



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 工厂供配电 技术

王宇 王志惠 张蓉 编



中国电力出版社

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



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 工厂供配电技术

王宇 王志惠 张蓉 编  
王艳华 邹振春 主 审



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书共分七章，主要内容包括工业企业供电的基本知识、负荷计算、短路电流计算、电气设备及其选择、工业企业电力线路、工业企业供电系统二次回路、继电保护与自动装置、防雷与接地、电能质量的提高与节约电能等。为了便于学生学习，每章末都附有习题。

本书可作为职业院校、成人学校及电视大学的供用电技术、电气技术、工业电气自动化等电类专业的教材，也可作为供配电系统方面工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工厂供配电技术/王宇, 王志惠, 张蓉编. —北京:  
中国电力出版社, 2006

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7 - 5083 - 4580 - 0

I. 工... II. ①王... ②王... ③张... III. ①工  
厂—供电—高等学校: 技术学校—教材②工厂—配电系  
统—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 084892 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2006 年 10 月第一版 2006 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 328 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 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

---

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书体现了职业教育注重应用、能力本位的特点。为了适应供用电技术领域的发展状况，结合全国部分电力技术类供用电技术专业的设置情况、教学计划与教学安排等，本书在编写过程中注意了电力职业技术教育的要求，对于目前很少采用或淘汰的技术和装置内容进行了删减，有关的技术数据、资料均按新技术的政策、新设计规范及新设备产品样本进行了整理修订，并注意在有关章节内介绍新技术的应用和供电技术的发展趋势。本书力求概念准确清晰、深入浅出，充分反映供电企业、工矿企业、城镇和农村供用电技术工作的实际。

全书共分七章。首先简要地介绍了工业企业供电系统的概况及有关知识，接着系统地讲述了工业企业的电力负荷及短路电流的计算、工业企业电力线路、电气设备及其选择条件、工业企业供电系统二次回路、工业企业供电系统继电保护与自动装置，最后讲述了供电质量的提高和怎样节约电能。鉴于篇幅有限，有的内容只做了简要介绍，以期起到抛砖引玉的作用，详细地学习时可参考有关书籍和资料。为了便于学生学习，每章末附有习题。

本书由长沙电力职业技术学院王宇统稿并编写第一、二、四章；由保定电力职业技术学院王志惠编写第三、五章；广东电力学校张蓉编写第六、七章。

本书由王艳华教授和邹振春老师担任主审，并在审阅大纲和稿件过程中提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢！

在本书编审中得到了中国电力出版社的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

限于编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指出。

编者

# 目 录

前言	
<b>第一章 概述</b> .....	1
第一节 电力系统的基本概念 .....	1
第二节 电力系统的额定电压 .....	3
第三节 电力系统的中性点运行方式 .....	5
第四节 电能的质量指标 .....	7
第五节 工厂供配电系统 .....	10
习题 .....	12
<b>第二章 工厂电力负荷及短路电流计算</b> .....	13
第一节 工厂的电力负荷和负荷曲线 .....	13
第二节 工厂电力负荷的计算 .....	17
第三节 尖峰电流的计算 .....	25
第四节 工厂的电气照明负荷 .....	26
第五节 短路及短路电流的计算 .....	32
习题 .....	38
<b>第三章 工厂供配电所</b> .....	39
第一节 工厂供配电所的作用、类型和位置 .....	39
第二节 电力变压器 .....	40
第三节 工厂供配电所常用高、低压电器 .....	44
第四节 工厂变配电所的电气主接线 .....	83
第五节 配电装置及组合电器 .....	89
第六节 工厂变配电所的布置与结构 .....	96
习题 .....	98
<b>第四章 工厂电力线路</b> .....	99
第一节 工厂电力线路的接线方式 .....	99
第二节 工厂电力线路的结构及敷设 .....	102
第三节 供电线路导线和电缆截面的选择 .....	108
习题 .....	112
<b>第五章 工厂供配电系统的二次回路</b> .....	114
第一节 操作电源 .....	114
第二节 二次接线的基本概念和二次回路图 .....	117

第三节	断路器的控制回路及隔离开关的操作闭锁	122
第四节	信号装置与仪表的配置	127
第五节	绝缘监察	129
	习题	130
<b>第六章</b>	<b>工厂供配电系统的继电保护与自动装置</b>	<b>131</b>
第一节	继电保护的基础知识	131
第二节	高压线路的保护	137
第三节	电力变压器保护	144
第四节	电动机及电容器保护	151
第五节	微机型继电保护装置	159
第六节	变电所综合自动化	167
第七节	供配电系统自动装置	172
	习题	178
<b>第七章</b>	<b>工厂供配电系统的运行和管理</b>	<b>180</b>
第一节	工厂功率因数的提高	180
第二节	电气装置的接地与防雷	184
第三节	工厂供配电所运行和维护	191
第四节	工厂供配电系统用电安全	196
第五节	工厂供配电的节约用电	201
	习题	207
	参考文献	209

## 概 述

本章主要概述供配电系统的一些基本知识。首先简要介绍电力系统的基本概念及中性点运行方式，然后讲述了工厂供电系统的构成、供配电电压标准及选择，并对工厂供电质量的主要指标进行分析。

