

# 工厂供配电技术

GONGCHANG  
GONGPEIDIAN JISHU

主 编 王全亮 李义科  
副主编 李拴婷 任万英  
主 审 张长富



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

## 内容提要

本书根据高职高专的教育特点,结合高职高专学生的知识层次、学习能力和应用能力的实际情况,以就业为导向,以职业岗位能力为目标,以必需、够用为尺度,加强理论与实际的联系,精选教学内容,力求内容新颖、叙述简练、灵活应用,学用结合。本书共分为10章,内容包括供配电系统概述、工厂变配电所及供配电设备、工厂电力网络、工厂电力负荷的计算和短路计算、供配电线路的导线和电缆、工厂供配电系统的继电保护、工厂供配电系统二次接线与自动装置、工厂电气照明、工厂的电力节能、工厂供配电安全措施等。每章都配有小结和习题,为教师的课堂教学和学生的自主学习提供了方便。

本书具有简明扼要、说理清楚、通俗易懂、紧密联系实际的特点,适用于高职高专院校电气自动化、计算机控制技术、自动化仪表、数控技术和机电一体化等电力、电子、机电类各专业及相关专业“电工”课程的教材,也可作为各类成人高等专科学校电类专业教材,还可供有关电气工程技术人员参考及作为相关领域工程技术人员自学和培训用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工厂供配电技术/王全亮,李义科主编. —重庆:重庆大学出版社,2015.8

ISBN 978-7-5624-9288-7

I. ①工… II. ①王…②李… III. ①工厂—供电系统—高等教育—教材 ②工厂—配电系统—高等教育—教材  
IV. ①TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 156200 号

### 工厂供配电技术

主 编 王全亮 李义科

副主编 李拴婷 任万英

主 审 张长富

策划编辑:鲁 黎

责任编辑:李定群 高鸿宽 版式设计:鲁 黎

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆市远大印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:338 千

2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2 100

ISBN 978-7-5624-9288-7 定价:32.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

随着职业教育的改革与深入发展,根据新形势下高职院校教学的实际情况,以“必须、够用、实用、好用”为原则,贯彻“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的指导思想,结合高职高专教学改革的目的和要求,针对高职高专生源的特点,在深入开展专业课程改革的过程中,经过不断总结和探索,编写了《工厂供配电技术》。本书编写中注重职业技能培养,内容新颖,实践性和应用性强,既有理论分析又有例题验证,利于培养和训练学生分析问题和解决问题的能力,且便于自学。建议授课时数为 70 学时,授课内容可根据不同专业要求和教学进行取舍。

在编写本书过程中,充分考虑现代供配电系统科学技术的发展和新知识应用,深入浅出地讲述了供配电系统每个环节内容,在内容叙述上力争做到深入浅出,将知识点和应用能力有机结合,注重培养学生的工程应用和解决现场实际问题的能力。本书以变、配电所的设计、运行维护为主线,贯穿以工厂供配电相应知识的介绍及基本操作技能的讲解训练,学生学完本课程后,能胜任工厂供配电系统设备的安装、调试,运行维护等岗位的工作,并具有 10 kV 及以下工厂供电系统的初步设计能力。本书在每一章都附有小结和习题,以帮助 学生进一步巩固基础知识;本书图文并茂,内容选取具有较强的针对性和实用性,便于读者学习和自学。

本书由王全亮、李义科任主编,李拴婷、任万英任副主编。全书共分 10 章,其中第 2,3,4 章由王全亮编写,第 5,6 章由李义科编写,第 1,7,8 章由李拴婷编写,第 9,10 章由任万英编写。全书由郑州电力职业技术学院王全亮统稿,由郑州电力职业技术学院张长富教授主审。

本书在编写过程中,查阅和参考了众多文献、教材和相关技术资料,同时得到了学校领导的高度重视和电力工程系任课教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间紧和编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正,以便以后修改提高。

编 者  
2015 年 2 月

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第1章 供配电系统概述 .....           | 1   |
| 1.1 绪论 .....                | 1   |
| 1.2 工厂供配电系统的基本概念 .....      | 2   |
| 1.3 电力系统的电压 .....           | 10  |
| 小结 .....                    | 14  |
| 习题1 .....                   | 14  |
| 第2章 工厂变配电所及供配电设备 .....      | 17  |
| 2.1 工厂变配电所的作用、类型和位置 .....   | 17  |
| 2.2 工厂变配电所常用的高压电气设备 .....   | 18  |
| 2.3 工厂变配电所常用的低压电气设备 .....   | 38  |
| 2.4 工厂变配电所的电气主接线与倒闸操作 ..... | 51  |
| 小结 .....                    | 77  |
| 习题2 .....                   | 79  |
| 第3章 工厂电力网络 .....            | 83  |
| 3.1 工厂电力网络的基本接线方式 .....     | 83  |
| 3.2 工厂架空线路 .....            | 85  |
| 3.3 工厂电缆线路 .....            | 89  |
| 3.4 线路运行时突然停电的处理 .....      | 98  |
| 小结 .....                    | 98  |
| 习题3 .....                   | 99  |
| 第4章 工厂电力负荷的计算和短路计算 .....    | 101 |
| 4.1 工厂的电力负荷和负荷曲线 .....      | 101 |
| 4.2 工厂计算负荷的确定 .....         | 105 |
| 4.3 短路计算 .....              | 112 |
| 小结 .....                    | 117 |
| 习题4 .....                   | 118 |
| 第5章 供配电线路的导线和电缆 .....       | 121 |
| 5.1 导线和电缆型号的选择 .....        | 121 |
| 5.2 导线截面的选择 .....           | 123 |
| 5.3 线路电压损失计算 .....          | 127 |
| 5.4 母线的选择 .....             | 132 |
| 小结 .....                    | 132 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 习题5 .....                         | 133        |
| <b>第6章 工厂供配电系统的继电保护 .....</b>     | <b>135</b> |
| 6.1 继电保护装置的作用和要求 .....            | 135        |
| 6.2 常用的保护继电器 .....                | 137        |
| 6.3 高压配电网的继电保护 .....              | 142        |
| 6.4 电力变压器的保护 .....                | 150        |
| 6.5 工厂低压供电系统的保护 .....             | 156        |
| 6.6 防雷与接地 .....                   | 163        |
| 小结 .....                          | 176        |
| 习题6 .....                         | 177        |
| <b>第7章 工厂供配电系统二次接线与自动装置 .....</b> | <b>180</b> |
| 7.1 二次接线的基本概念和二次回路图 .....         | 180        |
| 7.2 断路器控制回路信号系统与测量仪表 .....        | 183        |
| 7.3 绝缘监察装置 .....                  | 190        |
| 7.4 备用电源自动投入装置及自动重合闸装置 .....      | 190        |
| 7.5 计算机在工厂供电中的应用 .....            | 196        |
| 小结 .....                          | 198        |
| 习题7 .....                         | 199        |
| <b>第8章 工厂电气照明 .....</b>           | <b>201</b> |
| 8.1 电光源 .....                     | 201        |
| 8.2 常见电光源 .....                   | 202        |
| 8.3 灯具的特性及分类 .....                | 205        |
| 8.4 灯具的选择及布置 .....                | 207        |
| 8.5 照明的供电方式及线路控制 .....            | 208        |
| 小结 .....                          | 209        |
| 习题8 .....                         | 209        |
| <b>第9章 工厂的电力节能 .....</b>          | <b>211</b> |
| 9.1 电能节约的意义 .....                 | 211        |
| 9.2 节约用电的基本措施 .....               | 211        |
| 9.3 提高功率因数的方法 .....               | 212        |
| 小结 .....                          | 213        |
| 习题9 .....                         | 213        |
| <b>第10章 工厂供配电安全措施 .....</b>       | <b>215</b> |
| 10.1 电气维护及检修的安全技术措施 .....         | 215        |
| 10.2 电气维护及检修的安全组织措施 .....         | 220        |
| 小结 .....                          | 221        |
| 习题10 .....                        | 222        |
| <b>参考文献 .....</b>                 | <b>224</b> |

# 第 1 章

## 供配电系统概述

本章首先介绍供配电系统的基本情况,包括工厂内供电系统的构成,各主要构成环节的作用及名称;其次介绍典型的各类工厂供配电系统及相关知识,主要介绍电力系统中性点运行方式;最后介绍工厂供配电电压等级和电网及用电设备、变压器的额定电压等级。

### 1.1 绪 论

电能在日常生活中扮演着举足轻重的角色,社会的各行各业都离不开电能。电能有很多优点,它能够转换为其他能量(机械能、热能、光能、化学能等)。电能的输配易于实现。电能可做到比较精确的控制、计算和测量,应用灵活。因此,电能 in 工农业、交通运输业以及人们的日常生活中得到越来越多的应用。作为一名工业电气技术人员,应该掌握安全、可靠、经济、合理地供配电能和使用电能的技术。

在工厂里,电能虽然是工业生产的主要能源和动力,但是它在产品成本中所占的比重一般很小(除电化工业外)。电能 in 工业生产中的重要性,并不在于它在产品成本中或投资额中所占比重的多少,而在于工业生产实现电气化以后可大大增加产量、提高产品质量、提高劳动生产率、降低劳动成本、减轻工人的劳动强度、改善工人的劳动条件,有利于实现生产过程自动化。从另一方面说,如果工厂的电能供应突然中断,则可能对工业生产造成严重的后果。

因此,工厂供配电工作对于发展工业生产、实现工业现代化,具有十分重要的意义。由于能源节约是工厂供配电工作的一个重要方面,而能源节约对于国家经济建设具有十分重要的战略意义,因此,必须做好工厂供配电工作。

工厂供配电工作要很好地为工厂生产服务,切实保证工厂生产和生活用电的需要,并做好节能工作,就必须达到以下基本要求:

#### (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表示。例如,全年时间为 8 070 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,1997年7月13日,美国纽约市的电力系统由于遭受雷击,保护装置错误动作,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装置的错误动作,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2700万元。

(3) 优质

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。

(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。

1.2 工厂供配电系统的基本概念

电能是由发电厂产生的,但发电厂往往距离城市和工业中心很远,这就需要将电能经过线路到城市或工业企业。为了减少输电时的电能损耗,从发电厂送电到用户家中的过程中,发电厂发出的电要先经过变电所升高电压才可大量快速地输送。高电压须经过变电所降低电压才可依序分送各地,并逐渐降低到用户可使用的电压。

将各种类型发电厂中的发电机、升降压变压器、输电线路以及各种用电设备联系在一起构成的统一的整体就是电力系统,用以实现完整的发电、输电、变电、配电和用电。如图1.1所示为电力系统示意图。

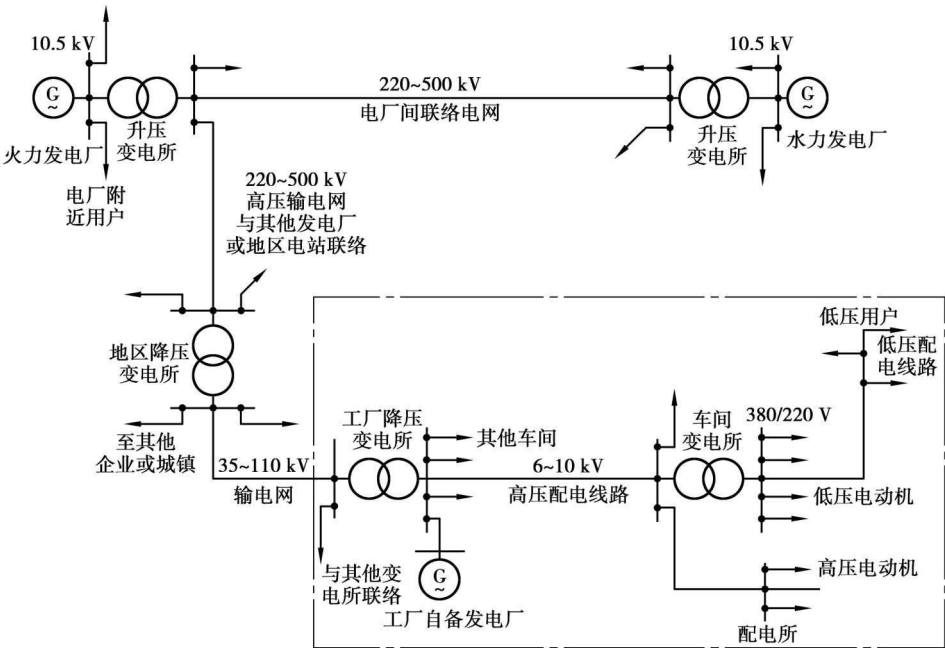


图 1.1 电力系统示意图



发电机生产的电能受发电机制造电压的限制,不能远距离输送。因此,通常使发电机的电压经过升压达 220 ~ 500 kV,再通过超高压远距离输电网送往远离发电厂的城市或工业集中地区,通过降压变电所将电压降到 35 ~ 110 kV,然后再用 35 ~ 110 kV 的高压输电线路将电能送至工厂降压变电所降至 6 ~ 10 kV 配电或终端变电所,如图 1.2 所示。

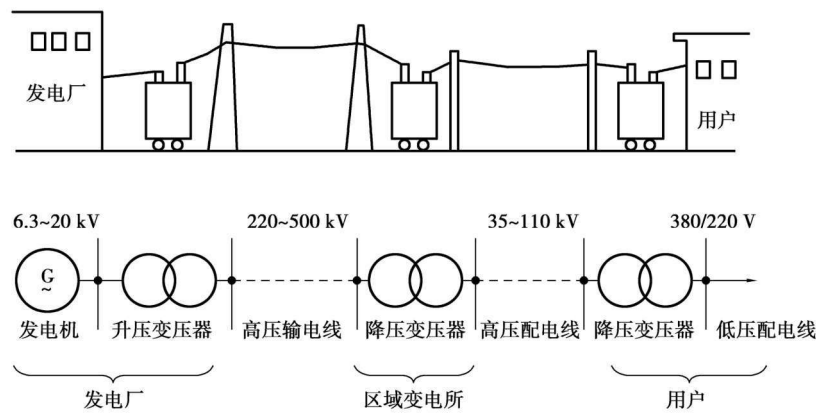


图 1.2 从发电厂到用户的送电过程示意图

1.2.1 发电厂的类型

根据各个发电厂使用的一次能源不同,发电厂主要分为以下 3 种:

(1) 火力发电厂

以煤、石油、天然气等作为一次能源,借助汽轮机等热力机械将热能转换为机械能,再由汽轮机带动发电机发电的电厂,称为火力发电厂。

(2) 水力发电厂

我国的水力资源极其丰富,据统计目前开发的总量还不足 10%,一些水力资源亟待开发。水力发电厂的生产过程要比火力发电厂简单,它是利用水的位能差进行发电的。

(3) 核力发电厂

利用核能发电的电厂称为核力发电厂。核力发电厂用的一次能源主要是二氧化铀。

1.2.2 变配电所

变电所起着变换电能电压、接受电能与分配电能的作用,是联系发电厂与用户的中间环节。如果变电所只用以接受电能和分配电能,则称为配电所。

变电所从结构上可分为屋外式变电所和屋内式变电所。

变电所有升压、降压之分。升压变电所多建在发电厂内,把电能电压升高后,再进行长距离输送。降压变电所多设在用电区域,将高压电能适当降低电压后,对某地区或用户供电。降压变电所又分以下 3 类。

(1) 地区降压变电所

地区降压变电所又称为一次变电站,位于一个大用电区或一个大城市附近,从 220 ~ 500 kV 的超高压输电网或发电厂直接受电,通过变压器把电压降为 35 ~ 110 kV,供给该区域



的用户或大型工厂用电,供电范围较大。

(2)终端变电所

终端变电所又称二次变电站,多位于用电的负荷中心,高压侧从地区降压变电所受电,经变压器降到 $6\sim 10\text{ kV}$ ,对某个市区或农村城镇用户供电。供电范围较小。

(3)工厂降压变电所及车间变电所

1)工厂降压变电所

一般大型工业企业均设工厂降压变电所,把 $35\sim 110\text{ kV}$ 电压降为 $6\sim 10\text{ kV}$ 电压向车间变电所供电。

2)车间变电所

车间变电所将 $6\sim 10\text{ kV}$ 的高压配电电压降为 $380/220\text{ V}$ ,对低压用电设备供电。供电范围一般只在 $500\text{ m}$ 以内。

1.2.3 工厂供电系统示意图

一般中型工厂的电源进线电压为 $6\sim 10\text{ kV}$ 。电能先经高压配电所集中,再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所,或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装有电力变压器,将 $6\sim 10\text{ kV}$ 的高压降为一般低压用电设备所需的电压( $380/220\text{ V}$ ),然后由低压配电线路分送给各用电设备使用。

图 1.3 是一个比较典型的中型工厂供电系统的系统图,图中未绘出各种开关电器(除母线和低压联络线上装设的开关外),用一根线来表示三相线路。

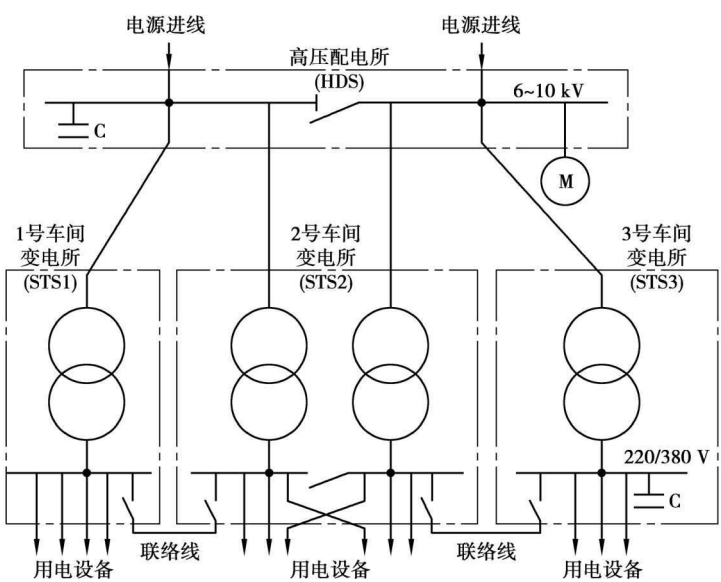


图 1.3 中型工厂供电系统示意图

从图 1.3 可知,该厂的高压配电所有两条 $6\sim 10\text{ kV}$ 的电源进线,分别接在高压配电所的两段母线上。这两段母线间装设有一个分段隔离开关,形成所谓“单母线分段制”。在任一电源进线发生故障或进行检修而被切除后,可利用分段隔离开关来恢复对整个配电所的供电,即分段隔离开关闭合后由另一条电源进线供电给整个配电所。这类接线的配电所通常的运

行方式是:分段隔离开关闭合,整个配电所由一条电源进线供电,其电源通常来自公共电网(电力系统),而另一条电源进线作为备用,通常由临近单位取得备用电源。

如图 1.3 所示的高压配电所有四条高压配电线,供电给 3 个车间变电所,其中 1 号车间变电所和 3 号车间变电所都只装有一台配电变压器,而 2 号车间变电所装有两台配电变压器,并分别有两段母线供电,其低压侧又采用单母线分段制,因此对重要的用电设备可由两段母线交叉供电。车间变电所的低压侧设有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,该高压配电所还有一条高压配电线,直接供电给一组电动机;另有一条高压线,直接与一组并联电容器相连。3 号车间变电所低压母线上也连接有一组并联电容。这些并联电容器都是用来补偿无功功率以提高功率因数。

对于大型工厂及某些电源进线电压为 35 kV 及以上的中型工厂,一般经过两次降压。也就是电源进厂以后,先经总降压变电所,其中装有较大容量的电力变压器,将 35 kV 及以上的电源电压降为 6~10 kV 的配电电压,然后通过高压配电线将电能送到各个车间变电所。也有些工厂,其电源进厂后,经高压配电所再送到车间变电所。最后经配电变压器降为一般低压用电设备所需的电压。其系统图如图 1.4 所示。

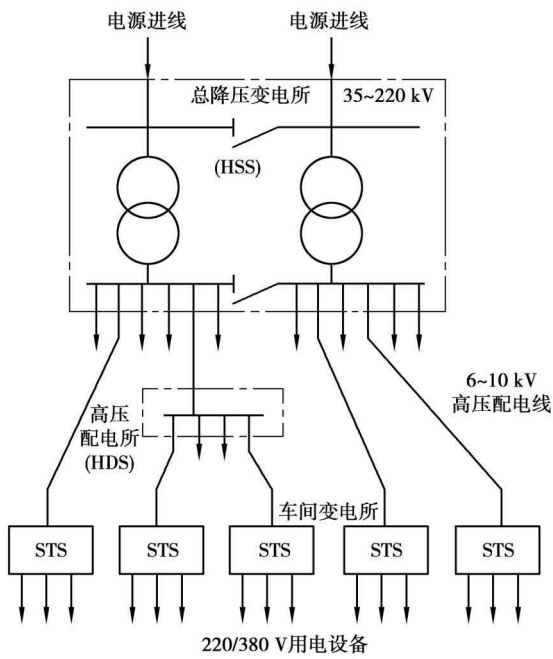


图 1.4 具有总降压变电所的工厂供配电系统示意图

有的 35 kV 进线的工厂,只经一次降压,即 35 kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所,经车间变电所的配电变压器直接降为低压用电设备所需的电压,如图 1.5 所示。这种供电方式称为高压深入负荷中心的直配方式。这种直配方式可以省去一级中间变压,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。然而这要根据厂区的环境条件是否满足 35 kV 架空线路深入负荷中心的“安全走廊”要求而定,否则不宜采用,以确保供电安全。

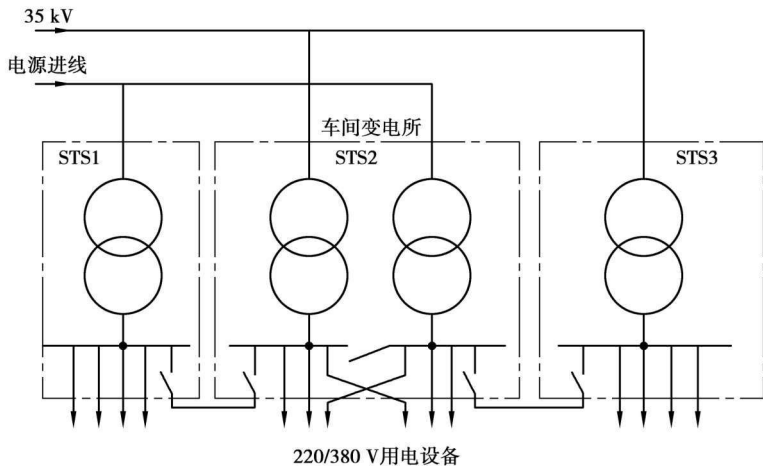


图 1.5 高压深入负荷中心的工厂供配电系统

1.2.4 输送电网

电力系统中各级电压的电力线路及与其连接的变电所总称为电力网,简称电网。电力网是电力系统的一部分,是输电线路和配电线路的统称,是输送电能和分配电能的通道。电力网是把发电厂、变电所和电能用户联系起来的纽带。

电网由各种不同电压等级和不同结构类型的线路组成,按电压的高低可将电力网分为低压网、中压网、高压网及超高压网等。电压在 1 kV 以下的称低压网,1 ~ 10 kV 的称中压网,高于 10 kV 低于 330 kV 的称高压网,330 kV 及以上的称超高压网。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。区域电网的供电范围大,电压一般在 220 kV 及以上;地方电网的供电范围小,电压一般为 35 ~ 110 kV。电网也往往按电压等级来称呼,如说 10 kV 电网或 10 kV 系统,就是指相互连接的整个 10 kV 电压的电力线路。根据供电地区的不同,有时也将电网称为城市电网和农村电网等。

电力线路按功能的不同,可分为输电线路、配电线路及用电线路 3 类。

1. 输电线路。输电线路用于远距离输送较大的电功率,其电压等级为 110 ~ 500 kV。

2. 配电线路。配电线路用于向用户或者各负荷中心分配电能,其电压等级为 3 ~ 110 kV 的,称为高电压配电线路。低压配电变压器低压侧引出的 0.4 kV 配线线路,称为低压配电线路。

3. 用电线路。用电线路是指低压接户线、进户线及户外配线。对工厂供配电系统来说,指设备用电线路。

电力线路按照线路结构或所有器材不同,可分为架空线路、电缆线路及地理线路等三种。室内外配电线路又有明敷和暗敷两种敷设线方式。

电能的输送方式有交流和直流两种。直流输电主要用于以下 4 个方面:

①远距离输电及跨海输电。跨海输电及远距离输电容量大,如果采用交流输电,由于距离长,线路感抗也将增大,从而限制了输送容量,而且造成运行不稳定。另外,由于交流线路存在分布电抗和对地分布电容,会引起线路电压在很大范围内发生变化,必须投入无功补偿设备,投资增加。若采用直流输电,则不存在此类问题。

直流输电线路具有架设方便,能耗小,导线截面可得到充分利用及绝缘强度高优点,使其更适宜于远距离、大容量输电。

②连接两个不同频率的电网,并可实现电流控制,限制短路电流。直流输电一般由整流站、直流线路和逆变站3部分组成。在输送电能的过程中,整流站把送端系统的三相交流点变为直流电,通过直流电路送到用户,再通过逆变站把直流电转化为交流电,供给用户。

③限制短路电流。交流电力系统互联或配电网增容时,直流输电可作为限制短路电流的措施。这是由于它的控制系统具体调节快、控制性能好的特点,可有效地限制短路电流,使其基本保持稳定。

④向长距离的大城市供电。向用电密集的大城市供电,在供电距离达到一定程度时,用高压直流电缆更为经济,同时直流输电还可以作为限制城市供电电网短路电流增大的措施。

直流输电是以交流电力系统为基础,在直流输电网的两端是两个换流装置和交流系统,如图1.6所示。若将电能从交流电能A输送到交流系统B,则换流装置I把交流整流成直流,通过直流电网输送给换流装置II,换流装置II再把直流逆变为与交流系统B同频率、同相位的交流电馈送给交流系统B。

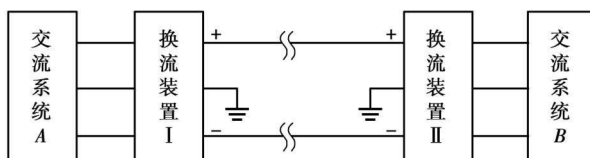


图 1.6 直流输电系统结构示意图

直流系统存在换流装置昂贵、产生高次数谐波及直流开关制造困难等缺点。

### 1.2.5 工厂配电线路

工厂内高压配电线路主要用于工厂内输送、分配电能之用,通过它把电能送到各个生产厂房和车间。工厂内高压配电线路以前多采用架空线路,由于存在一定的缺陷,另外电缆制造技术的发展,并有一定的优点,现在已逐渐向电缆化方向发展。

工厂内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。在厂房或车间内部则应根据具体情况确定,或采用明线配电线路,或采用电缆配电线路。在厂房或车间内,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路。

车间内电气照明线路和动力线路通常是分开的,一般由一台配电用变压器分别进行照明和动力供电。如采用380/220 V三相四线制线路供电,动力设备由380 V三相线供电,而照明负荷由220 V相线和零线供电,各相所供应的照明负荷应尽量平衡。如果动力设备冲击负荷使电压波动较大,则应使照明负荷由单独的变压器供电。事故照明必须由可靠的独立电源供电。工厂内配电线路距离不长,但用电设备多,支路多;设备的功率不大,电压也较低,但电流较大。

### 1.2.6 电力系统的中性点运行方式

在电力系统中,当变压器或发电机的三相绕组为星形连接时,其中性点有两种运行方式,

即中性点接地和中性点不接地。中性点直接接地系统常称为大电流接地系统,中性点不接地和中性点经消弧线圈(或电阻)接地的系统称为小电流接地系统。中性点的运行方式如图 1.7 所示。

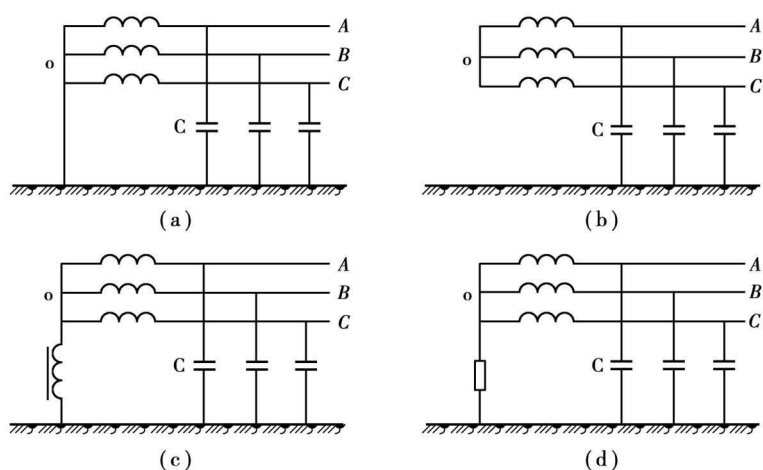


图 1.7 电力系统中性点运行方式  
(a)中性点直接接地 (b)中性点不接地  
(c)中性点经消弧线圈接地 (d)中性点经阻抗接地

目前,在我国电力系统中,110 kV 以上高压系统为降低设备绝缘要求,多采用中性点直接接地运行方式;6 ~ 35 kV 中压系统中,为提高供电可靠性,首选中性点不接地运行方式。当接地电流不满足要求时,可采用中性点经消弧线圈或电阻接地的运行方式。

(1) 中性点直接接地方式

中性点直接接地方式发生一相对地绝缘破坏时,就构成单相短路,供电中断,可靠性降低。但是,这种方式下的非故障相对地电压不变,电气设备按相电压考虑,降低设备要求。

(2) 中性点不接地方式

在正常运行时,各相对地分布电容相同,三相对地电容电流对称且其和为零,各相对地电压为相电压。中性点不接地系统发生单相接地故障时,线电压不变而非故障相对地电压升高到原来相电压的 3 倍。故障相电流增大到原来的 3 倍。因此对中性点不接地系统,注意电气设备的绝缘要按照线电压来选择。

(3) 低压配电系统的中性点运行方式

低压配电系统按保护接地形式可分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

TN 系统中的所有设备的外露可导电部分均接公共保护线(PE 线)或公共的保护中性线(PEN 线)。如果系统中的 N 线与 PE 线全部合为 PEN 线,则称系统为 TN-C 系统。如果系统中的 N 线与 PE 线全部分开,则称系统为 TN-S 系统。如果系统的前一部分线路,其 N 线与 PE 线全部合为 PEN 线,而后一部分线路,N 线与 PE 线全部或部分的分开,则称系统为 TN-C-S 系统,如图 1.8 所示。

TT 系统中所有设备的外露可导电部分均各自经 PE 线单独接地,如图 1.9 所示。

IT 系统中的所有设备的外露可导电部分也都各自经 PE 线单独接地,但其电源中性点不接地或经 1 000  $\Omega$  阻抗接地,且通常不引出中性线,如图 1.10 所示。

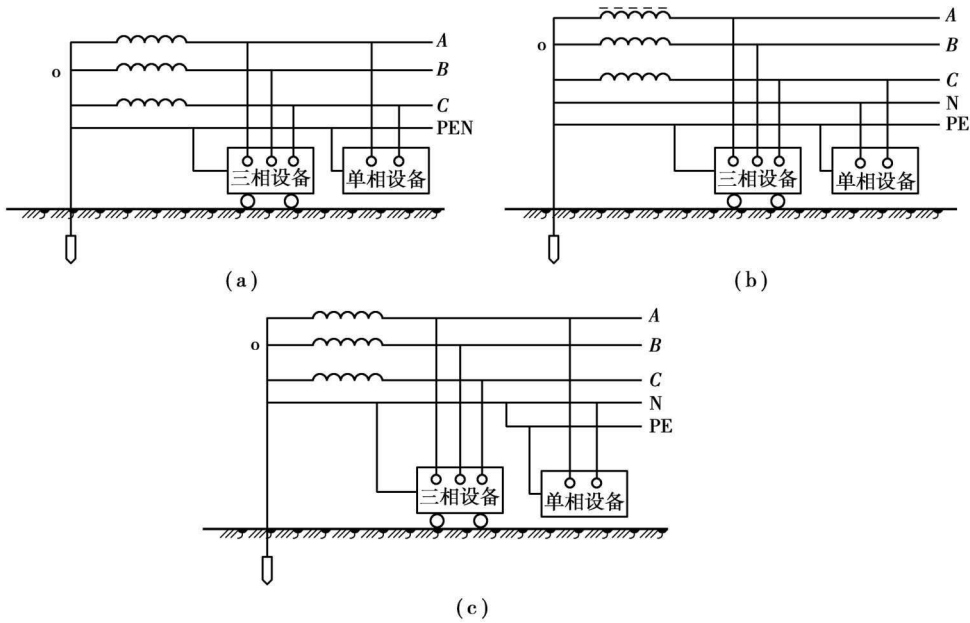


图 1.8 TN 系统

(a) TN-C 系统 (b) TN-S 系统 (c) TN-C-S 系统

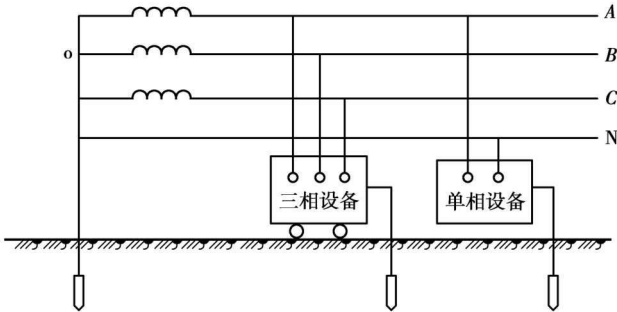


图 1.9 TT 系统

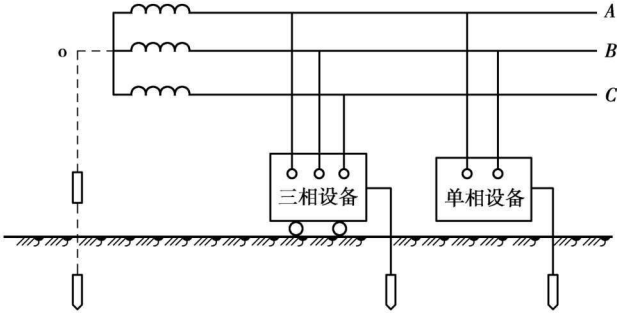


图 1.10 IT 系统

### 1.2.7 电能用户

所有的用电单位均称为电能用户,其用户主要是工业企业。我国工业企业用电占全年发电量的 60% 以上,是最大的电能用户。电能用户按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户及居民用户等。

### 1.2.8 电力负荷的分级

在工业企业中,各类负荷的运行特点和重要性不一样,它们对供电的可靠性和电能品质的要求不同。为了合理地选择供电电源及设计供电系统,以适应不同的要求,我国将工业企业的电力负荷按其可靠性要求的不同划分为一级负荷、二级负荷和三级负荷。

#### (1) 一级负荷

一级负荷在供电突然中断时将造成人身伤亡的危险,或造成重大设备损坏且难以修复,或给国民经济带来极大损失。因此,一级负荷应要求由两个独立电源供电。而对特别重要的一级负荷,应由两个独立电源点供电。

两个独立电源是指当采用两个电源向工厂供电时,如果任一电源因故障而停止供电,另一电源不受影响,能继续供电。那么,这两个电源的每一个都称为独立电源。凡同时具备下列两个条件的发电厂、变电站的不同母线均属独立电源:

①每段母线的电源来自不同的发电机。

②母线段之间无联系,或虽有联系,但当其中一段母线发生故障时,能自动断开联系,不影响其余母线段继续供电。

所谓独立电源点,主要是强调几个独立电源来自不同的地点,并且当其中任一独立电源点因故障而停止供电时,不影响其他电源点继续供电。

一级负荷通常又称保安负荷。对保安负荷必须备有应急使用的可靠电源,以便当工作电源突然中断时,保证工厂安全停产。这种为安全停产而应急使用的电源称为保安电源。

#### (2) 二级负荷

二级负荷如果突然断电,将造成生产设备局部破坏,或生产流程紊乱且难以恢复,工厂内部运输停顿,出现大量废品或大量减产,因而在经济上造成一定损失。这类负荷允许短时停电几分钟。它在工业企业内部占的比例最大。

