



教育部高职高专规划教材  
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

# 工厂供电技术

陈小虎 主编

高等教育出版社



教育部高职高专规划教材

# 工厂供电技术

陈小虎 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是教育部高职高专规划教材。全书共分9章,首先扼要介绍了电力系统的有关基础知识,接着系统地讲述工厂供电系统电力负荷的计算,供电系统方案的确定,电力变压器和供电系统的相关开关设备,短路电流计算方法与电气设备的选择与校验,供电系统的保护。考虑到工厂供电系统新技术、新设备的广泛使用,本书介绍了变电所综合自动化、智能式电能表和环网供电单元等内容。最后讲述了决定供电系统电能质量的主要因素——电压及其偏差、波动和抑制,以及电气照明的有关知识。为了便于学习,在每章之后编写了一定量的习题或思考题,供学习者练习。

本书论述深入浅出,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。

本书适用于广播电视大学、成人高等学校、职工大学、业余大学以及中等专业学校电气自动化等相关专业,并可提供给有关本科院校教师、学生及有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

工厂供电技术/陈小虎主编. —北京:高等教育出版社,2001.12

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-04-010175-0

I. 工... II. 陈... III. 工厂-供电-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(2001)第 064833 号

工厂供电技术  
陈小虎 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

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 张 19.5

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

字 数 470 000

定 价 16.70 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

## 出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

# 前 言

本书是教育部高职高专规划教材,适用于广播电视大学、成人高等学校、职工大学、业余大学以及中等专业学校电气自动化等相关专业,并可提供给有关本科院校教师、学生及有关工程技术人员参考。

本书以工厂供电应用为主线,在论述工程设计方法和运行维护的同时,特别注意基本理论的系统性和在实际工厂供电技术中应用的实用性,并总结了工厂供电技术中出现的新设备、新技术和新问题,注重结合国家近年来颁布的一系列供电国家标准和设计操作规范,编写和充实了近年来工厂供电技术的新技术、新规范。

本书共分9章,首先扼要介绍了电力系统的有关基础知识,接着系统地讲述工厂供电系统电力负荷的计算,供电系统方案的确定,电力变压器和供电系统的相关开关设备,短路电流计算方法与电气设备的选择与校验,供电系统的保护。考虑到工厂供电系统新技术、新设备的广泛使用,本书介绍了变电所综合自动化、智能式电能表和环网供电单元等内容。最后讲述了决定供电系统电能质量的主要因素——电压及其偏差、波动和抑制,以及电气照明的有关知识。为了便于学习,在每章之后编写了一定量的习题和思考题,供学习者练习。

本书论述深入浅出,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。

本书由南京工程学院陈小虎博士主编,南京师范大学电气与电子工程学院居荣副教授、南京工程学院陈跃副教授参与部分章节的编写工作。

本书由西安电力高等专科学校刘健博士主审,刘健博士在审阅过程中,对本书提出许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中,力求结合高职高专教育的特点和当前工厂供电技术的新发展,但由于工厂供电技术涉及面越来越广,新产品、新技术的应用越来越广泛,加之编者水平所限,因此本书需要在实践中不断完善,敬请使用本书的广大教师、学生和读者批评指正。

编者

2001年6月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	4.9 成套配电装置 .....	143
1.1 电力系统的基本概念 .....	1	习题 .....	153
1.2 电力用户供电系统的特点和决定供电 质量的主要指标 .....	7	<b>第 5 章 短路电流计算及电气设备的     选择与校验</b> .....	154
1.3 电力系统的中性点运行方式 .....	11	5.1 概述 .....	154
1.4 供电设计的主要内容 .....	13	5.2 无限大容量电源系统供电时短路 过程的分析 .....	156
习题 .....	15	5.3 无限大容量电源条件下短路电流的 计算方法 .....	159
<b>第 2 章 负荷计算</b> .....	16	5.4 有限容量电源系统的三相短路电流 计算方法 .....	165
2.1 计算及计算目的 .....	16	5.5 低压电网中短路电流的计算 .....	174
2.2 确定计算负荷的系数 .....	19	5.6 不对称短路电流的计算方法 .....	177
2.3 求计算负荷的方法 .....	27	5.7 电动机对短路电流的影响 .....	187
2.4 工厂供电系统功率因数的确定 .....	40	5.8 短路电流的热效应与力效应 .....	189
2.5 供电系统功率因数的改善及电能节约 ..	42	5.9 供电系统中电气设备的选择与校验 .....	192
习题 .....	47	习题 .....	216
<b>第 3 章 供电系统</b> .....	48	<b>第 6 章 供电系统的保护</b> .....	217
3.1 概述 .....	48	6.1 继电保护装置的概念 .....	217
3.2 电压的选择 .....	49	6.2 继电保护装置的操作电源 .....	219
3.3 变电所的设置和变压器的选择 .....	51	6.3 电流互感器的误差曲线及其 接线方式 .....	223
3.4 变电所的电气主接线 .....	54	6.4 供电系统单端供电网络的保护 .....	225
3.5 变电所的二次接线 .....	57	6.5 变压器的保护 .....	232
3.6 高压配电网的接线方式 .....	64	6.6 高压电动机的过电流保护 .....	238
3.7 低压配电系统 .....	69	6.7 低压配电系统的保护 .....	241
3.8 高低压配电网的结构和导线截面的 选择 .....	72	6.8 供电系统备用电源自动投入与 自动重合闸装置 .....	244
3.9 环网供电单元 .....	83	6.9 供电系统的防雷与接地 .....	248
3.10 供电系统的方案比较 .....	88	习题 .....	258
习题 .....	90	<b>第 7 章 供电系统变电所的综合     自动化</b> .....	260
<b>第 4 章 变配电实用技术</b> .....	92	7.1 概述 .....	260
4.1 电力变压器 .....	92	7.2 变电所综合自动化系统的基本功能 .....	261
4.2 电流互感器和电压互感器 .....	110	7.3 变电所综合自动化系统的结构和 硬件配置 .....	263
4.3 高压断路器 .....	120		
4.4 高压熔断器 .....	128		
4.5 高压负荷开关 .....	131		
4.6 隔离开关 .....	133		
4.7 绝缘子、母线及电缆 .....	134		
4.8 低压电器 .....	138		

7.4 供电系统的微机保护 .....	270
7.5 变电站综合自动化系统的应用 .....	273
7.6 全电子式电能表 .....	275
习题 .....	277
<b>第 8 章 供电系统的电压质量</b> .....	<b>278</b>
8.1 电压偏差及调节 .....	278
8.2 电压波动和闪变及其抑制 .....	282
8.3 高次谐波及其抑制 .....	287
8.4 供电系统的三相不平衡 .....	289
习题 .....	289

<b>第 9 章 电气照明</b> .....	<b>290</b>
9.1 概述 .....	290
9.2 合理选择电光源 .....	292
9.3 灯具的选择与布置 .....	295
9.4 照度计算 .....	297
9.5 室外照明 .....	302
9.6 照明配电 .....	302
习题 .....	304
<b>主要参考文献</b> .....	<b>305</b>

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 电力系统的基本概念

现代人类生活等各个方面,都广泛使用着电能。因为电能易于转换成其他形式的能量,使用便利,输送与分配经济,而且便于控制。

中国电力工业是伴随着新中国的成长而逐步发展壮大起来的。经过建国 50 年来几代人的努力奋斗,特别是 80 年代后期,“多家办电”政策的实施,使电力工业得到蓬勃发展。1987 年,我国发电装机容量达到 1 亿千瓦;1995 年,超过 2 亿千瓦;2000 年 4 月 19 日,突破了 3 亿千瓦。与此同时,我国发电量也大幅度提高。1978 年全国发电量 2565 亿千瓦时,1987 年达到 4973 亿千瓦时,1995 年达到 10070 亿千瓦时,1999 年达到了 12300 亿千瓦时。中国发电量和装机容量已居世界第二位。电力工业的迅速发展,使持续 20 多年的电力供应紧张状况得到缓和,有力支持和促进了国民经济的增长,使整个电力资源的优化配置成为可能。同时,减少燃煤锅炉烟尘和  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、氮氧化物等有害物质的排放量,使环境得到了最有效的保护。

#### 1.1.1 发电厂与电力系统简介

发电一般在发电厂中进行。电能是经过人们加工而取得的二次能源。主要用于发电的一次能源有:石油、煤炭、天然气、水力、风力及原子能等。应用这些能源发电的电厂分别称为火电厂、水电厂、风力发电场、核电站。此外,还有太阳能发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂等。