### 第一节 电力系统的基本概念

#### 一、电力系统的组成

电能是现代生活中最重要、也是最方便的能源。由于电能不仅便于输送和分配、易于转换为其他的能源，而且便于控制、管理和调度，易于实现自动化。因此，电能广泛应用于国民经济、社会生产和人民生活的各个方面。绝大多数电能都由电力系统中发电厂提供的。为了充分利用动力资源及降低发电成本，发电厂通常建在远离城市和电能用户的地方，而将电能输送到较远的用电地区。为减少输送电能过程中的损耗，发电厂所生产的电能除厂用电和直配线路外，大部分由升压变压器升压后，经高压输电线路输送给用户。输电电压越高，输送的容量越大，输送的距离也越远。电能输送到用户后因用户的用电设备额定电压均较低，故需经降压变压器将电压降低，再将电能合理地分配到用户，这样由发电厂、

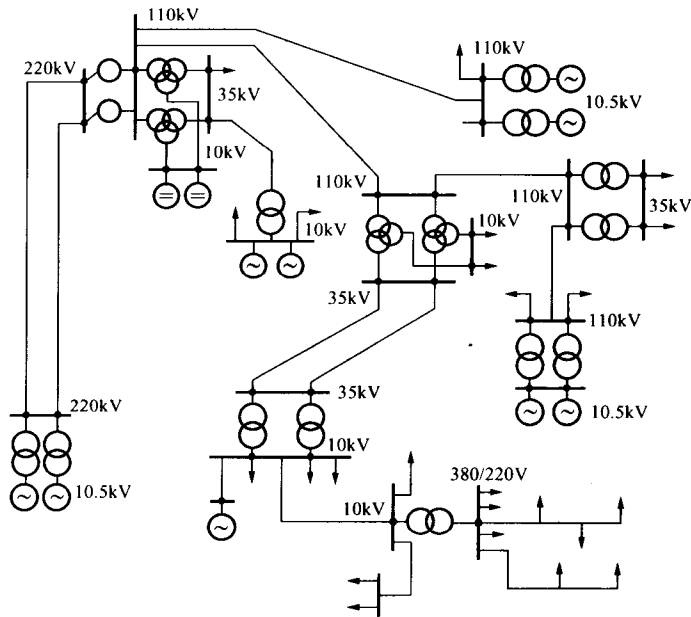


图 1-1 电力系统示意图

变电所、电力线路及用户组成了一个整体，即电力系统，如图 1-1 所示。

下面简要介绍从发电厂到用户的发、输、配电过程，如图 1-2 所示。

#### 1. 发电厂

发电厂将一次能源变为电能。根据一次能源的不同可分为火力发电厂、水力发电厂及原子能发电厂。此外，还有太阳能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂等。

##### (1) 火力发电厂

火力发电厂将煤、石油、天然气等的化学能转变为电能。火力发电的原理是：将燃料在锅炉中充分燃烧，把锅炉中的水加热成高温高压的水蒸气，以此推动汽轮机转动，并带动与

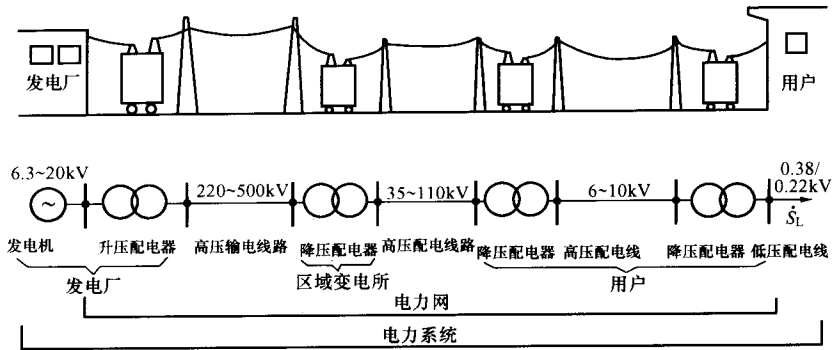


图 1-2 从发电厂到用户的发、输、配电过程

汽轮机连轴的发电机旋转、发出电能。

## (2) 水力发电厂

水力发电厂将水的位能和动能转换成电能。水力发电是利用水流驱动水轮机转动、带动发电机旋转发电。按照提高水位的方法不同可分为堤坝式水电站、引水式水电站、混合式水电站和抽水蓄能式水电站。

## (3) 原子能发电厂

原子能发电厂又称核电站。原子能发电是利用核燃料在原子反应堆裂变释放核能，将水加热成高温高压的蒸汽，再推动汽轮机转动并带动发电机旋转发电。其后的生产过程与火电厂相似。

## 2. 变配电所

安装变压器及其测量、保护与控制设备的地方称为变电所。变电所的作用是接受电能、变换电压和分配电能。为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户，需变电所将发电机输出电能的电压等级进行多次变换。仅用于接受和分配电能的场所称为配电所。

根据变电所在电力系统中所承担的任务和性质不同，可分为升压变电所和降压变电所。升压变电所多建在发电厂内，降压变电所常建在用电区域。降压变电所又可分为以下几种：

### (1) 地区降压变电所

地区降压变电所高压侧电压一般由 220~500kV 的高压输电网或发电厂直接供电，通过变压器将电压降为 35~110kV，供给该地区或城市用户用电，这是一个地区或城市的主要变电所。其供电范围大，全所停电后，将使该地区中断供电。

### (2) 终端变电所

终端变电所位于输电线路的终端，接近负荷点，高压侧由地区降压变电所供电，经变压器降到 6~10kV 直接向用户供电。全所停电后，只是用户中断供电。

### (3) 工厂降压变电所及车间变电所

工厂降压变电所是指专门供给工厂用电的终端变电所。车间变电所是接受工厂降压变电所提供的电能，将电压降为 380/220V，直接对用电设备供电。

## 3. 电力线路

电力线路的作用是输送、分配电能，并把发电厂、变电所和用户连接起来，是电力系统不可缺少的重要环节。电力线路按其用途的不同，一般将 220kV 及以上的电力线路称输电线路，110kV 及以下的电力线路称为配电线路。



#### 4. 电能用户

所有消耗电能的用电单位均称为电能用户，按其所属行业可分为工业用户、农业用户、公用事业用户及人民生活用户等。其中工业用户所占比例超过半数。

### 二、电力网

电力网是由各种不同电压等级的电力线路及其两端的变电所组成的。它是电力系统的重要组成部分，是发电厂和用户不可缺少的中间环节，其作用是将电能从发电厂输送并分配到电力用户处，并根据需要改变电压。

电网按电压高低和供电范围大小可分为区域电网和地方电网。电压等级在 220kV 及以上的电力网，其供电范围大，称为区域网或输电网；电压等级在 110kV 及以下的电力网，其供电范围小，称为地方电网或配电网。再有按电压的高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网和超高压网等。电压等级在 1kV 以下的称为低压网；电压等级在 1~10kV 的称为中压网；电压等级高于 10kV 低于 330kV 的称为高压网；电压等级在 330kV 及以上的称超高压网。

由于各地区电网发展不平衡，各地区的主网电压等级不同，我国正在建设的最高电网电压为 750kV，最发达地区的主网电压已高达 500kV，落后地区的主网电压目前只有 35kV，一般地区的主网电压多为 110~220kV。

## 第二节 电力系统的额定电压

我国根据国民经济发展的需要和电力工业水平及发展趋势，经全面技术经济分析后，规定了交流电网和电力设备的额定电压（如表 1-1 所示），这样能使电力设备的生产实现标准化、系列化，电力系统中发电机、变压器、电力线路及各种用电设备等元件能够配套合理。电力设备在额定电压下运行时，其技术与经济性均为最佳。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 (kV)

电网和电力设备的额定电压	发电机额定电压	变压器额定电压	
		一次电压	二次电压
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40
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	13.8, 15.75, 18, 20	—
35	—	35	38.5
60	—	60	66
110	—	110	121
154	—	154	169
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	525

#### 1. 电力网和电力线路的额定电压

电力线路的额定电压和电力网的额定电压相等，均选用国家规定的额定电压，它是确定

各类电气设备额定电压的依据。

## 2. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压和电力线路的额定电压相等，这是因为通过线路输送功率时，由于线路有电压损失，所以线路上各点的电压不相同，如图 1-3 所示。成批生产的用电设备，其额定电压只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压来制造。

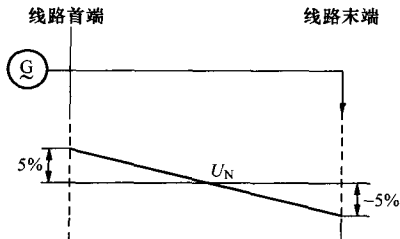


图 1-3 用电设备和发电机额定电压

## 3. 发电机的额定电压

由于电力线路的允许电压偏移为额定电压的  $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有  $10\%$  的电压损耗。所以，线路运行时，要求线路首端电压比额定电压高  $5\%$ ，以使其末端电压不低于额定电压的  $5\%$ ，如图 1-3 所示。

发电机是输出电能的设备，总是接在线路的首端，所以发电机的额定电压规定比线路额定电压高  $5\%$ 。例如，线路的额定电压为  $10\text{kV}$  时，接在线路首端的发电机的额定电压应为  $10.5\text{kV}$ 。对于大型发电机，其额定电压不受线路额定电压等级的限制，一般按技术经济条件确定。如表 1-1 中交流发电机的额定电压有  $13.8$ 、 $15.75$ 、 $18\text{kV}$  等几种。

## 4. 变压器的额定电压

变压器的额定电压规定为各绕组的额定电压，即变压器有几个绕组就对应几个额定电压等级。

变压器的一次绕组是从系统接受电能的。因此若变压器的一次绕组直接与发电机相连，其额定电压等于发电机的额定电压，若一次绕组不直接与发电机相连，而与其他线路相连，则相当于用电设备，因此其额定电压等于所连线路的额定电压。

变压器的二次绕组是输出电能的，相当于供电电源。其额定电压应比所连线路额定电压高  $5\%$ ，而二次绕组额定电压是指变压器空载时的电压，在额定负荷下变压器内部的电压降落约为  $5\%$ ，因此为了保证正常运行时变压器二次绕组实际电压仍高于线路额定电压  $5\%$ ，变压器二次绕组额定电压应比同级线路额定电压高  $10\%$ 。只有对于短路电压小于  $7.5\%$  或直接（包括通过短距离线路）与用户连接的变压器，其二次绕组额定电压才比线路额定电压高  $5\%$ 。

**【例 1-1】** 某电力系统接线如图 1-4 所示，电力网的额定电压已标于图中，试确定图中发电机和各变压器的额定电压。

解：发电机 G： $10.5\text{kV}$ ；  
 变压器 T1： $10.5/242\text{kV}$ ；  
 变压器 T2： $220/121\text{kV}$ ；  
 变压器 T3： $110/10.5\text{kV}$ ；  
 变压器 T4： $10.5/380\text{V}$ 。

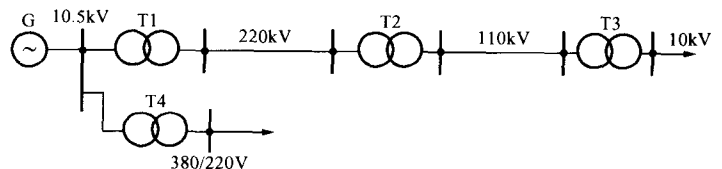


图 1-4 某电力系统接线图

需要指出的是额定电压是标明设备或线路技术特性的重要参数，不是

设备运行时外加的实际电压。在近似计算中，有时要用到线路的平均额定电压，线路的平均额定电压为线路两端变压器额定电压的代数平均值，通常较电网额定电压高  $5\%$  左右。常用的线路的平均额定电压为  $0.4$ 、 $10.5$ 、 $37$ 、 $66$ 、 $115$ 、 $230$ 、 $347$ 、 $525\text{kV}$ 。

### 第三节 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点是指三相系统作星形连接的变压器或发电机的中性点，中性点的运行方式是个很复杂的问题，它关系到绝缘水平、通信干扰、接地保护方式、电压等级、系统接线等方面。

电力系统的中性点的运行方式有中性点接地和中性点不接地两种。中性点直接接地和中性点经低电抗或经低电阻接地称为大电流接地系统；中性点不接地和中性点经消弧线圈或高阻抗接地称为小电流接地系统。

#### 一、中性点不接地系统

电力系统运行时，三相导体之间和各相导体对地之间，沿导体全长分布着电容，这些电容在电压的作用下将引起附加的电容电流。为便于讨论，可以认为三相系统对称，将各相导体对地之间分布电容，分别用集中于线路中央的等效电容  $C$  代替，如图 1-5 (a) 所示。

各相导体间的电容及其所引起的电容电流较小，在发生单相接地时，因为线电压不变，相间电容电流也不会改变，可不予考虑。

##### 1. 正常运行

中性点不接地系统在正常运行时，各相对地的电压  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$  是对称的，就等于其相电压。若线路经过完全换位，三相对地电容是相等的，则各相对地的电容电流  $\dot{I}_{CA}$ 、 $\dot{I}_{CB}$ 、 $\dot{I}_{CC}$  也是对称的，其大小通常用  $\dot{I}_{CO}$  表示，其相量和等于零，所以大地中没有电容电流流过，中性点电位为零，如图 1-5 (b) 所示。

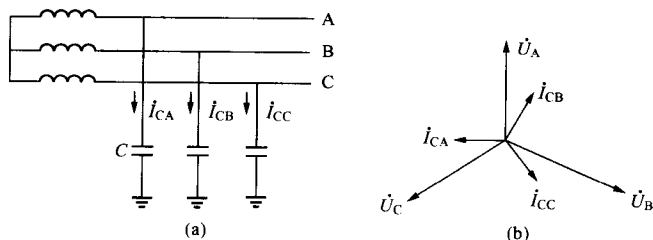


图 1-5 中性点不接地系统的正常运行状态  
(a) 电路图；(b) 相量图

##### 2. 单相接地故障

当系统发生单相接地故障时，各相对地电压改变，对地电容电流也发生变化，中性点电位不再为零，其对地电压值视故障点的接地情况而变化。

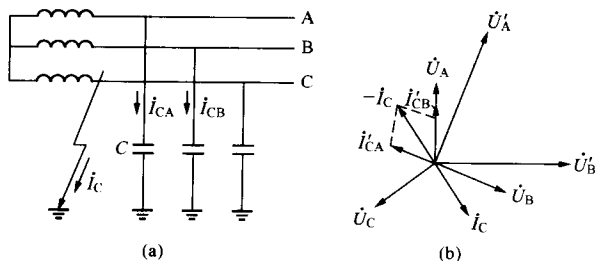


图 1-6 中性点不接地系统 C 相接地时的情况  
(a) 电路图；(b) 相量图

如图 1-6 所示，当发生一相完全接地（也称金属性接地），其接地电阻为零时，故障相对地电压变为零，中性点对地电压值为相电压，非故障相的对地电压升高  $\sqrt{3}$  倍，变为线电压。

下面以 C 相发生完全接地为例说明。C 相对地电压  $\dot{U}_C = 0$ ，故中性点对地电压  $\dot{U}_0 = -\dot{U}_C$ ，A 相对地电压  $\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_C = \dot{U}_{AC}$ ，B 相对地电压  $\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_C =$

$\dot{U}_{BC}$ ，所以  $U'_A = U'_B = \sqrt{3}U_A$ 。此时三线的线电压仍保持对称且大小不变，因此对电力用户接

于线电压的设备的工作并无影响，无需立即中断对用户供电。

C相完全接地时，该相对地电容被短接，C相对地电容电流为零。非故障相A、B两相对地电压由正常时的相电压变为故障后的线电压，则非故障相对地的电容电流也相应增大 $\sqrt{3}$ 倍，非故障相A、B相的对地电容电流的有效值为

$$\dot{I}_C = -(\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB})$$

因此 $I_C = 3I_{C0}$ ，即单相接地的电容电流为正常运行时每相对地电容电流的三倍， $\dot{I}_C$ 在相位上正好超前 $\dot{U}_C 90^\circ$ 。此时三相对地电容电流之和不再为零，大地中有电流流过，并通过接地点成为回路，如图1-6(a)所示。

接地电流 $I_C$ 的值与网络的电压、频率和对地电容有关，而对地电容又与电网的结构和线路的长度有关。在实际计算中，接地电流可用下列公式计算：

$$\text{对架空线路} \quad I_C = \frac{Ul}{350}$$

$$\text{对电缆线路} \quad I_C = \frac{Ul}{10}$$

式中  $U$ ——电网的线电压，kV；

$l$ ——电压为 $U$ 的具有电联系的线路长度，km。

以上分析是完全接地的情况。当发生不完全接地时，即通过一定的电阻接地，接地相对地电压大于零而小于相电压，未接地相对地电压大于相电压而小于线电压，中性点对地电压大于零而小于相电压，线电压仍保持不变，但此时接地电流比完全接地时要小些。

综上所述，中性点不接地系统发生单相接地故障时产生的影响可从以下几个方面来分析。

单相接地故障时，由于线电压保持不变，使负荷电流不变，电力用户能继续工作，提高了供电可靠性。然而要防止由于接地点的电弧或者过电压引起故障扩大，发展成为多相接地故障。所以在这种系统中应装设交流绝缘监察装置，当发生单相接地故障时，立即发出信号通知值班人员及时处理。一般规程规定：在中性点不接地的三相系统中发生单相接地时，继续运行的时间不得超过2h，并要加强监视。

由于非故障相电压升高到线电压，所以在这种系统中，电气设备和线路的对地绝缘应按能承受线电压考虑设计，从而相应地增加了投资。

因接地电流将在故障点形成电弧，电弧可能是稳定性的或间歇性的。当接地电流 $I_C$ 较大时，单相接地将产生稳定性电弧，电弧不易熄灭，容易烧坏设备或造成相间短路。通常只有在电压为20~60kV、接地电流 $I_C \leq 10A$ ，或电压为3~10kV、接地电流 $I_C \leq 30A$ 的高压电网和1kV以下的三相三线制电网中采用中性点不接地方式。

## 二、中性点经消弧线圈接地系统

在上述的中性点不接地系统中，当接地电流 $I_C$ 超过上述规定的数值时，电弧将不能自行熄灭。在变压器的中性点与大地之间接入消弧线圈，是消除电网因雷击或其他原因而发生瞬时单相接地故障的有效措施之一。

消弧线圈是一个具有铁芯的电感线圈，其电抗很大，电阻很小可忽略不计。消弧线圈有许多分接头，用以调整线圈的匝数，改变电抗的大小，从而调节消弧线圈的电感电流。图1-7所示是中性点经消弧线圈接地的三相系统的电路图和相量图。

当中性点经消弧线圈接地系统发生 C 相接地时, 作用在消弧线圈两端的电压为地对中性点电压  $\dot{U}_C$ , 并有电感电流  $\dot{I}_L$  通过消弧线圈和接地点,  $\dot{I}_L$  滞后于  $\dot{U}_C 90^\circ$ , 接地点电流是接地电容电流  $\dot{I}_C$  与电感电流  $\dot{I}_L$  的相量和, 由于  $\dot{I}_C$  和  $\dot{I}_L$  两者相差  $180^\circ$ , 所以  $\dot{I}_L$  对  $\dot{I}_C$  起补偿作用。若适当选择消弧线圈

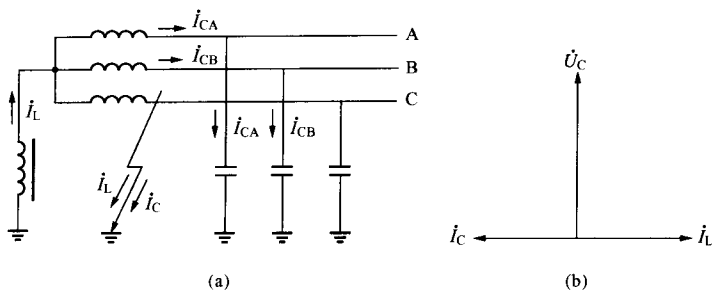


图 1-7 中性点经消弧线圈接地的三相系统  
(a) 电路图; (b) 相量图

电感 (匝数), 可使接地点的电流变得很小或等于零, 在接地点就不致产生电弧以及由电弧引起的危害。

消弧线圈对接地电容电流的补偿有三种方式: ①全补偿  $I_L = I_C$ ; ②欠补偿  $I_L < I_C$ ; ③过补偿  $I_L > I_C$ 。采用全补偿方式将引起串联谐振过电压。欠补偿方式由于部分线路切除会造成全补偿, 也可能出现串联谐振过电压。因此, 在实际应用时都采取过补偿方式。

中性点经消弧线圈接地的系统和中性点不接地的系统一样, 当发生单相接地时, 故障相对地电压变为零, 非故障相对地电压升高  $\sqrt{3}$  倍。因此, 这种系统各相对地的绝缘水平也按线电压考虑。在单相接地时继续运行的时间不得超过 2h, 并要查出故障点, 在最短时间内消除故障, 保证系统安全运行。

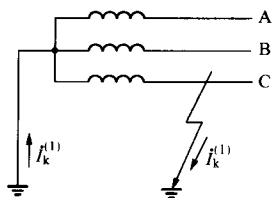


图 1-8 中性点直接接地的三相系统

### 三、中性点直接接地系统

中性点直接接地系统发生一相对地绝缘破坏时, 则构成单相短路, 由于短路电流很大, 危害严重, 故障线路不能正常运行, 继电保护将动作跳开断路器, 使故障线路切除供电连续性中断。因此, 中性点直接接地系统在发生单相接地时, 不会产生间歇性电弧。图 1-8 所示是发生单相接地时的中性点直接接地系统。

中性点直接接地系统在发生单相接地时, 故障相对地电压变为零, 非故障相对地电压不变, 电气设备绝缘按相电压考虑, 降低设备的绝缘要求, 直接降低了设备的造价。电网电压等级越高则经济效益愈显著。因此, 我国 110kV 及以上的高压系统中性点通常采用中性点直接接地系统。

在 380/220V 低压配电系统中也采用中性点直接接地, 而且引出中性线或保护中性线, 既可满足 220V 单相负荷用电, 也可满足 380V 负荷用电, 使供电方式灵活, 且安全性好。

## 第四节 电能的质量指标

衡量电能质量的主要指标有电压、频率和波形。

### 一、电压

电压质量对各类用电设备的安全经济运行都有直接的影响。因为, 各种用电设备都是按额定电压来设计制造的, 这些设备在额定电压下工作时性能最好、效率最高。当电压偏离额定电压时, 其性能和效率都会降低, 有的还会减少使用寿命。当电压偏差超过一定范围, 设

备会由于过电压或过电流而损坏，或者由于不能满足其工作条件而不能正常工作。

电力系统中主要的用电设备有照明、异步电动机、电热装置和电子设备等。从图 1-9 可以看出，其中照明负荷（白炽灯）对电压的变化是很敏感的。当电压降低时，白炽灯的发光效率和光通量都急剧下降；当电压上升时，白炽灯的使用寿命将大为缩短。例如，当供电电压降低，比白炽灯额定电压低 5% 时，光通量降低 18%；而当供电电压升高，比其额定电压高 5% 时，白炽灯的使用寿命减少 30%。

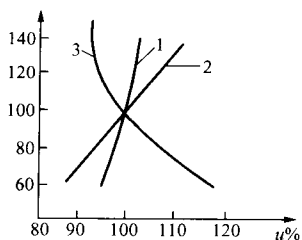


图 1-9 照明负荷（白炽灯）的电压特性

1—光通量；2—发光效率；3—寿命

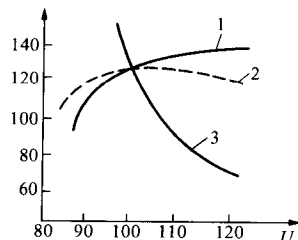


图 1-10 异步电动机的电压特性

1—效率；2—功率因数；3—电流

对电力系统负荷中大量使用的异步电动机而言，它的运行特性对电压的变化也是很敏感的。当输出功率一定时，异步电动机的定子电流、功率因数和效率随电压变化的特性如图 1-10 所示。从图中可以看出当端电压下降时，定子电流增加很快。这是因为异步电动机的最大转矩与其端电压的平方成正比。当电压下降时，电动机转矩显著减少，以致转差率增大，从而使定子电流和转子电流都显著增大，导致电动机温度升高，甚至可能烧毁电动机。反之，当电压过高时，铁芯磁通密度将增大以至饱和，从而激磁电流和铁损耗都大为增加，致使电动机过热、效率降低、波形畸变，甚至可能发生谐振。

对电热装置而言，其消耗的功率也与电压的平方成正比，过高的电压将损坏设备，过低的电压则达不到所需要的温度。

此外，对计算机、电视、广播、通信、雷达等电子设备来说，它们对电压的质量的要求更高。电子设备中的各种半导体器件、集成电路、磁芯装置等的特性，对电压都极其敏感，电压过高或过低都将使其特性严重改变而影响正常工作。例如，对电视机和收音机来说，电压过高将使其损坏，电压过低将影响其接受灵敏度以及收看、收听的效果。

由于上述各类用电设备的工作情况都与电压的变化有着极为密切的关系，故在运行中必须规定电压的允许变化范围，也就是电压的质量标准。

电压质量指标通常包括：①电压允许偏差；②电压允许波动和闪变；③三相供电电压允许不平衡度。

(1) 电压偏差。电压偏差是指系统正常运行而负荷缓慢变化时，系统任一点的实际电压与额定电压之差，通常用百分数表示。目前，我国规定的在正常运行情况下，供电电压的允许偏差如下：

- 1) 35kV 及以上电压供电正、负偏差绝对值之和不超过额定电压的 10%；
- 2) 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的  $\pm 7\%$ ；
- 3) 220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的  $+7\%$ 、 $-10\%$ 。

(2) 电压波动。电压波动是指在某一段时间内，电压随着负荷波动快速变化而偏离额定值的变化状况。电压波动值为相继出现的电压最大值和最小值之差与额定电压之比，通常用百分

数表示。电压波动会引起很多电气设备不能正常工作，因此我国规定的电压波动允许值为：

- 1) 10kV 及以下为 2.5%。
- 2) 35~110kV 为 2%。
- 3) 220kV 为 1.6%。

(3) 电压闪变。电压闪变一般是指冲击性负荷（如电弧炉、轧钢机和大电动机起动等）引起的电压突然下降和冲击过后电压迅速恢复的现象。电压闪变会造成电机振动和转速不均匀，影响某些生产和工艺，还会引起灯光照度不稳而造成的人眼视觉不适。

(4) 三相电压不平衡度。当三相负荷不对称时，将引起三相电压或电流不平衡。三相电压或电流不平衡会引起产生负序分量和谐波分量，电机的附加发热和振动使电网的损耗增加，并干扰通信设备的运行等。将三相电压不平衡时产生的负序电压与正序电压的比值百分数称为三相电压允许不平衡度。有关规程规定，三相电压允许不平衡度为：正常允许 2%，短时不超过 4%；单个用户一般不超过 1.3%。

由于电力网存在电压损失，为了保证电压质量合乎要求，需要采取一定措施，关于这方面的内容将在以后章节中介绍。

## 二、频率

我国采用交流电的额定频率为 50Hz。在发电机组和用电设备铭牌上均标有额定频率。同样这些设备在正常运行情况下，应在额定频率下运行，才能保证设备运行的可靠性和经济性。

当频率发生偏差时，不但影响电力用户的正常工作，也会对电力系统产生影响。

对电力用户而言，当频率降低时，用户电动机的转速下降，从而使生产率降低，并影响电动机的使用寿命；反之，频率增高将使电动机的转速上升，增加功率损耗，使经济性降低。特别是某些对转速要求较严格的工业部门（如纺织、造纸等），频率的偏差将严重影响产品的质量，甚至产生大量废品。

对电力系统而言，频率降低会使发电厂机械出力下降，从而进一步减少发电出力，导致频率继续下降，引起频率崩溃。另外在频率降低的情况下运行时，汽轮机的叶片会发生振动，从而产生裂纹或断裂，缩短汽轮机的使用寿命。

此外，频率的变化还将影响到电钟的正确运行和计算机、自动控制装置等电子设备的正确工作等。

我国对供电频率的允许偏差规定为：容量在 3000MW 及以上的系统，频率偏差不得超过  $\pm 0.2\text{Hz}$ ；在 3000MW 以下的系统，频率偏差不得超过  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

根据频率的质量指标，要求同一电力系统在任何瞬间的频率值必须保持一致。在系统稳态运行情况下，频率值取决于发电机组的转速，而发电机组的转速则主要决定于发电机组输出功率与输入功率的平衡情况。所以，要保持频率的偏差不超过规定值，首先应维持电源与负荷的有功平衡，其次还要采取一定的调频措施，即通过调节使有功功率保持平衡，从而维持系统频率的偏差在规定范围之内。

## 三、波形

通常，要求电力系统交流电的波形应为正弦波。为此，要求发电机首先发出符合标准的正弦波电压。其次，在电能的变换、输送、分配过程中不应使波形发生畸变。此外，还应消除电力系统中由于具有非线性特性的用电设备产生的谐波，例如换流装置、电气铁道、电弧

炉等产生的谐波。

当电源波形不是标准的正弦波时，必然包含着各种高次谐波分量，这些谐波分量的出现将影响电动机的效率和正常运行，还可能使系统产生高次谐波谐振而危害电气设备的安全运行，例如高次谐波谐振引起的过电压可能烧坏变电所中的电压互感器或无功补偿电容器。此外，谐波分量还将影响电子设备的正常工作并造成对通信线路的干扰等不良后果。

为了严格地保证波形的质量标准，在发电机、变压器等设备的设计制造时，都已考虑并采取了相应的措施，因此只要在运行中遵照有关规程规定，便可保证波形质量。但是，随着电力电子技术在电力系统中的应用和扩大，由其产生的谐波污染日趋严重，威胁着电力系统和各种电气设备的安全经济运行，因此，谐波也是电能质量指标之一。为了保证电能质量、防止谐波的危害，首先应限制各个非线性负荷所产生的谐波电流；其次，要采取一些抑制谐波的措施。例如：配电变压器一侧接线可采用三角形联结，利用滤波装置，用电容器吸收谐波电流或调整三相负荷使其保持三相平衡等。

