

中等专业学校试用教材

工厂供电

成都无线电机械学校 主编

机械工业出版社

1342778

中等专业学校试用教材

T M727.3/01

工厂供电

成都无线电机械学校 主编



机械工业出版社

003899

编 者 的 话

本书是根据第一机械工业部一九七七年十二月在北京召开的中专教材座谈会及一九七八年一月在湘潭召开的中专工业电气自动化和电机制造两专业教材会议制订的《工厂供电》教材编写大纲编写的。

在编写过程中，我们力求以马列主义、毛泽东思想为指导，运用唯物辩证法来阐述问题，注意体现加强基础的精神和贯彻理论联系实际的原则，文字叙述尽量通俗易懂，便于自学。

本书着重讲述中小型工厂供电系统运行维护所必须的基本理论和基本知识，并讲述了供电设计计算的一些基本内容。

全书共分九章。首先扼要地介绍了工厂供电系统的概况及有关知识；接着系统地讲述了电力负荷的分级及负荷的计算，电能节约及移相电容器的选择，短路电流及其计算，变配电所的一次接线及高低压电器的结构原理和选择，电力线路及其计算，各种保护装置及二次系统，工厂自备电源，防雷、接地及电气安全等；最后讲述了工厂供电系统的自动化及新技术在供电系统中的应用。为便于学生复习和练习，每章末附有思考题和作业题。

本书可作为中专工业电气自动化专业的试用教材。全书内容按 100 学时考虑。如教学时数较少时，正文中标题后标有 * 号的章节可作为学生课外自学内容。本书也可供大专有关专业的师生和工厂的电气技术人员参考。

本书由成都无线机械学校刘介才同志担任主编。芜湖机械学校顾淑霞同志和内蒙古工业学校王彻同志参加了编写，分别编写了第三章和第七章。

本书经一九七八年六月在成都召开的《工厂供电》教材审议会议集体审订。参加教材审议会议的代表有：国营国光电子管厂技术员徐学泉、国营宏明无线电器材厂技术员马开芸、国营西南专用材料厂工人潘国安、国营新兴仪器厂技术员张金元、四机部第十一设计院技术员陈才敏、福建机电学校教师林松、内蒙古工业学校教师焦凤兰、成都无线机械学校教师袁先志、钟国光、龚云卿等。本书最后由主编整理定稿。

在编写过程中，不少单位和同志给予了大力支持和帮助。在此，我们谨向有关单位和同志表示衷心的感谢！

限于我们的思想水平和业务水平，书中一定会有不少缺点和错误，恳切希望使用本书的师生和广大读者批评指正。

一九七八年十月

目 录

第一章 概论

- § 1-1 工厂供电的意义及课程的任务 1
- § 1-2 工厂供电的有关知识 1
- § 1-3 电力系统的电压和频率 4
- § 1-4 电力系统的中性点运行方式 6
- 复习思考题·作业题 9

第二章 工厂的电力负荷和电能节约

- § 2-1 供电的要求及负荷的分级 10
- § 2-2 三相用电设备组计算负荷的确定 11
- § 2-3 单相用电设备组计算负荷的确定 17
- § 2-4 工厂总计算负荷的确定 18
- § 2-5 尖峰电流的计算 22
- § 2-6 节约电能的意义和措施 23
- § 2-7 移相电容器的选择、装设和运行维护 25
- 复习思考题·作业题 32

第三章 短路电流

- § 3-1 短路的原因、后果及其形式 34
- § 3-2 无限大容量电力系统发生三相短路时的物理过程及有关物理量 35
- § 3-3 三相短路电流的计算 38
- § 3-4 两相短路电流的计算 44
- § 3-5 短路电流的效应 45
- 复习思考题·作业题 48

第四章 工厂变配电所及其一次系统

- § 4-1 工厂变配电所的任务和类型 49
- § 4-2 工厂变配电所的主接线图 50
- § 4-3 工厂变配电所的一次设备 53
- § 4-4 电力变压器及其选择和调压 70
- § 4-5 电流互感器和电压互感器 75
- § 4-6 工厂变配电所的位置、布置、结构和安装图 81
- § 4-7 工厂变配电所一次设备的运行维护 89

- 复习思考题·作业题 92

第五章 工厂电力线路

- § 5-1 工厂电力线路的任务和分类 93
- § 5-2 工厂电力线路的接线方式 93
- § 5-3 工厂电力线路的结构和敷设 96
- § 5-4 导线和电缆截面的选择计算 107
- § 5-5 工厂电力线路的运行维护 116
- 复习思考题·作业题 118

第六章 工厂供电系统的保护装置及二次系统

- § 6-1 保护装置的任务和要求 119
- § 6-2 熔断器保护 120
- § 6-3 自动开关保护 124
- § 6-4 供电线路的继电保护 127
- § 6-5 电力变压器的继电保护 141
- § 6-6 控制回路和信号设备 147
- § 6-7 绝缘监察装置和测量仪表 150
- § 6-8 工厂供电系统二次回路的原理图和安装图 152
- 复习思考题·作业题 157

第七章 工厂自备电源

- § 7-1 工厂自备发电机组并列运行的条件和方法 158
- § 7-2 工厂自备发电机的励磁装置 161
- § 7-3 工厂自备发电机的功角特性及并列运行的稳定性 166
- 复习思考题 170

第八章 防雷、接地和电气安全

- § 8-1 雷和防雷 171
- § 8-2 接地和接零 179
- § 8-3 电气安全 187
- 复习思考题·作业题 191

第九章 工厂供电系统的自动化及新技术的应用

- § 9-1 电力线路的自动重合闸装置 192
- § 9-2 备用电源自动投入装置 196

IV

§ 9-3 供电系统的运动化	197
§ 9-4 晶体管继电保护	200
§ 9-5 可控硅在供电系统中的应用	203
§ 9-6 电子计算机在供电系统中的应 用	204

复习思考题	205
-------------	-----

附 录

附表 1 汉语拼音字母的读音	206
附表 2 电工系统图常用的图形符号	207
附表 3 电气平面图常用的图形符号	209
附表 4 用电设备组的需要系数、二项 式系数及功率因数	211
附表 5 各类工厂的全厂需要系数及功 率因数	212
附表 6 LJ 型铝绞线的主要技术数据	212
附表 7 SJL ₁ 型部分 10kV 电力变压器的 主要技术数据	213
附表 8 移相电容器的主要技术数据	214
附表 9 移相电容器的比补偿容量	215
附表 10 短路电流计算图	216
附表 11 导体在正常和短路时的最高允 许温度	217
附表 12 SN ₁₀ ⁸ -10 型高压少油断路器的 主要技术数据	217
附表 13 RM10 型低压熔断器的主要技术 数据	217
附表 14 RT0 型低压熔断器的主要技术 数据	217
附表 15 DW10 型低压自动开关的主要 技术数据	218

附表 16 变压器宽面推进的变压器室主 要尺寸	218
附表 17 架空裸导线最小允许截面和直 径	219
附表 18 电力电缆型号的组成和含 义	219
附表 19 橡皮绝缘线和塑料绝缘线的型 号、名称和敷设条件	219
附表 20 按环境和敷设方式选择导线和 电缆	220
附表 21 绝缘导线芯线最小允许截 面	220
附表 22 BBLX、BBX、BLV、BV 等型 单芯绝缘导线穿管选择	221
附表 23 绝缘导线明敷、穿钢管和穿塑 料管时的允许载流量	221
附表 24 户内明敷及穿管的铝、铜芯绝 缘导线的电阻和电抗	223
附表 25 RM10 和 RT0 型熔断器的保护 特性曲线	223
附表 26 GL- ₁₀ ¹⁰ 系列电流继电器的主要 技术数据	224
附表 27 各种电气装置要求的接地电阻 值	225
附表 28 户外架空铝导线“相—零回路” 单位长度阻抗值	226
附表 29 变压器 400V 侧单相阻抗值	226
附表 30 本书所用的角注文字符号及其 写法和读法	226

第一章 概 论

§ 1-1 工厂供电的意义及课程的任务

我们知道,电力是现代工业的主要动力。我国要在本世纪内建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国,就必须贯彻“电力先行”的方针,加快电力工业建设的步伐,以适应新时期总任务的需要。

现代工业生产之所以广泛采用电力作动力,这是由于电力的能源广泛,输送简单,取之方便,用之价廉,而且可以远距离控制、调节和测量,为实现生产自动化创造了良好的条件。

在工厂里,电力虽然是工业生产的主要动力,但是它所消耗的费用在产品成本中所占的比重(除电化工业外),一般很小。例如在机械工业中,电费开支仅占产品成本的5%左右。就投资额来看,有些机械工厂在供电设备上的投资,也仅占总投资的5%左右。由此可见,电力在工业生产中的重要性,并不在于电力在产品成本中或投资总额中所占的比重多少,而在于工业生产实现电气化以后,可以大大增加生产,提高产品质量,提高劳动生产率,降低生产成本,减轻工人的劳动强度,改善工人的劳动条件,有利于实现生产自动化。

本课程的任务,主要是讲述中小型机械类工厂内部的电力供应问题,使学生初步掌握中小型工厂供电系统包括变配电所和供配电线路运行维护所必需的基本理论和基本知识,并了解工厂供电的简单设计计算方法。

§ 1-2 工厂供电的有关知识

一、工厂供电系统的概况

一般中型工厂的电源进线电压是6~10kV,先经过高压配电所,然后由高压配电线路将电能输送给各车间变电所,降低成一般用电设备所需的电压(如380/220V)。

图1-1是一个比较典型的中型工厂供电系统的电气主接线示意图。图1-2是上述工厂供电系统的平面布线示意图。为了使图形简单清晰,电气主接线图和平面图上的三相线路只用一根线来表示,即绘成单线图形式。还必须说明,这里绘出的主接线图未表示出线路上的各种开关电器(除母线和低压联络线上装设的开关外)。关于国家标准规定的部分电工系统图图形符号(GB312-64)和电气平面图图形符号(GB313-64)分别列在附录表2和表3中,供参考。

由以上两图可以看出,这个厂的高压配电所有两条6~10kV的电源进线($l-1$ 、 $l-2$)^①,分别接在高压配电所的两段母线上。这两段母线间装有一个分段隔离开关,形成所谓“单母线分段制”。当任一条高压电源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(特别是其重要负荷)的供电,即分段隔离开关闭合后由另一条高压电源

^① 这里的 l 是“线路”(英文 line)的国际通用符号。

线供电给整个配电所。

这个高压配电所有四条高压配电线 ($l-3 \sim l-6$) 供电给三个车间变电所, 其中1号和3号都只装有一台主变压器; 而2号装有两台, 并分别由两段母线供电, 其低压侧采用高压配电所那样的单母线分段制。对重要负荷可由两段母线交叉供电。所有车间变电所的低压侧, 都有低压联络线相互联接, 以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。

对于小型工厂, 一般只设一个简单的降压变电所, 相当于图1-1中的一个车间变电所。用电量在100kW以下的小型工厂, 通常采用低压供电, 因此只需设置一个低压配电间就行了。

对于大型工厂及某些电源进线电压为35kV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, 将35kV及以上的电压降为6~10kV电压, 然后通过高压配电线将电能送到各个车间变电所, 再降到一般低压用电设备所需的电压。但也有的35kV进线的工厂, 只经一次降压, 直接降为低压, 供用电设备使用。这种供电方式, 叫做高压深入负荷中心的直配方式。

从以上分析可知, 配电所的任务是接受电能和分配电能, 而变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能, 两者的区别主要在于变电所多了变换电压的电力变压器。

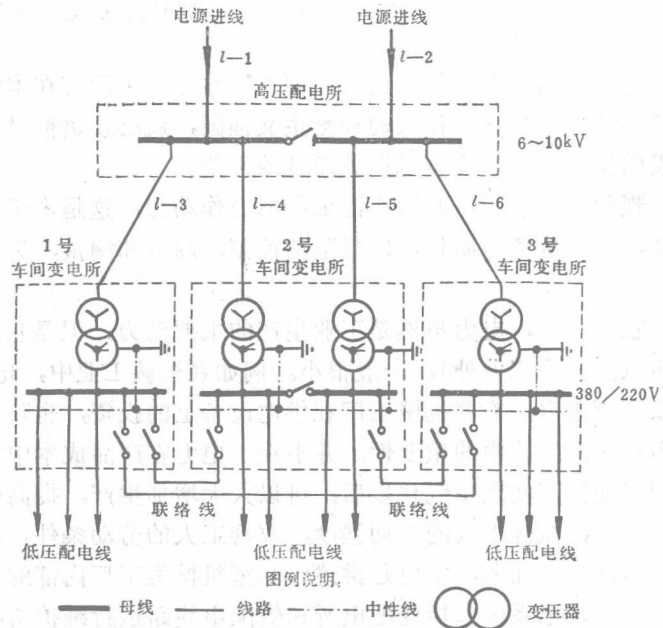


图1-1 中型工厂供电系统主接线示意图

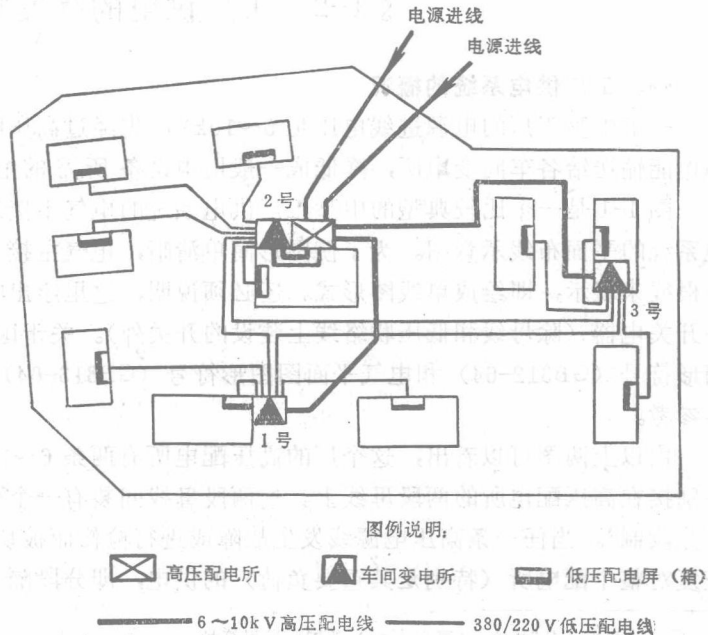


图1-2 中型工厂供电系统平面布线示意图

(二) 电力系统:

为了充分利用动力资源,减少燃料运输,降低发电成本,因此有必要在有水力资源的地方建造水电站,而在有燃料资源的地方建造火电厂。但是这些有动力资源的地方,往往离用电中心地区较远,所以必须用高压输电线路进行远距离输电,如图 1-3 所示。

由各种电压的电力线路将一些发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体,叫做电力系统。电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所,就叫做电力网。电力网往往按电压等级来区分,如说 10 kV 电力网、380/220 V 电力网等。这里的电力网实际指的是电气线路。

建立大型电力系统,可以更经济合理地利用动力资源(首先充分利用水力资源),减少电能损耗,降低发电成本,保证供电质量(即电压和频率合乎规范要求),并大大提高供电的可靠性,有利于整个国民经济多快好省地发展,有利于四个现代化的早日实现。

§ 1-3 电力系统的电压和频率

一、概述

电力系统中的所有电气设备都是在一定的电压和频率下工作的。电力系统的电压和频率直接影响电气设备的运行。例如电动机接在电力系统中,若系统电压低于电动机额定电压,则由于电动机的电磁转矩是同工作电压的平方成正比关系,所以工作电压降低了 10% (对额定电压) 时,电磁转矩就只有额定转矩的 81%,降低得更多;为了维持一定的负荷转矩,则电动机转速要下降,增大电磁转矩,引起绕组电流增大,从而使电动机发生过热现象,影响使用寿命。若系统频率低于电动机额定频率,则电动机的转速也要下降。所以,电压和频率是衡量电力系统供电质量的两个基本参数。

二、交流电压和频率的国家标准

(一) 频率标准:

我国规定,一般电力设备交流电压的额定频率为 50 Hz (周/秒)。电力系统频率的偏差不得超过 ± 0.5 Hz。

(二) 电压标准:

我国规定的交流电力网和电力设备的额定电压如表 1-1 所列。由表 1-1 可以看出:

1. 用电设备的额定电压,与电力网(即电力线路)的额定电压相同。实际上,线路上各点的电压都略有不同,如图 1-4 所示,因为沿线都有电压降。但是成批生产的用电设备,其额定电压不可能按使用处线路的实际电压来制造,而只能按线路的额定电压 $U_{\ominus}$ 来制造。所以用电设备的额定电压必须与线路的额定电压相等。

2. 发电机的额定电压高于线路额定电压 5%。这是由于电力线路一般允许的电压偏移是 $\pm 5\%$,即整个线路允许有 10% 的电压降。为了维持线路的平均电压在额定值,所以线路首端,也就是发电机的电压应较线路额定电压高 5%,而线路末端的电压则可较线路额定电压低 5%,如图 1-4 所示。

3. 电力变压器一次线圈的额定电压,有的高于线路额定电压 5%,有的则与线路额定

⊖ 角注 e 是“额定”(eding)的汉语拼音缩写。关于汉语拼音字母的读音,参看附录表 1。关于本书所用的角注文字符号及其写法和读法,参看附录表 30。

原

书

缺

页

原 书 缺 页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

原

书

缺

页

三、各级负荷的供电要求

一级负荷，要求供电系统无论是正常运行还是发生事故时，都应保证其连续供电。因此对一级负荷，应由两个独立的电源供电，并按生产的需要和允许停电的时间，采用双电源互相自动地或手动地切换的接线，或采用双电源分组同时供电的接线。如果一级负荷不大时，则可采用蓄电池、自备发电机等设备，或者从邻近的单位取得第二个独立电源。这里所说的两个“独立电源”是指其中任一个电源发生故障或停电检修时，都不致影响另一个电源继续供电。例如图 1-1 中的两条电源进线 1-1 和 1-2 是由两个电源点或一个电源点的两段母线分别供电，因此这个工厂配电所的接线是适用于一级负荷的。在这种情况下的 2 号车间变电所，又有低压联络线作备用，所以也适用于一级负荷。

二级负荷，应由双回路供电。当采用双回路有困难时（如在边远地区），则允许采用一条 6 kV 及以上专用架空线供电。

三级负荷，无特殊的供电要求。

电力负荷按重要程度分级的目的，在于正确地反映电力负荷对供电可靠性的要求，以便根据国家电力供应的实际情况，恰当地选择供电方案和运行方式，满足多快好省地建设社会主义的需要。这里必须指出：负荷分级只是相对的，同当时当地电力供应的情况密切相关，而且要从全局出发，考虑到政治的影响。例如某些担负援外任务的工厂，若停止供电，经济损失不一定很大，但影响援外任务的完成，有损我国的声誉，因此这类工厂应列为二级甚至一级负荷。又如有些中小型机械厂，若停止供电，从本厂来看可能造成大量减产，但从一个地区来看，这种减产算不得“大量”，因此这类工厂一般可列为三级负荷。

§ 2-2 三相用电设备组计算负荷的确定

一、概述

为了正确地选择供电系统中的各组成元件（包括电力变压器、开关设备及导线电缆等），有必要进行电力负荷的统计计算，以确定供电系统中各个环节的电力负荷的大小。

按发热条件选择供电系统中各组成元件而需要计算的负荷功率或负荷电流，称为计算负荷。有功计算负荷就写作 P_{js} 。根据计算负荷选择的电气设备或导线电缆，如果以计算负荷长期运行时，其发热温度就不会超过允许值。通常采用负荷最大的半小时（30min⊖）平均值来作计算负荷，这个计算负荷又叫半小时最大负荷，因此 P_{js} 也可以写作 P_{30} 。

供电系统在运行中也可能出现短时（1~2s⊖）最大负荷，如电动机的起动电流等，但从发热观点考虑，不能算作计算负荷。这种短时最大负荷叫做尖峰负荷。尖峰负荷电流写作 I_{jf} 。

计算负荷是供电设计计算的基本依据。计算负荷确定得是否合理，直接关系到电器和导线的选择是否合理。如计算负荷确定过大，将使电器和导线选得过大，造成投资和有色金属的浪费；如计算负荷确定过小，又将使电器和导线运行时产生过热，引起绝缘过早老化，甚至烧毁，以致发生事故，给国家造成很大的损失。由此可见，正确地确定计算负荷具有很大的意义。

⊖ min 是国际单位制中时间“分”（英文 minute）的代号。

⊖ s 是国际单位制中时间“秒”（英文 second）的代号。

但是, 由于影响电力负荷变化的因素较多, 所以确定计算负荷不可能具有高度的准确性。我们只有加强调查研究, 才能使负荷计算尽可能地接近实际。此外, 在确定计算负荷时, 要根据情况留有一定的余地, 以适应生产发展的要求。

我们这里只介绍目前供电设计中普遍采用的两种确定计算负荷的方法——需要系数法和二项式系数法。

二、按需要系数法确定计算负荷

(一) 基本公式:

用电设备组的计算负荷, 是指用电设备组从配电线路上取用的半小时最大负荷。而用电设备组的那么多设备实际上不一定都同时运行, 运行的那些设备又不太可能都同时满负荷, 因此用电设备组的计算功率一般都小于设备组的总容量。

按需要系数法确定三相用电设备组的有功计算负荷 P_{js} 时, 就是将三相用电设备的设备容量乘以一个需要系数, 即:

$$P_{js} = K_x \cdot P_s (\text{kW}) \quad (2-1)$$

式中 P_s ——设备总容量 (不计备用设备的容量), kW;

K_x ——需要系数, 它与用电设备的工作性质、设备台数、设备效率和线路损耗等因素有关。

附录表 4 列出了各种用电设备组的需要系数值, 供参考。

必须注意: 附录表 4 中的需要系数值是设备台数较多时的数据, 因此一般比较低, 例如机床组的需要系数平均只有 0.2 左右。如果设备台数较少时, 则需要系数值就应适当地取大。

如果只有一两台设备, 则需要系数可取为 1, 即有功计算负荷可认为等于设备容量。相应地, 在设备台数较少时, 功率因数也应适当地取大。

利用公式 (2-1) 确定了三相用电设备组有功计算负荷 P_{js} 以后, 必要时可按式确定无功计算负荷 Q_{js} :

$$Q_{js} = P_{js} \cdot \tan \varphi (\text{kVAR}) \quad (2-2)$$

可按式确定视在计算负荷 S_{js} :

$$S_{js} = \sqrt{P_{js}^2 + Q_{js}^2} (\text{kVA}) \quad (2-3)$$

或

$$S_{js} = \frac{P_{js}}{\cos \varphi} (\text{kVA}) \quad (2-4)$$

可按式确定计算电流 I_{js} :

$$I_{js} = \frac{S_{js}}{\sqrt{3} U_e} (\text{A}) \quad (2-5)$$

或

$$I_{js} = \frac{P_{js}}{\sqrt{3} U_e \cdot \cos \varphi} (\text{A}) \quad (2-6)$$

式中 U_e ——三相用电设备的额定电压 (kV);

$\cos \varphi$ 和 $\tan \varphi$ ——用电设备组的平均功率因数及对应的正切值 (参看附录表 4)。

例 2-1 已知一小批生产的冷加工机床组, 拥有电压为 380 V 的三相交流电动机 7kW——3 台, 4.5kW——8 台, 2.8kW——17 台, 1.7kW——10 台。试求其计算负荷。

解 此机床组电动机的总容量为: