



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

供配电 一次系统

余建华 主编



中国电力出版社

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



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

供配电 一次系统

主 编 余建华
编 写 王亚娟 鲁爱斌 徐 鹏
主 审 杜文学



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

全书共分为9个单元，主要包括供配电系统的基本知识、供配电系统中性点运行方式与接地、供配电系统电能损耗与电压调整、短路电流计算、供配电一次设备、互感器、用户变电所、电气设备及载流导体的选择、供配电系统的运行维护等。

本书可作为职业教育电类专业的专业课教材，也可供相关工程技术人员培训和参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

供配电一次系统/余建华主编. —北京:中国电力出版社,
2006

全国电力职业教育规划教材

ISBN 7-5083-4606-8

I. 供... II. 余... III. ①供电—一次系统—职业教
育—教材②配电系统—一次系统—职业教育—教材 IV. TM72

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第089486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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年8月第一版 2006年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 371千字

印数 0001—3000册 定价 22.80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)

前言

本书是根据供配电一次系统课程的教学大纲及教学要求编写的。

为了适应供用电技术领域的发展状况，本教材力求反映最新的技术与设备，并且适当地考虑了今后的发展动向，编写内容以实用为原则，概念清晰，循序渐进，并结合职业教育的特点，对理论性的推导进行了简化，充分反映了供电企业、工矿企业、城乡供电技术工作的实际。本书主要叙述供配电系统的基本知识、供配电系统中性点运行方式与接地、供配电系统电能损耗与电压调整、短路电流计算、供配电一次设备、互感器、用户变电所、电气设备及载流导体的选择、供配电系统的运行维护。

本书共设九个单元，第一、七单元和第八单元由余建华编写，第二、六单元和第九单元由王亚娟编写，第五单元由鲁爱斌编写，第三、四单元由徐鹏编写。全书由余建华统稿。

本书由西安电力高等专科学校杜文学主审，并提出了宝贵意见。

对于本书中的缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

2006年3月

目 录

前言

第一单元 供配电系统的基本知识	1
课题一 电 源	1
课题二 供配电系统	3
课题三 供电质量	5
课题四 供配电设备概述	17
思考题及习题	19
第二单元 供配电系统中性点运行方式与接地	21
课题一 中性点非有效接地系统	21
课题二 中性点有效接地系统	26
课题三 低压系统的中性点接地方式	28
思考题及习题	32
第三单元 供配电系统电能损耗与电压调整	34
课题一 供配电系统参数计算	34
课题二 供配电系统的电能损耗	42
课题三 电力网潮流分布计算	53
课题四 供配电系统的电压调整	57
思考题与习题	68
第四单元 短路的基本知识	69
课题一 概 述	69
课题二 无限大容量电源供电系统短路电流计算	71
课题三 有限容量供电系统的三相短路计算	75
课题四 用运算曲线法计算短路电流	77
课题五 不对称短路简介	81
课题六 电动机对冲击短路电流的影响	83
课题七 低压电力线路中短路电流的计算	84
思考题及习题	86
第五单元 供配电一次设备	87
课题一 电弧的基本知识	87
课题二 低压开关电器	90
课题三 高压断路器	100
课题四 隔离开关和负荷开关	111

课题五	熔断器	115
课题六	重合器和分段器	121
课题七	过电压及过电压保护设备	127
思考题及习题		136
第六单元	互感器	137
课题一	电流互感器	137
课题二	电压互感器	147
课题三	综合互感器	153
思考题及习题		154
第七单元	用户变电所	155
课题一	供配电一次接线	155
课题二	变配电所的所用电	164
课题三	配电装置	175
思考题及习题		190
第八单元	电气设备及载流导体的选择	192
课题一	短路电流的电动力效应和热效应	192
课题二	导体和电气设备选择的一般原则和方法	195
课题三	短路电流的限制和电抗器的应用	207
课题四	低压断路器和熔断器的选择	211
思考题及习题		217
第九单元	供配电系统的运行与维护	218
课题一	运行管理制度和倒闸操作原则	218
课题二	电力变压器的运行维护	222
课题三	隔离开关的运行维护	227
课题四	断路器的运行维护	228
课题五	互感器的运行	231
课题六	并联电容器的运行	233
课题七	盘、柜、台、箱及其二次回路的运行	234
思考题及习题		236
参考文献		237