## 第五节 工厂供配电系统

### 一、工厂供配电系统

工厂供配电系统是电力系统的重要组成部分，也是电力系统的最大电能客户。它由总降压变电所、高压配电所、配电线路、车间变电所和用电设备等组成，如图 1-11 所示。

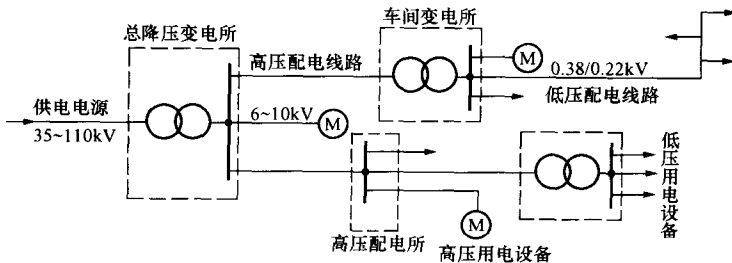


图 1-11 典型工厂供配电系统示意图

#### 1. 工厂总降压变电所

工厂总降压变电所是工厂电能供应的枢纽。它将电力系统供给的 35~110kV 的电源电压降为 6~10kV 高压配电电压，可供高压配电所、车间变电所和高压用电设备。一般设有 2 台主降压

变压器，其容量可由几千到几万千伏·安。

#### 2. 高压配电所

高压配电所集中接受 6~10kV 电压电能，再分配到附近各车间变电所和高压用电设备。通常在负荷分散、厂区大的大型工厂设置高压配电所。

#### 3. 车间变电所

车间变电所将 6~10kV 电压降为 380/220V 电压，对低压用电设备供电。根据生产规模、用电设备的布局和用电量大小等情况，可设立一个或几个车间变电所。若是几个相邻且用电量不大的车间可共用一个车间变电所。车间变电所一般设置 1~2 台变压器，单台变压器容量一般为 1000kV·A 及以下。

#### 4. 工厂配电线路

工厂配电线路分为 6~10kV 厂内高压配电线路和 380/220V 厂内低压配电线路。高压配电线路将工厂总降压变电所与高压配电所、车间变电所和高压用电设备连接起来。低压配电线路将车间变电所的 380/220V 电压向低压用电设备供电。根据工厂企业的具体情况，高低压



配电线路可采用架空线路和电缆线路。

### 5. 用电设备

用电设备按用途可分为动力用电设备、工艺用电设备、电热用电设备、试验用电设备和照明用电设备等。

应当指出,对于某个具体的用户供配电系统,可能上述各部分都有,也可能只有其中的几个部分,这主要取决于用户电力负荷的大小和厂区的大小。不同用户的供配电系统,不仅组成不完全相同,而且相同部分的构成也会有较大的差异。通常大型工厂都设总降压变电所,中小型工厂仅设全厂6~10kV变电所或配电所,某些特别重要的工厂还设自备发电厂作为备用电源。

## 二、工厂供配电系统的要求

工厂供配电系统要很好地为工业生产服务,切实保证工厂和生活用电的需要,并做好节能工作,降低产品成本,就必须达到以下基本要求。

(1) 安全。在供应、分配和使用电能的过程中,不应发生人身事故和设备事故。

(2) 可靠。工厂供配电系统应满足用电设备对供电可靠性的要求。

(3) 优质。工厂供配电系统应满足用电设备对电压、频率等供电质量的要求。

(4) 经济。工厂供配电系统应尽量做到投资省、年运行费低,并尽可能节约电能和减少有色金属消耗量。

## 三、工厂供配电电压的选择

工厂供配电电压的选择主要取决于下列因素:①当地供电电源电压;②工厂用电设备的电压、容量和数量;③输送工厂所需电能的距离;④工厂厂区范围的大小及用电设备的分布等。

在输送功率一定情况下,若提高供电电压,就能减少电能的损耗、提高用户端电压质量、节约有色金属。但电压越高,绝缘要求越高,供电线路中的元件如变压器、开关等设备的价格将增加,从而增加投资费用。所以为了确定合适的供配电电压,必须进行经济技术比较。表1-2中列出了常用各级电压线路的经济输送容量与输送距离。

表 1-2 常用各级电压线路的经济输送容量与输送距离

线路电压 (kV)	线路结构	输送功率 (kW)	输送距离 (km)
0.38	架空线路	≤100	≤0.25
0.38	电缆线路	≤175	≤0.35
6	架空线路	≤2000	3~10
6	电缆线路	≤3000	≤8
10	架空线路	≤3000	5~15
10	电缆线路	≤5000	≤10
35	架空线路	2000~15000	20~50
60	架空线路	3500~30000	30~100
110	架空线路	10000~50000	50~150
220	架空线路	100000~500000	100~300
330	架空线路	200000~800000	200~600
500	架空线路	1000000~1500000	150~850
750	架空线路	2000000~2500000	500 以上