



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工厂供配电技术

第2版

GONGCHANG GONGPEIDIAN JISHU

◎ 戴绍基 主编



配教学资源

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工厂供配电技术

第2版

主 编 戴绍基

副主编 陈俊英

参 编 刘明黎 包玉合 林 春
李炜恒 宣 峰 曹 辉



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》,同时参考中、高级维修电工职业资格标准编写的。

本书共分十章,主要包括:工厂供电系统的主要电气设备;工厂供电系统的结线和结构;负荷计算和短路计算;电器和导体的选择与校验;继电保护装置及二次系统;防雷、接地及电气安全;工厂的电气照明;工厂的电能节约;工厂供电系统的运行维护与检修试验。本书在编写中十分注意贯彻最新的国家标准和设计规范,使内容更新颖、更实用;书中有较多符合工程实际的例题;一些表格和插图系采用实际设计施工的工程图样;本书图文并茂,在文字叙述上力求准确生动、深入浅出。

为便于复习和自学,章末附有思考题和习题,书末附有习题的参考答案。此外,为便于实验和课程设计,书末还附有工厂供电实验指导书和课程设计任务书。为便于教学,本书配有电子教案等教学资源,选择本书作为教材的教师可登录 www.cmpedu.com 网站,注册并免费下载。

本书可作为高等职业院校电气自动化技术、机电一体化技术、供用电技术、电气运行与控制等相关专业的教材,也可作为中、高级维修电工以及电气设计、施工人员的岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供配电技术/戴绍基主编. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2015. 1

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-41518-3

I. ①工… II. ①戴… III. ①工厂—供电系统—
高等职业教育—教材②工厂—配电系统—高等职业
教育—教材 IV. ①TM727. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 031211 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:高倩 责任编辑:范政文

版式设计:霍永明 责任校对:张征

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20 印张·490 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-41518-3

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

本书是按照教育部《关于开展“十二五”职业教育国家规划教材选题立项工作的通知》，经过出版社初评、申报，由教育部专家组评审确定的“十二五”职业教育国家规划教材，是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》，同时参考中、高级维修电工职业资格标准编写的。

本书主要介绍工厂供电的有关知识；工厂供电系统的主要电气设备；工厂供电系统的结线和结构；负荷计算和短计算；电器和导体的选择与校验；继电保护装置及二次系统；防雷、接地及电气安全；工厂的电气照明；工厂的电能节约；工厂供电系统的运行维护与检修试验。

本书编写过程中力求体现高等职业教育以能力为本位的特色。本书注意贯彻最新的国家标准和设计规范，使内容更加新颖和实用，并有利于增强读者的规范意识；书中有较多符合工程实际的例题；一些表格和插图系采用实际设计施工的工程图样；本书图文并茂，在文字叙述上力求准确生动、深入浅出。

本书共分十章，第一章至第六章介绍了工厂供配电系统，第七章至第十章的内容相对独立，可根据各校专业要求和教学时数情况自行适当取舍。当教学时数较少时，目录中标有“*”的章节可作为选讲内容，或安排给学生自学，或在课程设计、毕业设计，以及职业资格培训时介绍。

本书由河南工业职业技术学院戴绍基任主编，西安建筑科技大学信息与工程学院陈俊英任副主编。具体分工如下：陈俊英编写第六、八章，河南工业职业技术学院刘明黎编写第四章，河南中南工业有限责任公司高级工程师包玉合编写第一章，兴业银行高级工程师林春编写第九章，河南工业职业技术学院李炜恒编写第二章和附录 B，宣峰编写第三章，曹辉编写第十章和附录 C，其余部分均由戴绍基编写并负责统稿、定稿等工作。

本书经全国职业教育教材审定委员会审定，教育部专家在评审过程中对本书提出了宝贵的建议，在此对他们表示衷心的感谢！在编写过程中，编者参阅了国内外出版的有关教材和资料，并得到了河南工业职业技术学院和机械工业出版社的指导和帮助，在此一并表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳切希望使用本书的师生和读者批评指正。意见可发至 1179912754@qq.com。

编 者

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 供电的意义、要求及课程任务	1
第二节 工厂供电系统及其电源和负荷	1
第三节 电力系统的电压	7
第四节 电力系统的中性点运行方式	11
思考题	16
习题	16

第二章 工厂供电系统的主要电气设备	17
第一节 工厂供电系统电气设备的分类	17
第二节 电气设备中的电弧问题	17
第三节 高低压熔断器	20
第四节 高、低压开关设备	23
第五节 电流互感器和电压互感器	36
第六节 高低压成套配电装置	42
第七节 电力变压器	44
思考题	46

第三章 工厂供电系统的结线和结构	48
第一节 工厂变配电所的主结线方案	48
第二节 工厂变配电所的结构与布置	56
第三节 工厂电力线路的结线方式	65
第四节 工厂电力线路的结构与敷设	70
思考题	82

