

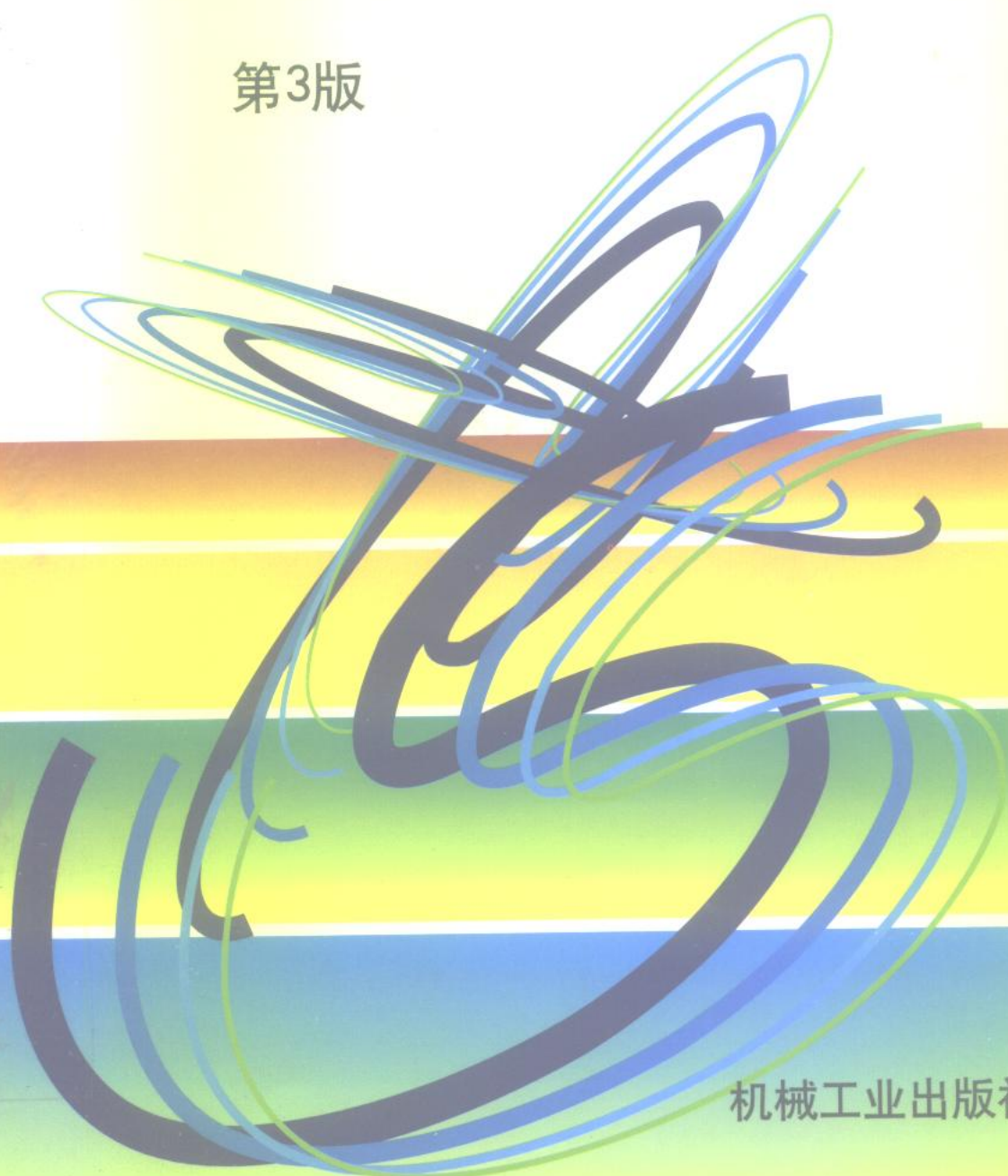
B

普通高等教育机电类规划教材

供电技术

西安理工大学 余健明 同向前 苏文成 编

第3版



机械工业出版社

TM72
Y80
(3)

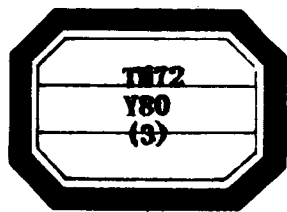
429725

普通高等教育机电类规划教材

供 电 技 术

第 3 版

西安理工大学 余健明 同向前 苏文成 编
合肥工业大学 陆廷信 主审



00429725



机械工业出版社

本书是在原陕西机械学院苏文成教授主编的《工厂供电》第二版的基础上修订编写的,经全国高校工业自动化专业教学指导小组审定更名为《供电技术》。本书仍以供电设计为主线,在论述供电系统的基本原理、工程设计方法和运行维护基本知识的同时,特别注意基本理论的系统性、通用性和实用性,并较多地关注供用电技术发展中与用户相关的重要问题,对供电系统实现变电所的综合自动化,电能质量的分析、计算与改善,节约电能的重要性及其途径等均进行了介绍与讨论。全书共分八章,主要内容包括负荷计算、供配电系统、短路电流计算、电气设备选择与校验、供电系统的继电保护、供电系统变电所的综合自动化、供电系统的电能质量及电气照明等。