二级负荷应由两个回路供电,两个回路应尽可能引自不同的变压器或母线段。当取得两个回路确实有困难时,允许由一回专用架空线路供电。

#### (3) 三级负荷

所有不属于一级和二级负荷的电能用户均属于三级负荷。三级负荷对供电无特殊要求,允许较长时间停电,可采用单回路供电。

## 1.3 电力系统的电压

### 1.3.1 供电质量的主要指标

对工业用户而言,衡量供电质量的主要指标是交流电的电压和频率。



(1) 电压

交流电的电压质量包括电压数值与波形两个方面。电压质量对各类用电设备的工作性能、使用寿命、安全及经济运行都有直接的影响。用电设备在其额定电压下工作,既能保证设备运行正常,又能获得最大的经济效益。

电网的电压偏差过大时,不仅影响电力系统的正常运行,还对用电设备的危害很大。以照明用白炽灯为例,当加在白炽灯泡上的电压低于其额定电压时,其发光效率降低,使人的身体健康受影响,降低劳动生产率。

感应电动机的最大转矩与端电压的平方成正比。当电压降低时,转矩急剧减小,以致转差增大,从而使定子、转子电流都显著增大,引起温升增加,绝缘迅速老化,甚至烧毁电动机。

电力系统的供电电压(或电流)的波形畸变,使电能质量下降,生产高次谐波,谐波电流增加了电网的电能损耗,降低旋转电机、变压器、电缆等电气元件的寿命,还将影响电子设备的正常工作,使自动化、远动、通信都受到干扰。

(2) 频率

我国工业标准电流频率为 50 Hz,有些工业企业有时才用较高的频率,以提高生产效率。例如,汽车制造或其他大型流水作业的装配车间采用频率为 175 ~ 180 Hz 的高频设备,某些机床采用 400 Hz 的电动机以提高切削速度,锻压、热处理及熔炼利用高频加热等。

电网低频率运动时,所有用户的交流电动机转速都将相应降低,因而许多工厂的产量和质量都将不同程度地受到影响。

频率的变化对电力系统运行的稳定性影响很大,因而对频率的要求比对电压的要求严格得多,一般不得超过  $\pm 0.5\%$ ,电网容量在 300 万 kW 及以上者不得超过  $\pm 0.2\%$ 。频率的调整主要依靠发电厂。

1.3.2 电力系统的额定电压

根据我国国民经济的发展,考虑技术经济上的合理性,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 我国交流电网和电力设备的额定电压/kV

| 电网和用电设备额定电压 | 交流发电机额定线电压 | 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        | 0.4        | 0.38      | 0.4        |
| 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  |
| —           | 15.75      | 15.75     | —          |
| 35          | —          | 35        | 38.5       |
| 60          | —          | 60        | 66         |
| 110         | —          | 110       | 121        |

续表

| 电网和用电设备额定电压 | 交流发电机额定线电压 | 变压器额定电压 |      |
|-------------|------------|---------|------|
|             |            | 一次电压    | 二次电压 |
| 154         | —          | 154     | 169  |
| 220         | —          | 220     | 242  |
| 330         | —          | 330     | 363  |
| 500         | —          | 500     | 525  |

(1) 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压和电网的额定电压是一致的。由于用电设备运行时要在线路中产生电压损耗,造成线路上各点的电压略有不同,如图 1.11 所示。但是成批生产的用电设备,其额定电压只能按照线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压来制造。因此,用电设备额定电压规定与电网的额定电压相同。

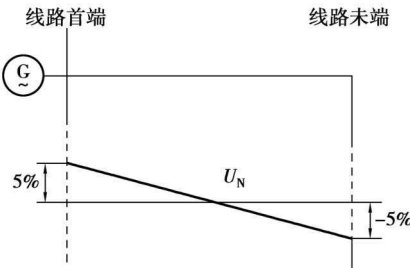


图 1.11 用电设备和发电机的额定电压说明

(2) 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,为了保证线路首端与末端的平均电压在额定值,线路首端应比电网的额定电压高 5%, 如图 1.12 所示。而发电机接在线路首端,所以规定发电机的额定电压高于所供电网额定电压 5%, 用以补偿线路电压损失。

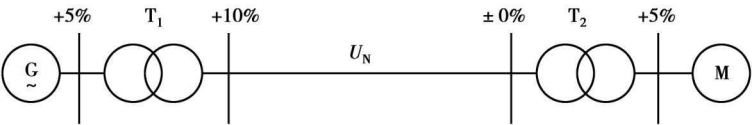


图 1.12 电力变压器的额定电压

(3) 电力变压器的额定电压

1) 电力变压器( 以下简称为变压器)一次侧额定电压

变压器的一次线圈连接在某一级额定电压线路的末端,可将变压器看作线路上的用电设备,因此,其一次侧额定电压与用电设备(或该电网)的额定电压相同,如图 1.12 所示的变压器  $T_2$ 。但如果变压器直接与发电机相连时,其一次侧额定电压就应与发电机额定电压相同,即比电网的额定电压要高 5%,如图 1.12 所示的变压器  $T_1$ 。