



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 工厂供电

(电气运行与控制专业)

主编 胡增涛



高等教育出版社



中国电力出版社  
CHINA ELECTRICITY PRESS

# 工厂供电

（第四版）

张君 主编



中国电力出版社

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 工厂供电

(电气运行与控制专业)

主    编    胡增涛  
责任主审    吴锡龙  
审    稿    朱承高    吕琴康

高等教育出版社

## 内容简介

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《工厂供电教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书主要介绍工厂供配电系统及其控制与保护的基本理论，掌握其运行维护、安装、检修以及设计计算方面的基本知识，培养学生科学的思维方法和综合职业能力。内容包括工厂供电概述，供电系统的主要电气设备，供电系统的接线和结构，负荷计算和短路计算，电器和导线的选择及校验，继电保护装置及二次系统，防雷、接地及电气安全，电气照明技术，工厂供电系统的经济运行，工厂供电系统的运行维护与检修，实验与实践等。

本书可作为中等职业学校电气运行与控制专业教材，也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

工厂供电/胡增涛主编. —北京：高等教育出版社，  
2002.6

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-04-010936-0

I. 工… II. 胡… III. 工厂-供电-专业学校-  
教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 044973 号

工厂供电

胡增涛 主编

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号  
邮政编码 100009  
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 13  
字 数 300 000

版 次 2002 年 8 月第 1 版  
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 15.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

## 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001] 1号)的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

# 前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《工厂供电教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书的编写原则是保证基础、实用为主、深入浅出、简明易懂。以培养学生分析问题和解决问题的能力为主线，把理论教学和工作岗位的实际有机地联系起来，增加了实验、实践、实训的时间，使学生懂理论、会分析、能实操，增强岗位适应能力。

在内容上增加了新知识，介绍了一些新工艺，可开阔学生视野，培养学生的创新精神和实践能力，为学生的进一步发展打下一定的基础。

本书内容共分十一章，其中前十章为讲授内容，安排授课时间为 72 课时。第十一章为实验与实践，其中第一节的三个实验 8 课时分别安排在第二章(实验一、实验二)、第六章(实验三)进行。参观一天，设计练习时间 1.5 周，实习时间 1 周。

各章节课时安排如下，以供参考：

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 第一章 概述             | 4 课时  |
| 第二章 供电系统的主要电气设备    | 10 课时 |
| 第三章 供电系统的接线和结构     | 6 课时  |
| 第四章 负荷计算和短路计算      | 8 课时  |
| 第五章 电器和导线的选择及校验    | 6 课时  |
| 第六章 继电保护装置及二次系统    | 8 课时  |
| 第七章 防雷、接地及电气安全     | 8 课时  |
| 第八章 电气照明技术         | 4 课时  |
| 第九章 工厂供电系统的经济运行    | 6 课时  |
| 第十章 工厂供电系统的运行维护与检修 | 4 课时  |
| 第十一章 实验与实践         | 8 课时  |
| 机 动                | 8 课时  |
| 合 计                | 80 课时 |

本书由胡增涛主编，由于广、苟彩贤编写第二章，符允编写第六章，张锁田编写第九章，其余各章由胡增涛编写。本书由高等教育出版社聘请北方交通大学电气工程学院陈力审稿。

本书在编写过程中得到西安市教育委员会，西安市灞桥区教育局领导和干部的关怀支持，在此一并表示感谢。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定，由上海大学吴锡龙教授担任责任主审，上海交通大学朱承高教授、上海交通大学吕琴康教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 4 月