许多国家在煤炭、石油等能源的产地建设大型火电厂,以节约燃料运输费用;水电厂则建设在水流落差较大的河段。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,这就需要用电力线路作为输送电能的通道。将发电厂的电能送到负荷中心的线路叫作输电线路,将负荷中心的电能送到各用户的电力线路叫作配电线路。负荷中心一般设有变电所或配电所,用于升高电压的称为升压变电所,用于降低电压的称为降压变电所。电压的升高或降低,是通过变压器来完成的。

由发电厂中的电气部分、各类变电所及输电、配电线路及各种类型的用电设备组成的统一体,称为电力系统,它完成电能的生产、输送、分配和使用(如图 1.1.1 所示)。现在,电力系统在我国分为地区级、省级、省际级系统几类。在不久的将来,我国会成为一个联合电力系统。

电力系统加上各种类型电厂中的动力部分,包括热力部分、水力部分、原子反应堆部分等,合称为动力系统。



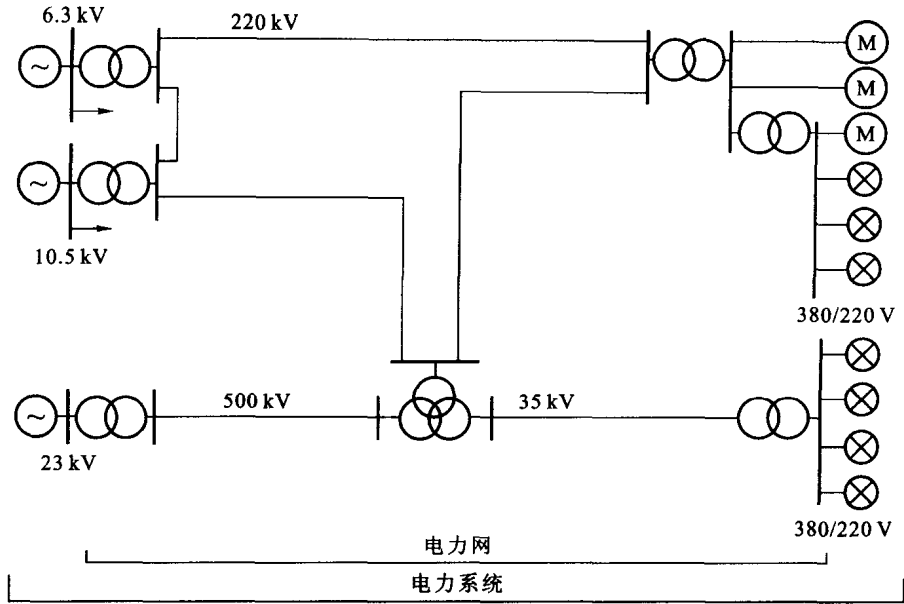


图 1.1.1 电力系统和电力网示意图

电力系统中各种电压等级的变电所及其连接的电力线路,叫做电力网,简称电网。电网的任务是输送与分配电能,并根据运行的需要调整电压。图 1.1.1 为电力系统和电力网的示意图。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。一般地讲,电压为 110 kV 以下的电力网,电压较低,输送功率小,传输距离短,主要供电给地方负荷,称为地方网;电压在 110 kV 及以上的电力网,电压较高,输送功率大,传输距离长,主要供电给大型区域性变电所,称为区域网。随着国民经济的不断发展,人们对供电需求的不断提高,甚至电压为 220 kV 的电力网将变成地方网。根据供电地区的不同,地方电网也可分为城市电网(简称“城网”)和农电网(简称“农网”)。电力网按接线方式分为一端电源供电的电力网(又称为开式网);两端电源供电的电力网及多端电源供电的电力网三类(后两类又称为闭式网)。

世界各国都在不断扩大电力系统,逐步将小系统联合成大系统,这是因为联合电力系统在技术和经济上有下述几方面明显的优越性:

- (1) 提高了供电的可靠性;
- (2) 提高了电能的质量;
- (3) 可以减少系统备用容量,提高了设备利用率;
- (4) 便于采用大容量机组,一般机组容量越大、技术经济性能越好;
- (5) 可以合理利用动力资源,提高系统运行的经济性。

### 1.1.2 电力系统运行的特点

电力系统运行的特点主要有以下几个方面:

#### 1. 电能生产、输送和使用的连续性

电能不能大量、廉价地储存,发、变、输、配及用电是在同一瞬间进行的,其中某一环节出现故

障,都会影响电力系统的运行。因此,应该努力提高系统各环节元件的可靠性,使其能够安全、经济、连续地运行,以保证对用户不间断地供电。

### 2. 与生产及人们的生活密切相关

电力工业与国民经济、人们生活的关系极其密切,电能供应不足或中断,将直接影响经济发展和人们的正常生活,对某些用户甚至会造成产品报废、设备损坏以及危及人身安全等严重后果。这就要求电力的发展要满足国民经济各部门日益增长的需要,并不断提高供电的可靠性与电能质量,将事故及不正常运行降低到最低限度。

### 3. 暂态过程非常短暂

电力系统由于运行方式的改变而引起的电磁、机电暂态过程是非常短暂的。所以,电力系统运行必须采取自动化程度高、又能迅速而准确动作的继电保护及自动装置和监测控制设备。

电网结构的合理与否对安全、可靠供电的影响是很大的。供电部门对电源接入、受端系统、输电线路等均应有全面的考虑与规划。工厂如何从电力系统取得电源(接入地点、接线方式、运行方式、自动装置装设等)均应与供电部门协商,统筹考虑,合理解决。

## 1.1.3 电力系统的额定电压

### 1. 额定电压的意义

为了使电力设备的生产实现标准化、系列化,为了各元件合理配套,电力系统中发电机、变压器、电力线路及各种设备等,都是按规定的额定电压进行设计并制造的,电力设备在额定电压下运行,其技术与经济性能最佳。

额定电压等级的确定,与电源布点、负荷中心的位置、国家经济及科学技术的发展水平以及电力设备的制造水平等因素有关,应该经过充分的分析论证,由国家主管部门确定。

### 2. 电网和电力设备的额定电压

我国现阶段各种电力设备的额定电压分为三类。

第一类额定电压为 100 V 以下(见表 1.1.1),这类电压主要用于安全照明、蓄电池及开关设备的操作电源。交流 36 V 电压,只作为潮湿环境的局部照明及其他特殊电力负荷之用。

表 1.1.1 第一类额定电压(V)

直 流	交 流	
	三 相	单 相
6	-	-
12	-	12
24	-	-
-	36	36
48	-	-

第二类额定电压高于 100 V,低于 1 000 V(见表 1.1.2),这类电压主要用于低压三相电动机及照明设备。

表 1.1.2 第二类额定电压(V)

受电设备			发 电 机		变 压 器			
直 流	三相交流		直 流	三相交流	三 相		单 相	
	线电压	相电压			一 次 绕 组		二 次 绕 组	
110	-	-	115	-	-	-	-	-
220	220	127	230	230	220	230	220	230
-	380	220	400	400	380	400	380	-
440	-	-	-	-	-	-	-	-

第三类额定电压高于 1 000 V(见表 1.1.3),这类电压主要用于发电机、变压器、输配电线路及受电设备。

表 1.1.3 第三类额定电压(kV)

受电设备	线路平均 额定电压	交流发电机	变 压 器	
			一 次 绕 组	二 次 绕 组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
-	-	13.8	13.8	-
-	-	15.75	15.75	-
-	-	18	18	-
35	37	-	35	38.5
110	115	-	110	121
220	230	-	220	242

注:表中所列均为线电压。

### (1) 电网(线路)的额定电压

在电力系统内,应尽可能地简化电压等级,减少变电层次,以节约投资与降低运行费用。各级额定电压间的级差不宜太小,根据国内外经验,额定电压在 110 kV 以下的配电网,电压间级差一般应在三倍以上;额定电压在 110 kV 以上的输电网,电压间级差一般应在两倍以上。

输配电线路的额定电压与受电设备的额定电压规定得相同,因为受电设备需要接在线路上,而线路运行时又有电压降落,一般线路首端电压高而末端电压低,如图 1.1.2 所示。负荷变化时,线路中电压降落也随着变化,因而电压分布随线路长度各不相同。要使接于线路各处的受电设备都保持在额定电压下运行是不可能的,只能使加于受电设备的端电压与额定电压尽可能的接近。

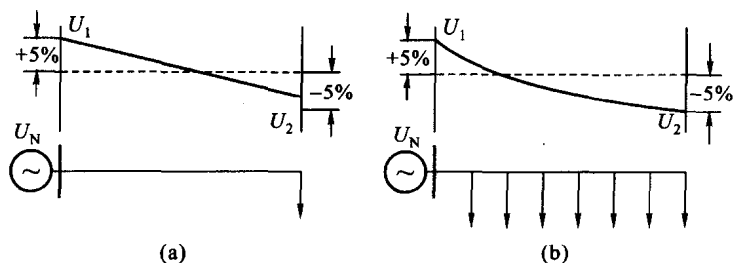


图 1.1.2 电压沿线长度的分布

(a) 集中负荷 (b) 均布负荷

## (2) 用电设备的额定电压

用电设备的端电压一般容许在其额定电压  $\pm 5\%$  以内变化,而线路全长的电压损耗一般应不大于额定电压的  $10\%$ ,这样,在运行时线路首端电压最好比额定电压高  $5\%$ ,末端电压才可能不低于额定电压的  $5\%$ 。所以,一般取线路首末两端电压的平均值等于受电设备的额定电压,才能基本上满足上述要求。

## (3) 发电机的额定电压

发电机是输出电能设备,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 1.1.3 中交流发电机的额定电压有  $13.8\text{ kV}$ 、 $15.75\text{ kV}$ 、 $18\text{ kV}$  等几种。

## (4) 电力变压器的额定电压

变压器的额定电压为各绕组的电压值。一次绕组是接受电能的,若为降压变压器,则相当于受电设备。因此,其额定电压等于受电设备的额定电压;若为升压变压器,则直接与发电机相连,其额定电压等于发电机的额定电压。变压器的二次绕组是输出电能的,相当于发电机,其额定电压应比线路额定电压提高  $5\%$ 。由于变压器二次绕组的额定电压是指空载时的值,当变压器带负荷运行时,电流在绕组中产生电压损耗,为了使二次绕组在带额定负荷时实际输出电压仍高于线路额定电压  $5\%$ ,考虑绕组中的电压损耗,变压器二次绕组额定电压应比同级线路额定电压提高  $10\%$ 。只有当高压侧电压小于  $35\text{ kV}$  而阻抗小的变压器 [ $U_d(\%) \leq 7.5$ ]、二次所供线路较短的变压器或者三绕组变压器连接同步调相机的绕组时,额定电压可只比所连线路的额定电压提高  $5\%$ 。

[例 1.1.1] 某一电力系统,接线如图 1.1.3 所示。各线路的额定电压注明于图中,试确定图中发电机、调相机、变压器高低压侧的的额定电压。

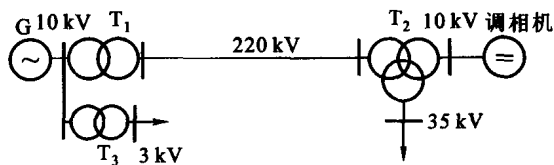


图 1.1.3 例 1-1 附图

[解] 发电机 G 的额定电压为 10.5 kV,

升压变压器  $T_1$ : 一次绕组, 直接与发电机连接, 额定电压为 10.5 kV;

二次绕组连接 220 kV 线路, 额定电压为 242 kV。

降压变压器  $T_2$ : 一次绕组为 220 kV;

二次绕组额定电压为 38.5 kV;

三次绕组接电压等级为 10 kV 的调相机, 额定电压为 10.5 kV。

降压变压器  $T_3$ : 高压侧电压小于 35 kV, 短路电压  $U_d(\%) \leq 7.5$ , 所以, 二次绕组额定电压为 3.15 kV; 一次绕组接于发电机电压母线, 额定电压为 10.5 kV。

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, 有时要用到线路平均额定电压, 如表 1.1.3 所列。线路平均额定电压为线路两端变压器额定电压的代数平均值。

### 3. 各级电压电力网的供电范围

在输电距离和输送功率一定的条件下, 电力网的电压等级愈高, 则导线中电流就愈小、电力网中功率损耗或电能损耗也就愈小, 并且可以采用较小截面的导线。但是, 电压等级愈高, 电力网的绝缘费用就愈高, 杆塔、变电所的构架尺寸增大, 投资就要增加。因此对应一定的输电距离和输送功率, 有一个在技术、经济上均较合理的电压。

选择电力网电压时, 应根据输送容量和输电距离, 以及周围电力网的额定电压情况, 拟定几个方案, 通过经济技术比较确定。如果两个方案的技术经济指标相近, 或较低电压等级的方案优点不太明显时, 应采用电压等级较高的方案。各级电压电力网的经济输送容量与输送距离, 参照表 1.1.4 所列。

表 1.1.4 各级电压电力网的经济输送容量与输送距离

额定电压/kV	传送方式	输送容量/kW	输送距离/km
0.22	架空线路	50 以下	0.15
0.22	电力电缆	100 以下	0.2
0.38	架空线路	100	0.25
0.38	电力电缆	175	0.35
3	架空线路	100~1 000	1~3
6	架空线路	2 000	3~10
6	电力电缆	3 000	8 以内
10	架空线路	3 000	5~15
10	电力电缆	5 000	10 以内
35	架空线路	2 000~10 000	20~50
60	架空线路	3 500~30 000	30~100
110	架空线路	10 000~50 000	50~150
220	架空线路	100 000~500 000	200~300

## 1.2 电力用户供电系统的特点和决定供电质量的主要指标

### 1.2.1 电力用户的分类

使用电能的单位,称为用户。用户的类型很多,主要有工业用电、农业用电、商业用电和生活用电等。根据用户用电容量的大小和规模,可以接在电力网的各个电压等级中。连接在电力系统各级电网上的一切用电设备所需用的功率统称为用电负荷(或负载),它分为有功负荷和无功负荷。电力系统任一时刻发出的有功功率和无功功率总是和负荷相平衡。如果系统中电源发出的有功功率小于负荷需要的有功功率则电网频率降低,如果无功功率小于负荷的需要则使电压降低。为了保证电压质量,电力系统需要采取调频调压的措施。

根据用户的重要程度和对供电可靠性的要求,用电负荷可分为三类:

#### 1. I类负荷

供电中断将造成人身伤亡、设备损坏、产品报废、生产秩序长期不能恢复或使城市生活发生严重混乱,如炼钢厂、重要矿井、城市重要照明等。对这类负荷,必须有两个以上的独立电源供电。

#### 2. II类负荷

中断供电将造成产品产量严重下降或生产次品,如纺织厂、化工厂等。对这类负荷,可用两个电源供电。

#### 3. III类负荷

这类负荷可以非连续性地用电,如附属车间、机修车间、小市镇公共用电等,通常用一个电源供电。

### 1.2.2 工厂供电系统的特点

工厂厂区供电系统既复杂又重要,其特点为:供电半径小而范围广;负荷类型多而操作频繁;厂房环境(建筑物、管道、道路、高温及尘埃等)复杂;低压配电路长等。因此,选择供电方式时,应力求简单可靠,按供电可靠性和经济性的要求而定,并应考虑线路运行的安全和方便、周围环境的特点及线路安装的可能性。运行经验表明:供电系统如果接线复杂,不仅会增大投资,使继电保护和自动装置配合困难、维护不方便,而且由于电路串联元件过多,因元件故障或误操作而产生的事故也随之增多,处理事故和恢复供电的操作也较复杂,有可能会延长停电时间。

#### 1. 供电线路的分类

(1) 按电压等级可分为高压线路(1 kV 及以上的线路)和低压线路(1 kV 以下的线路)。我国大多数企业以 10 kV、35(60) kV 和 110 kV 供电,随着现代化建设的发展,以 220 kV 供电的用户数量也在不断增加。对大量居民的生活用电,则多采用 380/220 V 系统供电。

(2) 按供电方式可分为单端供电线路、两端供电线路和环形供电线路等。单端供电线路又叫开式供电线路,两端供电线路和环形供电线路又叫闭式供电线路,见图 1.2.1。

(3) 按线路结构型式可分为架空线路、电缆线路和户内配电路等。

#### 2. 高压线路的接线方式

工厂厂区高压线路的接线方式有放射式、树干式和环形等基本型式。

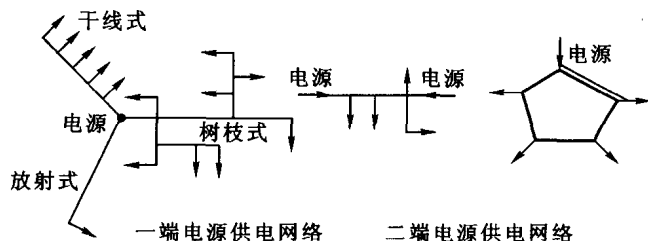


图 1.2.1 供电线路分类

### (1) 放射式供电

放射式供电系统是由总降压变电所引出的单独线路,直接供给车间变电所;放射式线路敷设容易,维护方便,运行中互不影响,易于继电保护的整定和装设自动装置。但因缺乏备用,供电可靠性不高。任一线路故障或检修时,该线路所供电的全部负荷都要停电。这种简单的放射式供电线路,一般只适用于供给三级负荷和个别二级负荷。

为了提高供电可靠性,可采用以下备用方式:

① 用两种电缆并联供电。故障时先切除全部电缆,查出故障电缆后再投入非故障电缆。恢复供电时间一般不超过半小时,可用于对一级负荷供电。对于允许极短时间停电且容量较小的一级负荷,可采用正常时只投入一根电缆,另一根电缆备用的供电方式。一旦发生故障跳闸,即可投入备用电缆恢复供电,而不必先查出故障电缆。

② 用一回线路作公共备用电源对几个车间供电。正常运行时,备用线路不投入,故障时,切除故障线路后再投入备用线路,恢复供电时间一般不超过半小时。主要用于对二级负荷供电。备用线路的导线截面应按照负荷最大的供电线路考虑。这种接线方式的缺点是备用线路的分支点太多,特别是采用电缆时,往往影响供电的可靠性。

③ 用母线分段或双电源的供电方式向大容量的一级负荷和要求可靠性较高的二级负荷供电。其导线截面可根据负荷类型和对可靠性要求的程度选定。

④ 对于容量不大的重要负荷,可采用低压侧(如 380 V)备用线路联络的方式提高供电的可靠性。

### (2) 树干式供电

与放射式供电系统相比较,树干式供电系统可以减少有色金属消耗量和变配电所的馈出线路,使结构简化并降低投资费用,但车间变电所的位置必须恰当。

由于树干式供电只有一个电源,供电的可靠性差,干线中的任何故障都将造成全部用户的停电,直到线路上的故障被排除才能恢复供电。因电缆线路修复的时间长,故多用架空线结构。树干式供电只能用于三级负荷。为了提高供电的可靠性,树干式供电常采用以下备用方式:

① 用单独的线路作公共备用线路,若配以自动装置可向二级以上负荷供电。

② 用双树干线路供电。如果低压侧再加自动切换的备用联络线,则很可靠,可向一级负荷供电。但这种接线方式在某种情况下比放射式供电投资多,如采用电缆结构消耗有色金属较多,运行也比较复杂。

③ 用双电源供电。供电可靠性高,首端导线截面的选择,应满足传送全部功率的要求。

### (3) 环形供电

环形供电在结构上一般采用双电源“手拉手”的环状结构,但在正常时开环运行,相当于是树干式供电的另一种形式。环中所接变压器的数量和容量要求与树干式供电系统相同。

### 3. 低压线路的接线方式

#### (1) 低压放射式供电系统

低压放射式接线见图 1.2.2,其特点是:各引出线发生故障时互不影响,供电可靠性较高,操作方便、灵活,便于实现自动控制。但要消耗较多的有色金属,使用较多的开关设备,投资较大,施工较复杂。多用于对供电可靠性要求较高、容量较大、负荷比较集中且分布在不同方向的车间供电。容量虽不大,但具有多台电动机传动的设备,也可采用这种供电方式。

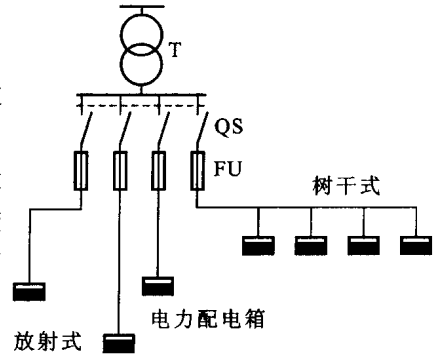


图 1.2.2 低压供电网络系统

#### (2) 低压树干式供电系统

如图 1.2.2 所示。运行经验表明:只要施工质量符合要求,干线上的分支点不超过 4~5 个,这种供电方式还是很可靠的,并且故障容易恢复。它与放射式接线相比,可节省低压配电设备、缩短线路总长度,因此可以节省材料和投资,并且施工简单。低压树干式接线适用于对容量较小且分布较均匀的用电设备供电。

实际上一般车间的低压供电系统多采用混合式供电方式,综合考虑用电设备的工作特点、容量、自动化要求等,并力求供电线路最短。当照明与动力负荷共用一台变压器时,应采用三相四线制中性点接地系统;在车间内动力与照明线路应分开,以免互相影响;对特别重要的照明负荷,如事故照明,应有独立的电源供电,并能在工作电源故障时,自动将事故照明切换,由其他独立电源(如蓄电池组)供电。为了提高供电的可靠性,对重要负荷,可以从两台运行的变压器低压母线分别送到配电箱,低压母线间装设自动投入装置,以保证对重要用户的可靠供电。

#### (3) 建立自备电厂

工厂的电源绝大多数是电力系统,但下述情况,工厂也可以建立自备电厂:

- ① 距离系统太远,由系统供电有困难;
- ② 本厂生产及生活需要大量热能,建立自备热电厂,既供电也供蒸汽和热水;
- ③ 本厂有大量重要负荷,需要独立的备用电源,而从系统取得又有困难;
- ④ 本厂或所在地区有可供利用的能源。

对于重要负荷不多的工厂,作为解决备用电源的措施,发电机可用柴油机或其他小型动力机械带动,这样比较简单。地方电网接入自备电厂(或供热电厂)中小型发电机时,一般宜以辐射方式直接接入高压电网的地区变电所,并划分供电范围、选择解列点,以保证系统发生故障时能可靠解列。

### 1.2.3 决定供电质量的主要指标

电能同工厂生产的产品一样都是商品,所以都有表达其质量的指标。决定供电质量的主要指标有:电压、频率、波形和供电的连续性。

#### 1. 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。对照明负荷来说,白炽灯对电压的变化是非常敏感的。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



灯的寿命将大为缩短。例如,电压额定值降低 10%,则光通量减少 30%;电压额定值上升 10%时,则寿命缩减一半。对电力系统的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较敏感的。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而变化。当端电压下降时,定子电流增加很快。这是由于异步电动机的最大转矩是与其端电压的平方成正比的,当电压降低时,电机转矩将显著减小,以致转差增大,从而使得定子、转子电流都显著增大,导致电动机的温度上升,甚至可能烧毁电动机。反之,当电压过高时,对于电动机、变压器一类具有激磁铁心的电气设备而言,铁心磁密将增大以致饱和,从而激磁电流与铁耗都大大增加,以致电机过热、效率降低、波形变坏,甚至可能产生高频谐振。对电热装置来说,这类设备的功率也与电压的平方成正比,显然过高的电压将损伤设备,过低的电压则达不到所需要的温度。

此外,对电视、广播、电传真、雷达等电子设备来说,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,故在运行中必须规定电压的容许变化范围,这也就是电压的质量标准。

国家标准规定,用户处的容许电压变化范围为:

- (1) 35 kV 及以上电压供电电压正负偏差绝对值之和不超过额定电压的 10%;
- (2) 10 kV 以下的高压供电的用户和低压电力用户电压允许偏差为  $\pm 7\%$ ;
- (3) 低压照明用户电压允许偏差为  $+7\% - -10\%$ 。

由于电力网中存在电压损失,为了保证电压质量合乎标准,需要采取一定的调压措施。

## 2. 频率

频率的偏差同样将严重影响电力用户的正常工作。对电动机来说,频率降低将使电动机的转速下降,从而使生产效率降低,并影响电动机寿命;反之,频率增高将使电动机的转速上升,增加功率消耗,使经济性降低。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。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之类的离心式机械,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。

我国的技术标准规定电力系统的额定频率为 50 Hz,电力系统正常频率偏差允许值为  $\pm 0.2$  Hz,当系统容量较小时,偏差值可以放宽到  $\pm 0.5$  Hz。

在电力系统中,任一瞬间的频率值全系统是一致的。在稳定运行情况下,频率值决定于所有机组的转速。而机组的转速则主要决定于输出功率与输入功率的平衡情况。所以,要保证频率的偏差不超过规定值,首先应当维持电源与负荷间的有功功率平衡,其次还要采取一定的调频措施,即通过调节使有功功率恢复平衡来维持频率的偏差在规定范围之内。

## 3. 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(例如,当变压器