供配电系统的基本知识

〔内容提要〕本单元主要介绍供配电系统的电源及电能的生产过程、供配电系统的构成、供电质量和供电可靠性、供配电设备类型等内容。

课题一 电 源

电源(Power)担负着向供配电系统提供电能的任务,是现代生产和人民生活的主要能源和动力。按电源的性质分为直流电源和交流电源。在供配电系统中,直流电源主要有蓄电池组直流电源、硅整流直流电源两大类,直流电源向直流用电设备、信号装置、控制与保护设备供电。交流电源是由发电厂、变电所或配电变压器供给的,供配电系统中交流电源的供给与电力系统的运行是密切相关的,电力系统是工农业生产和人民生活共同的动力车间,一旦电力系统发生事故将导致大面积停电,供配电系统中的负荷也将被迫中断供电;另外,电力系统出力不足,将导致供配电系统拉闸限电,影响工农业生产和生活的正常进行。因此,我们只有了解电力系统的基本知识,才能在今后的工作岗位中搞好安全供电工作。

一、发电厂

发电厂(Power plant)是将自然界蕴藏的各种一次能源(如燃料的化学能、水流的位能和动能、核能等)转换为电能(二次能源)的工厂。发电厂是一种特殊的工厂,这种特殊性主要表现在它的产品是一种无形的东西,看不见、摸不得,且不能大量储存,其生产、输送、分配和消费必须在同一时刻完成。

发电厂按其所利用的能源的不同,分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等类型。发电厂还可按其在系统中的地位和作用分为主力发电厂、地区发电厂和企业自备发电厂。

1. 火力发电厂

火力发电厂简称为火电厂或火电站,它利用燃料(如煤、石油、天然气)的化学能来生产电能。为了提高燃烧的效率,将煤块粉碎成煤粉,煤粉在锅炉的炉膛内充分燃烧释放出热能,将锅炉内的水烧成一定温度和压力的蒸汽,推动汽轮机转动,由汽轮机作原动机带动发电机转动生产电能。在汽轮机中作过功的蒸汽通过凝汽器凝结成水,再送入锅炉中利用。

在火力发电厂中,仅担任发电任务的火电厂称为凝汽式发电厂。凝汽式发电厂一般建设在煤矿附近,通过高压输电线路将电能输送至远方用户,比把凝汽式电厂建在城市或用户附近,而从远方运煤要经济得多。在我国煤炭基地或其附近,建设有很多上千兆瓦以上的大容量凝汽式发电厂,一般称为坑口电厂,也称区域性电厂。

既担任发电任务,又担任供蒸汽或热水任务的发电厂称为热电厂。在热电厂中,从汽轮机的中段抽出一部分蒸汽,直接供给用户,或把抽出的蒸汽引到一加热器中将水加热,给用户供热水。这样,就可以减少进入凝汽器中的蒸汽量,提高热效率。目前 200MW 及以上的大型凝汽式机组的热效率仅为 37%~40%,中小型凝汽式机组的热效率为 25%~30%,而

热机组的热效率则高达 60%~70%。由于供热距离有限,所以热电厂多建在城市和用户附近。我国热机组多为数十至数百兆瓦的中小型机组。热机组的发电出力与热力用户的用热情况有关:当用热量多时,热机组必须多发电;用热量少时,热机组必须少发电。因此,热机组在电力系统中运行时,不如凝汽式机组灵活。

有些火电厂的原动机为燃气轮机。燃气轮机发电的生产流程如下:将大气中的空气吸入压气机中压缩到不低于 0.3MPa 的压力,温度相应升高到 100℃ 以上,然后送入燃烧室,与喷入的燃料(油或天然气)在一定压力下混合燃烧,产生 600℃ 以上的高温燃气,流入燃气轮机中膨胀做功,直接带动发电机发电;做功后的燃气最后排入大气。燃气轮机具有体积小、起动快、不需要大量用水、运行维护简便、机动性大、造价和运行费用低的优点,在电力系统中发展较快。

2. 水力发电厂

水力发电厂简称为水电厂或水电站,它利用水流的位能来生产电能。在水电厂中,发电机的原动机是水轮机,当控制水流的闸门打开时,水流沿进水管进入水轮机蜗壳室,冲动水轮机转动,由水轮机带动与之同轴的发电机发电。由于水电厂的发电容量与水电厂所在地点上、下游的水位差(即落差,又称水头)及水轮机的水流量的乘积成正比,所以建造水电厂时,必须用人工的方法来提高水位。按照提高水位方式的不同,水电厂可分为坝后式水电厂、径流式水电厂、抽水蓄能式水电厂。

(1) 坝后式水电厂。坝后式水电厂是在河流上建筑一个很高的拦河坝,形成水库,提高上游水位,使坝的上下游之间形成尽可能大的落差,电厂就建在堤坝的后面,这类水电厂称之为坝后式水电厂,如三峡水电厂。

