



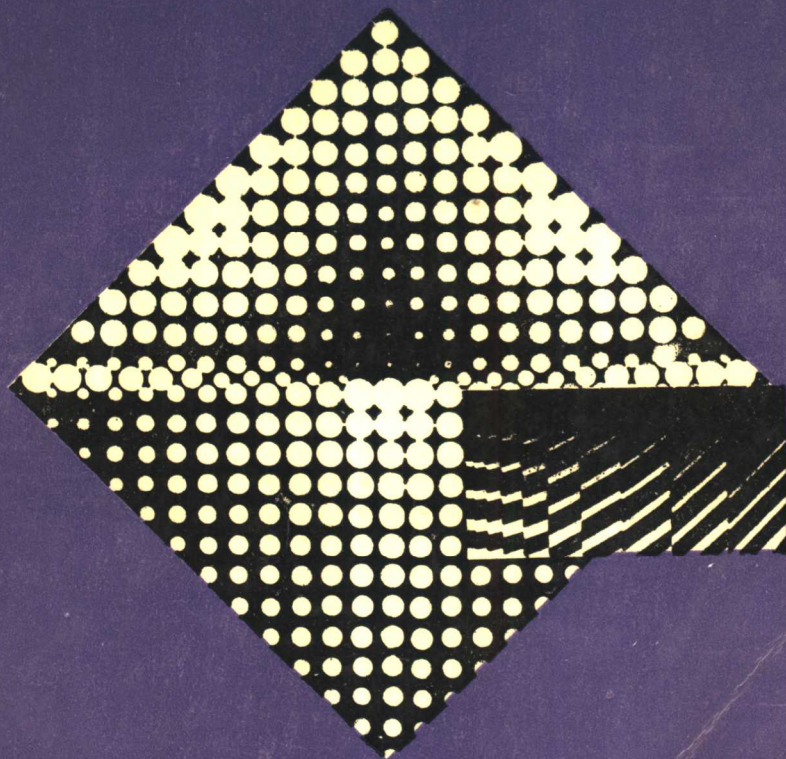
中等职业技术学校
试用教材

西安市教育委员会 编

胡增涛 主编

高等教育出版社

工厂供电



中等职业技术学校试用教材

工厂供电

西安市教育委员会 编

胡增涛 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 提 要

本书是国家教委职教司和高等教育出版社共同组织编写的中等职业技术学校电工专业系列教材之一。

本书主要介绍工厂供电的基础知识,内容包括电力系统概述、工厂变配电所的接线和布置、变配电所的高压设备、工厂供电的保护装置和二次系统、工厂供电系统的经济运行、安全用电和技术管理等。

本书内容深入浅出,理论联系实际,实用性较强。可作为职业高中、技工学校等中等职业技术学校电工专业的教学用书,也可作为工厂变配电所值班电工的培训教材及自学用书。

责任编辑 杨述先

中等职业技术学校试用教材

工 厂 供 电

西安市教育委员会 编

胡增涛 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

复旦大学印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 240,000

1992年3月第1版 1992年3月第1次印刷

印数 00,001—27,140

ISBN 7-04-003718-1/TM·195

定价 5.30 元

出版说明

1989年12月,国家教委职业技术教育司和高等教育出版社在江苏常州组织召开了有17个省市及能源部中国电力企业联合会代表参加的中等职业技术学校电工专业教材会议,拟定了为编写教材用的中等职业技术学校电工专业教学计划,审定了该专业11门课程的教材编写提纲。本书是根据会议精神组织编写的这套教材中的一种。

教材以三年制中等职业技术学校学生为主要读者对象,培养目标为中级技术工人。本系列教材侧重低压电器维修与安装,以部颁最新中级工人技术等级标准为依据编排专业课与工艺实习课,坚持学以致用,注意拓宽学生的基础知识,突出职业技能训练,以适应职业高中的就业需要。为了适应各地区各单位的不同要求,课程设置采用“积木式”结构安排,分为文化课、专业基础课和工艺实习课三个层次。本次编写的教材主要有:《电工应用识图》、《电工仪表与测量》、《电机与变压器》、《电动机与变压器维修》、《工厂电气控制设备》、《低压电气设备运行与维修》、《电力内外线施工》、《工厂供电》。

本套教材的特点是专业课设置以专业基础课与工艺实习课为两条主线,相辅相成。例如:《电机与变压器》与《电动机与变压器维修》,《工厂电气控制设备》与《低压电气设备运行与维修》,既紧密配合,又有一定的系统性与独立性。这样,为突出技能训练与教学改革提供了条件。