# 目 录

|                              |    |                              |     |
|------------------------------|----|------------------------------|-----|
| <b>第一章 概述</b> .....          | 1  | 第三节 高低压电气设备的选择与校验            | 80  |
| 第一节 电力系统概述                   | 1  | 思考与习题                        | 83  |
| 第二节 工厂供电系统                   | 3  | <b>第六章 继电保护装置及二次系统</b> ..... | 84  |
| 第三节 供电电压的选择和调整               | 5  | 第一节 继电保护装置                   | 84  |
| 第四节 电力系统的中性点运行方式             | 8  | 第二节 常用继电器                    | 86  |
| 思考与习题                        | 10 | 第三节 供电线路的继电保护                | 90  |
| <b>第二章 供电系统的主要电气设备</b> ..... | 12 | 第四节 电力变压器的继电保护装置             | 92  |
| 第一节 电弧的产生及灭弧方法               | 12 | 第五节 供电系统的自动装置                | 96  |
| 第二节 熔断器                      | 13 | 第六节 断路器的控制回路和绝缘              |     |
| 第三节 高压开关设备                   | 16 | 监测装置                         | 99  |
| 第四节 低压开关设备                   | 23 | 第七节 供电系统二次回路电路图              | 104 |
| 第五节 电力变压器                    | 27 | 思考与习题                        | 111 |
| 第六节 互感器                      | 29 | <b>第七章 防雷、接地及电气安全</b> .....  | 112 |
| 第七节 母线、绝缘套管和电抗器              | 34 | 第一节 过电压的产生及危害                | 112 |
| 第八节 成套配电设备                   | 36 | 第二节 防雷装置                     | 113 |
| 思考与习题                        | 39 | 第三节 接地装置和保护接零                | 116 |
| <b>第三章 供电系统的接线和结构</b> .....  | 41 | 第四节 虚电压、静电和电气防火              | 120 |
| 第一节 变配电所的主接线                 | 41 | 第五节 电气安全                     | 123 |
| 第二节 配电系统的接线方式                | 44 | 思考与习题                        | 127 |
| 第三节 工厂变配电所位置的选择              |    | <b>第八章 电气照明技术</b> .....      | 129 |
| 和布置                          | 47 | 第一节 电光源和电照明                  | 129 |
| 第四节 电力线路                     | 50 | 第二节 常用照明灯具和新电光源              | 130 |
| 思考与习题                        | 57 | 第三节 电气照明的照度计算                | 132 |
| <b>第四章 负荷计算和短路计算</b> .....   | 58 | 思考与习题                        | 137 |
| 第一节 负荷率和负荷曲线                 | 58 | <b>第九章 工厂供电系统的经济运行</b> ..... | 138 |
| 第二节 计算负荷的确定                  | 59 | 第一节 概述                       | 138 |
| 第三节 短路电流及其危害                 | 64 | 第二节 功率因数的人工补偿                | 141 |
| 第四节 短路电流的计算                  | 65 | 第三节 自备内燃机电站的并车供电             | 147 |
| 第五节 短路电流的电动效应和热效应            | 69 | 思考与习题                        | 152 |
| 思考与习题                        | 73 | <b>第十章 工厂供电系统的运行维护</b>       |     |
| <b>第五章 电器和导线的选择及校验</b> ..... | 74 | 与检修                          | 153 |
| 第一节 电气设备选择的一般原则              | 74 | 第一节 变配电所的运行管理                | 153 |
| 第二节 导线和电缆截面的选择及校验            | 76 | 第二节 变配电设备的运行维护               | 163 |

|                               |     |   |     |
|-------------------------------|-----|---|-----|
| 第三节 供电线路的运行维护 .....           | 167 | 第三节 工厂供电系统的设计 .....                                 | 181 |
| 第四节 供电系统主要电气设备的<br>检修试验 ..... | 170 | <b>附录 1 本书主要电工名词、计量单位<br/>        及符号</b> .....     | 183 |
| 思考与习题 .....                   | 175 | <b>附录 2 一次接线图中常用电气设备的<br/>        图形、文字符号</b> ..... | 184 |
| <b>第十一章 实验与实践</b> .....       | 177 | <b>附录 3 二次接线图中常用电气设备的<br/>        图形、文字符号</b> ..... | 189 |
| 第一节 实验 .....                  | 177 |   |     |
| 第二节 参观工厂变配电所 .....            | 180 |   |     |



# 第一章 概 述

## 第一节 电力系统概述

电能是现代人们生产和生活的重要能源。电能可由其他形式的能转换而来，也可简便地转换成其他形式的能(例如将电能转换成光能、热能、机械能、化学能等)。电能的输送、分配、调节、控制和测试等都简单易行，有利于实现生产过程的自动化，因此，在工矿企业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活中得到广泛应用。电力工业是国民经济极重要的部门，是现代化建设的基础。

发电厂是生产电能的工厂。发电厂生产的电能一般要经过升压、输送、降压、分配等中间环节，然后送给用户使用。这些中间环节称为电力网(以下简称电网)。由发电厂、电网和用户等组成的统一整体称为电力系统，如图 1-1 所示。