(2) 径流式水电厂。径流式水电厂是利用有高落差的急流河道建坝,但不形成水库,将水引入水轮机。这种水电厂只能按天然河水流量的多少来发电,如我国长江中游的葛洲坝水电厂。

(3) 抽水蓄能式水电厂。抽水蓄能式水电厂是一种特殊形式的水电厂,其建筑物情况与坝后式水电厂类似,但其机组可按水轮机—发电机方式运行发电,也可按电动机—水泵方式运行抽水。当电力系统中负荷低谷时,机组按电动机—水泵方式运行,将下游的水抽至上游水库中储存;待电力系统处于负荷高峰时,上游水库放水,机组按水轮机—发电机方式运行发电。这种电厂对削峰填谷能起到很好的作用,国内已建有很多座这种电厂,如广州抽水蓄能发电厂等。

3. 核能发电厂

核能发电厂通常称为核电站,又称为原子能发电厂,它主要是利用原子核的裂变能来生产电能。其生产过程与火电厂基本相同,只是以核反应堆(俗称为原子锅炉)代替火电厂中的燃煤锅炉,以少量的核燃料代替了大量的煤炭。由于核能是一种巨大的能源,而且核电站的建设具有重要的经济和科研价值,所以世界上很多国家都很重视核电建设,核电在我国发电量的比重逐年增加,建成了深圳大亚湾核电站、秦山核电站等一些大型核电站。

4. 其他能源发电厂

风力发电厂利用风力的动能来生产电能,此类电厂建在有丰富风力资源的地方。

地热发电厂利用地球内部蕴藏的大量热能来生产电能,一般建在有足够地热资源的地方。

太阳能发电厂就是利用太阳光能或太阳热能来生产电能。利用太阳光能发电,是通过光电转换元件如光电池等直接将太阳光能转换为电能,这已广泛应用于人造地球卫星和宇航装置上。利用太阳热能发电,可分为直接转换和间接转换两种方式。温差发电、热离子发电和磁流体发电,均属于热电直接转换。而通过集热装置和热交换器加热给水,使之变成蒸汽,推动汽轮发电机发电,与火电厂的发电原理相同,属间接转换发电。太阳能发电厂建在常年日照时间长的地方。

二、变电所

变电所是电力系统中重要的中间环节,它的作用是变换电压,接受电能和对电能进行重新分配。

根据变电所在系统中的地位和作用分为以下几类。

(1) 枢纽变电所。它一般为 500kV 或 220~330kV 特别重要的变电所,在系统中处于枢纽地位,连接系统的高压和中压的几个部分,汇集多个大电源和大容量联络线。其特点是电压等级高、变电容量大、出线数目多;全所停电后,将引起系统解列,造成大面积停电。

(2) 中间变电所。它一般设在高压和超高压主要环形线路或系统主要干线的接口处,其高压侧有系统功率穿越通过,此外还降压给附近供电,一般出线数目不多。

(3) 地区变电所。它主要给所属地区供电,是一个地区或中等城市的主要变电所,电压等级一般为 220kV。

(4) 企业变电所。它是工矿企业专用变电所。大中型企业的总降压变电所,电压等级多为 110~220kV;一般企业变电所,电压多为 35~110kV。

(5) 终端变电所。它多为 1~2 回线路接入,接线简单,一般能深入负荷中心,电压等级一般为 35~110kV。

课题二 供 配 电 系 统

一、电力系统及电力网

由于电能不能大量储存,其生产、输送、分配和消费必须在同一时刻完成,因此,各个环节必须连成一个整体。由发电机、配电装置、变电所、电力线路及电能客户所组成的整体称为电力系统 (Power system),目前广泛地将许多发电厂通过电力网连接起来,构成一个大型电力系统,图 1-1 是一个大型电力系统的系统图。在电力系统中,由各级电压的输配电线路和变电所组成的部分称为电力网或电网 (Power network)。

电网供电与单台发电机供电相比,具有以下优点。

(1) 提高了供电的可靠性。一台发电机发生故障或定期检修不会引起停电事故。

(2) 提高了供电的经济性和灵活性。充分利用自然资源,发挥各类电厂的特点,例如水电厂与火电厂并联时,在枯水期和丰水期,两种电厂可以调配发电,使得水资源得到合理使用。在用电高峰期和低谷期,可以灵活地决定投入电网的发电机数量,提高了发电效率和供电灵活性。

(3) 提高了供电质量。电网的容量巨大(相对于单台发电机或者个别负载可视为无穷大),单台发电机的投入与切除,个别负载的变化,对电网的影响甚微,衡量供电质量的电压和频率可视为恒定不变的常数。同步发电机并联到电网后,它的运行情况要受到电网的制

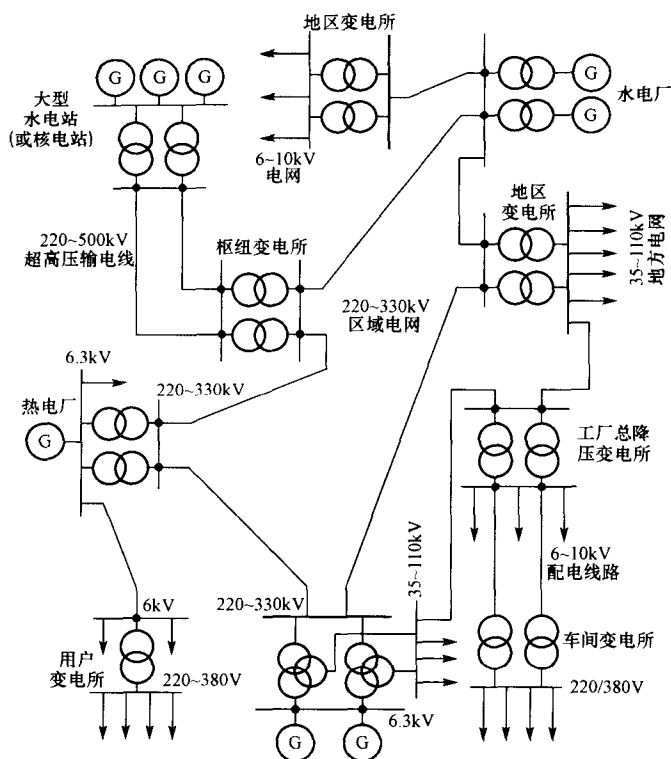


图 1-1 大型电力系统的系统图

约，也就是说它的电压、频率要和电网一致而不能单独变化，因此，发电厂的生产要在电力调度中心的安排下进行。

(4) 可提高设备的利用率。

(5) 为使用高效率的大机组创造有利的条件。

二、供配电系统

(一) 对供电系统的基本要求

在电力网中，根据电网所承担的任务可分为系统联络网与供配电网两类。系统联络网又称为网架，用于联系发电厂和枢纽变电所，担负发电和输电任务；供配电网用于联络负荷，担负供给客户电能的任务。供配电系统由供电网和配电网以及用户内部的高、低压配电网构成。

对供配电系统有如下要求：

(1) 供电可靠。按供电可靠性的要求，负荷可分成以下三级。

一级负荷，短时停电都可能造成人身伤亡和重大的设备损坏；

二级负荷，允许短时停电，长期停电可能造成生产停顿和重大的设备损坏；

三级负荷，允许较长时间停电。

(2) 操作简便，运行灵活。

(3) 运行经济。

(4) 有利于将来发展。

(二) 供配电系统的基本接线形式

供配电网的接线形式随客户的要求而异，其基本接线形式有以下两类。

1. 无备用接线形式

这类接线，客户只能从一个方向得到电能的供应，当这个方向的电源消失时，客户将中断供电。

无备用接线分为单回路放射式、干线式、链式和树干式，如图 1-2 所示。

2. 有备用接线

有备用接线方式，客户可从两个及以上方向得到电能的供应，当一个方向的电源消失时，客户可从其他方向得到电能的供应，不会中断供电，因此，有备用接线方式的供电可靠性高，但操作复杂、继电保护复杂、经济性较差。

有备用接线分为双回路放射式、双回路干线式、环式、两端供电式和多端供电式，如图 1-3 所示。

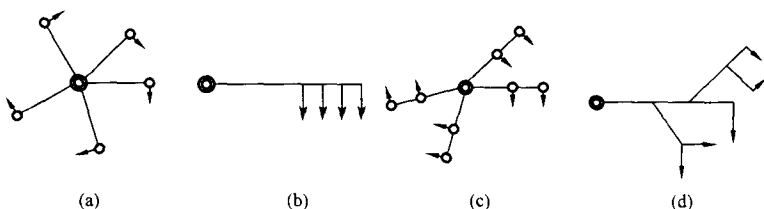


图 1-2 无备用接线形式

(a) 放射式; (b) 干线式; (c) 链式; (d) 树干式

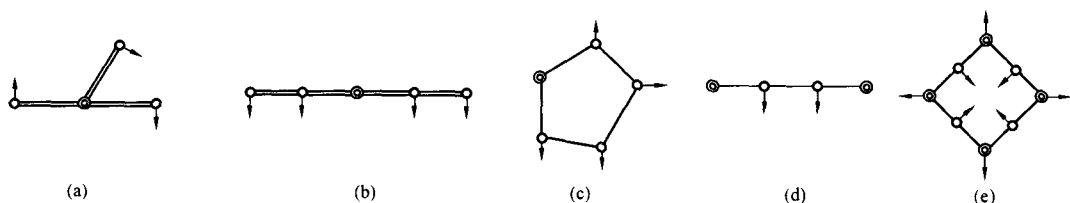


图 1-3 有备用接线形式

(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

课题三 供电质量

供电质量 (Quality of supply) 是指用电方和供电方之间相互作用和影响中供电方的责任, 包括技术部分 (即电能质量) 和非技术部分 (即服务质量), 主要由电能质量和供电可靠性两方面组成。电能质量是指电压、频率和波形的质量; 供电可靠性是衡量供电系统对用户持续供电的能力, 是指在统计期间内, 对用户有效供电时间总小时数与统计期间总小时数的百分比。

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高, 电力消费的趋势是高效率用电与高质量用电相结合, 对电能质量提出的要求越来越高, 不仅满足有电用, 而且要求要用优质电。然而, 进入 20 世纪 90 年代以来, 随着电力电子技术的广泛应用, 冶金、化工、钢铁、轻工、矿业、交通和公共设施等部门的各种非线性干扰性负荷迅速增长, 诸如各种整流和电力换流装置、电弧炉、中频炉、变频装置、电力机车、磁饱和磁力放大器的功率逆变装置、晶闸管相位控制设备等接入电网, 导致电力系统中高次谐波含量迅速增长, 引起供电电压波形畸变, 引起电网的谐波“污染”。另外, 冲击性、波动性负荷 (如电弧炉、大型轧钢机、电力机车等) 运行中不仅会产生大量的高次谐波, 而且使得电压波动、闪变、三相不平衡日趋严重, 这些对电网的不利影响不仅会导致供用电设备本身的安全性降低, 而且会严重削弱和干扰电网的经济运行, 造成对电网的“公害”。为此, 国家技术监督局相继颁布了涉及电能质量五个方面的国家标准, 即《电能质量·电力系统频率允许偏差》(GB/T15945—1995)、《电能质量·供电电压允许偏差》(GB12325—1990)、《电能质量·电压允许波动和闪变》(GB12326—1990)、《电能质量·三相电压允许不平衡度》(GB/T15543—1995)、《电能质量·公用电网谐波》(GB/T14549—1993)。

一、电力系统的电压

(一) 概述

电力系统中的所有电气设备, 都是在一定的电压和频率下工作的。电气设备的额定频率

和额定电压，是其正常工作且能获得最佳经济效益的频率和电压。

对供电系统来说，提高供电质量就是提高电压质量和提高供电可靠性的问题。频率质量主要由发电厂来调节，供电系统一般不参与调节，除非在电力系统频率过低时，利用低频率减负荷装置自动切除用户的负荷或采用人工拉闸限电。

电压波动是指电网电压的幅值（或有效值）的快速变化。电压波动以用户公共供电点的相邻最大与最小电压均方根之差、对电网额定电压的百分比来表示；电压波动的频率用单位时间内电压波动（变化）的次数来表示，可以利用仪器进行测量。

（二）三相交流电网和电力设备的额定电压

根据国家标准《标准电压》（GB156—1993）规定，我国三相交流电网和发电机的额定电压（Rated voltage），如表 1-1 所示。表 1-1 中的变压器一、二次绕组额定电压，是依据我国生产的电力变压器标准产品规定的。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压（GB156—1993）

分 类	电网和用电设备额定电压 (kV)	发电机额定电压 (kV)	电力变压器额定电压 (kV)	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
	6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
	10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	—	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

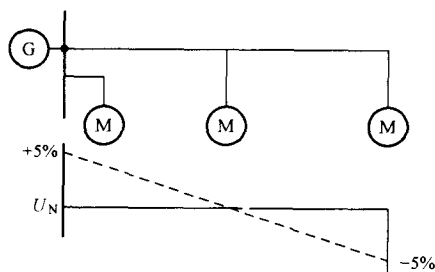


图 1-4 用电设备和发电机的额定电压说明

1. 电网（线路）的额定电压

电网的额定电压等级是根据国民经济发展的需要和电力工业的水平，经全面的技术经济分析后确定的，它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

由于线路运行时（有电流通过时）要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1-4 所示。但是成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用处线路的实际电压来制造，而只可能按线路首端和末端的平均电压即电网的额定电压 U_N 来制造。因此，用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

3. 发电机的额定电压

由于线路运行的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗值，线路首

端（电源端）的电压可较线路额定电压高 5%，而线路末端则可较线路额定电压低 5%，如图 1-4 所示。所以发电机的额定电压规定高于同级电网额定电压的 5%。

4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压。电力变压器一次绕组的额定电压分以下两种情况考虑。

1) 当变压器直接与发电机相连时，如图 1-5 中的变压器 T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压 5%；

2) 当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，如图 1-5 中的变压器 T2，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组的额定电压应与电网额定电压相同。

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压。电力变压器二次绕组的额定电压也分以下两种情况考虑。

1) 变压器二次侧供电线路较长（如为较大的高压电网）时，如图 1-5 中的 T1，其二次绕组的额定电压应比相连电网额定电压高 10%（其中有 5%是用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部约 5%的电压降，因为变压器二

次绕组的额定电压是指变压器一次绕组加上额定电压时，二次绕组开路的电压；此外，变压器满负荷时输出的二次电压还要高于所连电网额定电压的 5%，以补偿线路的电压损耗）。

2) 变压器二次侧供电线路不长（如为低压电网，或直接供电给高、低压用电设备）时，如图 1-5 中的变压器 T2，其二次绕组额定电压只需要高于所连电网额定电压的 5%，仅考虑补偿变压器满负荷运行时绕组内部 5%的电压降。

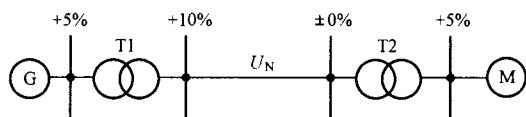


图 1-5 电力变压器的额定电压

(三) 电压偏差

1. 电压偏差的含义及其计算

电压偏差（或称电压偏移），是指加在用电设备的实际电压 U 与其额定电压 U_N 之差，通常以其对额定电压的百分数来表示，即

$$m\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100$$

2. 电压偏差对用电设备运行的影响

用电设备的运行指标和额定寿命是对其额定电压而言的。当其端子上出现电压偏差时，其运行参数和寿命将受到影响，影响程度视偏差的大小、持续的时间和设备状况而异。

(1) 对感应电动机的影响。当感应电动机的端电压比其额定电压低 10% 时，由于转矩与端电压平方成正比（ $M \propto U^2$ ），因此其实际转矩将只有额定转矩的 81%，而负荷电流将增大 5%~10%，温升将增高 10%~15%，绝缘老化程度将比规定增加 1 倍以上，从而明显地缩短电机的寿命。而且由于转矩减少、转速下降，不仅会降低生产效率、减少产量，而且还会影响产品质量，增加废、次品。当其端电压偏高时，负荷电流和温升也将增加，绝缘相应受损，对电机也是不利的，也要缩短电机寿命。

(2) 对电光源的影响。电压偏差对电光源的影响最为显著。当白炽灯的端电压降低 10% 时，灯泡的使用寿命将延长 2~3 倍，但发光效率将下降 30% 以上，灯光明显变暗、照度降低、严重影响人的视力健康、降低工作效率，还可能增加事故的发生率。当其端电压升

高 10% 时, 发光效率将提高 1/3, 但其使用寿命将大大缩短, 只有原来的 1/3。电压偏差对荧光灯及其他气体放电灯的影响不像对白炽灯那么明显, 但也有一定的影响, 当其端电压严重偏低时, 灯管不易起燃。如果多次反复起燃, 则灯管寿命将大受影响。而且电压降低时, 照度下降, 影响视力和工作; 当电压偏高时, 灯管寿命又要缩短。

3. 电压允许偏差

《电能质量·供电电压允许偏差》(GB12325—1990) 规定: 在电力系统正常状况下, 供电企业供到客户受电端的供电电压允许偏差为:

- 1) 35kV 及以上电压供电的, 电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定值的 10%。
- 2) 10kV 及以下三相供电的, 为额定值的 $\pm 7\%$ 。
- 3) 220V 单相供电的, 为额定值的 $-10\% \sim +7\%$ 。

在电力系统非正常状况下, 客户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定值的 $\pm 10\%$ 。客户用电功率因数达不到规则要求时, 其受电端的电压偏差不受此限制。

《供配电系统设计规范》(GB50052—1995) 规定: 在正常情况下, 用电设备端子处电压偏差的允许值宜符合下列要求:

- 1) 电动机为 $\pm 5\%$ 。
- 2) 照明: 在一般工作场所为 $\pm 5\%$; 对于远离变电所的小面积一般工作场所, 难以满足上述要求时, 可按 $-10\% \sim +5\%$; 应急照明和警卫照明等为 $-10\% \sim +5\%$ 。
- 3) 其他用电设备, 当无特殊规定时为 $\pm 5\%$ 。

4. 电压偏差超过允许范围的原因

电压超过允许偏差的原因有以下几方面。

- 1) 供电距离超过合理的供电半径。
- 2) 供电导线截面选择过小, 电压损失过大。
- 3) 线路过负荷运行。
- 4) 用电功率因数过低, 无功电流大, 加大了电压损失。
- 5) 冲击性负荷、非对称性负荷的影响。
- 6) 调压措施缺乏或使用不当, 如变压器分接头位置不当等。
- 7) 用电单位装设的无功补偿电容器没有采用自动补偿, 或没有投至“自动”位置。

总之, 无功电能的余、缺状况是影响供电电压偏差的重要因素。

(四) 电压波动与闪变及其抑制

1. 电压波动的含义及其计算

电压波动 (Voltage fluctuation) 指电压方均根值一系列的变动或连续的改变。电压波动值是以用户公共供电点的相邻最大和最小电压方均根 $U_{\max}$ 与 $U_{\min}$ 之差对电网额定电压 U_N 的百分值表示, 即

$$\delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100$$

$\delta U\%$ 的变化速度, 按《电能质量·电压波动和闪变》(GB12326—2000) 规定, 应不低于 0.2%。

电压波动的频率是用单位时间内电压波动的次数来表示的。统计频率的时段取引起电压波动的冲击性负荷一个周期; 电压变化的速度低于 0.2% 的电压变化不统计在变化次数中;

同一方向的变化,如间隔时间(一次变化结束到下次变化开始的时间段)不大于 30ms,则算一次变化。

2. 电压波动的产生与危害

电压波动是由于负荷急剧变动(如冲击性负荷)引起的。在供电线路首端电压 U_1 一定时,负荷急剧变动,使电网的电压损耗 $(\Delta U = \frac{PR + QX}{U_N})$ 相应变动,从而使用户公共供电点的电压 U_2 出现波动现象。例如电动机的起动、电焊机的工作,特别是大型电弧炉和大型轧钢机等冲击性负荷的工作,均会引起电网电压的波动。电压波动可能会影响电动机的正常启动,甚至使电动机无法启动;对同步电动机还可以引起其转子振动;电压波动还可使电子设备和电子计算机无法正常工作,可使照明灯发生明显的闪烁,严重影响视觉,使人无法正常生活、工作和学习。

3. 闪变

闪变(Flicker)即灯光照度不稳定造成的视感,是由波动负荷,如电弧炉、轧机、电弧焊机等引起的。

4. 电压波动和闪变的允许值

(1) 电压波动的允许值。电力系统公共供电点由冲击负荷产生的电压波动允许值 $\delta U\%$,如表 1-2 所示。

表 1-2 电压波动允许值(据 GB12326—1990)

额定电压	电压波动允许值 $\delta U\%$
10kV 及以下	2.5
35~110kV	2
220kV 及以上	1.6

(2) 闪变电压的允许值。引起灯光(照度)闪变的波动电压,称为闪变电压。

电力系统公共供电点由冲击负荷产生的闪变电压允许值 $\delta U_{10}\%$,如表 1-3 所示。

表 1-3 闪变电压允许值(据 GB12326—1990)

应用场合	闪变电压允许值 $\delta U_{10}\%$
对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4(推荐值)
一般照明负荷	0.6(推荐值)

5. 电压波动和闪变的抑制

抑制电压波动和闪变,可采取下列措施:

(1) 用电设备起动方式的改善。可采用降压起动,如 Y/ Δ 变换起动、自耦

变压器起动、串接起动变阻器、电动机软起动等方式改善电动机的起动特性。

(2) 对负荷变动剧烈的大型电气设备,采用专用线路或专用变压器单独供电。这是最简便有效的办法。

(3) 设法增大供电容量,减小系统电抗。如将单回路线路改为双回路线路,或将架空线路改为电缆线路等,使系统的电压损耗减小,从而减小负荷变动时引起的电压波动。

(4) 对于易受扰动的灵敏性负荷,在其附近安装一台电源设备。该电源设备能够在一定电气距离之外的负荷发生波动时,保持所需的电压水平。随着分散发电技术的发展,这种方案具有了经济上的可行性。

(5) 在系统出现严重的电压波动时,减少或切除引起电压波动的负荷;强行禁止引起电压波动大的负荷的使用,这在发达国家早就执行了。

(6) 对大功率电弧炉的炉用变压器宜由短路功率较大的电网供电,一般是选用更高电压等级的电网供电。

(7) 波动性、冲击性负荷造成的电压波动和闪变,其实质为无功功率的不平衡。对大型

冲击性负荷,如采用上述措施达不到要求时,可装设能“吸收”冲击无功功率的静止补偿装置 SVC (Static Var Compensator)。SVC 是一种能吸收随机变化的冲击无功功率和动态谐波电流的无功补偿装置,其类型有多种,而以自饱和电抗器 (SR 型) 的效能最好,其电子元件少、可靠性高、反应速度快、维护方便经济,且我国一般变压器厂均能制造,是最适于在我国推广应用的一种 SVC。

