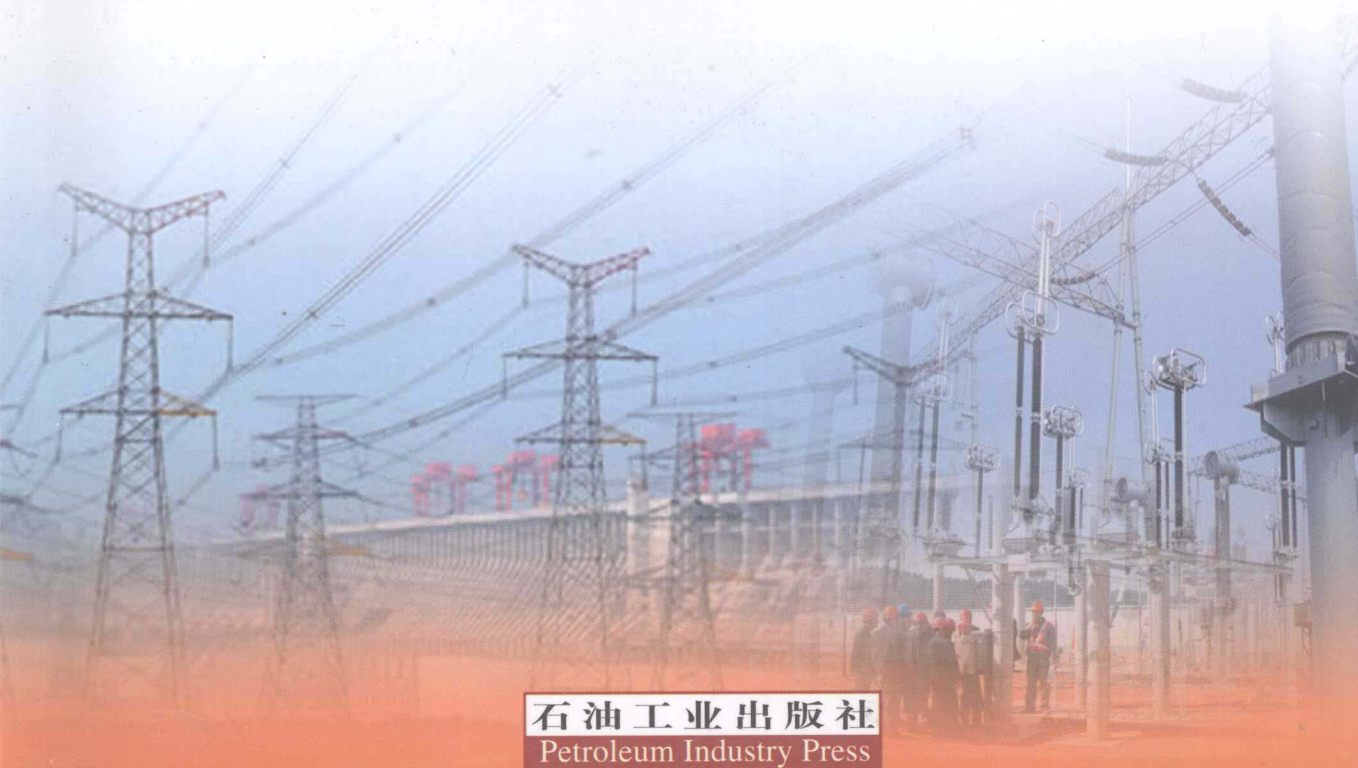




高职高专规划教材

# 工业企业供电与变电

张素玲 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

高职高专规划教材

# 工业企业供电与变电

张素玲 主 编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书有八章内容:绪论;电力负荷的计算;短路电流及其计算;工业企业变配电设备及一次系统;工业企业电力线路;工业企业供电系统的过电流保护;二次接线及自动装置;工业企业的电能节约。每章均设有思考题与习题,书末附有工厂供电常用技术数据表,供师生选用。另外还有配套实训教材,以满足本课程实验、课程设计和实训的教学需要。

本书可作为高职高专电气自动化、供用电技术、机电一体化和自动化仪表等相关专业的教材,也可供参加职业技能鉴定与岗位培训的职工参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业企业供电与变电/张素玲主编.