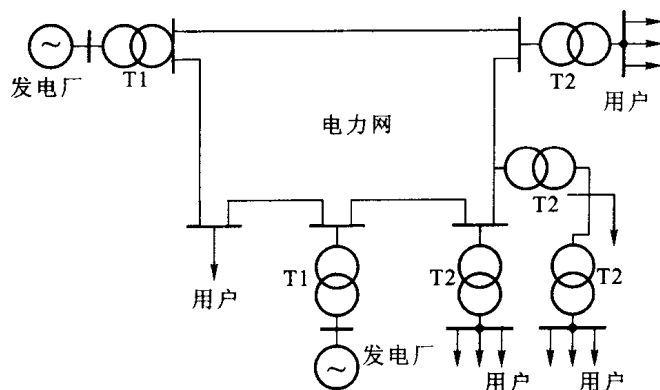


图 1-1 电力系统示意图

T1—升压变压器；T2—降压变压器

随着电能用量的不断增大，发电厂的数量和规模也在增加扩大，供电范围也越来越广阔。为了合理利用资源，电力部门用输电线路把几个地区性的电力系统连接起来组成更大的电力系统，称为联合电力系统。在我国的电网中已有东北、华北、华东、华中、西北五个跨省联合电力系统，为进一步形成全国联合电力系统打下基础。

联合电力系统可以进一步提高供电的可靠性和电能质量；减少系统的装机容量，提高设备利用率；便于安装大型机组，提高运行的灵活性和经济性。

### 一、发电厂

发电厂的种类很多，一般根据所利用能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂、垃圾发电厂和等离子发电厂等。

## 二、电网

电网是连接发电厂和用户的中间环节，它是由各种不同等级的电力线路和输配电线路组成的，按其功能可分为两大部分，即输电网和配电网。

包含输电线路的电网称为输电网。它由 35 kV 及其以上电压的输电线路和与其连接的变电所组成，是电力系统的主要网络，其作用是将电能输送到各个地区的配电网或直接送到大型工矿企业用户。

包含配电线路的电网称为配电网。它是由 10 kV 及其以下的配电线路和配电变电所组成的，其作用是将电力分配到各类用户。

电网按结构方式又可以分为开式电网和闭式电网。用户从一个方向得到电能的电网称为开式电网；从两个及两个以上方向得到电能的电网称为闭式电网（环形和两端供电的电网均属闭式的电网）。

为了研究方便，往往又把电网分成区域电网和地方电网。其中：电压在 110 kV 以上的电网称为区域电网；电压在 110 kV 以下的电网称为地方电网。

## 三、用电负荷

电能生产和输送的目的是供给用户使用。在供电过程中既要保证电能质量，又要经济可靠。目前我国大多数工厂都是以 10 kV 和 35 kV 电压供电的，对于距发电厂较远的大型工厂才采用 110 kV 或者 220 kV 电压供电（这对于减少电网的电能损失和电压损失有很重要的意义）。城乡人民生活用电一般采用 380/220 V 电压供电。

电力系统各级电网上用电设备所需功率的总和，称为用户的用电负荷。按照功率的性质，用电负荷可分为有功负荷和无功负荷两种。

由于电力系统的产、供、用实际上是同时进行的，所以要求发电机组发出的总功率和负荷消耗总功率要保持平衡。如果供给的电能大于或小于负荷的需要，就无法保证供电质量，严重时会造成事故，甚至使供电系统崩溃。

根据用户和负荷的重要程度，按对供电可靠性的要求，把用电负荷分为以下三级：

### 1. 一级负荷

这种负荷若突然停电（如矿井、医院等），将会引起人身伤亡或重大设备损坏，给国民经济造成重大损失或产生政治上的不良影响。例如：钢厂炼钢炉突然停电 30 min，就可能造成炼钢炉报废；电解铝厂停电超过 15 min，电解槽就要遭到破坏。

### 2. 二级负荷

这种负荷若突然停电（如纺织厂、化工厂、水泥厂等），将引起主要设备损坏，产生大量废品或造成大量减产，或导致复杂的生产过程出现长期混乱，或因处理不当而发生人身事故等。

### 3. 三级负荷

指不属于一级负荷和二级负荷的负荷、停电后造成的损失不大者，如工厂的附属车间、日常生活、一般的农业用电等。

一级负荷应最少由两个独立电源供电。当采用两个电源向用户供电时，如果任一电源因故障停止供电，而另一电源不受影响能继续供电，那么这两个电源都称为独立电源。有特殊要求

的一级负荷，其两个独立电源应来自不同的系统，以保证供电的持续性。在上述情况下，一般运行方式为一个电源供电，另一个电源为备用电源(备用电源可以是柴油发电机组或蓄电池组等)。二级负荷一般由两个回路供电，两个回路电源应尽量引自不同的变压器或两段母线。三级负荷的电源无特殊要求。在供电发生矛盾时，为了保证供电质量，应根据负荷的级别采取适当措施，将部分不十分重要的用户或负荷切除。

## 第二节 工厂供电系统

### 一、工厂供电的基本要求

为了使工厂供电工作很好地为生产服务，切实保证工厂生产和群众生活用电的需要并节约能源，必须做到以下几点基本要求：

#### 1. 安全

在电能的供应、分配和使用过程中，不应发生人身事故和设备事故。

#### 2. 可靠

应满足用户对供电可靠性的要求。负荷等级不同的工厂对供电可靠性的要求有所差别。

衡量供电可靠性的指标一般以全部平均供电时间占全年时间的百分数来表示。例如全年时间为 8 760 h, 用户平均停电时间为 8.76 h, 停电时间占全年时间的 0.1%, 即供电可靠性为 99.9%。

安全、可靠不仅是对工厂供电的基本要求，同时也是对电力系统的基本要求。电力系统中的各种动力设备以及发电厂、电网和用户的电气设备都有发生故障或遇到异常情况(飓风、暴风雪等)的可能，从而影响电力系统或工厂供电系统的正常运行，造成用户供电中断，甚至造成重大或无法挽回的损失。例如 1977 年 7 月 13 日，美国纽约市的电力系统由于遭受雷击，保护装置动作不正确，致使全系统瓦解，至少造成 3.5 亿美元的经济损失；又如 1972 年 7 月 27 日，我国湖北电力系统由于继电保护的错误动作，造成武汉和黄石地区电压崩溃，使受端系统全部瓦解，经济损失达 2 700 万元。

由此可见，提高电力系统的安全性和可靠性是极为重要的。但是，从某种意义上讲，绝对安全、可靠的电力系统又是不存在的。电力系统发生故障后，应能借助保护装置把故障隔离，使事故停止扩大并尽快恢复供电。

#### 3. 优质

应满足用户对电能质量的要求。电压和频率是衡量电能质量的重要指标。电压和频率的过高或过低都会影响电力系统的稳定性，对用电设备造成危害。

(1) 电压不正常运行的危害 电流通过线路和变压器时，都要产生电压降，使用户的受端电压低于送端电压。在一般情况下，离电源越远，负荷越大，则用户电压就越低。如果加在用电设备上的电压与用电设备的额定电压差值较大时，用电设备将不能正常工作，甚至造成危害。例如，加在白炽灯两端的电压低于额定电压 5% 时，发光效率约降低 18%；低于额定电压 10% 时，发光效率则降低 35%。

当电压降低时，电动机转矩急剧减小，转速下降，可能会导致工厂的产品报废，甚至会造成重大事故。电压降低还会使电动机本身起动困难，使运行中的温度升高，加速了绝缘老化，

甚至烧坏电动机。

当电压降低而输送功率不变时，则线路中电流增大，电功率和电能损失增加，加大了生产成本。

当加在电气设备上的电压高于它的额定电压时，同样会对电气设备造成危害，使其使用寿命缩短并使其有功功率损失、无功消耗增大。

为了保证电压质量，我国规定电力系统中用户电压的变动范围是：35 kV 以上高压供电及对供电电压质量有特殊要求的用户为  $\pm(5\% \sim 10\%)$ ；10 kV 以上高压供电和低压供电用户为  $\pm 7\%$ ；低压照明用户为  $\pm(5\% \sim 10\%)$ 。

(2) 低频率运行的危害 我国工业上的标准电流频率为 50 Hz。另外，工厂有一些设备采用较高频率，以减轻工具重量和提高生产效率。例如，汽车制造厂和一些大型流水线的装配车间采用 175 ~ 180 Hz 的高频电动工具；某些车床采用 400 Hz 的电动机以提高切削速度；一些锻压、热处理及熔炼等工艺也利用高频电流加热。

但是，在有功功率电源不足或缺乏备用容量的电力系统中，当有功负荷增加时，会造成频率下降，使电气设备在低频率下运行。低频率运行除会对发电厂的安全运行造成较大危害外，还会使所有用户的电动机转速都相应降低。例如，若电流频率由 50 Hz 降到 48 Hz，电动机转速将降低 4%，致使冶金、化工、机械、纺织、造纸等工业的产量和质量都会受到影响。

所以电力工业技术管理法规规定：在  $3 \times 10^6$  kW 以上的电力系统中，频率波动不得超过  $\pm 0.2$  Hz；不足  $3 \times 10^6$  kW 的电力系统中，频率波动不得超过 0.5 Hz。

供给工厂的电能频率是由电力系统保证的。电力系统应保证在任一瞬间电源发出的有功功率等于用户负荷所需要的有功功率。用公式可表示为：

$$P_1 = P \quad (1-1)$$

式中： $P_1$ ——电源发出的有功功率，kW；

$P$ ——用户负荷所需的有功功率，kW。

当重大事故发生( $P_1 \neq P$ )时，会使频率质量下降。为了保证频率稳定，电力系统除保持适当的备用容量外，还常采用低频率自动减负荷装置。这种装置在电力系统的频率降至预先整定值时，能自动切除部分次要负荷。

#### 4. 经济

供电要做到技术合理、供电系统投资要少、运行费用要低，以尽可能节约电能和导线，减少有色金属的消耗。

## 二、工厂供电系统的组成

工厂供电系统由工厂总降压变电所、高压配电线路、车间变配电所、低压配电线路及用电设备组成。

降压变电所(包括总降压变电所和车间变配电所)的作用是把电力系统供给的高压电能，经过降压变电所的各级降压，变成用电设备所需要的较低电压的电能，然后经过配电装置和配电线路将电能送到各车间。降压变电所可分为一次降压和二次降压两种方式。

大型工厂和某些负荷较大的中型工厂，往往采用 35 ~ 110 kV 电源进线。一般都经过两次降压，先经过总降压变电所，将 35 ~ 110 kV 的电源电压降至 6 ~ 10 kV，然后经过高压配电线

路把电能送到各车间变配电所，将 6~10 kV 降至 380/220 V。这种供电方式称为二次降压供电方式，如图 1-2 所示。

工厂的高压配电线路(6~10 kV)主要作为厂区内输送、分配电能之用，通过它把电能送到各个生产车间。

一般的中小型工厂，多采用 6~10 kV 电源进线，或采用 35 kV 电源进线，经降压变电所一次降至 380/220 V。图 1-3 为一次降压供电方式。

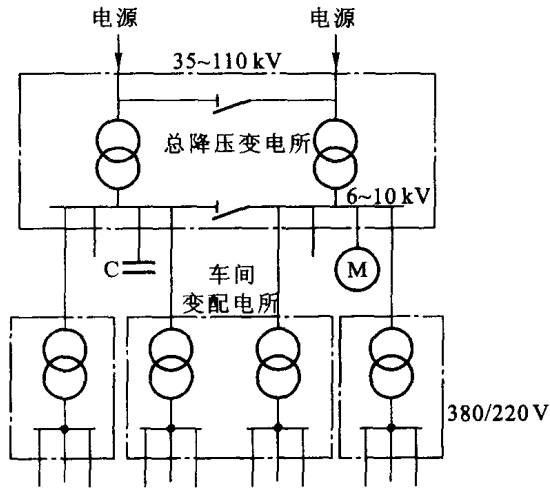


图 1-2 工厂二次降压供电方式示意图

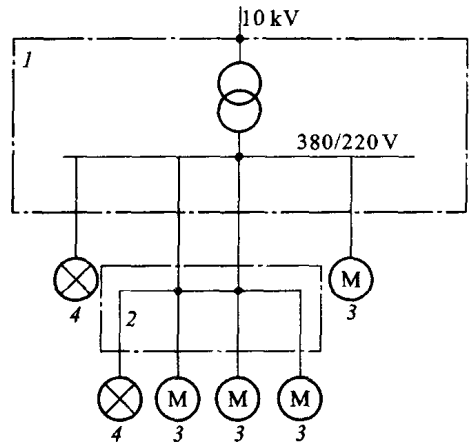


图 1-3 工厂一次降压供电方式示意图

1—降压变电所；2—车间配电所；

3—电动机；4—照明

供电系统中降压变电所的作用是接受电能、变换电压和分配电能，而配电所的作用是接受电能和分配电能。两者的区别主要是降压变电所设有电力变压器。在实际工作中为了节约占地和投资，把变电、配电设备装设在同一设施内，故称为变配电所。