为了保证教材质量,我们在全国内范围内遴选有丰富教学经验、较高专业水平和文字能力、有一定实际操作能力的教师、高级技师、高级工程师参加编写和审稿工作。

参加本系列教材审定工作的有:能源部中国电力企业联合会及北京、江苏、南京、天津、河北、辽宁、沈阳、大连、西安、黑龙江、山东、江西、湖南、武汉、河南、重庆、成都等省市的代表。江苏省教育委员会对本专业教学计划的制定给予了具体帮助,在此谨向他们表示谢忱。

本系列教材亦可供岗位培训及自学人员使用。

本系列教材1992年秋出齐,欢迎广大读者选用,并提出宝贵意见。

高等教育出版社

职教部

1991年6月

前 言

本书是根据国家教委职教司和高等教育出版社1989年12月在江苏常州组织召开的17省市职业高中电工专业教材编写会议精神编写的。

本书的编写原则是：保证基础、适用为主，既照顾到当前学校的教学现状，又考虑到学生走上工作岗位以后的实际需要，力求做到理论联系实际，讲述内容由浅入深、简明易懂。

本书是职业高中电工专业系列教材之一。在编写过程中注意到与本专业其他教材的有机联系，又能使其独立成书。本书主要适用于职业高中教学用书，也可作为工厂变配电所值班电工的岗位培训教材。

本书内容共分六章，讲课75学时，各章的讲课学时安排如下，供各校讲课时参考。

第一章 电力系统概述	6 课时
第二章 工厂变配电所的接线和布置	8 课时
第三章 变配电所的高压设备	15 课时
第四章 工厂供电的保护装置和二次系统	23 课时
第五章 工厂供电系统的经济运行	6 课时
第六章 安全用电和技术管理	10 课时
机 动	7 课时

除课堂教学外，各校应组织学生到工厂变配电所参观，有条件的还应安排学生到工厂变配电所跟班实习。

本书由西安市教育委员会组织编写。胡增涛担任主编并编写了第一、二两章及附录，苟彩贤编写了第三章，傅允编写了第四章的1~7节，王邦钦编写了第四章的8~10节，张锁田编写了第五、六两章。

本书由陕西省西北大学张其凯教授主审，河南省焦作市职教教研室焦鉴、西安市教委职教处高其清等同志参加了审稿工作。

参加本书编写提纲讨论的有西安电力技校毛长英、大连机电职业高中冯莎、天津电力工业职业学校戴光裕和郭有为、天津市电力局马明等同志。

在编写过程中还得到了西安市灞桥区教委职教科、西北国棉三厂中学、西安市灞桥区第三高级职业中学、西安电力公司职业学校、西安市雁塔区职业中学、西北光学仪器厂中学的大力协助，在此一并表示感谢。

由于编者经验不足，水平有限，错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1990年12月

目 录

第一章 电力系统概述 1	
第一节 电力系统的组成	1
第二节 工厂供电概述	4
第三节 电力系统中性点运行方式	9
第四节 供电电压的选择和调整	11
小 结	14
习 题	14
第二章 工厂变配电所的接线和布置 16	
第一节 工厂变配电所的位置和类型	16
第二节 电气设备选择的一般原则	17
第三节 负荷曲线、负荷率及计算负荷的 确定	20
第四节 变配电所的主接线	26
第五节 工厂变配电所的布置	29
小 结	31
习 题	32
第三章 变配电所的高压设备 33	
第一节 电弧的产生及灭弧方法	33
第二节 隔离开关	34
第三节 高压负荷开关	35
第四节 高压熔断器	37
第五节 高压断路器	40
第六节 互感器	45
第七节 母线和绝缘子	50
第八节 成套高压配电装置	54
第九节 防雷和接地	59
小 结	64
习 题	65
第四章 工厂供电的保护装置和二次系统 67	
第一节 继电保护装置	67
第二节 熔断器保护	69
第三节 自动空气断路器的选择用和整定	72
第四节 常用继电器	77
第五节 供电线路的继电保护	83
第六节 电力变压器的继电保护	86
第七节 控制、信号回路和绝缘监测装置 90	
第八节 变配电所的自动装置	95
第九节 操作电源	100
第十节 供电系统二次回路电路图	104
小 结	114
习 题	114
第五章 工厂供电系统的经济运行 116	
第一节 概述	116
第二节 功率因数的人工补偿	118
小 结	124
习 题	124
第六章 安全用电和技术管理 125	
第一节 变配电所的运行管理	125
第二节 变配电设备的运行巡视检查	129
第三节 变配电所的安全工作规程	134
第四节 电气安全用具	140
第五节 变配电所的技术管理	142
小 结	144
习 题	144
附录 145	
I 本书主要电工名词、计量单位及符号	145
II 一次接线图中常用设备的图形、文字 符号	146
III 二次接线图中常用设备的图形、文字 符号	150
IV 工厂变配电所参观指导意见	158
后 记 159	

第一章 电力系统概述

第一节 电力系统的组成

电能是现代人们生产和生活的重要能源。电能容易由其它形式的能转换而来，也能简便地转换成其它形式的能(例如将电能转换成光能、热能、机械能和化学能等)，它的输送、分配、调节、控制和测试等都简单易行，又有利于实现生产过程的自动化。因此，电能在工矿企业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活诸方面得到广泛的应用。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，然后到用户使用，这个中间环节称为电力网。由发电厂、电力网和用户等各部分组成的统一整体称为电力系统，如图 1-1 所示。

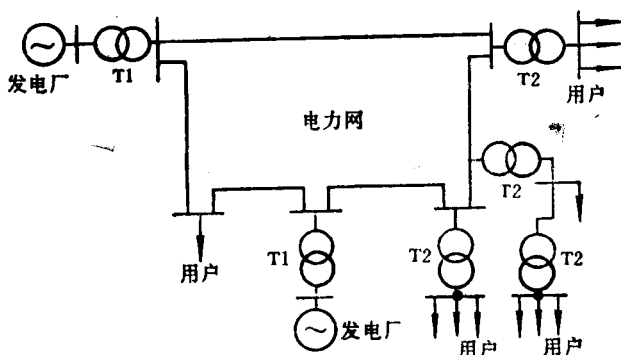


图 1-1 电力系统示意图

T1—升压变压器，T2—降压变压器

下面把组成电力系统的各部分作简单介绍。

一、发电厂

发电厂是电力系统的中心环节，它能把其它能源的能量转换成电能。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、太阳能发电厂和等离子体发电厂等。

1. 火力发电厂

火力发电厂一般是在锅炉内利用燃料燃烧时放出的热能对水加热，使水变成高压高温蒸汽从喷嘴高速喷出，冲击蒸汽轮机叶片使其转动，从而带动发电机发出电能。目前已有采用燃气轮机带动发电机发电的火力发电厂。燃气轮机是让高温高压燃气直接冲击叶片旋转，带动发电机发出电能。由于燃气轮机省去了笨重的锅炉，所以具有体积小、效率高的优点。

火力发电厂的燃料一般采用煤、石油和天然气等。由于我国煤的资源丰富，分布较广，产量居世界第一位，所以我国目前火力发电厂仍以煤为主要燃料。

2. 水力发电厂

水力发电厂利用水利资源发电。水力发电厂的生产过程比火力发电厂简单，它是利用处在高水位的水经过压力管道，将水的位能转变成动能冲击水轮机转动，带动发电机发出电能，如图 1-2 所示。

水力发电厂具有节约燃料、没有污染、能量转换效率高和发电成本低（约为火力发电的 0.25~0.35）等优点。我国南方水力资源丰富，发展水力发电潜力很大。

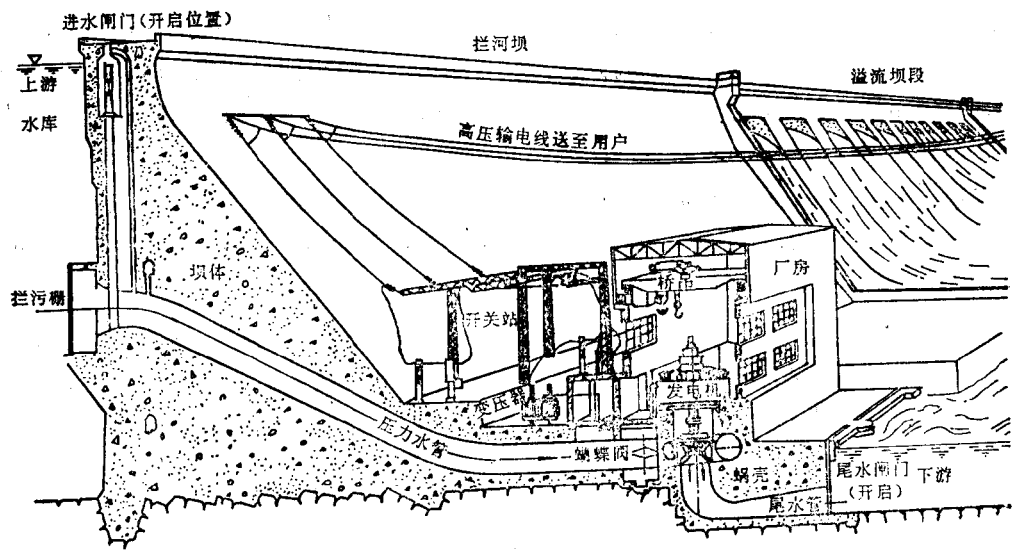


图 1-2 水力发电厂示意图

3. 原子能发电厂

原子能发电厂也称核电站。它利用铀核裂变时产生的大量热能使水汽化来推动汽轮发电机发电。如图 1-3 所示，其核心装置是一个原子反应堆。图 1-4 是原子反应堆的示意图。

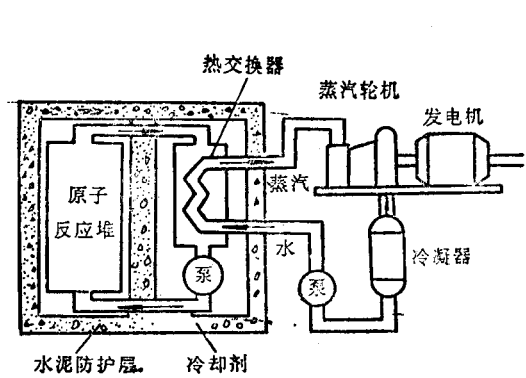


图 1-3 原子能发电厂示意图

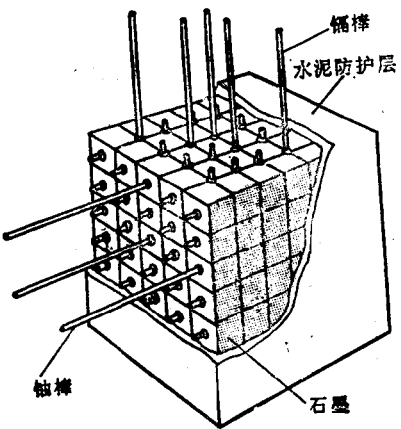


图 1-4 原子反应堆示意图

反应堆里用的“燃料”是天然铀或浓缩铀制成的铀棒。铀在裂变过程中产生的中子速度很大，这种快中子很容易被铀 238 俘获而不发生裂变。要使裂变继续进行下去，必须把快中子变成慢中子。反应堆中的石墨作为减速剂可以完成这项任务。通过调节中子数目可以控制反应进行的速度。镉棒吸收中子的能力很强，用调节镉棒插入反应堆的深浅程度来控制中子被吸收的多少，从而控制核反应激烈程度，使反应堆保持一定的功率水平。在反应堆中镉棒插入的深浅程度是由电子仪器自动调节的。为了防止铀核裂变时产生的各种射线对人身体的危害和对环境的污染，在反应堆的外面修有很厚的水泥防护层，用来防止射线的逸出。

原子能发电厂消耗“燃料”少。例如，100 万 kW 的原子能发电厂，每年消耗浓缩铀 30 吨，而同样功率的火力发电厂却要耗煤 250 万吨。为了适应人们对能源需要的日益增长，发展原子能发电厂对人类有很重要的意义。

在我国，目前仍以火力发电和水力发电占主导地位，其它类型的发电厂规模都较小，不再一一介绍。

二、电力网

电力网是联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设备组成。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 及以上输电线路和与其联接的变电所组成，它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。它由 10 kV 及以下的配电线路和配电变电所组成。其作用是将电力分配到各类用户。

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

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

三、用电负荷分类

电能生产和输送的目的是要供给用户使用。在供电过程中既要保证电能质量，又要经济可靠。目前我国大多数工矿企业是以 10 kV 和 35 kV 供电，对于距发电厂较远的大型工矿企业才采用 110 kV 或 220 kV 供电（这对于减少电力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。

电力系统各级电力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、消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的总功率保持平衡。如果供给的电能小于或大于负荷的需要，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，把电力负荷分为以下三级。

1. 一级负荷

这种负荷若造成突然停电，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：对钢厂炼钢炉突然停电超过 30 分钟，可能会造成炼钢炉报废；对电解铝厂停电超过 15 分钟，电解槽就要遭到破坏；对矿井突然停电，可能导致瓦斯爆炸，矿井倒塌，进而造成停产、通讯中断或人身伤亡等重大事故等。

2. 二级负荷

这种负荷若造成突然停电，将引起主要设备损坏，产生大量废品或造成大量减产，如纺织厂、化工厂等。

3. 三级负荷

指不属于一级和二级的负荷，停电后损失不大者。例如工矿企业的附属车间等。

对于一级负荷，应最少由两个独立电源供电。有特殊要求的一级负荷，两个独立电源应来自不同的地点，以保证供电的持续性。其中一电源为备用电源（备用电源也可以是柴油发电机组或蓄电池组等）。对于二级负荷一般由两个回路供电，两个回路电源线应尽量引自不同的变压器或两段母线。对于三级负荷的电源则无特殊要求。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 工厂供电概述

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

应满足电能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 8760 小时，用户平均停电时间为 8.76 小时，则停电时间占全年时间的 0.1%，即供电的可靠性为 99.9%。

安全、可靠，不仅是对工厂供电的基本要求，也是对电力系统的基本要求。电力系统中各种动力设备，以及发电厂、电力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，而影响电力系统或工厂供电系统的正常运行，造成对用户供电中断，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，保护装置的不正确动作，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，在我国湖北电力系统中，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 2700 万元。

由此可见，提高电力系统的安全可靠性是极为重要的。但是，从某种意义上讲，绝对安全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，导致工厂生产产生废品，甚至造成重大事故。电压降低还会使电动机本身起动困难，运行中温度升高，加速了绝缘老化，甚至烧坏电机。

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，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为：

35 kV 以上供电及对电压质量有特殊要求的用户为 $\pm (5 \sim 10) \%$ 。

10 kV 以下高压供电和低压电力用户为 $\pm 7 \%$ 。

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 300 万 kW 以上的电力系统中，频率波动不得超过 ± 0.2 Hz；不足 300 万 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。即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。为了保证频率的稳定，电力系统除保持适当的备用容量外，常采用低频率自动减负荷装置。它是在电力系统的频率降至预先整定值时，将自动切除部分次要负荷。

当然，要保证优质供电，也应注意到电压波形的对称性和正弦性。

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，尽可能的节约电能和导线，以减少有色金属的消耗。

决定工厂供电的质量指标主要有：电压、频率、可靠和经济。

此外，在供电工作中，要处理好局部和全局、当前和长远的关系。既要照顾到局部和当前的利益，又要有全局观点。特别在我国目前电力系统求大于供的情况下，要搞好计划供电。

二、工厂供电系统

工厂供电系统由工厂降压变电所、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。

工厂降压变电所的作用是把电力系统供给的高压电能，经过变电所的各级降压，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。

大型工厂和某些负荷较大的中型工厂，往往采用 $35\sim 110\text{ kV}$ 电源进线。一般都经过两次降压，先经过工厂总变电所，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，再由 $6\sim 10\text{ kV}$ 降至 $380/220\text{ V}$ 。这种供电方式称为二次降压供电方式，如图 1-5 所示。

工厂的高压配电线路 ($6\sim 10\text{ kV}$) 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 $6\sim 10\text{ kV}$ 电源进线，或采用 35 kV 电源进线，经变电所一次降至 $380/220\text{ V}$ 。图 1-6 所示，为一次降压供电方式。

工厂供电系统中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。两者的区别主要是变电所设有电力变压器。在实际工作中为了节约占地

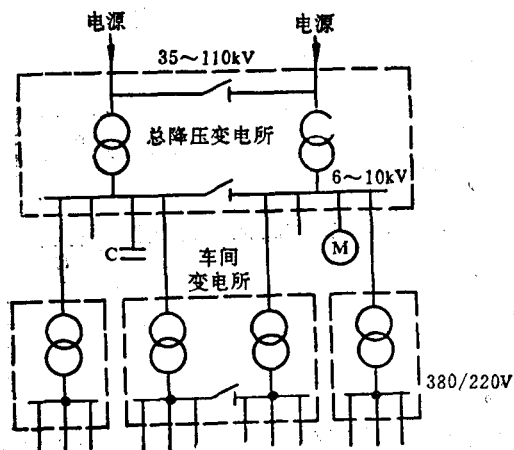


图 1-5 工厂二次降压供电方式示意图

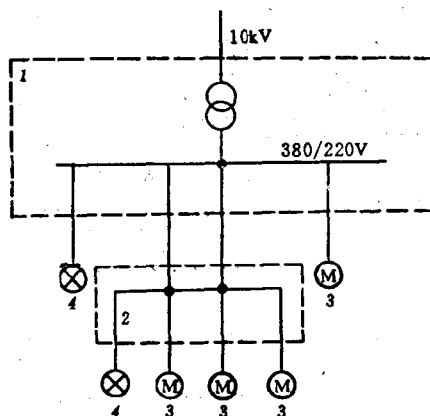


图 1-6 工厂一次降压供电方式示意图

1—工厂变电所，2—车间变电所，3—电动机，4—照明

和投资,把变、配电设备装设在同一设施内,故称为变配电所。

供电系统的投入使用叫运行。

三、工厂配电系统接线方式

工厂配电系统的基本接线方式有三种:放射式、树干式和环式。各工厂供电系统采用哪种接线方式,要根据负荷对供电可靠性的要求、投资大小、运行维护方便及长远规划等原则分析确定。

1. 放射式线路

放射式线路又分为单回路放射式线路、双回路放射式线路、和具有公共备用线路的放射式线路。

单回路放射式线路是由工厂总变配电所 $6\sim 10\text{ kV}$ 母线上每一条回路直接向车间变配电所或高压设备供电,沿线不再接其它负荷。它的优点是线路敷设、保护装置简单,操作维护方便,易于实现自动化。缺点是从总变配电所出线较多,高压设备多,投资较大。特别是在任一线路上发生故障或检修时,该线路就要停电,因而供电可靠性不高,一般用于三级负荷和部分次要的二级负荷供电(图1-7)。

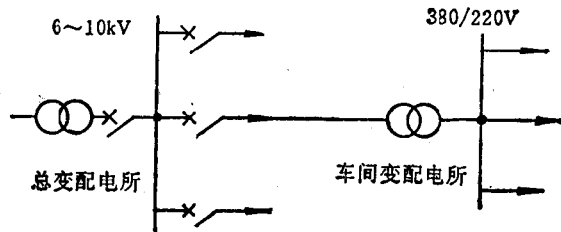


图 1-7 单回路放射式线路

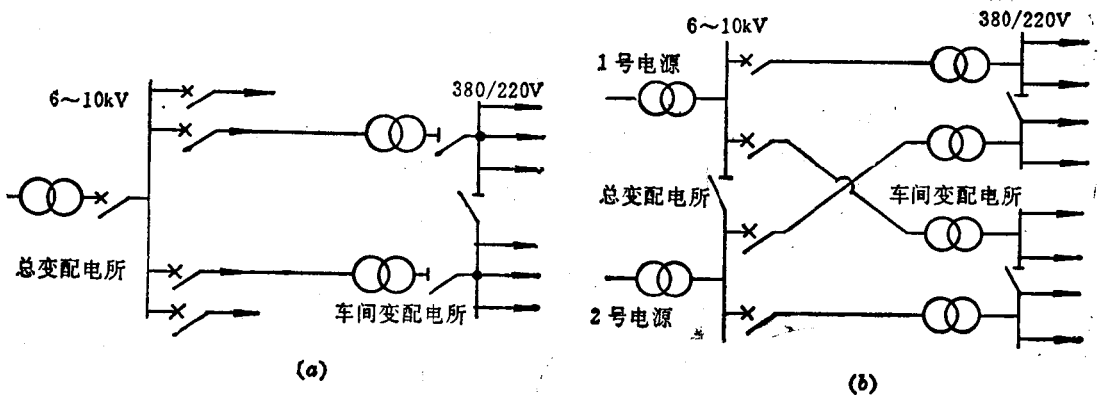


图 1-8 双回路放射式线路

双回路放射式线路是对任一变配电所采用双回路线路供电的方式。其中,图1-8a是单电源供电,图1-8b是双电源供电。在双回路放射式线路中,当其中一条回路发生故障或检修时,可由另一条回路给全部负荷继续供电,提高了供电的可靠性,可用于二级负荷供电。但所需高压设备较多,投资也较大。

当采用如图 1-9 所示的具有公共备用线路的放射式线路供电时，如果任一回路线路发生故障时，只需经过短时的“倒闸操作”后，可由备用干线继续供电。这种线路供电可靠性较高，可适用于各级负荷供电。

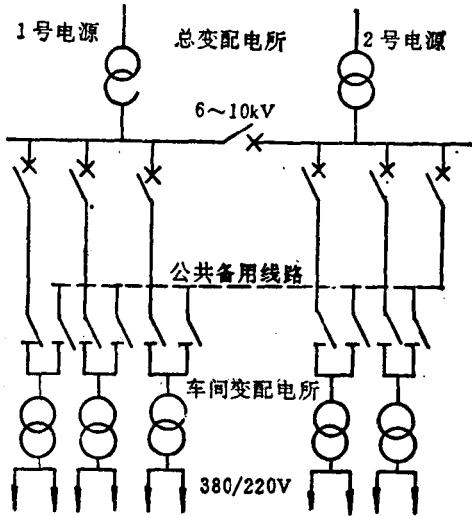


图 1-9 具有公共备用线路的放射式线路

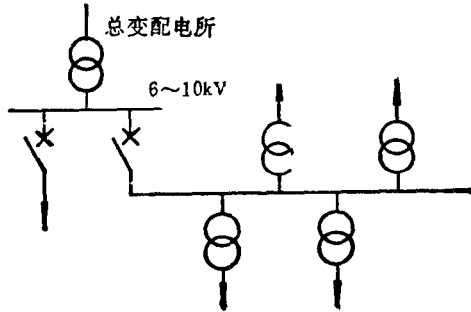


图 1-10 直接联线树干式线路

2. 树干式线路

树干式线路是指线路分布象树干一样，既有主干，又有分支，它可分为直接联线树干式和串联型树干式两种形式。

直接联线树干式线路如图 1-10 所示。从总变配电所引出的每路高压干线在厂区内沿车间厂房或道路敷设，每个车间变配电所或高压设备直接从干线上接出分支供电。这种线路的优点是配电设备少、投资小。缺点是干线发生故障或检修时会造成大面积停电。因而分支数目限制在 5 个以内。其供电可靠性差，只适应于三级负荷。

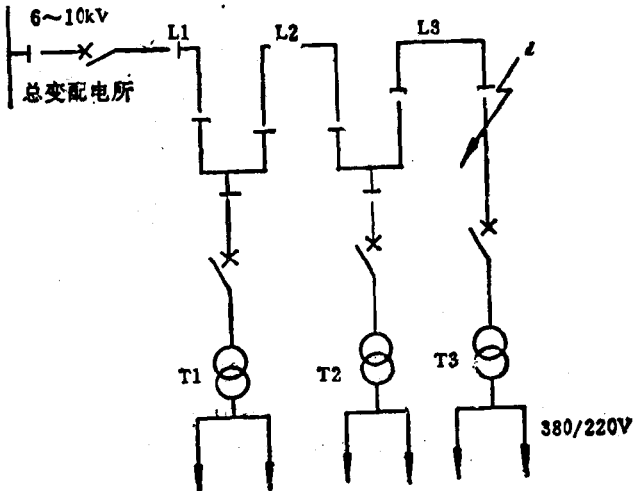


图 1-11 串联型树干式线路

为了发挥树干式线路的优点,提高供电的可靠性,可采用串联型树干式线路(图 1-11)。这种线路的特点是干线进入每个车间变配电所,联在高压母线上,干线进出两侧均安装隔离开关。当干线发生故障时可以减小停电范围。例如图 1-11 中, d 点发生故障,只需断开 L_3 两侧的隔离开关, T_1 和 T_2 变压器可以继续运行供电,提高了供电的可靠性。

3. 环式线路

环式线路是对串联型树干式线路的改进,实质上只要把两路串联型树干式线路联络起来就构成了环式线路,如图 1-12 所示。环式线路可分为开环运行和闭环运行两种。

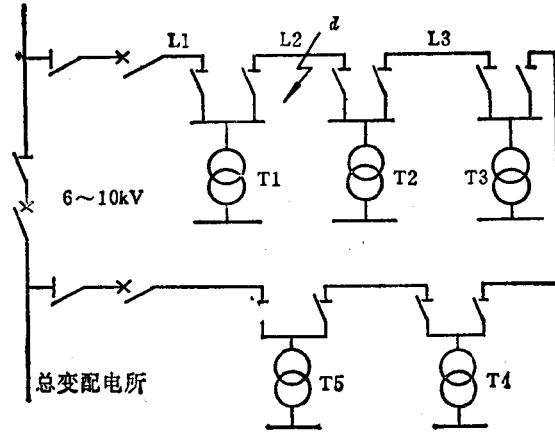


图 1-12 环式线路

这种线路的优点是运行灵活,供电可靠性高。当干线上任何地方发生故障时,只要通过一定的倒闸操作,断开故障两端的隔离开关,把故障切除后,车间变配电所均可迅速恢复供电。它可用于二级负荷供电。

以上三种基本接线方式各有优、缺点,使用时应根据实际情况灵活运用。在低压 380/220 V 配电系统中,实际上多采用放射式和树干式组合的混合式线路。

第三节 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接。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,各相对地电容电流相位相差 120° ,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 1-13 所示。

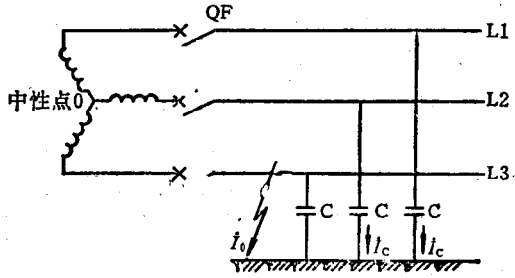


图 1-13 中性点不接地系统

当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，由于系统中相间电压的大小和相位均未发生变化，所以运行未被破坏，用电不受影响。加之相对地的绝缘是根据线电压设计的，因此中性点不接地系统在单相接地时还可暂时继续工作。但是，这种单相接地状态不能允许长时间运行，否则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，引起间歇电弧过电压。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两小时。

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，中性点不接地系统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 电网和部分 35 kV 的电网中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

在电力系统中采用的中性点直接接地方式，即把中性点直接和大地相接。这种方式可以防止中性点不接地系统中单相接地时产生的间歇电弧过电压。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系统。如图1-14所示。

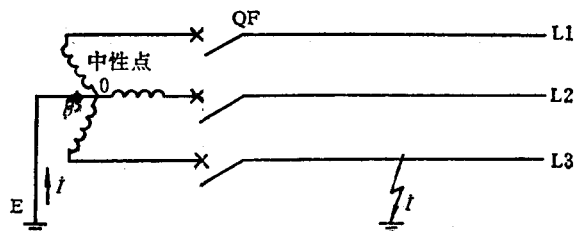


图 1-14 中性点直接接地系统

中性点直接接地系统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，对低压配电线路可以减少对人身危害。但是，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，克服单相接地必须切断故障线路这一缺点，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，线路接通，恢复供电。若属持续性故障，自动保护装置再次切断线路。

目前我国 110 kV 以上电网均采用中性点直接接地方式，部分 35 kV 的电网以及 $380/220\text{ V}$ 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

在中性点不接地系统中，当单相接地电流超过规定数值时，电弧不能自行消灭，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 1-15 所示。这种系统和中性点不接地系统在发生单相接地故障时，接地电流都较小，故通常统称为小电流接地系统。

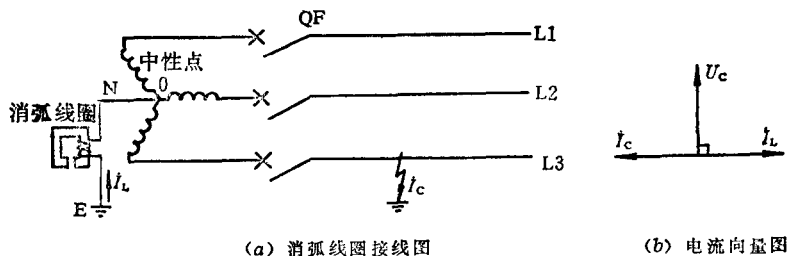


图 1-15 中性点经消弧线圈接地系统

消弧线圈是一个具有铁芯的电感线圈，把铁芯和线圈浸在一个盛有变压器油外形象小变压器的油箱内，线圈本身电阻很小，感抗却很大。通过调节铁芯气隙和线圈匝数改变感抗值，以适应不同系统中运行的需要。

在正常运行情况下，三相系统是对称的，中性点电流为零，消弧线圈中没有电流通过。当发生一相接地时，就把相电压加在了消弧线圈上，使消弧线圈上有电感电流 $\dot{I}_L$ 流过，因为电感电流 $\dot{I}_L$ 和电容电流 $\dot{I}_C$ 相位相反，所以在接地处互相补偿。如果消弧线圈电感选用合适，会使接地电流减到很小，而使电弧自行熄灭。虽然接地处往往仍会有很小的电容电流流过，不过已不致发生危险的间歇电弧过电压了。

但是，必须指出，这种系统和中性点不接地系统一样，当发生一相接地时，其它两相电压也将升高 $\sqrt{3}$ 倍，因而单相接地运行也同样不准超过两小时。

目前在 35~60 kV 的高压电网中多采用这种接地方式。在 35 kV 电网中，单相接地电流大于 5A；在 6~10 kV 电网中，单相接地电流大于 30 A，其中性点均要求采用经消弧线圈接地方式。

第四节 供电电压的选择和调整

一、电力系统的额定电压

所谓额定电压，就是指能使各种用电设备处在最佳运行状态的工作电压。我们已经知道电压是电能质量的重要指标之一，并且讨论过电压变动超过允许范围给用电设备正常运行带来的影响。根据我国国民经济的发展，考虑到技术和经济上的合理性，并使电气设备生产标准化和系列化，1981 年我国重新修订发布了额定电压的统一等级，共分为三类（表 1-1）。

第一类额定电压是 100 V 以下的电压。主要用于安全照明、蓄电池及直流操作电源；三相 36 V 电压只作为潮湿工地和房屋的局部照明及电力负荷之用。

第二类额定电压是大于 100 V、小于 1000 V 的电压。主要用于电力及照明设备。

第三类电压是 1 kV 以上的电压。主要用于发电机、送电线路、变压器及受电器。