北京:石油工业出版社,2009.2

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-6857-5

I. 工…

II. 张…

III. ①工业用电-供电-高等学校:技术学校-教材

②变电所-高等学校:技术学校-教材

IV. TM727.3 TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第002059号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523692 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

---

2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:15

字数:382千字

---

定价:24.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前 言

工业企业供变电技术是高职高专电气自动化、供用电技术、机电一体化和自动化仪表等专业的一门主干专业课。为适应供变电技术的快速发展需求,更好并尽快地培养出合格的 21 世纪的应用型人才,本书立足于高职高专教育人才培养目标,从学生和行业的实际出发,把培养学生分析和解决工程实际问题的综合能力放在首位。在理论知识的选择上本着精准、适度、够用、紧跟供变电技术领域的新技术、新成果并有前瞻性储备的原则。在理论知识的阐述中,注意理论和实际的紧密联系,把理论知识和实践技能两者有机地融为一体,突出学生创新思维的培养和实际操作能力的提高,充分体现高职高专的教育特色。

本书具有以下特色:

(1)内容丰富,取材广泛,理论知识必需够用并有储备。

(2)精选教学内容,重点突出,理论推导从简,注重新技术、新成果的应用。

(3)理论知识和实践技能密切联系,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。本书与配套的实训教材一起使用,讲课过程中穿插实验,讲课完成后进行课程设计和实训,体现了教学的系统性和完整性。

(4)结构体系合理,层次分明,语言通俗易懂,适合高职高专学生的实际,易于教学及自学。

(5)为便于教师授课和学生学习,每章末均附有思考题与习题。书末附有工厂供电常用技术数据表,除满足教学需要,还可供师生在课程设计和毕业设计时查阅。

(6)本书符号和插图均采用国家新标准。

参加本书编写的有:河北石油职业技术学院张素玲(第一章),张文海(第七章);渤海石油职业技术学院袁勇(第四章),赵会成(第五章),雷素华(第八章);天津工程职业技术学院戴春芳(第二章、第六章),刘玉刚(第二章);克拉玛依职业技术学院叶晓燕(第三章)。附录表由张素玲编写。张素玲任主编,袁勇、戴春芳、叶晓燕任副主编。

在本书编写过程中,河北石油职业技术学院朱亚芳给予了大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书编写过程中难免有疏漏和不足之外,敬请各位专家和读者提出宝贵意见。

编 者

2008 年 12 月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
第一节 工业企业供电与变电的基本知识 .....	(1)
第二节 工业企业供电系统简介 .....	(5)
第三节 供电质量的主要指标 .....	(8)
第四节 电力系统中性点运行方式 .....	(9)
思考题与习题 .....	(15)
<b>第二章 电力负荷的计算</b> .....	(16)
第一节 电力负荷与负荷曲线 .....	(16)
第二节 用电设备组计算负荷的确定 .....	(19)
第三节 功率损耗及全厂计算负荷的确定 .....	(27)
第四节 工厂的功率因数及无功补偿 .....	(34)
第五节 尖峰电流的计算 .....	(37)
思考题与习题 .....	(38)
<b>第三章 短路电流及其计算</b> .....	(40)
第一节 短路的原因、形式及危害 .....	(40)
第二节 无限大容量电源系统的短路过程分析 .....	(41)
第三节 短路电流的计算 .....	(45)
第四节 短路电流的效应 .....	(56)
思考题与习题 .....	(59)
<b>第四章 工业企业变配电设备及一次系统</b> .....	(61)
第一节 高压一次设备 .....	(61)
第二节 低压一次设备 .....	(72)
第三节 电力变压器 .....	(81)
第四节 互感器 .....	(87)
第五节 工业企业变电所主接线图 .....	(96)
第六节 防雷与接地 .....	(102)
思考题与习题 .....	(112)
<b>第五章 工业企业电力线路</b> .....	(113)
第一节 工业企业电力线路的类型及接线方式 .....	(113)
第二节 工业企业电力线路的结构及敷设 .....	(117)
第三节 工业企业电力线路的选择及计算 .....	(128)

第四节 工业企业电力线路的运行维护 .....	(137)
思考题与习题 .....	(139)
<b>第六章 工业企业供电系统的过电流保护 .....</b>	<b>(140)</b>
第一节 继电保护的基本知识 .....	(140)
第二节 熔断器保护 .....	(146)
第三节 低压断路器保护 .....	(149)
第四节 高压线路的继电保护 .....	(151)
第五节 电力变压器的继电保护 .....	(161)
第六节 高压电动机的继电保护 .....	(168)
思考题与习题 .....	(173)
<b>第七章 二次接线及自动装置 .....</b>	<b>(175)</b>
第一节 二次回路及二次回路接线图 .....	(175)
第二节 高压断路器的控制和信号回路 .....	(181)
第三节 中央信号装置 .....	(185)
第四节 电测量仪表和绝缘监视装置 .....	(189)
第五节 电力线路的自动重合闸装置(ARD) .....	(193)
第六节 备用电源自动投入装置(APD) .....	(196)
思考题与习题 .....	(198)
<b>第八章 工业企业的电能节约 .....</b>	<b>(199)</b>
第一节 电能节约的意义及一般措施 .....	(199)
第二节 提高功率因数的方法及措施 .....	(201)
第三节 电力变压器的经济运行 .....	(207)
思考题与习题 .....	(210)
<b>附录 工厂供电常用技术数据表 .....</b>	<b>(211)</b>
附录表 1 用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数 .....	(211)
附录表 2 部分工厂的全厂需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时参考值 .....	(212)
附录表 3 SL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据 .....	(212)
附录表 4 S9 系列低损耗电力变压器的主要技术数据 .....	(212)
附录表 5 10kV 电力变压器的主要技术参数 .....	(214)
附录表 6 35kV 电力变压器的主要技术数据 .....	(216)
附录表 7 并联电容器的无功补偿率 .....	(217)
附录表 8 BW 型并联电容器的主要技术数据 .....	(217)
附录表 9 LJ 型铝绞线、LGJ 型钢芯铝绞线和 LMY 型硬铝母线的主要技术数据 .....	(218)
附录表 10 电力电缆的电阻和电抗值 .....	(220)
附录表 11 室内明敷和穿管的绝缘导线的电阻和电抗值 .....	(220)
附录表 12 架空裸导线的最小截面 .....	(221)

附录表 13	绝缘导线芯线的最小截面 .....	(221)
附录表 14	绝缘导线明敷、穿钢管和穿硬塑料管时的允许载流量 .....	(222)
附录表 15	10kV 常用三芯电缆的允许载流量 .....	(224)
附录表 16	导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数 .....	(225)
附录表 17	部分高压断路器的主要技术数据 .....	(225)
附录表 18	10 ~ 35kV 多油式断路器的技术数据 .....	(226)
附录表 19	35 ~ 110kV 户外少油式断路器的技术数据 .....	(227)
附录表 20	工厂常用高压负荷开关技术数据 .....	(227)
附录表 21	工厂常用高压隔离开关技术数据 .....	(228)
附录表 22	部分万能式低压断路器的主要技术数据 .....	(228)
附录表 23	DZ10 自动开关技术数据 .....	(230)
附录表 24	RT0 型低压熔断器主要技术数据和保护特性曲线 .....	(230)
附录表 25	电力变压器配用的高压熔断器规格 .....	(231)
附录表 26	LQJ - 10 型电流互感器的主要技术数据 .....	(231)
附录表 27	GL - 10 系列电流继电器的技术数据 .....	(232)
参考文献	.....	(233)

# 第一章 绪 论

## 第一节 工业企业供电与变电的基本知识

工业企业供电与变电,即工厂所需电能的供应、变换和分配。工业企业所需要的电能,绝大多数是由公共电力系统供给的,所以在介绍工业企业供电系统之前,先对电力系统予以介绍。

### 一、电力系统的组成

由发电厂的电气部分、电力线路、变配电所和电能用户组成的一个发电、输电、变配电和用电的整体,称为电力系统,如图 1-1 所示。

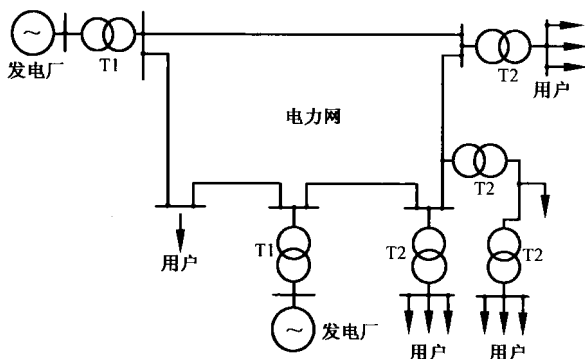


图 1-1 电力系统示意图  
T1—升压变压器;T2—降压变压器

### (一) 发电厂

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能(二次能源)的工厂。

发电厂有很多类型,按其所利用的能源不同,分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂以及风力、地热、太阳能、潮汐发电厂等类型。在我国接入电力系统的发电厂最主要的有水力发电厂和火力发电厂,以及核能发电厂。

#### 1. 水力发电厂

水力发电厂简称水电厂或水电站,它利用水流的位能来生产电能,主要由水库、水轮机和发电机组成。水库中的水具有一定的位能,经引水管道送入水轮机推动水轮机旋转,水轮机与发电机联轴,带动发电机转子一起转动发电。其能量转换过程是:水流动能→机械能→电能。

#### 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,其主要设备有锅炉、



汽轮机和发电机。我国的火电厂以燃煤为主。

为了提高燃料的效率,火电厂都将煤块粉碎成煤粉燃烧。煤粉在锅炉的炉膛内充分燃烧,将锅炉的水烧成高温高压的蒸汽,推动汽轮机转动,使与之联轴的发电机旋转发电。其能量转换过程是:燃料的化学能→热能→机械能→电能。

### 3. 核能发电厂

核能发电厂通常称为核电站,它主要是利用原子核的裂变能来生产电能,其生产过程与火电厂基本相同,只是以核反应堆(俗称原子锅炉)代替了燃煤锅炉,以少量的核燃料代替了煤炭。其能量转换过程是:核裂变能→热能→机械能→电能。

### 4. 风力发电、地热发电和太阳能发电

风力发电是利用风力的动能来生产电能,风力发电厂应建在有丰富风力资源的地方。

地热发电是利用地球内部蕴藏的大量热能来生产电能,地热发电厂应建在有足够地热资源的地方。

太阳能发电是利用太阳光能或太阳热能来生产电能,太阳能发电厂应建在常年日照时间长的地方。

## (二) 电力线路

电力线路的作用是输送电能,并把发电厂、变配电所和电能用户连接起来。

水力发电厂须建在水力资源丰富的地方,火力发电厂一般也多建在燃料产地,而用电负荷中心一般集中在城市、工业中心等地。因此,发电厂和用电负荷中心往往相距几十、几百甚至数千公里,这就需要多种不同电压等级的电力线路,将发电厂生产的电能源源不断地输送到各级电能用户。

电力线路按其用途及电压等级分为输电线路和配电线路。通常把电压在 35kV 及以上的高压电力线路称为输电线路,而把 10kV 及以下的电力线路称为配电线路。电力线路按其传输电流的种类又分为交流线路和直流线路;按其结构及敷设方式又可分为架空线路、电缆线路及户内配电线路。

## (三) 变配电所

变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能,即受电—变压—配电。

配电所的任务是只接受电能和分配电能,但不改变电压,即受电—配电。

变电所可分为升压变电所和降压变电所两大类:升压变电所一般建在发电厂,主要任务是将低电压变换为高电压;降压变电所一般建在靠近负荷中心的地点,主要任务是将高电压变换到一个合理的电压等级。降压变电所根据其在电力系统中的地位和作用不同,又分为地区变电所和工厂变电所等。工厂变电所和工厂配电所,一般建在工厂内部。

## (四) 电能用户

电能用户又称为电力负荷。在电力系统中,一切消费电能的用电设备均称为电能用户。

用电设备按电流可分为直流设备与交流设备,而大多数设备为交流设备;按电压可分为低压设备与高压设备,1kV 及以下的属低压设备,高于 1kV 的属高压设备;按频率可分为低频(50Hz 以下)、工频(50Hz)及中、高频(50Hz 以上)设备,绝大部分设备采用工频;按工作制分

为连续运行、短时运行和反复短时运行设备三类；按用途可分为动力用电设备（如电动机）、电热用电设备（如电炉、干燥箱、空调器等）、照明用电设备、试验用电设备、工艺用电设备（如电解、电镀、冶炼、电焊、热处理等）。用电设备分别将电能转换为机械能、热能和光能等不同类型的适于生产、生活需要的能量。

这些生产、输送、分配、使用电能的发电机、电力线路、变压器及各种用电设备联系在一起组成的统一整体，就是电力系统。与电力系统相关联的还有“电力网络”和“动力系统”。

电力网络又称电力网或电网，由各种电压等级的电力线路和变配电所组成，是连接发电厂和用户的中间环节，起到输送、变换和分配电能的作用。按照电网的供电范围和电压等级的高低可分为 1kV 及其以下的低压电网，3 ~ 330kV 的高压电网，330 ~ 1000kV 的超高压电网。

动力系统是指电力系统加上发电厂的动力部分，包括水力发电厂的水库、水轮机，热力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网，以及核能发电厂的核反应堆等。所以，电力网络是电力系统的一个组成部分，而电力系统又是动力系统的一个组成部分。

## 二、电力系统的额定电压

我国三相交流电网和电力设备的额定电压，如表 1-1 所示。

表 1-1 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	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
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	

### (一) 电力线路的额定电压

电力线路(或电网)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。

### (二) 用电设备的额定电压

由于用电设备运行时，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 1-2 的虚线所示。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,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,规定用电设备的额定电压与同级电力线路的额定电压相同。

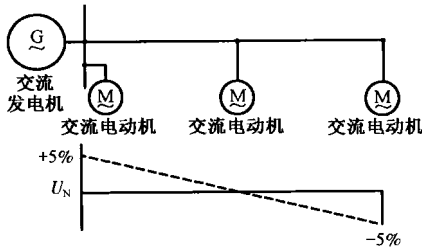


图 1-2 用电设备和发电机的额定电压

### (三) 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压损耗为  $\pm 5\%$ ,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,如图 1-2 所示。

### (四) 电力变压器的额定电压

#### 1. 变压器一次绕组的额定电压

(1) 当变压器直接与发电机相连,如图 1-3 中的变压器 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%。

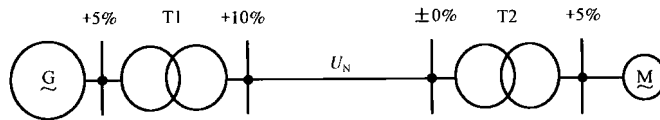


图 1-3 电力变压器的额定电压

(2) 当变压器不与发电机相连,而是连接在线路上,如图 1-3 中的变压器 T2,则可将变压器看作是线路上的用电设备,因此,其一次绕组的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接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% 的阻抗电压降。因此,分两种情况讨论:

(1) 如果变压器二次侧供电线路很长(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应高于线路额定电压的 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%,见图 1-3 中变压器 T1。

(2) 如果变压器二次侧供电线路不长(如为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,只需高于其所接线路额定电压 5%,即仅考虑补偿变压器内部 5% 的阻抗电压降,见图 1-3 中变压器 T2。

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。

## 第二节 工业企业供电系统简介

工业企业供电系统即工厂供电系统,是指从工厂所需的电力能源进厂起到所有用电设备终端止的整个电路,由总降压变电所(高压配电所)、高压配电线路、车间变电所、低压配电线路及用电设备组成。下面首先介绍工业企业供电系统的类型。

### 一、工业企业供电系统的类型

#### (一)二次变压的工业企业供电系统

大型工厂和某些电力负荷较大的中型工厂,一般采用具有总降压变电所的二次变压供电系统,如图 1-4 所示。该系统一般采用  $35 \sim 110\text{kV}$  电源进线,先经过工厂总降压变电所,将  $35 \sim 110\text{kV}$  的电源电压降至  $6 \sim 10\text{kV}$ ,然后经过高压配电线路将电能送到各车间变电所,再将  $6 \sim 10\text{kV}$  的电压降至  $380/220\text{V}$ ,供低压用电设备使用;高压用电设备则直接由总降压变电所的  $6 \sim 10\text{kV}$  母线供电。这种供电方式称为二次变压供电方式。

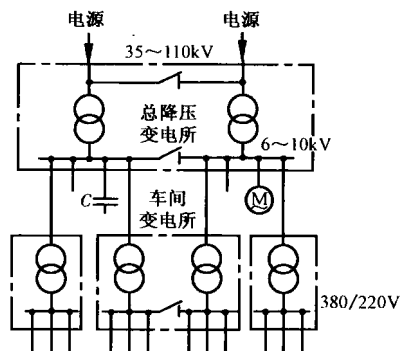


图 1-4 二次变压的供电系统

#### (二)一次变压的工业企业供电系统

##### 1. 具有高压配电所的一次变压供电系统

一般中、小型工厂,多采用  $6 \sim 10\text{kV}$  电源进线,经高压配电所将电能分配给各个车间变电所,由车间变电所再将  $6 \sim 10\text{kV}$  电压降至  $380/220\text{V}$ ,供低压用电设备使用;同时,高压用电设备直接由高压配电所的  $6 \sim 10\text{kV}$  母线供电,如图 1-5 所示。

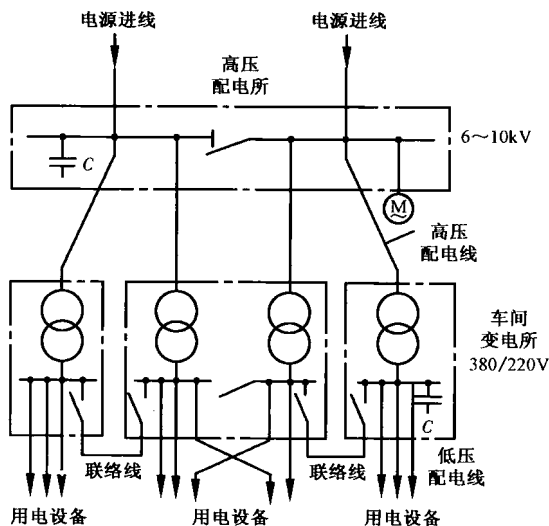


图 1-5 具有高压配电所的一次变压供电系统

## 2. 高压深入负荷中心的一次变压供电系统

某些中小型工厂,如果本地电源电压为 35kV,且工厂的各种条件允许时,可直接采用 35kV 作为配电电压,将 35kV 线路直接引入靠近负荷中心的工厂车间变电所,再由车间变电所一次变压为 380/220V,供低压用电设备使用,如图 1-6 所示。这种高压深入负荷中心的一次变压供电方式,可节省一级中间变压,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,提高了供电质量,而且有利于工厂电力负荷的发展。

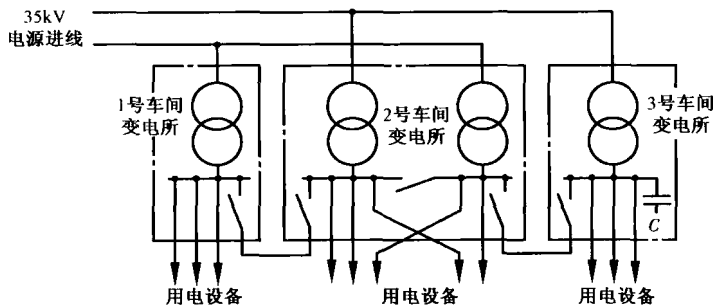


图 1-6 高压深入负荷中心的一次变压供电系统

## 3. 只有一个降压变电所的工业企业供电系统

对于用电量较少的小型工厂或生活区,通常只设一个将 6~10kV 电压降为 380/220V 电压的变电所,这种变电所通常称为车间变电所,如图 1-7 所示。

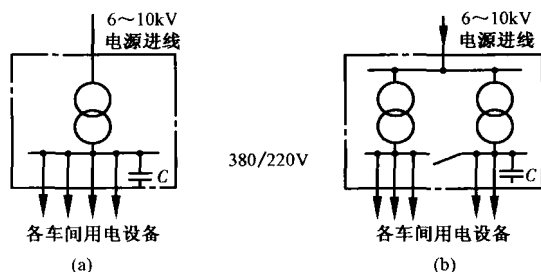


图 1-7 只有一个降压变电所的工业企业供电系统

(a) 装有一台电力变压器;(b) 装有两台电力变压器

### (三) 低压供电的工业企业供电系统

某些无高压用电设备且用电设备总容量较小的小型工厂,有时也直接采用 380/220V 低压电源进线,只需设置一个低压配电室,将电能直接分配给各车间低压用电设备使用,如图 1-8 所示。

## 二、工业企业配电电压的选择

### (一) 高压配电电压的选择

工业企业供电系统的高压配电电压,主要取决于当地供电系统电源电压及工厂高压用电

设备的电压和容量等因素。

对于大型工厂和某些电力负荷较大的中型工厂，设备容量在 2000 ~ 50000kV · A，输送电能距离在 20 ~ 150km 以内的，可采用 35 ~ 110kV 电压供电。

对于中小型工厂，设备容量在 100 ~ 2000kV · A，输送电能距离在 4 ~ 20km 以内的，可采用 6 ~ 10kV 电压供电。

确定工厂的高压配电电压时，应对各种方案的技术和经济指标进行全面比较。表 1-2 列出了各级电压及电力线路合理的输送功率和输送距离。对于采用 6 ~ 10kV 电压作为高压配电电压的工厂，应首选 10kV。从技术经济指标来看，采用 10kV 较之采用 6kV 作高压配电电压有许多优越性：一是在输送功率

和输送距离一定时，选用电压越高，线路电流越小，线路所采用的导线或电缆截面也小，从而可减少线路的初投资和有色金属消耗量，且可减少线路的电压损耗和电能损耗；二是 10kV 电压较之 6kV 电压输送的功率更大，输送的距离更远，更适应于今后的发展；三是实际使用的 6kV 开关设备与 10kV 开关设备在型号规格上是基本相同的，因此，采用 10kV 电压等级后，开关设备的投资较采用 6kV 电压等级的投资增加很少；四是从供电的安全性和可靠性来说，10kV 与 6kV 相差无几。

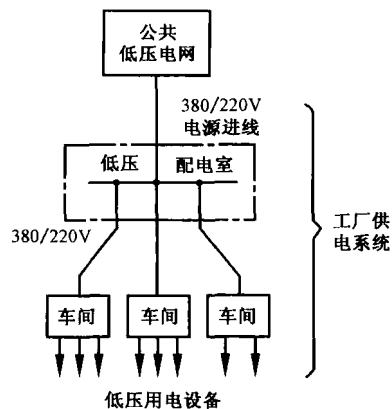


图 1-8 低压供电的工业企业供电系统

表 1-2 各级电压及电力线路合理的输送功率和输送距离

线路电压, kV	线路结构	输送功率, kW	输送距离, km
0.38	架空线	≤100	≤0.25
0.38	电缆线	≤175	≤0.35
6	架空线	≤2000	3 ~ 10
6	电缆线	≤3000	≤8
10	架空线	≤3000	5 ~ 15
10	电缆线	≤5000	≤10
35	架空线	2000 ~ 15000	20 ~ 50
63	架空线	3500 ~ 30000	30 ~ 100
110	架空线	10000 ~ 50000	50 ~ 150
220	架空线	100000 ~ 500000	200 ~ 300

采用 10kV 作为高压配电电压的工厂，如果有 6kV 的高压用电设备（如 6kV 高压电动机），则可通过专用的 10/6.3kV 变压器单独供电。但如果工厂拥有相当数量的 6kV 用电设备，或者供电电源的电压就是 6kV，则可采用 6kV 电压作为工厂的高压配电电压。

## (二) 低压配电电压的选择

工业企业供电系统的低压配电电压，主要取决于低压用电设备的电压，通常采用 380/220V。其中线电压 380V 接三相动力设备，相电压 220V 供电给照明及其他 220V 的单相设备。对于容

易发生触电或有易燃易爆的个别车间或场所,可考虑采用 220/127V 作为工厂的低压配电电压。但某些场合宜采用 660V 甚至更高的 1140V(只用于矿井下)作为低压配电电压。例如,在矿井下因负荷中心往往离变电所较远,所以为保证负荷端的电压水平而采用比 380V 更高的配电电压。

### 三、对工业企业供电的基本要求

为了切实保证生产和生活用电的需要,并做好节能工作,工业企业供电工作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,不应发生人身事故和设备事故。
- (2)可靠。应满足电能用户对供电可靠性即供电连续性的要求。
- (3)优质。应满足电能用户对电压和频率等方面的质量要求。
- (4)经济。供电系统的投资要少、运行费用要低,并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量。

## 第三节 供电质量的主要指标

工业企业供电系统,其电能质量的优劣,可以由下列指标来衡量:电压、频率、波形和供电的可靠性。

### 一、电压

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。额定电压是用电设备处在最佳运行状态的工作电压,当施加于用电设备两端的电压在数值上与额定电压偏离较大时,将对用电设备产生较大危害。

对于感应电动机,其最大转矩与端电压的平方成正比。当电压降低时,电动机转矩显著减小,而定子、转子电流都显著增大,引起温升增加,绝缘老化加速,甚至烧毁电动机;而且由于转矩减小,转速下降,导致生产效益降低,产量减少,产品质量下降。反之,当电压过高时,激磁电流与铁损都大大增加,以致电动机过热、效率降低、波形变坏,甚至可能产生高频谐振。对电热装置,其功率与电压平方成正比,所以电压过高将损伤设备,电压过低又达不到所需温度。对照明负荷,白炽灯的端电压降低 10% 时,发光效率下降 30% 以上,灯光明显变暗;端电压升高 10% 时,使用寿命将缩减一半。

此外,电视、广播、电传真、雷达等电子设备,它们对电压质量的要求更高。电子设备中的各种电子管、半导体元件、磁心装置等的特性,对电压都极其敏感,电压过高或过低都将使元件特性严重改变而影响正常运行。

由于上述各类用户的工作情况均与电压的变化有着极为密切的关系,所以在运行中必须规定电压的容许变化范围,也就是电压的质量标准。

国家标准规定,正常运行情况下,用电设备端子处的容许电压变化范围为:

电动机:  $\pm 5\%$ 。

照明灯:一般场所为  $\pm 5\%$ ;在视觉要求较高的场所为  $+5\%$ ,  $-2.5\%$ ;

其他用电设备:无特殊规定时为  $\pm 5\%$ 。

## 二、频率

频率的偏差将严重影响电力用户的正常工作。当电网低于额定频率运行时,所有电力用户的电动机转速都将相应降低,因而工厂的产量和质量都将不同程度受到影响。特别是某些对转速要求较严格的工艺流程(如纺织、造纸等),频率的偏差将大大影响产品质量,甚至产生废品。频率的变化还将影响到计算机、自控装置等设备的准确性。另外,频率偏差对发电厂本身将造成更为严重的影响。例如,对锅炉的给水泵和风机类的离心式机械,当频率降低时其出力将急剧下降,从而迫使锅炉的出力大大减小,甚至紧急停炉,这样就势必进一步减少系统电源的出力,导致系统频率进一步下降。另外,在频率降低的情况下运行时,汽轮机叶片将因振动加大而产生裂纹,以致缩短汽轮机的寿命。因此,如果系统频率急剧下降的趋势不能及时制止,势必造成恶性循环以致整个系统发生崩溃。

电网频率的变化对供配电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更严格。我国采用的工业频率(简称工频)为 50Hz,电力系统正常频率偏差允许值为  $\pm 0.2\text{Hz}$ ,当系统容量较小时,偏差值可以放宽到  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

## 三、波形

通常,要求电力系统的供电电压(或电流)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形电压。其次,在电能输送和分配过程中不应使波形产生畸变(如变压器的铁芯饱和可能导致波形畸变)。此外,还应注意负荷中出现的谐波源的影响,近年来,随着硅整流、晶闸管变流设备、微机及网络和各种非线性负荷的使用增加,致使大量谐波电流注入电网,造成电网电压正弦波波形畸变。

当电压波形不是标准的正弦波时,就包含着谐波成分。这些谐波成分的出现导致电能质量大大下降,给供用电设备带来严重危害,不仅使损耗增加,还使某些用电设备不能正常运行,甚至可能引起系统谐振,从而在线路上产生过电压,击穿线路设备绝缘;还可能造成系统的继电保护和自动装置发生误动作;谐波成分还将影响电子设备的正常工作并对附近的通信设备和线路产生干扰。

通常,为保证严格的波形在发电机、变压器等的设计制造时即已考虑并采取了相应的措施。因此,在运行时严格遵照有关规程,注意出现的一些谐波源并及时采取措施加以消除,只有这样才能保证波形质量。

## 四、可靠性(持续性)

供电的可靠性是衡量供配电质量的一个重要指标,可将其列在质量指标的首位。衡量供配电可靠性的指标,一般以全年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 8760h,用户全年平均停电时间 87.6h,即停电时间占全年的 1%,则供电可靠性为 99%。

## 第四节 电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点是指发电机或变压器的中性点。考虑到电力系统运行的可靠性、安全性、经济性及人身安全等因素,电力系统中性点常采用不接地、经消弧线圈接地和直接接地三种运行方式。



## 一、中性点不接地的电力系统

图 1-9 是电源中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图。

电力系统中的各相之间及相与地之间都存在着分布电容。为讨论问题简化起见,设三相系统对称,且只考虑相与地之间的分布电容并用集中电容  $C$  来表示,如图 1-9(a)所示。

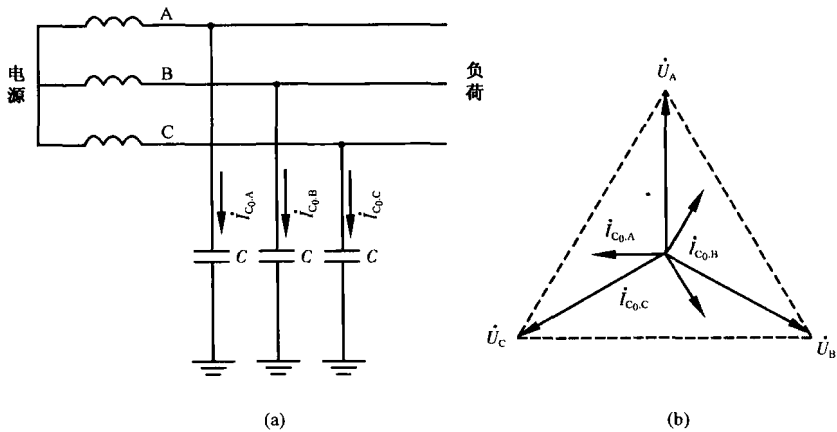


图 1-9 正常运行时中性点不接地的电力系统

(a) 电路图; (b) 相量图

系统正常运行时,三个相电压  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$  对称,三个相的对地电容电流  $\dot{i}_{C0,A}$ 、 $\dot{i}_{C0,B}$ 、 $\dot{i}_{C0,C}$  对称且其相量和为零,所以中性点没有电流流过,各相对地电压就是其相电压,如图 1-9(b)所示。

当系统发生单相接地故障时,例如,C相接地,如图 1-10(a)所示。

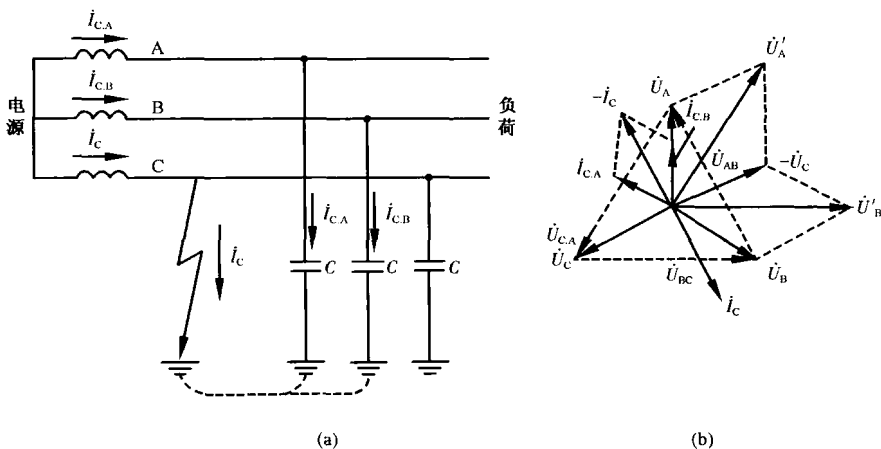


图 1-10 一相接地时的中性点不接地系统

(a) 电路图; (b) 相量图

这时接地的 C 相对地电压  $\dot{U}'_C = 0$ ,非接地的 A 相和 B 相对地电压分别为  $\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$ ,  $\dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$ 。即:中性点不接地的电力系统发生一相接地时,