本书为高等学校电气工程及其自动化专业以及相近专业的教材,也可供从事有关供用电工作的工程技术人员参考。

供电技术

(第3版)

西安理工大学 余健明 同向前 苏文成 编

*

责任编辑: 贾克勤 版式设计: 冉晓华

封面设计: 姚 毅 责任校对: 李秋荣

责任印制: 路 琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092^{1/16}·印张 16.5·字数 402 千字

1998年5月第3版第18次印刷

印数 203 401—213 400 定价: 18.50 元

*

ISBN 7-111-05920-4/TM·688 (课)

ISBN 7-111-05920-4



9 787111 059202 >

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换



前 言

《工厂供电》的修订本是1990年完成的,距今业已七年。七年来,我国的改革开放逐步深入,国民经济建设规模日益扩大,生产范围及产品品种不断发展更新,原有企业技术改造的要求更加迫切,因而使合理用电、安全用电、节约用电、高质量用电已成为各个行业在建设和改造过程中必须考虑和解决的重要问题之一。其次,随着教育改革的深入,要加强学生进入社会对工作的适应性,在培养阶段必须克服专业面过窄,课程划分过细,某些内容强调过深的旧传统模式,这种要求业已形成全社会广泛的共识。再加随着科技进步,对外开放,供电技术的内容有的业已成熟,有的又有新的发展和规定。综上所述,形势已迫使本书的修订成为当务之急。

本书经工业自动化专业教学指导小组审定,从本版起,改名为《供电技术》。作者认为这次更名是正确的。这是因为数十年来作者从事这一方面的教学和科研工作,认为对用户的供用电,基本上可概括为两大范畴的工作:一是供用电管理,二是供用电技术。后者从基本理论、设计运行等方面,也不管是什么行业,不论是工厂、民用都是雷同的。过去社会上按工厂类型、工业与民用所进行的设计分工早已不复存在便是明证。更换后的本书名,正是为了使用人单位及相关专业的学生都不会产生误解。

本版仍以供电设计为主线,在论述工程设计方法和运行维护基本知识的同时,特别注意基本理论的系统性和实用性,并较多地关注了供用电技术发展中与用户有关的重要问题,如供电系统变电站的综合自动化,电能质量的论述、分析、计算与改善途径等。由于学时数的一限再限,本版对修订版的内容做了较大篇幅的调整与压缩。但是作者认为,对一个分配至供用电单位,并初步接触到供用电技术的学生,只要具备本书所阐述的基本思路,努力实践,深化适应,是完全可以满足工作需要且有所前进的。想法是否恰当,尝试是否合适,均须在实践中进一步考察与验证。

本版考虑到不同学校的性质、历史条件及不同行业在国家不同建设时期的具体要求,仍按50学时编写。各校可根据具体情况必要时适当压缩,如第八章可以由学生自学,第三章部分内容可以通过实习、参观及课程设计等环节补偿。有的内容如综合自动化、供用电质量等还可以在毕业设计中选择或结合相应的题目予以深化和展开。作者认为,供电的学习必须联系实际,必须通过学生进行系统练习环节才能得到初步贯通与掌握。因此,在教学过程中,我校与其他较多学校,根据过去统一的教学计划安排了参观和一周左右的课程设计环节。经验证明,这项措施效果显著,学生收获明显具体。我们认为这些环节的安排,在减少学时的同时更是必要的,建议各校根据具体情况妥善解决。小节中带*的为选读内容。

本版在西安理工大学苏文成教授的主持下,由余健明副教授主编(编写第二、四、五、六章),同向前副教授协编(编写第一、三、七章)。第八章由苏文成编写。编者对过去与现在一贯支持编写及提供资料的同志表示感谢。并对西安理工大学对本书修订给予的关心与支持表示衷心的感谢。

本版由合肥工业大学陆廷信教授主审。他为本书的改进与完善做了大量的、深入细致的

IV

工作，提出了许多宝贵的意见和建议。

由于供电内容越来越广，新产品、新技术越来越多，学时影响篇幅，挂漏在所难免，敬请读者给予批评指正。

编 者

1997年5月

本书常用字符表

一、电气设备的文字符号

文字符号	中文含义	旧符号	文字符号	中文含义	旧符号
APD	备用电源自动投入装置	BZT	PJ	电度表	Wh, varh
ARD	自动重合闸装置	ZCH	PV	电压表	V
B	母线, 汇流排	M	Q	开关	K
C	电容器	C		低压断路器	ZK
F	避雷器	BL	QF	断路器	DL
FU	熔断器	RD	QK	刀开关	DK
G	发电机、电源	F	QL	负荷开关	FK
HL	指示灯、信号灯	XD	QS	隔离开关	GK
K	继电器	J	R	电阻	R
KA	电流继电器	LJ	SA	控制开关	KK
KG	气体继电器	WSJ		选择开关	XK
FR	热继电器	RJ		按钮	AN
	或温度继电器	WJ	T	变压器	B
KL	闭锁继电器	JRJ	TA	电流互感器	LH
KM	中间继电器	ZJ	TAN	零序电流互感器	LLH
	接触器	JC、C	TV	电压互感器	YH
KO	合闸接触器	HC	U	变流器	BL
KS	信号继电器	XJ		整流器	ZL
KT	时间继电器	SJ	V	二极管	D
KV	电压继电器	YJ		晶体管	BG
M	电动机	D		晶闸管	
N	中性线、中性导体	N	XB	连接片	LP
PA	电流表	A	YR	跳闸线圈 (脱扣器)	TQ
PE	保护线、保护导体	—	YO	合闸线圈	HQ
PEN	保护中性线、保护中性导体	N			

二、物理量下角标的文字符号

文字符号	中文含义	旧符号	文字符号	中文含义	旧符号
a	年	n	re	返回	f
a	有功, 有效附加的	a	S	系统	XT
al	允许	Yx	sh	冲击	cj
av	平均	Pj	st	起动	q, qd
c	计算	js	sp	跨步	kp
d	需要	x	T	变压器	B
ql	平衡		t	时间	t
dql	不平衡	bp	TA	电流互感器	LH
e, et	设备	S	tou	[人体] 接触	jc
eq	等效的	dx	TV	电压互感器	YH
k	短路	d	a	吸收	a
LR	电感、电抗器	L	p	反射	p
L	负荷	H	θ	温度	θ
l	导线, 线路	l	τ	透射	τ
M	电动机	D	0	零, 无, 空, 停止, 每(单位)	0
N	额定, 标称	e		起始的	
op	动作, 整定	dz		周围的, 环境的	
rl	实际的				

目 录

前言

本书常用字符表

第一章 绪论 1

第一节 电力系统的基本概念 1

第二节 电力用户供电系统的特点和决定 供电质量的主要指标 5

第三节 供电设计的主要内容 7

习题 7

第二章 负荷计算 9

第一节 计算负荷的意义及计算目的 9

第二节 确定计算负荷的系数 12

第三节 求计算负荷的方法 15

第四节 工厂供电系统功率因数的确定 19

第五节 供电系统功率因数的改善及电能 节约 20

习题 31

第三章 供电系统 33

第一节 电压的选择 33

第二节 变电所的设置和变压器的选择 37

第三节 变电所的电气主接线 43

第四节 变电所的二次接线 51

第五节 高压配电网的接线方式 55

第六节 低压配电系统 58

第七节 高低压配电网的结构和导线 截面选择 59

第八节 供电系统的方案比较 67

习题 68

第四章 短路电流计算及电气设备的

选择与校验 70

第一节 概述 70

第二节 无限大容量电源系统供电时短路过 程的分析 70

第三节 无限大容量电源条件下短路电流的 计算方法 74

第四节 低压电网中短路电流的计算 79

第五节 不对称短路电流的计算方法 84

第六节 感应电动机对短路电流的影响 88

第七节 供电系统中电气设备的选择及 校验 89

习题 99

第五章 供电系统的保护 101

第一节 继电保护装置的概念 101

第二节 继电保护装置的操作电源 103

第三节 电流互感器的误差曲线及 接线方式 106

第四节 供电系统单端供电网络的保护 108

第五节 变压器的保护 119

第六节 低压配电系统的保护 126

第七节 供电系统的备用电源自动投入及 自动重合闸装置 132

第八节 供电系统的防雷与接地 135

习题 157

第六章 供电系统变电所的综合

自动化 159

第一节 概述 159

第二节 变电所综合自动化系统的 基本功能 160

第三节 变电所综合自动化系统的结构 和硬件配置 162

第四节 供电系统的微机保护 174

习题 182

第七章 供电系统的电压质量 183

第一节 电压偏差及其调节 183

第二节 电压波动和闪变及其抑制 187

第三节 高次谐波及其抑制 199

第四节 供电系统的三相不平衡 212

习题 215

第八章 电气照明 217

第一节 概述 217

第二节 合理选择光源 219

第三节 灯具的选择和布置 221

第四节 照度计算 223

第五节 室外照明 227

第六节 照明配电 229

习题 230

附录 部分电器产品技术数据 231

参考文献 258

第一章 绪 论

在目前各种形式的能源中，电能具有如下特点：①易于与其它形式的能源相互转化；②输配简单经济；③可以精确控制、调节和测量。因此，电能工农业生产和人民日常生活中得到广泛应用，生产和输配电能的电力工业相应得到极大发展。作为一名工业电气自动化技术人员，掌握如何安全、可靠、经济、合理地供配电能和使用电能是实现工业电气自动化的重要保证和基础。

第一节 电力系统的基本概念

一、电力系统的构成及特点

绝大多数电力用户由电力公司的电力系统供电。如图 1-1 所示，一个完整的电力系统由分布各地的各种不同类型的发电厂、升压和降压变电所、输电线路及电力用户组成，它们分别完成电能的生产、电压变换、电能的输配及使用。

大容量发电厂按一次能源介质划分为燃煤或燃油的火电厂、利用水位能的水电站、利用核能的核电站等，此外，小容量的太阳能电站、风力发电站等在某些偏远地区和特殊场合也得到推广和应用。

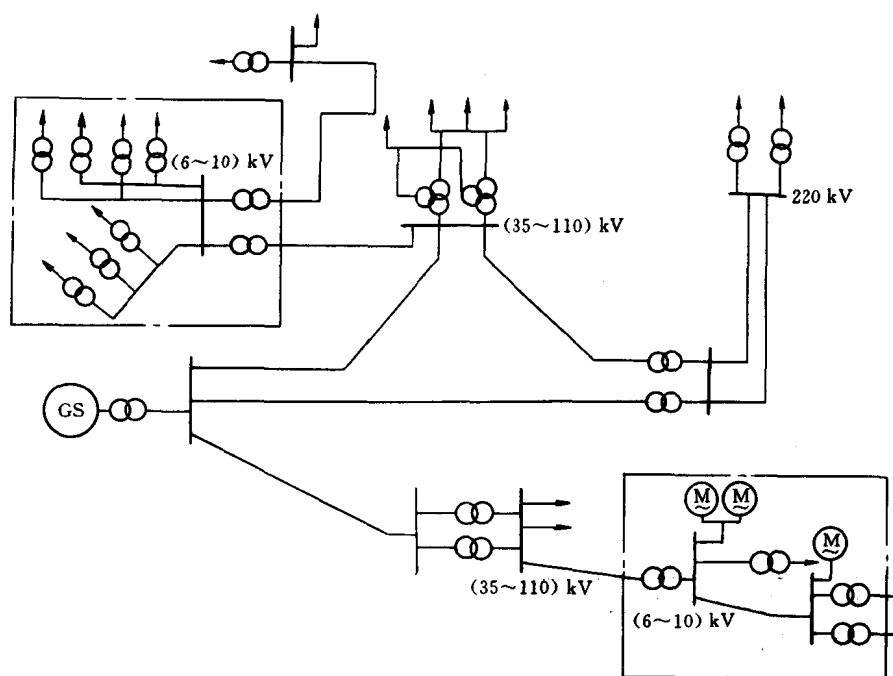


图 1-1 电力系统示意图

随着对用电量和供电质量的要求的不断提高,电力系统规模日益扩大。组成大型电力系统的优点有:

1) 发电量不受地方负荷的限制,可以增大单台机组容量,充分利用地方自然资源,提高发电效率,降低电能成本。

2) 利用各类电厂工作特点(水电站的多水和枯水季节、火电厂热能的充分利用),合理地分配负荷,使系统在最经济的条件下运行。

3) 在减少备用机组的情况下,还能提高对用户供电的可靠性。

高压输电具有节约电能、节约有色金属和提高电压质量等优点,随着大型电厂的建设和输电距离的增加,要求逐步提高输电电压。目前,某些国家输电电压已达到 750kV,我国也已达 500kV。根据国民经济发展的需要,我国电力部门正在根据国情从技术经济等方面研究更高电压的输电问题。

电能的生产、输配和使用始终处于动态平衡之中。若电能供需出现不平衡,将导致电源频率出现偏差,发电控制设备正是根据这一特点来动态调节发电机出力以维持电能的供需平衡。当系统出力严重不足或故障时,频率偏差较大,低频自动减载装置便会自动甩减负荷,以维持电力系统运行的稳定性。

二、电力系统的额定电压

电网电压是有等级的,电网的额定电压等级是根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性以及电气设备的制造水平等因素,经全面分析论证,由国家统一制定和颁布的。我国公布的标准额定电压如表 1-1 所示。

表 1-1 我国交流电力网和电气设备的额定电压

	电力网和用电设备 额定电压	发电机 额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压 V	220/127	230	220/127	230/133
	380/220	400	380/220	400/230
	660/380	690	660/380	690/400
高压 kV	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
	750	—	750	—

注:表中斜线“/”左边数字为三相电路的线电压,右边数字为相电压。

电气设备的额定电压等级与电网额定电压等级相对应。根据电气设备在系统中的作用和位置,电气设备的额定电压简述如下。

1. 用电设备

用电设备的额定电压和电网的额定电压一致。实际上，由于电网中有电压损失，致使各点实际电压偏离额定值。为了保证用电设备的良好运行，国家对各级电网电压的偏差均有严格规定。显然，用电设备应具有比电网电压允许偏差更宽的正常电压范围。

2. 发电机

发电机的额定电压一般比同级电网额定电压高出 5%，用于补偿电网上的电压损失。

3. 变压器

变压器的额定电压分为一次和二次绕组。对于一次绕组，当变压器接于电网末端时，性质上等同于电网上的一个负荷（如工厂降压变压器），故其额定电压与电网一致；当变压器接于发电机引出端时（如发电厂升压变压器），则其额定电压应与发电机额定电压相同。对于二次绕组，额定电压是指空载电压，考虑到变压器承载时自身电压损失（按 5% 计），变压器二次绕组额定电压应比电网额定电压高 5%；当二次侧输电距离较长时，还应考虑到线路电压损失（按 5% 计），此时，二次绕组额定电压应比电网额定电压高 10%。

三、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联结时，其中性点可有两种运行方式：中性点接地和中性点不接地。中性点直接接地系统常称大电流接地系统，中性点不接地和中性点经消弧线圈（或电阻）接地的系统称小电流接地系统。中性点运行方式的选择主要取决于单相接地时电气设备绝缘要求及供电可靠性。图 1-2 列出了常用的中性点运行方式。图中，电容 C 为输电线路对地分布电容。

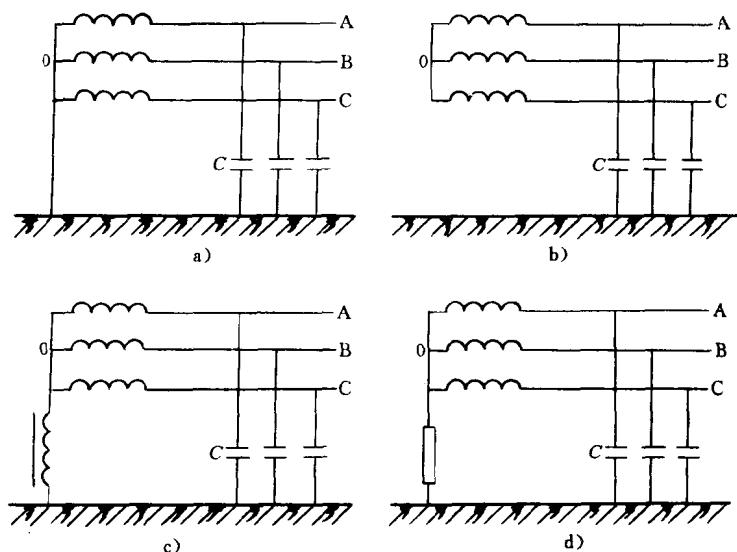


图 1-2 电力系统中性点运行方式

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) 中性点经电阻接地

中性点直接接地方式：当发生一相对地绝缘破坏时，即构成单相短路，供电中断，可靠性降低。但是，该方式下非故障相对地电压不变，电气设备绝缘水平可按相电压考虑。此外，在 380/220V 低压供电系统中，线对地电压为相电压，可接入单相负荷。

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。但是，当发生一相（如 C 相）接地故障时（如图 1-3 所示），各相对地电压和电容电流的变化分析如下。

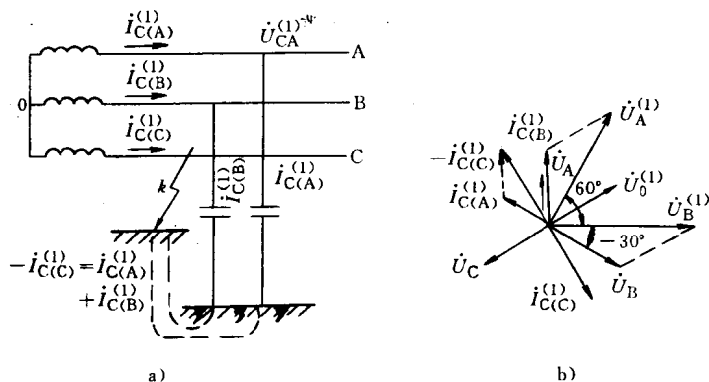


图 1-3 中性点不接地系统发生单相接地故障

a) C 相接地故障 b) C 相接地后电压和电流矢量图

1) 单相接地故障发生后，线间电压 $U_{AB}^{(1)}$ 、 $U_{BC}^{(1)}$ 、 $U_{CA}^{(1)}$ 均保持不变，但故障相对地电压 $U_C^{(1)}$ 、中性点对地电压 $U_0^{(1)}$ 、非故障相对地电压 $U_A^{(1)}$ 、 $U_B^{(1)}$ 分别为

$$\left. \begin{aligned} U_C^{(1)} &= 0 \\ U_0^{(1)} &= -U_C = U_A e^{-j60^\circ} \\ U_A^{(1)} &= U_A + U_0^{(1)} = \sqrt{3} U_A e^{-j30^\circ} \\ U_B^{(1)} &= U_B + U_0^{(1)} = \sqrt{3} U_A e^{-j90^\circ} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} U_C^{(1)} &= 0 \\ U_0^{(1)} &= U_\phi \\ U_A^{(1)} &= \sqrt{3} U_\phi \\ U_B^{(1)} &= \sqrt{3} U_\phi \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 U_ϕ ——正常情况下相电压有效值。

2) 故障发生后，故障相对地电容被短接，非故障相对地电容量不变，各相对地电流分别为

$$\left. \begin{aligned} I_{C(A)}^{(1)} &= U_A^{(1)} \omega C e^{j90^\circ} = \sqrt{3} \omega C U_A e^{j60^\circ} \\ I_{C(B)}^{(1)} &= U_B^{(1)} \omega C e^{j90^\circ} = \sqrt{3} \omega C U_A e^{j0^\circ} \\ I_{C(C)}^{(1)} &= -(I_{C(A)}^{(1)} + I_{C(B)}^{(1)}) = 3 \omega C U_A e^{-j150^\circ} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_{C(A)}^{(1)} &= \sqrt{3} I_{C0} \\ I_{C(B)}^{(1)} &= \sqrt{3} I_{C0} \\ I_{C(C)}^{(1)} &= 3 I_{C0} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 I_{C0} ——正常情况下相线对地电容电流值， $I_{C0} = U_\phi \omega C$ 。

以上分析表明，中性点不接地系统发生单相接地故障时，线间电压不变，而非故障相对地电压升高到原来相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，故障相电容电流增大到原来的 3 倍。因此，对中性点不接地系统应注意：

① 电气设备对地绝缘要求必须按线电压数值来考虑。

② 若单相接地电容电流超过规定值（6~10kV 线路为 30A，35kV 线路为 10A），会产生稳定电弧致使电网出现暂态过电压，危及电气设备安全，这时应采取中性点经消弧线圈或电阻接地的运行方式。

目前，在我国电力系统中，110kV 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；6~35kV 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;低于 1kV 的低压配电系统中,考虑到单相负荷的使用,通常均为中性点直接接地运行方式。

四、高压直流输电

电能的输送方式有交流和直流两种,直流输电主要用于下列方面:

- 1) 跨海输电。远距离跨海输电需采用海底电缆,由于交流线路存在分布电抗和对地分布电容,使电缆中电压升高且不便抑制。若采用直流输电,则不存在此类问题。
- 2) 远距离大容量输电。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等优点,使其更适宜于远距离大容量输电。
- 3) 联接两个不同频率的电网,并可实现定电流控制,限制短路电流。

实际上,今天的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站和交流系统,如图 1-4 所示。若将电能从系统 A 输送到系统 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。

直流系统存在换流装置昂贵、产生高次谐波及直流开关制造困难等缺点。

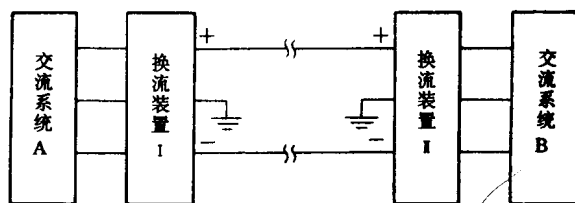


图 1-4 直流输电系统结构示意图

第二节 电力用户供电系统的特点 和决定供电质量的主要指标

一、电力用户供电系统的特点

电力用户供电系统由用户内部变配电所、供电线路和用电设备等组成,其中变配电所是电力系统的一个终端降压变配电所。对于某些大型工业企业,在可靠性要求或技术经济比较合理时,也可建立自备发电站。

电力用户供电系统的供电电压一般在 110kV 以下。

供电系统一经确定,就决定了用户内部用电负荷的供电可靠性和供电质量。充分考虑每个用电设备的工作特点和对供电质量指标的具体要求,设计一个安全、可靠、灵活、经济的供电系统对保证工业企业安全正常生产、节电节能、提高劳动生产率等方面具有重要意义。

二、决定供电质量的主要指标

决定用户供电质量的指标为电压、频率和可靠性。

1. 电压

理想的供电电压应该是幅值恒为额定值的三相对称正弦电压。由于供电系统存在阻抗、用电负荷的变化和用电负荷的性质（如冲击性负荷、非线性负荷）等因素，实际供电电压无论是在幅值上、波形上还是三相对称性上都与理想电压之间存在着偏差。

(1) 电压偏差 电压偏差是指电网实际电压与额定电压之差，实际电压偏高或偏低对用电设备的良好运行都有影响。以照明白炽灯为例，电压升高，则光效高，但寿命减少；电压降低，则光效严重下降。

(2) 电压波动和闪变 电网电压方均根值随时间的变化称为电压波动，由电压波动引起的灯光闪烁对人眼脑产生的刺激效应称为电压闪变。当电弧炉等大容量冲击性负荷运行时，剧烈变化的负荷电流将引起线路压降的变化，从而导致电网发生电压波动。电压波动不仅引起灯光闪烁，还会使电动机转速脉动、电子仪器工作失常等。

(3) 高次谐波 当电网电压波形发生非正弦畸变时，电压中出现高次谐波。高次谐波的产生，除电力系统自身背景谐波外，在用户方面主要由大功率变流设备、电弧炉等非线性用电设备所引起。高次谐波的存在将导致供电系统能耗增大、电气设备尤其是静电电容器过流及绝缘老化加快，并会干扰自动化装置和通信设施的正常工作。

(4) 三相不对称 三相电压不对称指三个相电压在幅值和相位关系上存在偏差。三相不对称主要由系统运行参数不对称、三相用电负荷不对称等因素引起。供电系统的不对称运行，对用电设备及供配电系统都有危害，低压系统的不对称运行还会导致中性点偏移，从而危及人身和设备安全。

2. 频率

我国规定的电力系统标称频率（俗称工频）为 50Hz，国际上标称频率有 50Hz 和 60Hz 两种。由电力系统供电的交流用电设备的工作频率应与电力系统标称频率相一致。为了达到某种特殊目的，有些用电设备需在其它频率下工作，则可配以专用变频电源供电，如高频加热、感应电动机变频调速等。

当电能供需不平衡时，系统频率便会偏离其标称值。频率偏差不仅影响用电设备的工作状态、产品的产量和质量，更重要地影响到电力系统的稳定运行。

用户供电系统的电压频率是由电力系统保证的。我国国标规定，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 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

3. 可靠性

可靠性即根据用电负荷的性质和突然中断其供电在政治或经济上造成损失或影响的程度对用电设备提出的不允许中断供电的要求。按照供电可靠性要求，用电负荷分为下列三级：

(1) 一级负荷 突然停电将造成人身伤亡，或在经济上造成重大损失，或在政治上造成重大不良影响者。如重要交通和通信枢纽用电负荷、重点企业中的重大设备和连续生产线、政治和外事活动中心等。

(2) 二级负荷 突然停电将在经济上造成较大损失，或在政治上造成不良影响者。如突然停电将造成主要设备损坏或大量产品报废或大量减产的工厂用电负荷，交通和通信枢纽用电负荷，大量人员集中的公共场所等。

(3) 三级负荷 不属于一级和二级负荷者。

各级用电负荷的供电方式，应根据负荷对供电可靠性的要求和地区供电条件，按下列原则考虑确定：

1) 一级负荷应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两个不同的地点。

2) 二级负荷应由两回线路供电, 当负荷较小或取得两回线路有困难时, 可由一回专用线路供电。

3) 三级负荷对供电方式无特殊要求。

所谓两个独立电源, 是指任一电源故障时, 不影响另一电源继续供电。当两电源具备下列条件时, 可视为两个独立电源:

1) 两个电源来自不同发电机。

2) 两个电源间无联系, 或虽有联系但能在任一电源故障时自动断开其联系。

第三节 供电设计的主要内容

供电系统的设计是根据电力用户所处地理环境、地区供电条件、工艺和公用工程设计所提用电负荷资料等进行的。供电设计一般分为两个阶段, 初步设计阶段和施工图设计阶段。初步设计主要落实供电电源及供电方式, 确定供电系统方案; 施工图设计阶段则依据初步设计方案具体绘制施工图, 选定电气设备并编制概算。

供电设计的主要内容有:

- 1) 按照工艺和公用工程设计所提供的用电设备资料, 求计算负荷。
- 2) 根据负荷等级和计算负荷, 选定供电电源、电压等级和供电方式。
- 3) 确定功率因数及补偿措施。
- 4) 根据环境和计算负荷, 选择变电所位置、变压器数量和容量。
- 5) 确定变配电所主接线和户外高压配电方案。
- 6) 选择并校验电气设备及配电网路载流导体截面。
- 7) 继电保护系统设计和参数整定计算。
- 8) 确定高压变配电所的控制和调度方式。
- 9) 防雷设计和接地设计。
- 10) 绘制供电系统施工图。
- 11) 核算建设所需器材与总投资。

供电设计是一项综合性技术工作, 涉及内容广泛, 要求设计人员不仅精通供电的基本原理和计算方法, 熟悉高低压电气设备, 还必须具备工艺、建筑、公用工程等方面的基本知识。

本教材以电力用户供电系统的设计为主线, 着重介绍供用电的基本原理、工程计算方法、主要电气设备选择及供电电压质量, 关于供电系统运行和维护知识的学习、供电设计方法和绘图技能的训练, 需要结合供电实习和课程设计等实践性环节来进一步加深理解和掌握。

习 题

- 1-1 试述电力系统的组成及各部分的作用。
- 1-2 电力用户供电系统中常用的额定电压等级有哪些? 试述各种电气设备额定电压存在差别的原因。
- 1-3 统一规定各种电气设备的额定电压有什么意义?
- 1-4 电力系统中性点运行方式有哪几种? 各自的特点是什么?

- 1-5 简述用户供电系统供电质量的主要指标及其对用户的影响。
- 1-6 试述用户供电系统设计的主要内容。
- 1-7 如图 1-5 所示的电力系统，试标出变压器一、二次侧和发电机的额定电压。

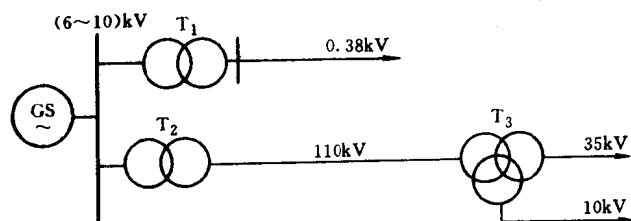


图 1-5 习题 1-7 图

第二章 负荷计算

计算负荷是供电系统设计计算的基础。对于各种类型的用户,由于其供电系统设计的基本原理和方法都是相同的,所以在工程实践中根据不同的计算目的,针对不同类型的负荷,总结出的各种负荷的计算方法具有普遍的意义。因此,本章以工业企业用户为例来论述计算负荷的意义及求计算负荷的方法。

第一节 计算负荷的意义及计算目的

工厂进行电力设计的基本原始资料是工艺部门提供的用电设备安装容量。这些用电设备品种多,数量大,工作情况复杂。如何根据这些资料正确估计工厂所需的电力和电量是一个非常重要的问题。估算的准确程度,影响工厂电力设计的质量,如估算过高,将增加供电设备的容量,使工厂电网复杂,浪费有色金属,增加初投资和运行管理工作量。特别是由于工厂企业是国家电力的主要用户,以不合理的工厂电力需要量作为基础的国家电力系统的建设,将给整个国民经济建设带来很大的危害。但如估算过低,又会使工厂投入生产后,供电系统的线路及电气设备由于承担不了实际负荷电流而过热,加速其绝缘老化的速度,降低使用寿命,增大电能损耗,影响供电系统的正常可靠运行。