第四章 负荷计算和短路计算	83
第一节 电力负荷和负荷曲线的有关概念	83
第二节 用电设备组计算负荷的确定	86
第三节 工厂计算负荷的确定	93
第四节 尖峰电流及其计算	97
第五节 短路及短路电流的有关概念	98
第六节 短路电流的计算	102



第七节 短路电流的效应	111
思考题	116
习题	116
第五章 电器和导体的选择与校验	118
第一节 电力变压器的容量和过负荷能力	118
第二节 工厂变电所主变压器台数和容量的选择	119
第三节 高低压电器的选择与校验	121
第四节 工厂电力线路的选择与校验	130
思考题	139
习题	140
第六章 继电保护装置及二次系统	142
第一节 继电保护装置的任务和要求	142
第二节 常用的保护继电器	143
第三节 工厂高压线路的继电保护	150
第四节 电力变压器的继电保护	163
第五节 断路器的控制回路和信号系统	170
第六节 绝缘监察装置和测量仪表	174
第七节 工厂供电系统二次回路接线图	177
思考题	181
习题	182
第七章 防雷、接地及电气安全	184
第一节 过电压与防雷	184
第二节 电气设备的接地	195
第三节 电气安全	208
思考题	213
习题	214
第八章 工厂的电气照明	215
第一节 照明技术的有关概念	215
第二节 常用的电光源和灯具	218
第三节 照度标准及照度计算	226
第四节 照明供电系统及其选择	229
思考题	234
习题	234
第九章 工厂的电能节约	235
第一节 电能节约的意义	235
第二节 工厂电能节约的一般措施*	236

第三节 工厂供用电设备的电能节约	238
第四节 无功功率的人工补偿	241
思考题	250
习题	250

第十章 工厂供电系统的运行维护与检修试验	251
第一节 工厂变配电所的运行维护	251
第二节 工厂电力线路的运行维护	255
第三节 工厂变配电所主要电气设备的检修试验	257
第四节 电力线路的检修试验	270
思考题	274

附录	276
附录 A 部分常用技术数据表	276
附录 B 工厂供电实验指导书	298
附录 C 工厂供电课程设计任务书	307
附录 D 习题参考答案	311

参考文献	314
-------------	-----

第一章 概论

本章概述有关供配电技术的一些基本知识和基本问题,为学习以后各章内容打下初步基础。首先简要说明工厂供电的意义、要求和课程任务,接着简单介绍一些典型的工厂供电系统、发电厂和电力系统的基本知识,简述工厂电力负荷的分级及其对供电电源的要求,然后重点论述关系供电系统全局的两个问题,即电力系统的电压和电力系统中性点的运行方式。

第一节 供电的意义、要求及课程任务

工厂供电,或称工厂配电,就是指工厂所需电能的供应和分配问题。电能是现代工业生产的主要能源和动力。工厂的电能供应如果突然中断,将给工业生产带来严重的影响,甚至可能发生重大的设备损坏事故或人身伤亡事故。由此可见,搞好工厂供电工作对于保障工业生产的正常进行,具有十分重要的意义。

工厂供电工作要很好地为工业生产服务,切实保证工厂生产和生活用电的需要,并搞好电能的节约,必须达到以下基本要求:

- (1) 安全 在电能的供应、分配和使用中,不应发生设备事故和人身事故。
- (2) 可靠 应满足用户对供电可靠性即连续供电的需求。
- (3) 优质 应满足用户对电压质量和频率质量等方面的要求。
- (4) 经济 应使供电系统的投资少、运行费用低、并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量。

此外,在供电工作中,应合理地处理局部与全局、当前与长远的关系,既要照顾局部和当前的利益,又要有全局观点,顾全大局,适应发展。例如计划供用电问题,不能只考虑一个单位的局部利益,而要有全局观点。

本课程的基本任务,主要是讲述中小型机械类工厂内部的电能供应和分配问题,使学生初步掌握中小型工厂供电系统运行维护及简单设计计算所必需的基本理论和基本知识,为今后从事工厂供电技术工作奠定初步的基础。本课程实践性较强,学习时应注重理论联系实际,培养实际应用能力。

第二节 工厂供电系统及其电源和负荷

一、工厂供电系统

工厂供电系统的范围是工厂所需的电力电源从进厂起到所有用电设备入端止的整个电路。一些中小型工厂的电源进线电压为 10kV(或 6kV);某些大中型工厂的电源进线电压可

达 35kV 及以上,例如 110kV 某些小型工厂则可直接采用低压进线。所谓低压,是指低于 1kV 的电压;而 1kV 以上的电压则称为高压^①。有些文献也把 6~12kV 的电压称为中压。

