

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GONGCHANG GONGDIAN

工厂供电

刘学军 主 编



中国电力出版社

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

GONGCHANG GONGDIAN

主 审 马春燕

<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。

本书介绍了工厂供电系统的基本知识、基本理论、系统运行和管理及计算方法。本书注重基本理论的系统性、实用性与技术的先进性,介绍了供电技术的新发展和国家标准规范的新要求。

本书共九章,主要包括:工厂供电系统和电力系统的基本知识,主要电气设备介绍,电力负荷计算及无功功率补偿,短路电流计算,高、低压电气设备的选择与校验,供电系统的继电保护,供电系统的二次回路、自动装置及其自动化,供电系统的过电压、防雷、接地和电气安全,电气照明。每章配有丰富的例题、思考题与习题,并附有部分习题参考答案,便于自学。附录中有常用电气设备和开关电器技术数据,可供课程设计和毕业设计使用。

本书主要作为高等院校电气工程及其自动化专业和自动化专业的本科教材,也可作为高职高专相关专业的教材或电力工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电/刘学军主编. —北京:中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-6541-1

I. 工… II. 刘… III. 工厂—供电—高等学校—教材

IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 008248 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 12 月第一版 2007 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.25 印张 570 千字

定价 35.00 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

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。

本书主要介绍了工厂供电系统的基本知识、基本理论、系统运行和管理及计算方法。以供电工程设计和技术应用为主线,重点阐述了工厂总降压变电所及车间变电所的设计方法。全书共分十章,主要内容包括工厂供电系统和电力系统的基本知识,主要电气设备介绍,电力负荷计算及无功功率补偿,短路电流计算,高、低压电气设备的选择与校验,供电系统的继电保护,供电系统的二次回路、自动装置及其自动化,供电系统的过电压、防雷、接地和电气安全,电气照明。每章配有工程应用的例题、思考题与习题,并附有部分习题参考答案,便于自学和复习。附录中有常用电气设备和开关电器技术数据,可供课程设计和毕业设计使用。

本书注重基本理论的系统性、实用性与技术的先进性,介绍了供电技术的新发展和国家标准规范的新要求。在中性点接地、低压电网短路电流计算、供电系统二次回路、微机保护及供电系统自动化、信息系统防雷等方面均有新的论述。

本书主要作为高等院校电气工程及其自动化专业和自动化专业的本科教材,也可作为高职高专相关专业的教材或电力工程技术人员的参考用书。

本书由北华大学刘学军任主编并统稿。长春工业大学白文峰编写第七、八章;北华大学刘德君编写第二、三章和附录,王卓编写第四、五章,刘学军编写第一、六、九、十章。

本书在编写过程中得到北华大学电气信息工程学院的领导、同行、其它高校和电力部门的支持,并提供了大量的参考资料,在此向他们表示感谢。另外,对本书末所附参考文献的作者也表示衷心的感谢。

本书由太原理工大学信息工程学院马春燕主审。马春燕对书稿提出了许多宝贵的意见和建议,谨在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正,不胜感激。

编者

2007年8月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 电力系统及工厂供电系统的概念	1
第二节 电力系统电压与电能质量	8
第三节 电力系统中性点运行方式及低压配电系统的接地形式	16
第四节 工厂供电设计的主要内容、程序及方案比较	23
思考题与习题	26
第二章 工厂供电系统及主要电气设备	28
第一节 电力负荷的分级及其对供电的要求	28
第二节 工厂供电系统的主要电气设备	29
第三节 工厂供电网络的接线方式	63
第四节 工厂电力线路结构与敷设	67
第五节 工厂变电所的电气主接线	72
第六节 工厂车间变电所的类型及所址选择	82
第七节 变电所的布置和结构	83
思考题与习题	94
第三章 电力负荷计算及无功功率补偿	96
第一节 负荷曲线与计算负荷	96
第二节 用电设备的工作制	100
第三节 电力负荷的计算方法	101
第四节 供电系统的功率损耗、电能损耗和年需要量	111
第五节 尖峰电流及其计算	115
第六节 功率因数与无功补偿	116
思考题与习题	122
第四章 短路电流计算	124
第一节 供电系统短路的基本概念	124
第二节 无限大容量电源供电系统三相短路的暂态过程	125
第三节 无限大容量电源供电系统三相短路电流计算	128
第四节 考虑感应电动机和并联电容器组对短路电流的影响	141
第五节 短路电流的热效应和力效应	142
思考题与习题	148
第五章 高、低压电气设备的选择及导线和电缆截面的选择	150
第一节 导线和电缆的选择	150
第二节 高压电气设备选择	165
第三节 低压配电线路的保护	180

第四节 低压保护电气设备的选择	182
思考题与习题	187
第六章 供电系统的继电保护	190
第一节 继电保护概述	190
第二节 电流保护常用的继电器	192
第三节 无时限的电流速断保护	198
第四节 带时限的电流速断保护	203
第五节 带时限的过电流保护	205
第六节 线路方向过电流保护	214
第七节 线路的单相接地保护和过负荷保护	222
第八节 电力变压器的保护	226
第九节 高压电动机的保护	244
思考题与习题	247
第七章 供电系统的二次回路	249
第一节 二次回路的基本概念	249
第二节 操作电源	249
第三节 高压断路器的控制回路	262
第四节 变电所的信号装置	270
第五节 继电保护装置和自动重合闸动作信号	274
第六节 变电所的测量仪表配置	274
第七节 发电厂及变电所二次回路的安装接线图	277
思考题与习题	283
第八章 供电系统自动装置及其自动化	285
第一节 自动重合闸装置 (AAR)	285
第二节 备用电源自动投入装置	291
第三节 变电所综合自动化	296
思考题与习题	303
第九章 供电系统过电压、防雷、接地及电气安全	304
第一节 过电压与雷电有关概念	304
第二节 对直击雷的防护	310
第三节 对感应雷的防护	316
第四节 电气装置的接地	325
第五节 电气安全	334
第六节 信息系统防雷	336
思考题与习题	340
附录 A 常用文字符号	342
附录 B 常用电气图形符号	345
附录 C 常用设备的主要技术数据	347
附录 D 常用继电器技术数据	364
参考文献	365

第一章 概 述

第一节 电力系统及工厂供电系统的基本概念

一、电力系统

发电机把机械能转化为电能，电能经变压器、变换器和电力线路输送并分配到用户，在那里经电动机、电炉和电灯等设备又将电能转化为机械能、热能和光能等。这些生产、输送、分配、消费电能的发电机、变压器、电力线路及各种用电设备联系在一起构成的统一整体称为电力系统，如图 1-1 所示。

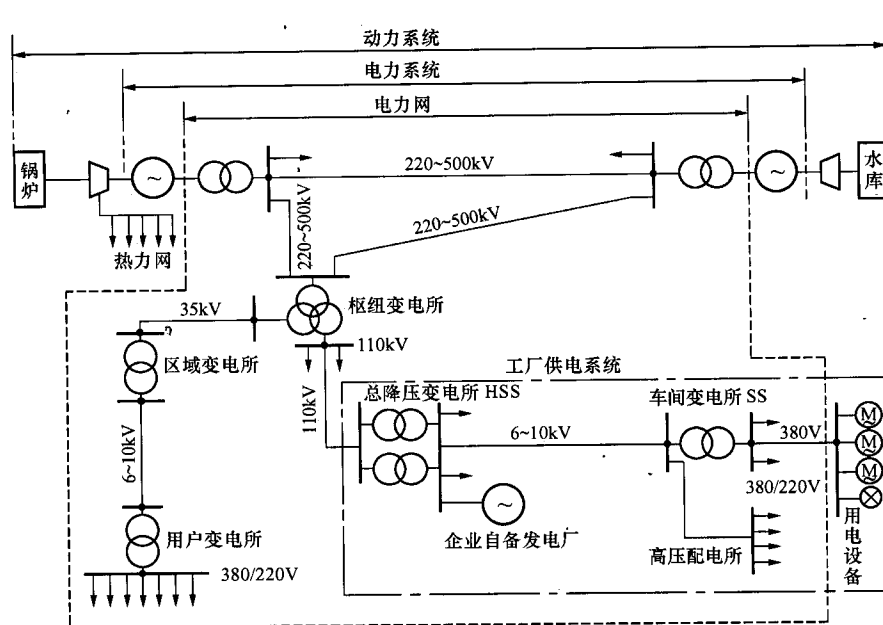


图 1-1 电力系统构成示意图

电力系统加上发电机的原动机（如汽轮机或水轮机），原动机的力能部分（如热力锅炉、水泵、原子能电站的反应堆），供热和用热设备，称为动力系统。在电力系统中，由升压和降压变电所和各种不同电压等级的配电线路构成电力网。电力网的作用是将电能从发电厂送至电力用户。

由此可知，电力用户加上电力网构成电力系统；电力系统加上原动机力能部分构成动力系统。为了充分利用动力资源，减少燃料运输，降低发电成本，火力发电厂建在有燃料资源的地方；水利发电厂建在有水力资源的地方。核能发电厂厂址也受各种条件限制，一般都远离用电中心，因此，需要将发电厂发出的电能经过升压、输送、降压和分配送送到用户，如图 1-2 所示。

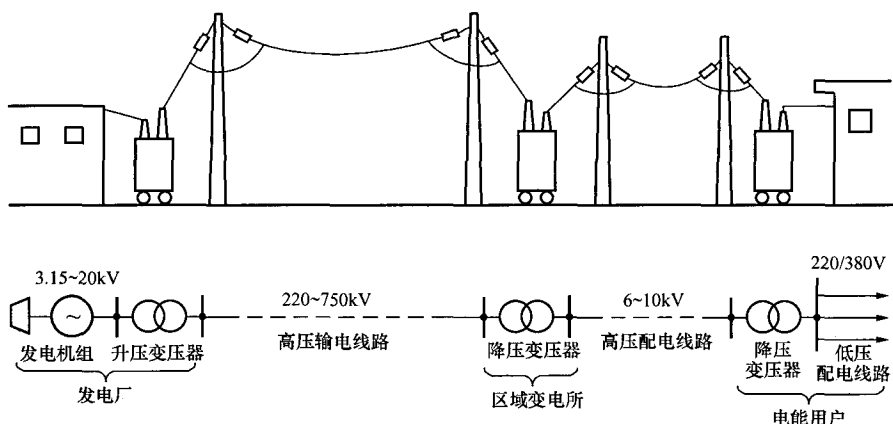


图 1-2 从发电厂到用户的发、输、配电过程示意图

二、发电厂和变电所

1. 发电厂

发电厂又称为发电站，它将各种一次能源（如煤炭、石油、天然气、水能、原子核能、风能、太阳能、地热、潮汐能等）通过发电设备转换为二次能源——电能。按照所利用一次能源不同，发电厂可分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂及地热发电厂、太阳能发电厂等多种类型。

(1) 火力发电厂。火力发电厂又称为火电厂或火电站，它是利用燃料的化学能来生产电能的。火力发电厂又可分为凝汽式火电厂和热电厂两类。

1) 凝汽式火电厂。火电厂以燃煤为主，为提高燃料效率，将煤块粉碎成煤粉充分燃烧，使炉内水变成高温高压的蒸汽，推动汽轮机转动，带动与之连轴的发电机旋转发电。凝汽式火电厂的热效率较低，只有 30%~40%。

2) 热电厂。热电厂与火电厂的不同之处主要在于把汽轮机中一部分做过功的蒸汽，从中间段抽出来供给热能用户，或经热交换器将水加热后，把热水供给用户，这样可减少被循环水带走热量损失，热电厂的效率可提高到 60%~70%。

(2) 水力发电厂。水力发电厂是把水的位能和动能转变为电能。

1) 堤坝式水电厂。在河床上游修建拦河坝，将水积蓄起来，抬高上游水位，形成发电水头。堤坝式水电厂又分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂的厂房建筑在坝后面，全部水头由坝体承担。水库的水由压力水管引入厂房，转动水轮发电机组发电。坝后式水电厂适合于高、中水头情况。

2) 河床式水电厂。水电厂建造在山区水流湍急的河道上，或河床坡度较陡的地方，由引水渠道造成水头，而且一般不需要修坝或只修低堰。河床式水电厂的厂房和挡水坝连成一体，厂房也起挡水作用，因修建在河床上故称为河床式，水头一般在 20~30m 以下。

3) 抽水蓄能电站。当电力系统处于低负荷时，系统尚有多余电力，此机组以电动机—水泵方式工作，将下游水抽至上游水库储存起来，待系统用电高峰负荷较大时，机组则按水轮机—发电机方式工作，使所储存的水用于发电，以满足调峰、调频、调相系统备用等多种用途需要。

4) 潮汐电厂也是利用水能的一种发电厂,当涨潮和落潮时,利用海水的动能和位能,推动水轮发电机发电。目前较先进的是双向发电,即 24h 内无论涨潮还是落潮都可以发电。

(3) 核电厂。核电厂是利用核裂变能转变为热能,再按火电厂的发电方式发电,只不过它的“锅炉”是原子核反应堆。其中除核燃料外,以重水式高压水作为强化剂和冷却剂,所以反应堆分为重水堆、压水堆等。

核反应堆内,铀-235 在中子撞击下,使原子核裂变,产生巨大能量,且主要以热能形式被高压水带至蒸汽发生器,在此产生蒸汽,送至汽轮发电机组。1kg 铀-235 约等于 2700t 标准煤发出同样多的电力。

我国已建成并运行多年的广东大亚湾核电站(2×900 万 kW)和秦山核电站一期(30 万 kW)、二期(2×60 万 kW)工程压水堆型,2001 年 11 月投入并网发电的秦山核电站三期工程(2×70 万 kW)都采用重水堆反应堆。

核能发电的优点是清洁、经济、安全。

除了上述三种主要的产生电能的方法外,应大力开发利用新能源发电,如利用太阳能、风能和地热等可再生能源发电。

地热发电是利用地下热水和蒸汽为动力源的一种新型发电技术,地热发电和火力发电的基本原理是一样的,都是将蒸汽热能经过汽轮机转变为机械能,然后带动发电机发电。所不同的是不需要消耗燃料,它所利用的能源是地热能。

要利用地下热能,首先要由载热体把地下热能带到地面上来。地热电站利用的载热体,主要是地下天然蒸汽和热水,按照载热体类型、温度、压力和其它特性不同,可把地热发电方式划分为地热蒸汽发电和地下热水发电两大类,此外,还有研究试验的干热岩发电系统。

我国地热资源丰富,分布广泛。目前高温地热电站主要集中在西藏地区,总装机容量为 27.18MW,其中羊八井地热站装机容量为 25.18MW,最大单机容量为 3.18MW 机组。朗允地热站装机容量 1MW,那曲地热电站装机容量为 1MW。到 2010 年,累计装机容量可达 60~100MW,单机容量可达 10MW 以上,居世界前列。

太阳能发电就是利用太阳光能或热能来产生电能。利用太阳光能发电,是通过光电转换元件如太阳能电池等直接将太阳光转换为电能,这已广泛用在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。太阳能通过集热装置和热交换器,给水加热使之变成蒸汽推动汽轮发电机组发电,与火电厂发电原理相同,属于间接发电,如塔式发电、槽式发电、太阳池发电、热气流发电。

我国太阳能资源在西藏、西北、华北一带较为丰富。

风力发电是利用风力带动风力机叶片旋转,通过升速齿轮箱,将旋转速度提高使发电机发电,约在 3m/s 风速下便可开始发电。风力发电系统包括风轮、发电机、变速器及有关控制器和储能装置,风力发电机组单机容量为几十瓦到几兆瓦。

我国风能资源十分丰富,全国风能储量约 4.8×10^9 MW,可开发利用风能资源总量达 2.53 亿 kW。我国风能资源主要分布在新疆、内蒙古等北部地区和东部至南部沿海地带及岛屿。

到 2006 年底,全国风电装机容量达 260 万 kW,升到世界第六位,全国累计 3311 台风电设备分布于全国 16 个省(市、特别行政区)的 91 个风电场。

截至 2005 年底, 全国总发电设备容量为 51718.48 万 kW, 其中水电占总量 22.7%, 火电占总量 75.67%, 核电占总量 1.3%, 风电占总量 0.2%。

2. 变电所和配电站

变电所又称为变电站。变电所是联系发电厂和用户的中间环节, 起着变换电能、电压及接受电能、分配电能的场所。

在变电所中, 主要设置有电力变压器、母线、开关等配电设备以及监视、控制等辅助设备。如只有配电设备而没有电力变压器, 仅能接受电能和分配电能, 则称为配电站或开闭所。

变电所根据位于电力系统中的地位, 可分成下列几类。

1) 枢纽变电所。位于电力系统的枢纽点, 连接电力系统高压和中压几个部分, 汇集多个电源, 电压为 330~500kV 的变电所, 称为枢纽变电所。全所停电后, 将引起电力系统解列, 甚至出现瘫痪。

2) 中间变电所。高压侧以交换潮流为主, 起系统交换的作用, 或使长距离输电线路分段, 一般汇集 2~3 个电源, 电压为 220~330kV, 同时又降压供给当地用电。这样的变电所主要起中间环节的作用, 所以叫做中间变电所。全所停电后, 将引起区域网路解列。

3) 地区变电所。高压侧电压一般为 110~220kV, 对地区用户供电为主的变电所, 这是一个地区或城市的主要变电所, 全所停电后, 仅使该地区中断供电, 地区变电所, 一般采用三绕组变压器, 将电压降至 35kV 和 60kV (或 110kV) 两种电压, 供给该地区不同距离的用户或大型工业企业用电。

4) 终端变电所。在输电线路的终端, 接近负荷中心, 高压侧电压从地区变电所 35~110kV 的网络受电, 降压至 6~10kV 直接向城市或农村城镇供电, 供电范围较小, 全所停电后, 只是该部分用户终止供电。

5) 工业企业的总降压变电所与车间变电所, 总降压变电所属于终端变电所, 它是对企业内部输送电能的中心枢纽, 故也称为企业的中央变电所, 而车间变电所的一次侧从总降压变电所受电, 二次侧降压为 380/220V, 对车间各低压电气设备直接进行供电。

三、电力网

电网按电压等级可分为低电压电网 (1kV 以下); 中压电网 (1~10kV); 高压电网 (10~330kV); 超高压电网 (330kV 及以上)。电网实际上是指某一电压的相互联系的整个电力线路。

电力网按电压高低和供电范围大小分为区域网和地方电网。

1. 地方电网

地方电网电压不超过 110kV, 多供电给地方负荷, 地方变电所二次出线以后的网络为地方电力网, 如供电给工业企业、城市以及农村的电力网。

2. 区域电力网

电压在 110kV 以上, 多供电给地区变电所的电力网, 称为区域电力网。区域电力网供电范围较大, 供电距离较长, 可达 100~200km, 如 220kV, 输出 100~500MW, 输送距离为 100~300km。

3. 远距离输电网

电压超过 220kV 以上, 线路距离超过了 300km 称为远距离输电网。如我国平武线, 北起河南平顶山, 南到武汉凤凰山, 500kV 超高压输电线全长 600km; 又如葛洲坝至上海南

桥的±500kV 直流输电线路，全长 1080km，它们均属于远距离输电网。

四、电力系统运行特点与要求

1. 电力系统运行的特点

(1) 过渡过程非常短促。电力系统内任一处故障将以光速波及全系统，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也非常短促。

(2) 电能不能存储。电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的，目前还不能大量储存电能，即发电厂任何时刻生产的功率必须等于该时刻用电设备消费和网络损失功率之和。电力系统必须保持发电和用电的动态平衡状态。

(3) 与国民经济各部门的关系密切。供电中断会严重影响国民经济各部门和人民的生活动。由于故障供电给国民经济造成的损失远远大于用电费用。如 1977 年美国纽约电力系统事故造成大面积停电，停电时间 25h，影响 900 万居民供电，根据最保守的统计，这次停电造成的直接和间接经济损失约三亿五千万美元。

2. 对电力系统运行的基本要求

(1) 安全性。在电能生产、输送、分配和使用中，应确保不发生人身和设备事故。

(2) 可靠性。在电力系统运行过程中，应避免发生供电中断，以满足用户对供电可靠性的要求。各种用户对供电的可靠性要求也是不同的，因此，必须根据实际情况对待不同类型的用户。

(3) 优质。满足用户对电压和频率等质量的要求，电压和频率是标志电能质量的两个基本指标，也是设备制造的基本参数。运行电压和频率超过允许偏移值时，不仅要影响设备安全运行，而且可能要造成减产和废品。

我国采用系统频率为 50Hz，其允许偏移值如表 1-1 所示。用户供电电压允许变化范围如表 1-2 所示。

表 1-1 系统频率允许偏移值

运 行 情 况		允许频率偏移值 (Hz)	允许标准时钟误差 (s)
正常运行	中、小系统 (300 万 kW 以下)	±0.5	40
	大系统 (300kW 及以上)	±0.2	30
事故运行	30min 以内	±1	
	15min 以内	±1.5	
	决不允许低于	-4	

表 1-2 用户供电电压允许变化范围

线路额定电压	电压允许变化范围	线路额定电压	电压允许变化范围
35kV 及以上	±5%	农业用户	+5%，-10%
10kV 及以下	±7%	220V	+7%，-10%
低压照明	+5%，-10%		

除频率和电压外，电压和电流波形也是电能质量的一个重要指标。正弦波形畸变是由于三相不平衡负载，晶闸管或非线性元件等形成谐波所致，反过来它又影响用户的正常运行并对通信系统产生干扰。

“电力系统谐波管理暂行规定”，要求电网任一点的电压正弦波形畸变均不能超过表 1-3 规定的极限值。

表 1-3

电网电压正弦波形畸变率极限值 (相电压)

用户供电电压 (kV)	总电压正弦波形畸变率极限值 (%)	各奇、偶次谐波电压正弦波形畸变率极限值 (%)	
		奇 次	偶 次
0.38	5	4	2
6 或 10	4	3	1.75
35 或 66	3	2	1
110	1.5	1	0.5

(4) 经济。降低电力系统的投资和运行费用, 尽可能节约有色金属消耗量, 通过合理规划和调度, 减少电能损耗, 实现电力系统的经济运行。

五、工厂供电系统的组成

工厂供电系统是由总降压变电所, 厂区高压配电线路, 车间变电所 (配电站), 车间低压配电线路以及用电设备组成。如图 1-1 中点划线框内所示。它的任务是按工厂需要把电能输送并分配到用电设备。工厂供电系统是电力系统中的一部分。

对于大型联合企业, 考虑到其生产对国民经济的重要性, 需要自建发电厂作为备用电源。或者有的企业为满足供电和供热的要求, 用电量大, 不允许停电, 可以由一个企业或几个企业联合建立热电厂。建立自备发电厂必须经过技术经济分析才能确定, 证明有显著的优越性时, 方可建立自备发电厂。

对于大型企业工厂用电量大, 要求供电可靠性高, 可将 110~220kV 高压直接引入总降压变电所。如图 1-1 所示, 总降压变电所由 110kV 地方电力网直接供电。对于用电量大的厂房和车间也可以直接用 35~110kV 高压电能送至车间, 降压后对车间电气设备供电。这样可以减少电网的电能损失和电压损失, 保证电能质量和节省导线材料。

(一) 总降压变电所

一个大型工业企业工厂内设有一个或几个总降压变电所, 从电力系统接受 35~110kV 高压电能, 降压后以 3~10kV 向各车间变电所和高压电动机供电。为提高供电可靠性, 总降压变电所多设置两台降压变压器, 由两条或多条电源进线供电。各个总降压变电所之间也可以互相联络, 每台变压器容量可以从几千到几万千伏安。

中小型冶金企业工厂, 一般只建立一个总降压变电所, 其进线数视具体情况而定, 条件允许, 也可以采用两条电源进线。对于一般小企业不建总降压变电所, 而由相邻企业工厂供电或由几个小型企业联合建立一个共用总降压变电所, 通常只由电力系统一个电源供电。

工厂中视供电容量和供电范围, 通过技术经济比较综合分析后, 方能确定总降压变电所的数量和总降压变电所主变压器的台数及容量。

(二) 车间变电所

在一个生产车间或厂房内, 根据生产规模, 用电设备的布局及用电量的大小等情况, 可设立一个或几个车间变电所。几个相邻且用电量不大的车间也可以共同设立一个车间变电所, 变电所的位置可以选择在这几个车间的负荷中心, 也可以选择在其中用电量最大的车间内。

在车间变电所一般设置一台或两台变压器, 特殊情况最多不宜超过三台。单台变压器容量通常在 1000kV·A 以下, 特殊情况最大负荷不超过 1800kV·A (新产品为 1600kV·A)。近

年来由于新型开关设备切断能力提高,车间变电所变压器容量也相对提高,最大不宜超过 $2000\text{kV}\cdot\text{A}$ 。

车间变电所将 $6\sim 10\text{kV}$ 高压配电电压降低为 $220/380\text{V}$ (或 660V),对低压用电设备供电。对车间里高压用电设备,则直接通过变电所的 $6\sim 10\text{kV}$ 母线供电。

车间变电所的主要电气设备是电力变压器和受、配电设备及装置。所谓受、配电设备及装置是用来接受和分配电能的电气设备和装置。其中包括开关设备、保护电器、测量仪表、母线及其它辅助设备。对于 10kV 以下系统,为安全和维护方便起见,制造厂均将受、配电设备组装成套式开关柜。

(三) 厂区与车间的配电线路

工业企业工厂高压配电线路($6\sim 10\text{kV}$ 或 35kV)主要用作厂区输送与分配电能,通过它把电能输送到各个厂房和车间。高压配电线路目前多采用架空线路,因为架空线路建设投资少且维护与检修方便。但在某些企业(钢铁厂、化工厂等)厂区内,由于厂房和其它构筑物密集,架空敷设的各种管道纵横交错,电动机车牵引电网以及铁路运输网路较多占据空间位置或者由于厂区个别地区扩散于空间腐蚀性气体较严重等因素的限制,不宜于敷设架空线路,可以在这些地段敷设地下电缆。电缆线路虽然造价高,但可以美化厂区环境,有利于文明生产,现代化工业厂区高压配电线路已逐渐向电缆化方向发展。

车间低压配电线路主要用于向低压用电设备供电,在户外敷设的低压配电线路目前多采用架空线路,并尽可能与高压线路同杆架设以节省建设费用。在厂房及车间内部根据具体情况采用明线敷设或电缆(或绝缘线)穿管敷设。穿管敷设线路,通常可以沿墙敷设,或沿棚敷设明管,也可以预先将管埋入墙(棚)之内。低压电缆线路可以沿墙或棚悬挂敷设,也可以置于电缆暗沟内敷设。车间内由动力配电箱到电动机的配电线路一律采用绝缘导线穿管敷设或采用电缆线敷设。

对矿山企业,井下开采供电系统和露天开采供电系统与一般企业工厂供电系统稍有不同,原因是它们的生产机械用电设备经常随着采掘工作面推进而移动。

在井下开采时,电能由井上地面总降压变电所通过高压电缆配电线路沿井筒送到井底车场的井下中央变电所,供电给车场附近的所有高压用电设备,由中央变电所降压后通过固定敷设电缆线路给井下低压设备供电。当井下开采规模较大时,采区距井底车场较远,可设立采区变电所,采区变电所由井下中央变电所通过半固定敷设的高压电缆线路供电,经采区变电所降压后,通过低压开关和橡胶护套电缆对采掘面的低压用电设备供电,采区变电所随着开掘面的推进而定期移动,这样可以缩短低压电缆长度,减少电压损失,使工作面上低压电气设备供电质量提高。

在露天开采时,电能由矿区总降压变电所通过固定式高压架空配电干线送进采场。固定式高压配电干线可以顺梯段架设,也可以横跨梯段架设。在露天采矿场各梯段高、低压配电线路均采用移动式架设法(利用移动式电杆,这种电杆带有底座),它随各梯段采场工作面的推进而经常移动,移动式架空线路从固定式高压架空配电干线上接取电能。由移动式架空线路对移动式生产机械(电铲、钻井)供电时,一律采用橡胶护套电缆。为减轻大型电动机启动引起电压波动的影响,车间内电气照明线路和动力线路通常是分开架设,可由一台配电用变压器分别供电,如果动力设备冲击负荷使电压波动较大,可采用照明负荷由单独变压器供电,保证照明质量。事故照明必须由可靠的独立电源供电。

第二节 电力系统电压与电能质量

一、概述

电力系统中的所有电气设备都是设计在额定电压和额定频率条件下工作的。电气设备在额定条件下工作，可以保证电气设备在正常运行时，获得最佳的经济效果。

电压和频率是标志电能质量的两个基本指标。我国采用电气设备额定频率为 50Hz，统称为工频。对于工厂供电系统来说，提高电能质量主要是提高电压质量问题。电压质量是按照国家标准规范对电力系统电压的偏差、波动和波形的一种质量评估。

电压偏差是指电气设备的端电压与其额定电压之差，通常以其额定电压的百分值表示。电压波动是指电网电压幅值或其有效值的快速变动。电压变动值以用户公共供电点的相邻最大与最小电压有效值之差对电网额定电压百分比值表示；电压波动的频率用单位时间内电压波动（变动）的次数来表示。

电压波形的好坏以其正弦波程度来衡量。此外，三相系统中三相电压或三相电流是否平衡也是衡量电能质量的一个指标。

二、额定电压的电压等级及额定电压

电力系统额定电压的等级是根据国民经济发展的需要，考虑到技术经济上的合理性以及电机、电器制造工业的水平和发展趋势等一系列因素，经全面分析论证，由国家标准总局统一制订和颁布的。

按照国家标准 GB156—1993《标准电压》规定，我国三相交流电网和电气设备的额定电压（均指线电压）如表 1-4 所示。表 1-4 中的电力变压器的一、二次绕组的额定电压，是依据我国生产的电力变压器标准产品规格确定的。

表 1-4 我国三相交流电网和电气设备的额定电压（根据 GB 156—1993）

分 类	电网线路及用电设备 额定电压 (kV)	交流发电机线 电压 (kV)	电力变压器额定电压 (kV)	
			一次绕组	二次绕组
低 压	0.38/0.22	0.40	0.38/0.22	0.40/0.23
	0.66/0.38	0.69	0.66/0.38	0.69/0.40
高 压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15.75, 18 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	(60)	—	(66)	(72.6)
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

1. 用电设备的额定电压

以同级电网（线路）的额定电压 U_N 为基准，可以确定电力系统中各元件的额定电压关系。由表 1-4 可知，用电设备的额定电压等于所连接电网的额定电压。

线路输送功率时，沿线路电压分布往往是始端高于末端（如图 1-3 所示），沿线路电压分布为 $U_a \sim U_b$ ，从而图中用电设备 1~5 端点各不相同，所谓线路额定电压 U_N 实际上就是线路的平均电压 $U_N = (U_a + U_b)/2$ ，而各用电设备额定电压选择与线路额定电压相等，使所有用电设备都能在接近它们的额定电压下运行。

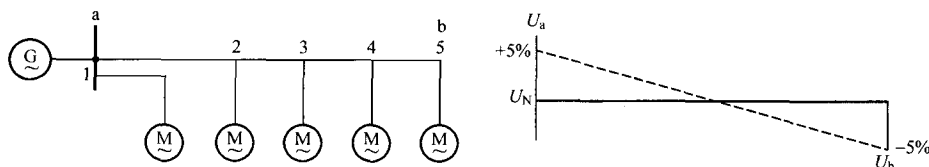


图 1-3 用电设备和发电机的额定电压说明

2. 发电机的额定电压

用电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$ ，而沿线路的电压降落一般为 10% ，这就要求线路始端电压为额定值的 105% ，以使其末端电压不低于额定值的 95% ，发电机往往接在线路始端，因此，发电机的额定电压为线路额定电压的 105% ，即 $U_{N.G} = 1.05U_N$ 。

3. 电力变压器的额定电压

从表 1-4 中可以看出电力变压器各绕组同一电压级有两个额定电压值，说明如下。

(1) 电力变压器一次绕组接电源，相当于用电设备，分两种情况。

1) 当变压器一次绕组直接与发电机相连时，如图 1-4 中变压器 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% ， $U_{1N.T} = U_{N.G}$ 。

2) 当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，如图 1-4 中 T2，则可看成是用电设备，因此，一次绕组额定电压与电网额定电压相同， $U_{1N.T} = U_N$ 。

(2) 电力变压器二次绕组向负荷供电，相当于发电机，亦分为三种情况。

1) 当变压器二次侧供电线路较长（如高压电网）时，如图 1-4 中 T1，其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10% ，其中 5% 用于补偿变压器满载运行时绕组本身的电压降，另外 5% 用于补偿线路上的电压降。

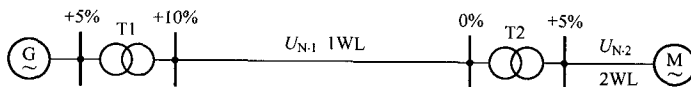


图 1-4 电力变压器额定电压的说明

2) 变压器二次侧供电线路较短（如为低压电网或直接供电给高低压电气设备）时，如图 1-4 中变压器 T2，其二次绕组额定电压只需高于所连接电网额定电压 5% ，仅考虑补偿变压器满载运行时绕组本身的 5% 电压降。

3) 对于升压变压器，二次侧额定电压应比所连电网额定电压高 10% 。

由于电力网中各点电压不同，而且随负荷及运行方式变化而改变，为保证电力网各点电

压在各种情况下均符合要求, 变压器均有用以改变其变比的若干分接头绕组 (一般为高、中压绕组)。适当改变变压器的分接头, 可调整变压器的出口电压, 使用电设备处的电压能够接近于额定值。无载调压变压器高压 (或中压) 绕组分接头电压为 $U_N \pm 5\%$ 或 $U_N \pm 2 \times 2.5\%$, 有载调压变压器高压绕组分接头电压为 $U_N \pm 3 \times 2.5\%$ 或 $U_N \pm 4 \times 2\%$ 。表 1-4 中 60kV 为东北电力系统所采用, 选择 60kV 电压等级就不再使用 110kV 和 35kV 电压等级了。330kV 只用于西北电力系统。我国目前最高为 750kV 等级, 而世界上还有 1150kV。

一般说来, 输电网主干线和相邻电网间联络线多采用 500、330kV 和 220kV 等级, 二级输电网采用 220kV 和 110kV 等级, 35kV 既用于城市和农村的配电网, 也可用于大工业企业内部电网。10kV 是最常用的较低一级高压配电电压, 只有负荷中高压电动机比重较大的才考虑 6kV 配电方案, 3kV 只限于工业企业内部使用, 且正在被 6kV 代替。

各级电压线路输送能力 (送电功率和送电距离) 大致范围如表 1-5 所示。

表 1-5 各级电压线路输送能力

额定电压 (kV)	送电功率 (kW)	送电距离 (km)	额定电压 (kV)	送电功率 (kW)	送电距离 (km)
0.22	≤ 50 (≤ 100)	0.15 (0.2)	66	3500~30000	30~100
0.38	≤ 100 (≤ 175)	0.25 (0.35)	110	10000~50000	50~150
3	100~1000	1~3	220	100000~300000	100~300
6	100~1200 (30000)	4~15 (< 3)	330	200000~1000000	200~600
10	200~2000 (40000)	6~20 (< 6)	500	1000000~1500000	300~1000
35	2000~15000	20~50			

注 括号内数字表示线路结构为电缆线, 其它为架空线路。

4. 电压高低的划分

(1) 从安全方面考虑。我国一些安全规程规定: 低压指设备对地电压在 250V 及以下者; 高压指设备对地电压 250V 以上者。

(2) 从设计、制造、安装规程考虑。通常以 1000V 为界限划分高、低压。低压指额定电压在 1000V (有的规程为 1200V) 及以下者; 高压指额定电压在 1000V (或 1200V) 以上者。

通常采用 1000V 为界限划分高压和低压, 如表 1-4 所示。此外尚有下列标准划分: 低压 (1kV 及以下)、中压 (1kV 以上至 10kV 或 35kV)、高压 (35kV 以上至 110kV 或 220kV)、超高压 (220kV 或 330kV 及以上) 和特高压 (800kV 或 1000kV)。

三、电能质量

(一) 电压偏差及电压调整

1. 电压偏差及其允许值

电压偏差也称为电压偏移, 是指给定瞬间设备端电压 U 与设备额定电压 U_N 之差对额定电压 U_N 的百分值, 即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-1)$$

电压偏差对设备运行的影响:

(1) 对感应电动机的影响。当感应电动机的端电压较其额定电压低 10% 时, 由于其转

距与端电压平方成正比 ($M \propto U^2$), 因此转距只有额定转距的 81%, 而负荷电流增大 5%~10% 以上, 温升增高 10%~15% 以上, 绝缘老化程度将比规定增加一倍以上, 从而明显地缩短了电动机使用寿命。

(2) 对同步电动机的影响。当同步电动机端电压偏高或偏低时, 转距也要按电压平方正比变化 ($M \propto U^2$), 因此同步电动机的端电压偏差除了不会影响转速外, 其它对转距、电流、温升影响与感应电动机相同。

(3) 对电光源的影响。电压偏差对白炽灯影响较显著。当白炽灯端电压降低 10%, 灯泡寿命延长 2~3 倍, 但发光效率下降 30% 以上, 灯光明显变暗, 照度下降, 严重影响人的视力健康, 降低工作效率, 增加事故。当其端电压升高 10%, 发光效率提高 1/3, 其使用寿命缩短到原来的 1/3。

电压偏差对荧光灯及其它气体放电灯影响不如白炽灯那么明显, 但也有一定影响。如其端电压偏低, 灯管不易启燃。如反复多次启燃, 则灯管寿命下降, 而且电压降低, 照度下降, 影响视力。电压偏高灯管寿命又要缩短。

允许电压偏差如表 1-2 所示, 在电力系统正常运行情况下, 用户受电端电压最大允许偏差不应超过额定值的 $\pm 10\%$ 。

2. 电压调整

为了满足用电设备对电压偏移的要求, 供电系统必须采用的电压调整措施如下。

(1) 改变变压器变比调压。选择无载调压型变压器或有载调压型变压器, 通过切换变压器分接头, 可以调节变压器低压侧电压。

(2) 合理减少系统的阻抗。通过减少系统变压级数, 增大导线电缆截面, 或以电缆取代架空线减少系统阻抗, 降低线路电压损耗, 从而缩小电压偏差达到电压调整目的。但是要进行技术经济比较分析, 合理时才予以采用。

(3) 合理改变系统运行方式。对于一班制或两班制工厂或车间中, 工作班的时间内负荷较重电压往往偏低, 因而需要将变压器高压绕组分接头调整在 -5% 位置上, 但这样一来, 到夜间负荷较轻时, 电压就会过高, 这时如能将变压器切除, 改由低压联络线供电, 既减少了变压器的电能损耗, 又可由于投入低压联络线增加线路电压损耗, 从而达到降压变电所出现的过电压。对于两台并列运行的变压器, 在负荷轻时切除一台变压器, 同样可起到降低过电压作用。

(4) 尽量使系统三相负荷均衡。在有中性线的低压配电系统中, 如果三相负荷不均衡, 将使负荷端中性点偏移, 造成各相电压不对称, 从而增大线路电压偏差。

(5) 应用无功功率补偿装置调节电压。电力系统中存在大量的感性负荷, 使系统中出现大量相位滞后的感性无功功率, 降低了功率因数, 增大了系统电压损耗, 为提高功率因数, 减少系统电压损耗, 可采用并联电容器、同步调相机和静止补偿器等。并联电容器是经济和方便的补偿设备, 使用最广泛, 它分散安装在各用户处和一些降压变电所的 10kV 或 35kV 母线上, 使高低压电力网 (包括配电网) 的电压损耗和功率损耗得到减小, 在高峰负荷时能提高电网的电压水平, 在负荷较低时, 可以切除部分并联电容器, 防止电压水平过高。

同步调相机和静止补偿器输出的无功功率可以连续控制, 当系统电压过高时还可以吸收无功功率, 具有优良的控制电压的能力, 经济效益显著, 通常装设在枢纽变电所中。但同步调相机和静止补偿装置控制设备复杂, 而且维护麻烦, 所以在工厂供电系统中采用并联电容