求计算负荷的这项工作称作为负荷计算。显然,计算负荷是根据已知的工厂的用电设备安装容量确定的、预期不变的最大假想负荷。这个负荷是设计时作为选择工厂电力系统供电线路的导线截面、变压器容量、开关电器及互感器等的额定参数的依据,所以非常重要。

国内外学者和设计研究人员长期以来对如何准确估算计算负荷的工作非常重视,并已形成以下的一些基本观点。

1) 工厂投产后,供电系统必须首先保证能安全可靠地工作,因此,实际负荷电流通过系统各个元件产生的热量引起的温升,应不超过导体和电气设备在规定使用期间内长期工作的允许温升。从这一要求出发,必须考虑用电设备的工作特征,其中工作制与负荷计算的关系较大,因为不同工作制下,导体发热的条件是不同的。用电设备的工作制可以分为:

连续运行工作制。它是指工作时间较长,连续运行的用电设备,绝大多数用电设备都属于此类工作制。如通风机、压缩机、各种泵类、各种电炉、机床、电解电镀设备、照明等。

短时运行工作制。它是指工作时间很短,停歇时间相当长的用电设备的工作制。如金属切削机床用的辅助机械(横梁升降、刀架快速移动装置等)、水闸用电动机等,这类设备的数量很少。求计算负荷一般不考虑短时工作制用电设备。

断续周期工作制。它是指有规律性的、时而工作,时而停歇,反复运行的用电设备的工作制,如吊车用电动机、电焊用变压器等。

为表征其断续周期的特点,用整个工作周期里的工作时间与全周期时间之比,即用负荷持续率(FC)表示。

$$FC = \frac{t_g}{t_g + t_x} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 t_g ——工作时间；

t_x ——停歇时间；

$t_g + t_x$ ——整个周期时间，不应超过 10min。

对于这类用电设备，在参与负荷计算时，从发热的观点来看，需将铭牌功率按下式换算成 $FC=100\%$ 时的额定持续功率：

对于电动机

$$P_{N \cdot M} = P'_{N \cdot M} \sqrt{FC} \quad (2-2)$$

对于电焊变压器

$$S_N = S'_N \sqrt{FC} \quad (2-3)$$

式中 FC ——铭牌负荷持续率；

$P'_{N \cdot M}$ (S'_N)——换算前铭牌额定功率 (kW) 或 (kV·A)。

2) 用电设备在生产期间的投入运行有很大的随机性，但各种类型的工厂都有其本身的生产规律。所以，从整体来看，用电也必然存在一定的规律性。这就有可能利用已经投运工厂的设备安装容量和实际用电情况的大量资料进行统计、分析，求出相关系数，以便在设计相同类型工厂时参考利用。

由于工厂中用电设备的构成非常复杂，在测定有关数据时，除按上述的工作制进行分类和换算功率外，还应根据用电设备的工作特性将其分成不同类型的组。如金属切削机床组、通风机组、整流设备组、电热设备组等。这种用电设备组的划分方法，经长期应用，证明只要是同一类型的用电设备，即使在不同类型的工厂（如机械、冶金、化工……等）其用电规律也是相近的。由于这一共性，测得数据范围有近似之处。所以，这种分类方法在国际上是通用的。但具体数据，却因各国国情不同而有所差异。

3) 为了求得 2) 中所述的有关系数，需要利用现有生产工厂的电力负荷曲线。

所谓电力负荷曲线就是纵坐标为有功负荷 P （或无功负荷 Q ），横坐标为时间 t ，每隔一定时间间隔 Δt 绘制的负荷变化曲线。负荷曲线所包络的面积，就是工厂在生产期间耗用的电能。图 2-1 为工厂日负荷曲线示例。

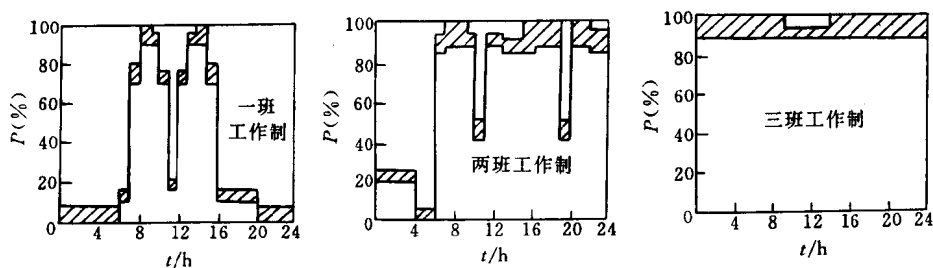


图 2-1 工厂日负荷曲线示例

① 求有关系数的负荷曲线，一般是取用电设备组最大负荷工作班的负荷曲线，所谓最大负荷工作班并不是指偶然出现的最大值的工作班，这种工作班每月应出现 2~3 次。

② 负荷曲线是测量 Δt 时间内的电能消耗量除以 Δt 得到的，所以它是 Δt 时间内有功功