### 第三节 供电电压的选择和调整

#### 一、电力系统的额定电压

根据我国国民经济的发展，考虑到技术上和经济上的合理性，并使电气设备生产标准化和系列化，我国颁布的三相交流电网和电力设备额定电压的国家标准见表 1-1。

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<br>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  | 0.22               | 0.23       | 0.22         | 0.23 |
|     | 0.38               | 0.40       | 0.38         | 0.40 |
|     | 0.66               | 0.69       | 0.66         | 0.69 |

续表

| 分 类 | 电网和用电设备<br>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       |
| 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 | 13.8, 15.75, 18, 20 | —          |
|     | 35                 | —                   | 35                  | 38.5       |
|     | 63                 | —                   | 63                  | 69         |
|     | 110                | —                   | 110                 | 121        |
|     | 220                | —                   | 220                 | 242        |
|     | 330                | —                   | 330                 | 363        |
|     | 500                | —                   | 500                 | 550        |

### 1. 电力线路的额定电压

电力线路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，经全面技术经济分析后确定的，它是确定各类用电设备额定电压的基本依据。

### 2. 用电设备的额定电压

用电设备运行时，电力线路上要有负荷电流流过，因而在电力线路上引起电压损耗，造成电力线路上各点电压略有不同，如图 1-4 所示。但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，而只能按线路首端与末端的平均电压即电力线路的额定电压  $U_N$  来制造。所以用电设备的额定电压与同级电力线路的额定电压是相等的。

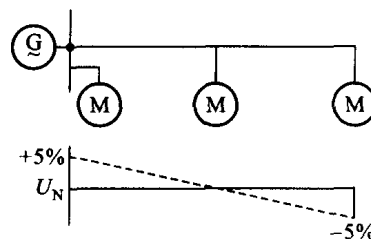


图 1-4 用电设备和发电机的额定电压

### 3. 发电机的额定电压

由于同一电压的线路允许电压损耗为  $\pm 5\%$ ，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平均电压的额定值，线路首端(电源端)电压应比线路额定电压高 5%，而发电机是接在线路首端的，所以规定发电机的额定电压高于同级线路额定电压 5%，用以补偿线路上的电压损耗。

### 4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器(以下简称为变压器)一次绕组的额定电压 当变压器直接与发电机相连时(图 1-5 中变压器 T1)，则其一次绕组的额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级线路额定电压 5%。当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时(图 1-5 中变压器 T2)，则可将变压器看作是线路上的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与线路额定电压相同。

(2) 变压器二次绕组的额定电压 变压器二次绕组的额定电压，是指变压器一次绕组加上额定电压而二次绕组开路时的电压，即空载电压。而变压器在满载运行时，二次绕组内约有

5%阻抗电压降。因此分两种情况：

① 如果变压器二次侧供电线路很长(例如较大容量的高压线路),则变压器二次绕组额定电压一方面要考虑补偿变压器二次绕组本身 5% 的阻抗电压降;另一方面还要考虑变压器满载时输出的二次电压要满足线路首端要高于线路的额定电压 5%, 以补偿线路上的电压损耗。所以变压器二次绕组的额定电压要比线路额定电压高 10%, 如图 1-5 中变压器 T1 所示。

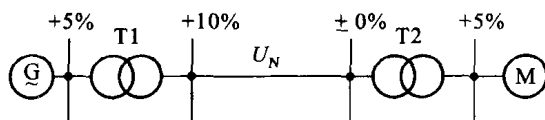


图 1-5 变压器的额定电压

② 如果变压器二次侧供电线路不长(例如低压线路,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线路额定电压 5%, 仅考虑补偿变压器内部 5% 的阻抗电压降, 如图 1-5 中变压器 T2 所示。

综上所述,在同一电压等级中,电力系统中各个环节(发电机、变压器、电力线路、用电设备)的额定电压数值并不都相同。

## 二、供电电压的选择

工厂供、配电电压主要取决于地区电网的电压、工厂用电设备的总容量和输送距离等几个方面的因素。

对于一般无高压用电设备的小型工厂,设备容量在 100 kW 以下、输送电能距离在 600 m 以内的,可采用 380/220 V 电压供电。对于一些特殊车间,如潮湿、易燃、易爆等高度危险的厂房内,应根据有关规定,局部采用安全电压供电,并应采取相应的防爆措施。

对于中小型工厂,设备容量在 100 ~ 2 000 kW、输送电能距离在 4 ~ 20 km 以内的,可采用 6 ~ 10 kV 电压供电。

对于大中型工厂,设备容量在 1 000 ~ 5 000 kW、输送电能距离在 20 ~ 150 km 以内的,可采用 35 ~ 110 kV 电压供电。

低压配电电压的选择主要取决于低压用电设备的电压,一般采用 380 V/220 V。但某些场合宜采用 660 V 甚至更高的 1 140 V 作为低压配电电压,例如矿井井下。

对于生活用电基本上都采用 380 V/220 V 电压供电。

确定供电电压时,应对各种方案的技术和经济指标进行全面比较。在输送功率和距离一定时,选用电压越高,电压和电能损失就越小,电压质量容易保证,导线可以选用较小截面,发展增容余地大。但是线路绝缘等级增高,塔杆尺寸加大,增加了一次性投资。所以要权衡各方面的利弊,选择比较合适的电压等级。

## 三、供电电压的调整

供电系统负荷的变化,使供电系统的电压损失也随着变化。负荷最大时,系统电压损失增大,用户端电压降低;负荷减小时,系统电压损失减小,用户端电压升高。当系统电压偏移超过允许值时,可使用用电设备运行特性恶化。为保证较好的电压质量,满足用电设备对电压偏移的要求,可采用下列方法调整电压:

(1) 正确选择变压器的变压比和分接头,使变压器的二次绕组输出电压高于用电设备的额



定电压，高出的电压可以补偿线路的电压损失，使电压偏移不超出允许范围。

调压方式可分为无载调压和有载调压两种：

① 无载调压 当供给变压器的电压不符合一次绕组的额定电压时，通过调整一次绕组上的分接头，可使二次绕组的电压接近额定电压。此种调压只适于具有停电条件的供给季节性用户的变配电所，或多台变压器并列运行且允许经常切换操作的变配电所。

② 有载调压 为了保证连续供电和达到自动调压的目的，有条件的大中型工厂的总降压变配电所可安装有载调压变压器，以调整电压。

(2) 合理选择导线截面积，减小系统阻抗，以减小线路电压损失。

(3) 尽量使三相负荷平衡。三相负荷不平衡将产生不平衡电压，从而加大了电压偏移。

(4) 可用并联电容器、同步调相机和静止补偿器改变供电系统无功功率的分布，减少线路的电压损失，提高用户端电压，以达到调压的目的。

## 第四节 电力系统的中性点运行方式

电力系统通常把三相电源(包括发电机和变压器)的三相绕组做成星形或三角形联结向外供电。当把三相绕组做成星形联结时，三相绕组的末端形成一个公共点，这个点对地的电位为零。该点称电源的中性点。

电力系统的中性点就是指发电机和变压器的中性点，考虑到电力系统运行的可靠、安全、经济及人身安全等因素，中性点常采用不接地、直接接地和经消弧线圈接地三种运行方式。

### 一、中性点不接地方式

中性点不接地方式，即电力系统的中性点不与大地相连。电力系统的三相导线对地都有分布电容，这些电容在导线中引起了附加电流。在正常运行时，各相对地的电容电流相位相差 $120^\circ$ ，其向量之和为零。所以中性点没有电流流过，对地电位亦为零，如图 1-6 所示。

当电力系统中任何一相绝缘受到破坏而接地时，各相对地电压、对地电容电流都要发生改变。当故障相完全接地(即对地电阻为零)时，其对地电压为零。中性点对地电压为相电压，未故障相对地电压变成线电压，即对地电压升高了 $\sqrt{3}$ 倍，因而对相间绝缘构成威胁。在这种情况下，由于电力系统中相间电压的大小和相位均未发生变化，所以用电不受影响。加之相对地的绝缘是根据线电压设计的，因此在单相接地时还可暂时继续工作。但是，不能允许在这种状态下长时间运行(容易引起相间绝缘破坏而短路，影响安全用电)。

另外，接地电流会在接地点引起电弧，如果接地不良，则可能在接地点形成间歇性电弧，引起过电压。这种过电压一般可以达到相电压的 $2.5 \sim 3$ 倍，威胁电力系统的安全运行。为此电力系统调度规程规定，单相接地运行时间一般不应超过 $2\text{ h}$ 。

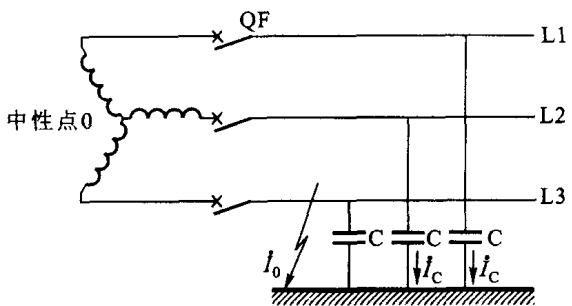


图 1-6 中性点不接地方式

为了保证运行安全，在发生接地故障时能够及时发现和得到处理，中性点不接地方式中一般都应装有绝缘监测装置或一相接地保护装置。当发生接地故障时，这些装置可及时发出警报，使工作人员尽快排除故障。在可能的情况下，应把负荷转移到备用线路上去。

我国 10 kV 电压的电网和部分 35 kV 电压的电网中都采用中性点不接地方式。在工矿企业内部，如矿井下的低压系统中有些也采用这种方式。

## 二、中性点直接接地方式

电力系统中的中性点直接接地方式(图 1-7)，即把中性点直接和大地相接。在这种系统中，发生单相接地时，短路点和中性点构成回路，产生很大的短路电流，使保护装置动作或熔断器熔丝熔断，以切除故障。因而又称这种系统为大电流接地方式。

中性点直接接地方式发生单相接地故障时，既不会产生间歇电弧过电压，也不会使非故障相电压升高，因此，各相的绝缘根据相电压设计。对高压系统而言，可大大降低电网造价，对低压配电线路而言，可以减少对人身危害。但是，这种方式在每次发生单相接地故障时，都会使供电线路或变压器保护装置跳闸，中断供电，使供电可靠性降低。为了提高供电可靠性，目前在中性点直接接地系统中广泛采用自动重合闸装置。当发生单相接地故障时，保护装置自动切断线路，经过一定时间自动重合闸装置动作，将线路合闸。如果是瞬时故障，则线路接通，恢复供电。若属持续性故障，自动保护装置将再次切断线路。

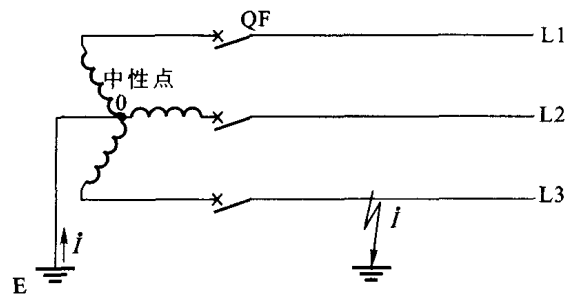


图 1-7 中性点直接接地方式

目前我国 110 kV 及其以上的电网均采用中性点直接接地方式，部分 35 kV 的电网及 380/220 V 的低压电网也采用中性点直接接地方式。

## 三、中性点经消弧线圈接地方式

在中性点不接地方式中，当单相接地电流超过规定数值时，电弧不能自行消灭，这就可能使线路产生电压谐振现象。一般采用经消弧线圈接地措施减小接地电流，使故障电弧自行消灭，这种措施叫中性点经消弧线圈接地方式，如图 1-8 所示。

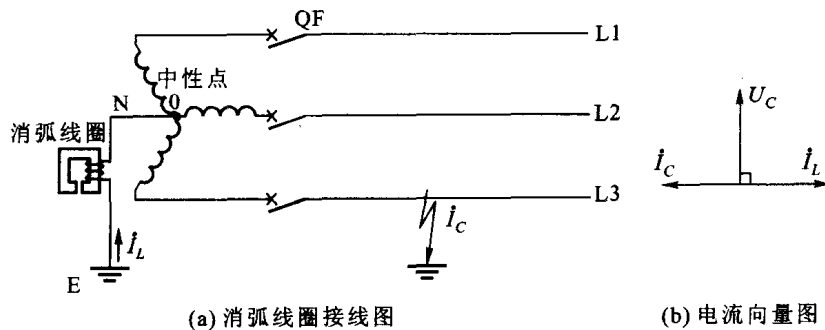


图 1-8 中性点经消弧线圈接地方式