1. 具有高压配电所的工厂供电系统

如图 1-1 所示是一个比较典型的中型工厂供电系统的系统图^②,其平面布线图如图 1-2 所示。为使图形简明,系统图、布线图及后面将涉及的主电路图,一般都只用一根线来表示三相线路,即绘成“单线图”的形式。必须说明,这里绘出的系统图未绘出其中的开关电器,但示意性地绘出了高低压母线和低压联络线上装设的开关。

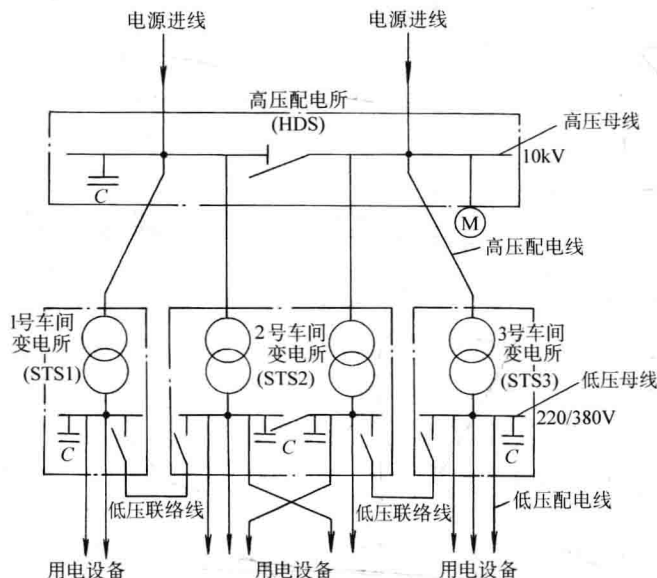


图 1-1 具有高压配电所的工厂供电系统图

从图 1-1 可以看出,该厂的高压配电所有两条 10kV 的电源进线,分别接在高压配电所的两段母线上。所谓母线,就是用来汇集和分配电能的导体,又称汇流排。这种利用一台开关分隔开的单母线结线形式,称为单母线分段制。当一条电源进线发生故障或进行检修而被切除时,可以闭合分段开关由另一条电源进线来对整个配电所的负荷供电。这种具有双电源的高压配电所最常见的运行方式是:分段开关正常情况下是闭合的,整个配电所由一条电源进线供电,这条电源进线通常来自公共高压配电网;而另一条电源进线则作为备用,通常是从邻近单位取得备用电源。

如图 1-1 所示高压配电所有四条高压配电线,供电给三个车间变电所。车间变电所装有电力变压器(又称主变压器),将 10kV 高压降为低压用电设备所需的 220/380V 电压^③。2 号

① 这里所谓的“低压”、“高压”是从设计制造的角度来划分的。如果从电气安全的角度,则按我国电力行业标准 DL 408—1991 规定:“低压”为设备对地电压低于 250V 者;“高压”为设备对地电压在 250V 以上者。

② 按 GB/T 6988—1997《电气技术用文件的编制》定义:“系统图”是用符号或带注释的框,概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图。而“电路图”是用图形符号并按工作顺序,详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系而不考虑其实际位置的一种简图。

③ 按 GB/T 156—2007《标准电压》规定,电压“220/380V”中的 220V 为三相交流系统的相电压,380V 为线电压。



车间变电所的两台电力变压器分别由配电所的两段母线供电；而其低压侧也采用单母线分段制，从而使供电可靠性大大提高。各车间变电所的低压侧，又都通过低压联络线相互连接，以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外，该配电所还有一条高压配电线，直接供电给一组高压电动机；另有一条高压配电线，直接连接一组高压并联电容器。各车间变电所的低压母线上都连有一组低压并联电容器，用来补偿系统的无功功率、提高功率因数。

2. 具有总降压变电所的工厂供电系统

如图 1-3 所示是一个比较典型的具有总降压变电所的大中型工厂供电系统的系统图。总降压变电所有两条 35kV 及以上的电源进线，采用桥形接线。35kV 及以上的电压经该变电所电力变压器降为 10(或 6)kV 的电压，然后通过高压配电线路将电能送到各车间变电所。车间变电所又经电力变压器将 10(或 6)kV 的电压降为一般低压用电设备所需的 220/380V 的电压。为了补偿系统的无功功率和提高功率因数，通常在 10(或 6)kV 的高压母线上或 380V 的低压母线上接入并联电容器。

3. 高压深入负荷中心的工厂供电系统

如果当地的电源电压为 35kV，而厂区环境条件和设备条件又允许采用 35kV 线路和比较经济的电气设备时，则可考虑采用 35kV 作为高压配电电压，35kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所，经电力变压器直接降为低压用电设备所需的电压，如图 1-4 所示。这种高压深入负荷中心的直配方式，可以节省一级中间变压，从而简化了供电系统，节约有色金属，降低电能损耗和电压损耗，提高供电质量。

4. 只有一个变电所或配电所的工厂供电系统

对于小型工厂，由于所需电力容量一般不大于 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ ，因此通常只设一个将 10(或 6)kV 的电压降为低压的降压变电所，其系统图如图 1-5 所示。这种变电所相当于上述的车间变电所。

如果工厂所需电力不大于 $160\text{kV} \cdot \text{A}$ ，通常采用低压进线，直接由当地的 220/380V 公

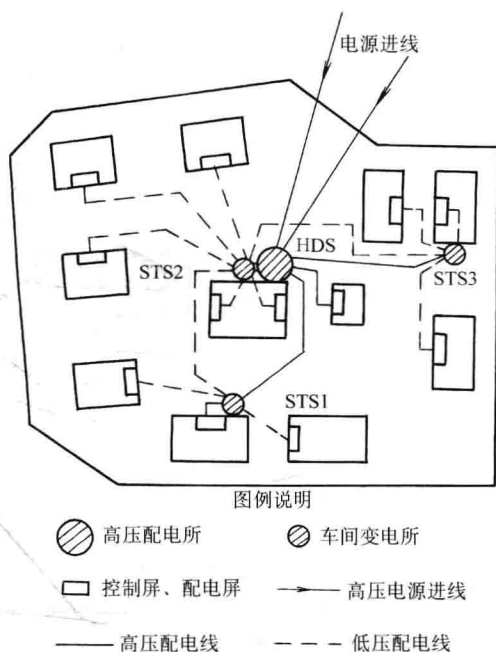


图 1-2 图 1-1 所示工厂供电系统的平面布线图

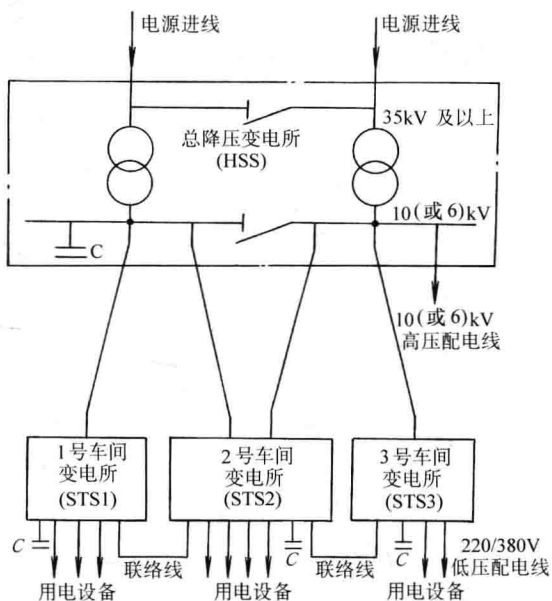


图 1-3 具有总降压变电所的工厂供电系统图

共电网供电，因此工厂只需设置一个低压配电所(俗称配电间)，通过低压配电所直接向各车间配电。

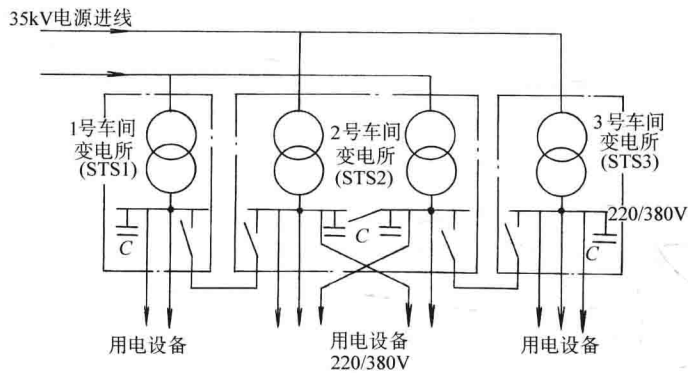


图 1-4 高压深入负荷中心的工厂供电系统图

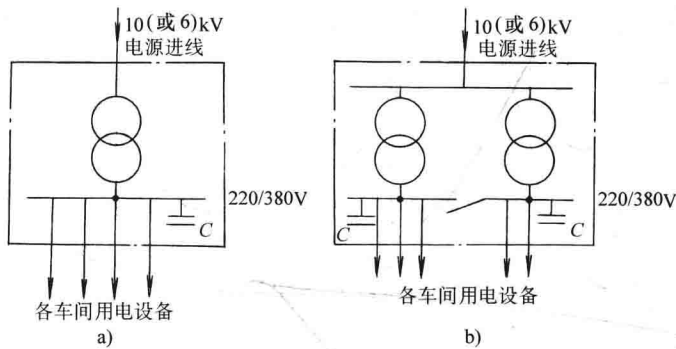


图 1-5 只有一个降压变电所的工厂供电系统图

a) 装有一台变压器 b) 装有两台变压器

综上所述，变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能，配电所的任务是接受电能和分配电能。

二、发电厂和电力系统

工厂所需的电能是由发电厂生产的。但发电厂大多建设在能源基地附近，离用电负荷很远。为了减少输电损失，发电厂发出的电压一般要经升压变压器升压，再经降压变压器降压，以此获得用电负荷的低电压如图 1-6 所示。发电、输电、变电、配电和用电的全过程，对电能本身来说实际上是在同一瞬间实现的，这是交流电能的一大特点。因此，在研究工厂供电问题时，也有必要了解发电厂及电力系统方面的一些基本知识。

1. 发电厂

发电厂又称发电站，是将自然界蕴藏的各种一次能源(如水力、煤炭、石油、天然气、风力、地热、太阳能和核能等)转换为电能(二次能源)的工厂。发电厂按其利用的能源不同，可分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、潮汐能发电厂、太阳能发电厂等类型。这里主要介绍水力发电厂、火力发电厂和核能发电厂。



(1) 水力发电厂 水力发电厂简称水电厂或水电站，它利用水流的位能差异来生产电能。

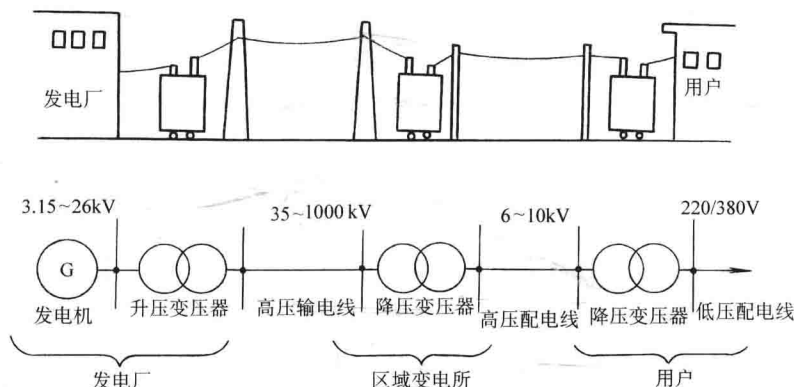


图 1-6 从发电厂到用户的送电过程示意图

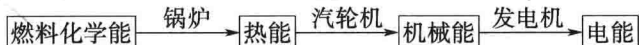
水电站的发电容量与水电站所在地点上下游的水位差(通称水头或落差)和流过水轮机的水流量的乘积成正比，因此，建造水电站，必须用人工的办法来提高水位。最常用的办法是在河道上建筑一个很高的拦河坝，使上游形成水库，提高上游水位，与坝的下游形成尽可能大的落差。水电站就建在大坝后面，这种水电站称为坝后式水电站。我国一些大型水电站包括三峡水电站，都属于这种类型。另一种提高水位的办法，是在具有相当坡度的弯曲河段上游，筑一低坝，拦住河水，然后利用沟渠或隧洞，将河水直接引至建在河段末端的水电站，这种水电站称为引水式水电站。还有一种水电站，是上述两种方式的综合，由大坝和引水渠道分别提高一部分水位，这种水电站称为混合式水电站。

水电站的能量转换过程如下：



(2) 火力发电厂 火力发电厂简称火电厂或火电站，它利用燃料的化学能来生产电能。我国的火电厂以燃煤为主。为了提高燃煤效率，现代火电厂都把煤块粉碎成煤粉，再使之在锅炉的炉膛内充分燃烧，将锅炉内的水烧成高温高压的蒸汽，推动汽轮机转动，从而使与它联轴的发电机旋转发电。

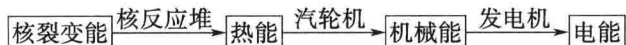
火电厂的能量转换过程如下：



既供电又供热的火电厂称为热电厂。热电厂的总能量利用率较高。它一般位于工业区或城市附近。

(3) 核能发电厂 核能发电厂又称核电站。它是利用原子核的裂变能(即“核能”)来产生电能的电站。它生产电能的过程与火电厂基本相同，只是以核反应堆代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料取代了大量的煤炭等燃料。

核电站的能量转换过程如下：



核能是极其巨大的能源，也是相当洁净和安全的一种能源，而且核电建设具有重要的经济和科研价值，所以世界各国都很重视核电建设，核电发电量的比重正在逐年增长，但应特别注意核电的安全问题。

从我国的国情出发,我国的电力建设方针确定为:优化火电结构,大力发展水电,适当发展核电,因地制宜开发新能源,同步建设电网,积极减少环境污染,开发与节约并举,把节约放在首位。我国除了新建和扩建一批水电站和火电站外,还兴建了秦山、大亚湾等核电站,并兴建了举世瞩目的三峡水电站。三峡水电站的总装机容量为1820万kW,按设计,年平均发电量为847亿kW·h。

2. 电力系统

由各种电压的电力线路,将各种发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体,称为电力系统。

如图1-7所示为一个大型电力系统的系统图。

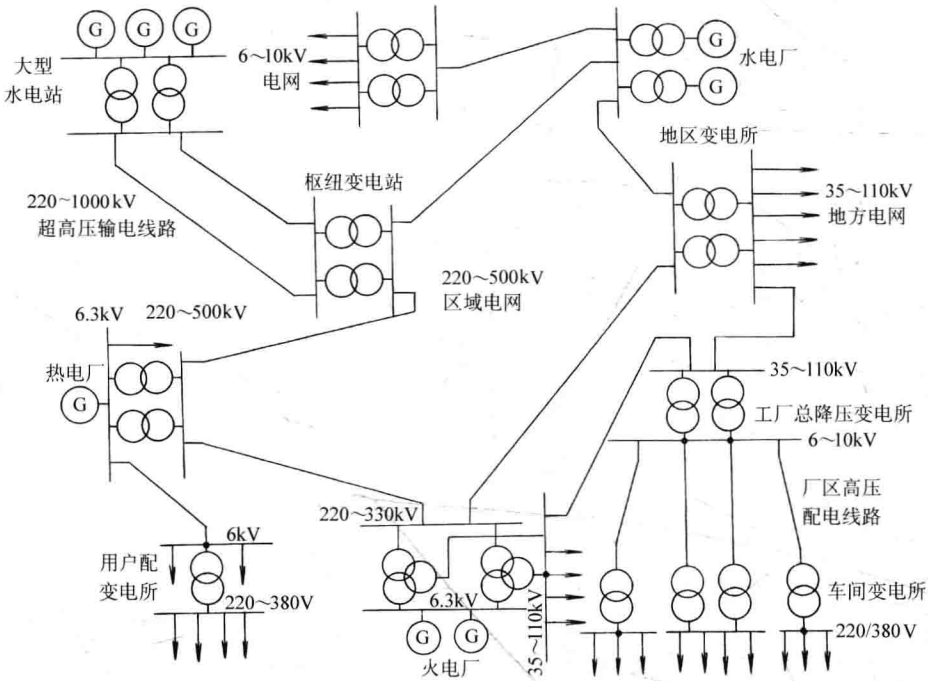


图1-7 大型电力系统的系统图

电力系统中的各级电压线路及与其联系的变配电所,称为电力网,简称电网。习惯上,电网或电力系统往往按电压等级来划分,例如说10kV电网或10kV电力系统,实指10kV的整个线路。

建立大型电力系统,可以更经济合理地利用动力资源(首先是充分利用水力资源),降低发电成本,减少电能损耗,保证供电质量,并大大提高供电可靠性,有利于整个国民经济的发展。但同时应考虑大型电力系统在事故时可能引发大范围停电的问题,并采取相应的对策。目前正在发展中的分布式供电系统则可以限制事故时的停电范围。

三、电力负荷

电力负荷有两个含义:一是指用电设备或用电单位(用户);另一是指用电设备或用户所消耗的电功率或电流。这里所讲的电力负荷,指的是前者。

1. 电力负荷的分级

电力负荷根据其供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程



度，分为以下三级：

(1) 一级负荷 符合下列情况之一时，应为一级负荷：①中断供电将造成人身伤亡；②中断供电将在政治、经济上造成重大损失，例如重大设备损坏、大量产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱且需要长时间才能恢复等；③中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作，例如重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育场馆、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。

在一级负荷中，由于中断供电而会发生中毒、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“特别重要的负荷”。

(2) 二级负荷 符合下列情况之一时，应为二级负荷：①中断供电将在政治、经济上造成较大损失，例如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱并且需长时间才能恢复、重点企业大量减产等；②中断供电将影响重要用电单位的正常工作，例如交通枢纽、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的公共场所秩序混乱时。

(3) 三级负荷 不属于一级和二级负荷者皆为三级负荷。

2. 各级电力负荷对供电电源的要求

(1) 一级负荷对供电电源的要求 一级负荷属于重要负荷，应由两个独立电源供电。当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏，并应开始替代性供电。

一级负荷中“特别重要的负荷”，除由两个独立电源供电外，还应增设应急电源，并严禁将其他负荷接入应急供电系统。可作为应急电源的电源有：①独立于正常电源的发电机组；②供电网络中独立于正常电源的专用的馈电线路；③蓄电池；④干电池。

(2) 二级负荷对供电电源的要求 二级负荷也属重要负荷，但其重要程度次于一级负荷。二级负荷宜由两回线路供电，供电变压器一般也应有两台。在负荷较小或地区供电条件困难时，二级负荷可由一回 6kV 及以上专用的架空线路或电缆供电。当采用架空线时，可为一回架空线供电；当采用电缆线路时，应采用两根电缆组成的线路供电，其每根电缆应能承受 100% 的二级负荷。

(3) 三级负荷对供电电源的要求 三级负荷属于不重要负荷，对供电电源无特殊要求。但一般也应尽量做到可靠供电。

第三节 电力系统的电压

一、概述

电力系统中的所有电气设备，都是规定有额定的工作电压和频率的。电气设备在其额定电压和频率下工作时，综合经济效益最好。例如异步电动机，若电压偏高，虽然转矩增大，但电流和温升也增大，将使绝缘严重受损，缩短使用寿命；若电压偏低，则转矩将与电压二次方成比例地减小，而在负荷转矩要求一定的情况下，绕组电流必然增大，并使绝缘受损，缩短使用寿命。若电源频率偏高或偏低，也将严重影响电动机的转矩和使用寿命。又如白炽灯，若电压偏高，其使用寿命将大大缩短；若电压偏低，则灯光明显变暗，严重影响工作效

率和人的视力健康。国务院发布的《电力供应与使用条例》第十九条规定：“用户受电端的供电质量应当符合国家标准或者电力行业标准。”供电质量是指供电频率质量、电压质量和供电可靠性等。一般认为，电压、频率和供电连续可靠，是表征电能质量的基本指标。

我国采用的工业频率(简称工频)为50Hz，频率偏差范围一般规定为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。如电力系统容量达3000MW及以上时，则频率偏差范围规定为 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。频率的调整主要依靠发电厂。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和供电可靠性。

电压质量，不仅指对额定电压来说是电压偏高或偏低即电压偏差的问题，而且包括电压波动以及电压波形是否畸变即所含高次谐波是否超过规定标准的问题。

二、三相交流电网和电力设备的额定电压

我国规定的三相交流电网和电力设备的额定电压，见表1-1。下面对此表作一些说明。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

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
	3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
高 压	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	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	750	—	750	825(800)
	1000	—	1000	1100

1. 电网(电力线路)的额定电压

电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要及电力工业的水平，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。表1-1中电网额定电压等级是GB/T 156—2007《标准电压》所规定的。

2. 用电设备的额定电压

由于用电设备运行时要在线路中产生电压损耗，造成线路上各点电压略有不同，如图1-8的虚线所示。但是成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用地点的实际电压来制造，只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压 U_N 来制造。所以用电设备的额定电压规定与供电电网的额定电压相同或稍高(不得小于其所在系统可能出现的最高电压)。

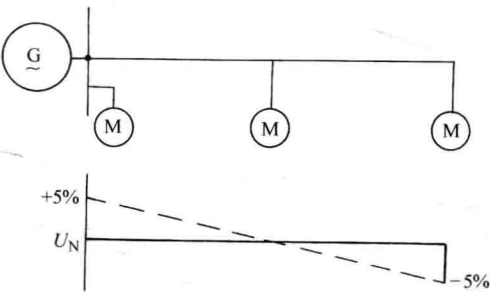


图 1-8 用电设备和发电机的额定电压



3. 发电机的额定电压

由于同一电压的线路一般允许的电压偏差是 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有 10% 的电压损耗，因此，为了维持线路首端与末端的平均电压为额定值，线路首端电压应较电网额定电压高 5%，如图 1-8 所示。而发电机是接在线路首端的，所以规定发电机额定电压高于所供电网额定电压 5%。表 1-1 中的发电机额定电压也是 GB/T 156—2007《标准电压》规定的。

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 若变压器直接与发电机相连，如图 1-9 中的变压器 T1，则其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于电网额定电压 5%。

若变压器不与发电机直接相连，而是连接在线路的其他部位，则应将变压器看作是线路上的用电设备。因此变压器的一次绕组额定电压应与供电网额定电压相同，如图 1-9 中的变压器 T2。

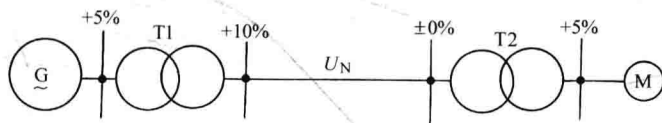


图 1-9 电力变压器的额定电压

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压 变压器二次绕组的额定电压是指变压器在其一次绕组加上额定电压时的二次绕组开路电压(空载电压)。而变压器在满载运行时，其绕组内有大约 5% 的阻抗电压降，因此分两种情况讨论：

如果变压器二次侧的供电线路较长(如为较大容量的高压电网)，则变压器二次绕组额定电压一方面要考虑补偿绕组本身 5% 的电压降，另一方面还要考虑变压器满载时输出的二次电压仍要高于二次侧电网额定电压 5% (因变压器处在其二次侧线路的首端)，所以这种情况的变压器二次绕组额定电压应高于二次侧电网额定电压 10%，如图 1-9 中变压器 T1。

如果变压器二次侧的供电线路不长(如为低压电网，或直接供电给高低压用电设备的线路)，则变压器二次绕组的额定电压只需高于二次侧电网额定电压 5%，仅考虑补偿变压器满载时绕组本身 5% 的电压降，如图 1-9 中变压器 T2。

三、电压偏差和电压调整

1. 电压偏差

用电设备端子处的电压偏差 ΔU ，是以设备端电压 U 与设备额定电压 U_N 差值的百分值来表示的，即

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

电压偏差是由于系统运行方式改变及负荷缓慢变化而引起的，其变动相当缓慢。

按 GB 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》规定，当供电电压为 35kV 及以上时，电压正、负偏差绝对值之和不应超过 10%；10kV 及以下(三相)时，为 $\pm 7\%$ ；220V(单相)时，为 $+7\%$ ， -10% 。

按 GB 50052—2009《供配电系统设计规范》规定，正常运行情况下，用电设备端子处电压偏差允许值(以 U_N 的百分数表示)应符合以下要求：

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, 难于满足上述要求时, 可为 $+5\%$ 、 -10% ; 应急照明、道路照明和警卫照明等为 $+5\%$ 、 -10% 。

3) 其他用电设备当无特殊规定时为 $\pm 5\%$ 。

2. 电压调整

为了减小电压偏差, 工厂供电系统必须采取相应的电压调整措施:

(1) 正确选择变压器的电压分接头或采用有载调压变压器 我国工厂供电系统中应用的 $6 \sim 10\text{kV}$ 电力变压器, 通常为无载调压型, 其高压绕组有 $U_{1N} \pm 5\% U_{1N}$ 的电压分接头, 并装设有无载调压分接开关, 如图 1-10 所示。如果设备端电压偏高, 则应将分接开关换接到 $+5\% U_{1N}$ 的分接头, 以降低设备端电压。如果设备端电压偏低, 则应将分接开关换接到 $-5\% U_{1N}$ 的分接头, 以升高设备端电压。但是, 换接电压分接头必须在停电条件下进行, 因此不能频繁操作。如果用电负荷中有对电压要求严格的设备, 采用无载调压型变压器满足不了要求, 而单独装设调压设备在技术经济上不合理时, 可采用有载调压型变压器, 使之在正常运行过程中自动调整电压, 保证设备端电压的稳定。

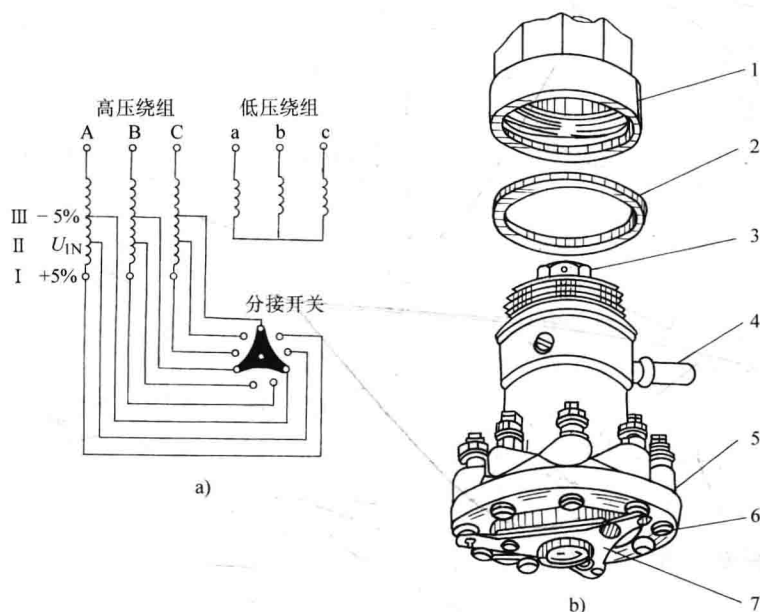


图 1-10 电力变压器的分接头和分接开关

a) 分接头的接线 b) 分接开关外形

1—帽 2—密封垫圈 3—操动螺母 4—定位钉 5—绝缘盘 6—静触头 7—动触头

(2) 降低系统阻抗 供电系统中各元器件的电压降是与其阻抗成正比的, 因此在技术经济合理时, 减少系统的变压级数, 增大线路导线截面积, 或以电缆取代架空线, 都能降低系统阻抗, 减少电压降, 从而缩小电压偏差的范围。

(3) 尽量使三相负荷平衡 在三相四线制系统中, 如果三相负荷分布不均衡, 则将使负荷端中性点的电位偏移, 造成有的相电位升高, 从而增大线路的电压偏差。为此, 应使三相负荷尽可能平衡。

(4) 合理地改变系统的运行方式 在生产为一班制或两班制的工厂中, 在工作班的时间内负荷重, 往往电压偏低, 因而需要将变压器高压绕组的分接头调在 $-5\% U_N$ 的位置。但