(8) 采用静止无功发生器 SVG (Static Var Generator)。随着 GTO、IGBT、IGCT 等可自关断电力电子技术的快速发展,无功补偿设备的原理、构造及特征正在发生巨大的变化。基于可自关断器件实现的静止无功补偿发生装置 SVG,具有控制特性好、响应速度快、体积小、损耗低等一系列优点,并已在工业现场获得推广应用。SVG 通过可控电压源方式实现无功功率的动态补偿。其主要特点有:

1) SVG 具有更好的出力特性。SVC 在系统电压低时,表现为电容的特性,即无功功率随电压的降低按平方关系下降。而 SVG 则在低电压时,表现为定电流特性。因而,无功功率只随电压的降低按电压的一次方关系下降。

2) SVG 采用 PWM 控制,具有更快的响应特性。

3) SVG 中无功调节不是通过控制容抗或感抗的大小实现的,因而不需要直接与系统连接的电容器或电抗器,不存在系统的谐振问题,因而大大减小了设备的体积,一般 SVG 体积只有相同容量的 SVC 体积的 $1/3$ 。

4) 由于 SVG 三相的出力可以各自独立地进行控制,因而可以用于三相不平衡负荷的动态补偿。这一点对 SVG 用于电气铁道、电弧炉的电压波动补偿非常有利。

5) SVG 具有有源滤波器的特性,可以用于需要有源滤波的场合。

6. 电压合格率

电压合格率是指实际运行电压在允许电压偏差范围内累计运行时间与对应总运行时间之比的百分数。它是电压管理的主要考核指标。

(1) 电压监测点设置。电压质量监测数据是评价电网电压质量管理工作的依据,是修订无功电压、电压曲线和技术改造计划的依据。

1) 电压监测点的分类及设置原则。电力客户的电压监测点一般分为 A, B, C, D 四类,其定义如下:

A 类: 35~220kV 变电所向客户供电的 10 (6) kV 母线;

B 类: 35kV 及以上专线用户的客户端;

C 类: 35kV 非专线用户及 10 (6) kV 专线客户的客户端;

D 类: 380V、220V 用户的客户端。

供电所主要负责 C 类和 D 类电压监测点的安装、运行巡视、统计和分析。

农村客户每百台配电变压器至少设一个监测点,但要确保每个供电所至少设一个监测点;县城和城镇低压客户电压监测点不得少于 3 个,设在有代表性的低压配电线路首端和末端及重要客户处。

2) 电压监测方法。凡符合以上条件的监测点必须装设自动记录型电压监测仪,每天 24h 连续不间断地进行监测、统计和记录,电压监测仪要具有自动记录和自动统计功能,测量准确度不应低于 0.5 级,并至少保证停电 72h 不丢失已监测到的数据。

(2) 电压监测统计要求。

1) 具有按月和按日统计功能,能打印显示电压合格率及累计时间,电压超限率及运行时间,最高电压、最低电压及相应时间,至少储存上月和当月数据。

2) 每月选定 2 个典型日作为电网电压监测代表日,代表日各监测点应有 24h 整点记录。月底最后一天的 24 时汇总,打印出全月的功能数据。

(3) 电压合格率的计算和考核。

1) 供电所应建立完整的低压无功补偿设备台账和电压监测仪台账。

2) 供电所要建立电压监测仪记录卡片(见表 1-4)和各类电压监测点合格率月统计表(见表 1-5)。

表 1-4

×××年×××供电所电压监测仪记录卡片

监测点名称:

月份	电压合格率范围	点数	运行最高电压(kV)	运行最低电压(kV)	超上限时间(min)	超下限时间(min)	超差时间总和(min)	运行监测时间(min)	电压合格率(%)	本年累计合格率(%)
12										
11										
10										
9										
8										
7										
6										
5										
4										
3										
2										
1										
上年										

表 1-5

供电电压合格率月统计表

单位: _____ 供电所

监测点类别: _____ 类

统计时间:

____年__月__日到__年__月__日

电压监测点名称	电压合格率范围	点数	运行最高电压(kV)	运行最低电压(kV)	超上限时间(min)	超下限时间(min)	超差时间总和(min)	运行监测时间(min)	电压合格率(%)	本年累计合格率(%)
综合平均										

批准:

审核:

制表:

填报时间: