧密相连,任何一个环节出问题,都会影响到整个系统的运行。

2. 电能的生产与国民经济及人民生活关系密切

电能是国家经济命脉,与工农业生产和人民生活息息相关。如果电能供应不足或中断供电,将直接影响工农业生产,给人民生活带来不便。

3. 电力系统运行的过渡过程非常短暂

电力系统中各元件的投切和电能输送过程几乎都在一瞬间进行,即电力系统从一种运行方式过渡到另一种运行方式的过渡过程非常短暂。因此电力系统运行的自动化程度相当高。

(二) 对电力系统运行的基本要求

1. 安全可靠地供电

这是电力系统首先要满足的要求。供电的中断将使生产停顿、生活混乱,甚至危及人身及设备的安全,造成严重的后果。

2. 具有合格的电能质量

电能质量由电压的频率、大小和波形 3 个指标来衡量。

(1) 频率。我国电力系统的额定频率为 50Hz。对于 3000MW 以下的系统,频率偏移不大于 0.5Hz;对于 3000MW 以上的系统,频率偏移不大于 0.2Hz。频率过高或过低,都会影响工厂产品的质量和产量。电力系统的频率由调度机构监视和管理。

(2) 电压。设备承受的实际电压与额定电压的差值称为电压偏移。用电设备的受电电压与额定电压有偏移时,设备的特性和使用寿命都会受到影响,影响的大小取决于用电设备的特性和电压偏移的大小。当电压低于额定电压时,电动机转矩急剧减小,负荷电流增加,温度上升,甚至烧坏电动机;同时电力系统网损增加,发电厂出力和送变电传输能力降低。电压太高,电灯寿命缩短,危及电气设备的绝缘。

(3) 波形。电压的波形应是 50Hz 的正弦波形,如果波形偏离正弦波形就称为波形畸变,可以根据傅里叶级数从畸变的波形中分解出 50Hz 的基波及一系列的高次谐波。电压或电流中含有的高次谐波愈多,或者高次谐波的幅值(或有效值)愈大,波形的畸变就愈严重。电力系统中,发电机感应的电动势的波形畸变很小,电力网本身的各级电压波形畸变也很小。但近年来随着硅整流及晶闸管换流设备的广泛使用,用户的非线性负荷大量增加。当非线性特性的设备产生谐波电流流入电力网后,使电力网中产生谐波电压,电能的波形质量下降,谐波电压会在其他电气设备中产生谐波电流,谐波电流会产生附加损耗,引起发热,降低效率,使设备出力大大降低;谐波电压会使电气设备绝缘的老化过程显著加剧,寿命缩短,事故增加;电力网中某些电感电容电路,可能对某次谐波发生谐振,引起危险的过电压或过电流;在用户中大量应用的感应式电能表是按 50Hz 设计的,谐波会使其测量误差急剧增加;谐波还可能引起某些继电保护误动作,使某些自动装置不能稳定

运行等。因此,对谐波的监察和管理工作要进一步加强。针对各种谐波源的限制装置也在不断研制之中。

3. 系统运行的经济性

电能生产和其他行业一样,也要考虑到经济效益。衡量电力系统运行经济性的指标有发电煤耗、线网损率和厂用电率。

(1) 发电煤耗:发电厂生产 1kWh 电能所消耗的标准煤量,以 g/kWh 为单位。

(2) 线损率:电力网中损耗的电量占向电力网所供电量的百分比。

(3) 厂用电率:发电厂自用电量占发电量的百分比。

综上所述,对电力系统运行的基本要求就是安全、优质、经济。

第二节 额定电压

一、额定电压

额定电压(单位为 kV)是国家根据技术经济合理性和标准化的需要所规定的电网和电气设备的标准电压等级。电气设备在额定电压下工作才能保证安全经济运行。额定电压用符号 U_N 表示。本教材中若无特殊说明的,交流额定电压均指三相系统的线电压。

额定电压分为三类。第一类是在 100V 以下者,用于安全照明及其他特殊设备等。第三类是 3kV 及以上的高压,主要用于发电机、变压器、输配电线路及高压用电设备。介于第一与第三类之间的就是第二类,它的数量最多,应用最广,如低压照明、动力及控制回路均采用此类电压,见表 1-2~表 1-4。

表 1-2 第一类额定电压 (V)

直流	交流		直流	交流	
	三相	单相		三相	单相
6					
12		12	48	36	36
24					

表 1-3 第二类额定电压 (V)

受电设备			发电机		变 压 器			
直流	三相交流		直流	三相交流	三相		单相	
	线电压	相电压			一次绕组	二次绕组	一次绕组	二次绕组
110	(127)		115	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
440	380	220	400	400	380	400	380	

表 1-3 中交流 100V 用于电压互感器等控制设备,127V 和 133V 只用于矿井下、热工仪表和机床控制系统;直流 400、800V 和 1000V 用于单台设备孤立供电。

表 1-4

第三类额定电压 (kV)

电力线路和用电设备额定电压	电力线路平均额定电压	交流发电机额定电压	变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3 及 3.15
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
		13.8	13.8	
		15.75	15.75	
		18	18	
35	37	20	35	38.5
60	63		60	66
110	115		110	121
220	230		220	242
330	345		330	363
500	525		500	550
750	800		750	825

注 表中所列均为线电压值。

二、电气设备额定电压确定方法

1. 电力网、电力线路及受电设备的额定电压

电力线路的额定电压和受电设备的额定电压是相等的。如图 1-4 所示, 因为线路存在阻抗, 有电压损耗, 所以负荷 1~6 点所受电压不同, 线路首端电压高于末端电压。如果负荷沿线路均匀分布, 则线路实际电压沿线路长度的变化情况大致如图中斜线所示。一般沿线路的电压损耗不超过线路额定电压的 10%, 而用电设备的允许电压偏移为其自身额定电压的

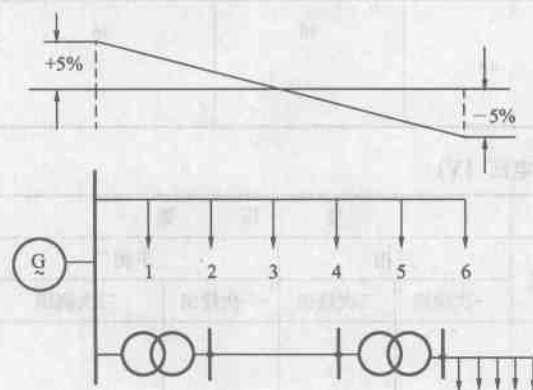


图 1-4 额定电压的解释图

5%。规定受电设备的额定电压等于线路的额定电压, 这样, 如果线路首端的电压为额定电压的 1.05 倍, 则线路末端的电压就不会低于额定电压的 0.95 倍, 用电设备就在允许的电压偏移范围内运行。

如前所述, 电网的额定电压是由国家规定的标准电压, 而电力线路的额定电压就是电力网的额定电压。我国目前电力网的额定电压有 0.22、0.38、3、6、10、35、60、110、220、330、500kV 和 750kV。

2. 发电机的额定电压

由发电机直接向用户供电的线路称为直配线路。对于带直配线路的发电机, 其额定电压一般比线路的额定电压高 5%, 线路的末端(用户端)电压, 不致因线路上的电压损失而低于规定值。

$$U_{GN} = 1.05U_N$$

式中 U_{GN} ——发电机的额定电压；

U_N ——线路的额定电压。

当直配线路的额定电压分别为 3、6、10kV 时，发电机的额定电压对应为 3.15、6.3、10.5kV。对于没有直配线路的大容量发电机，其额定电压由技术经济条件来确定，不受线路额定电压的限制，例如国产 125、200、300、600MW 的汽轮发电机，其额定电压基本为 13.8、15.75、18、20kV。

3. 变压器的额定电压

变压器的一次绕组若直接与发电机端相连接（包括升压变、厂用变），则其额定电压与发电机额定电压相同；一次绕组若与系统的输电线路相连接，绕组属于受电设备，则其额定电压等于所连线路的额定电压。

变压器二次绕组对于其后面的输、配电系统来说属于供电设备，其额定电压本应高于所连线路额定电压+5%，因为变压器的额定电压规定为变压器空载时的电压，负载时，因绕组阻抗的原因，绕组自身有大约 5% 的损失，因此规定：在一般情况下，变压器二次绕组的额定电压高于所连线路额定电压+10%。当变压器高压侧电压不高于 35kV 且变压器阻抗电压 $U_k\%$ 在 7.5 以下，或二次绕组所连线路较短，或绕组直接连调相机时，二次绕组额定电压只需比所连线路额定电压高+5%。例如：

(1) 某三绕组升压变压器一次侧直接接发电机，发电机的额定电压为 10.5kV，则变压器一次绕组的额定电压为 10.5kV；二次侧分别连接 220kV 和 110kV 系统，则变压器绕组额定电压应分别较所连线路额定电压高 10%，为 242kV 和 121kV。该变压器的额定变比为 242/121/10.5kV。

(2) 某双绕组降压变压器一次侧接 220kV 线路，则变压器一次绕组的额定电压为 220kV；二次侧接 35kV 系统，则变压器二次绕组的额定电压较线路额定电压高 10%，为 38.5kV。该变压器的额定变比为 220/38.5kV。

(3) 某双绕组降压变压器一次侧接 35kV 线路，则变压器一次绕组的额定电压为 35kV；二次侧连接的是 0.38kV 线路，且 $U_k\% < 7.5$ ，则二次绕组的额定电压高于电网额定电压+5%，为 0.4kV。该变压器的额定变比为 35/0.4kV。

4. 电力线路的平均额定电压

电力线路平均额定电压就是电力网的平均额定电压，等于电力线路首末两端所连接的电气设备额定电压的平均值，即

$$U_{av} = \frac{U_N + 1.1U_N}{2}$$

式中 U_{av} ——电力线路的平均额定电压。

目前，我国电力网平均额定电压为 3.15、6.3、10.5、37、63、115、230、345、525kV 和 800kV。

三、电力网电压等级的选择

电网额定电压可以理解为电力网中各级输配电线路的额定电压。对用户而言，当要求供给的功率和与供给电能的电源点之间的距离确定后，供电线路的电压高则电流小，在线路和变压器内产生的功率损耗、电能损耗和电压损失也小，可以采用较小截面的导线以节约有色金属。但是，供电线路电压高时，线路的绝缘强度要求高，线路绝缘子就用得多，导线之间