

高等学校教材

工厂供电

(第2版)

第三届机械部优秀教材二等奖

陕西机械学院 苏文成 主编

机械工业出版社

高等学校教材

工厂供电

(第2版)

陕西机械学院 苏文成 主编



机械工业出版社

本书以工厂供电设计为纲，着重基本理论并结合实际，全面、系统地阐述有关工厂供电的基本原理、工程设计计算和运行维护等方面的基本知识。结合近 10 年来工厂供电系统出现的普遍关心的问题，对供电系统设计的技术经济分析方法，节约电能的重要性及其途径，电能质量及其保证监督、改善对策等均进行了总结与讨论。

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂供电/苏文成主编. --2 版. --北京:机械工业出版社,
1999 9

高等学校教材

ISBN 7-111-02316-1

I 工… II 苏… III 工厂-电力系统结构,高等学校-教材
IV. TM727. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 39265 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 贡克勤 赖尚元 版式设计: 张世琴 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 肖 晴 责任印制: 路 琳

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 3 月第 2 版第 19 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 21.5 印张 · 524 千字

209401—215400 册

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

本书是在 1980 年陕西机械学院苏文成主编《工厂供电》一书的基础上, 根据 1984 年全国高等工业院校工业电气自动化专业教材编审委员会福州会议制定的教学计划和《工厂供电》课程的教学大纲修订的。

修订本仍保持了以工厂电力设计为纲, 结合实际, 着重全面阐述工厂供电基本原理的特点, 在内容上较之第一版作了较大的删改, 如取消第一版第二章导线截面选择, 而将内容有机地结合在其具体应用的有关章节中, 以使学生对学以致用选择方法和校验要求更为明确; 考虑到近 10 年来电子计算机在各个方面应用的现状, 以及学生在校学习业已具备的基本知识和技能, 只要熟悉供电原理, 善于结合, 完全有条件运用这一工具编程, 进行设计计算, 因此, 第一版第十章从基础开始讲解其在工厂供电设计中的应用似已无必要, 故也做了删除, 其它内容也根据教学实践进行了一定的删节。另一方面修订本对电能质量和节能, 以及方案可行性的比较等内容还做了适当的加强。作者认为, 随着国民经济的发展和科学技术的进步, 电能质量等问题必将愈来愈突出, 学生在校期间对此应有更多的了解是必要的。

教学计划中列入了《工厂供电》的课程设计和大型作业, 由于近年来这一方面的教学参考书出版较多^①, 叙述论证均较详实, 因而修订本中未列入第一版附录中的课程设计内容。有关院校可根据本专业特点和要求指定学生选用和参考。

高压电气设备的结构及简要原理和变电所的运行操作维护要求, 可以通过实习和参观解决。实践证明, 在学校与城市供电部门和工厂动力部门共同订好计划, 相互配合的前提下, 完全可以满足教学要求, 也可以参阅有关教材^②对实习内容作初步熟悉与了解。

本书由陕西机械学院苏文成主编, 参加编写的人员有余建明 (第五章 §5-9, 第六章, 第七章 §7-1) 邝礼安 (第四章, 第五章), 张永生 (第四章 §4-8), 谢善洲 (第八章)。本书由合肥工业大学陆廷信教授主审。

当前, 能源严重短缺, 合理用电、节约用电的迫切性和必要性已为人们所认识。科学技术的发展, 使用电和节电技术渗透到设计, 运行, 制造, 管理等部门, 其涉及面愈来愈宽, 内容愈来愈深, 与实际联系愈来愈密切, 这都为培养高质量的供用电人才提出更高的要求。然而本书仅能从教学实际出发, 结合国情对工厂供电的基本原理进行阐述, 因学时所限, 有些新内容很难展开, 特别是近 10 年来, 国内外资料浩瀚, 而作者的知识面和资料收集有限, 挂一漏万、缺点错误在所难免, 请读者批评指正。

① 1. 工厂供电设计 李宗纲等编 吉林科技出版社 1985 年
2. 工厂供电课程设计指导书 朱桐成编 同济大学出版社 1986 年
② 工厂供电 刘介才编 机械工业出版社

字符表 1 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	放大器	FD	PE	保护导体, 保护线	—
APD	备用电源自动投入装置	BZT	PEN	保护中性导体, 保护中性线	N
C	电容; 电容器	C	PJ	电度表	Wh, varh
F	避雷器	BL	PV	电压表	V
FU	熔断器	RD	Q	开关	K
G	发电机; 电源	F	QA	低压断路器 (自动开关)	ZK
GN	绿色指示灯	LD	QF	断路器	DL
HDS	高压配电所	GPS	QK	刀开关	DK
HL	指示灯; 信号灯	XD	QL	负荷开关	FK
HSS	总降压变电所	ZBC	QM	手力操作机构辅助触点	—
K	继电器	J	QS	隔离开关	GK
KA	电流继电器	LJ	R	电阻	R
KG	气体继电器	WSJ	RD	红色指示灯	HD
FR 或 KH	热继电器或温度继电器	RJ, WJ	RP	电位器	W
KL	闭锁继电器	JRJ	S	电力系统	XT
KM	中间继电器	ZJ		启辉器	S
KM	接触器	JC, C	SA	控制开关	KK
KO	合闸接触器	HC		选择开关	XK
KP	极化继电器或功率继电器	JHJ, GFJ	SB	按钮开关	AN
KS	信号继电器	XJ	STS	车间变电所	CBS
KT	时间继电器	SJ	T	变压器, 电力变压器	B
KU	脉冲继电器	XMJ	TA	电流互感器	LH
KV	电压继电器	YJ	TAN	零序电流互感器	LLH
KZ	阻抗继电器	ZKJ	TM	电力变压器	B
L	电感	L	TV	电压互感器	YH
	电抗器		U	变流器	BL
	电感线圈	L		整流器	ZL
M	电动机	D	V	二极管	D
N	中性导体, 中性线	N		晶体管	BG
PA	电流表	A		晶闸管	

(续)

文字符号	中文含义	旧符号	文字符号	中文含义	旧符号
<i>B, BB</i>	母线, 汇流排	<i>M</i>	<i>BV</i>	电压小母线	<i>YM</i>
<i>BAS</i>	事故音响信号小母线	<i>SYM</i>	<i>X</i>	电抗	<i>X</i>
<i>BC</i>	控制电路电源小母线	<i>KM</i>	<i>XT</i>	端子板	—
<i>BF</i>	闪光信号小母线	<i>SM</i>	<i>XB</i>	连接片	<i>LP</i>
<i>BFS</i>	预报信号小母线	<i>YBM</i>	<i>YA</i>	电磁铁	<i>DC</i>
<i>BL</i>	灯光信号小母线	<i>DM</i>	<i>YR</i>	跳闸线圈 (脱扣器)	<i>TQ</i>
	线路 (导线)	<i>l</i>	<i>YO</i>	合闸线圈	<i>HQ</i>
<i>BO</i>	合闸电路电源小母线	<i>HM</i>	<i>ARD</i>	自动重合闸装置	<i>ZCII</i>
<i>BS</i>	信号电路电源小母线	<i>XM</i>			

字符表 2 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
<i>a</i>	年	<i>n</i>	<i>ec</i>	经济	<i>jī</i>
	有功, 有效附加的	<i>a</i>	<i>eq</i>	等效的	<i>dx</i>
<i>Al</i>	铝 (化学元素)	<i>Al</i>	<i>e</i>	有效的 (非均方根含义)	
<i>al</i>	允许	<i>Yx</i>	<i>es</i>	电动稳定	<i>dw</i>
<i>a_e</i>	平均	<i>Pj</i>	<i>FE</i>	熔体	<i>RT</i>
<i>C</i>	电容; 电容器	<i>C</i>	<i>Fe</i>	铁 (化学元素)	<i>Fe</i>
<i>c</i>	计算	<i>js</i>	<i>FU</i>	熔断器	<i>RD</i>
<i>cab</i>	电缆	<i>L</i>	<i>h</i>	高度	<i>h</i>
<i>c_r</i>	临界	<i>lj</i>	<i>H</i>	热脱扣器	<i>R</i>
<i>Cu</i>	铜 (化学元素)	<i>Cu</i>	<i>i</i>	电流	<i>i</i>
<i>d</i>	需要	<i>x</i>		任意常数	<i>i</i>
	差动	—			<i>ix</i>
<i>dec</i>	减少 (减光)	(<i>ig</i>)	<i>k</i>	短路	<i>d</i>
<i>ql</i>	平衡		<i>KA</i>	继电器	<i>J</i>
<i>dql</i>	不平衡	<i>bp</i>	<i>L</i>	电感, 电抗器	<i>L</i>
<i>E</i>	接地	<i>jd</i>		负荷	<i>H</i>
<i>e, α</i>	设备	<i>S</i>	<i>L</i>	灯	<i>D</i>
<i>l</i>	线、线路	<i>l</i>	<i>sp</i>	跨步	<i>kp</i>
	长 [时间]		<i>T</i>	变压器	<i>B</i>
<i>M</i>	电动机	<i>D</i>	<i>t</i>	时间	<i>t</i>

(续)

文字符号	中文含义	旧符号	文字符号	中文含义	旧符号
<i>m, max</i>	最大	<i>m, max</i>	<i>TA</i>	电流互感器	<i>LH</i>
<i>min</i>	最小	<i>min</i>	<i>tou</i>	[人体]接触	<i>jc</i>
<i>N</i>	额定, 标称	<i>e</i>	<i>TV</i>	电压互感器	<i>YH</i>
<i>n</i>	数目	<i>n</i>	<i>x</i>	某-数值	<i>n</i>
<i>nat</i>	自然的	<i>zr</i>			<i>jc</i>
<i>OL</i>	过负荷	<i>gh</i>	<i>a</i>	吸收	<i>a</i>
<i>op</i>	动作	<i>t</i>	ρ	反射	ρ
<i>OR</i>	过流脱扣器	<i>TQ</i>	θ	温度	θ
<i>QA</i>	自动开关	<i>ZK</i>	Σ	总和, 综合	Σ
<i>rl</i>	实际的		τ	透射	τ
	无功, 无效	<i>r</i>	φ	相	φ
<i>RC</i>	室空间	<i>RC</i>	0	零, 无, 空	0
<i>re</i>	返回, 复归	<i>f</i>		停止, 停歇	
<i>S</i>	系统	<i>XT</i>		每(单位)	
<i>s</i>	短(时间)	—		中性线, 零线	
<i>saj</i>	安全	—		起始的	
<i>sh</i>	冲击	<i>cj</i>		周围的, 环境的	
<i>st</i>	起动	<i>q, qd</i>		瞬时	

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
§ 1-1 电力系统的概念	1
§ 1-2 电网的额定电压	2
§ 1-3 工厂供电系统的特点和决定供电质 量的主要指标	3
§ 1-4 工厂供电设计的主要内容	6
习题	7
第二章 负荷计算	8
§ 2-1 计算负荷的意义及计算目的	8
§ 2-2 确定计算负荷的系数	11
§ 2-3 求计算负荷的方法	16
§ 2-4 负荷计算方法应用范围的评价	21
§ 2-5 单相用电设备计算负荷的确定	22
§ 2-6 供电系统的功率损耗与电能损耗	23
§ 2-7 全厂功率因数的确定	24
§ 2-8 按经济电流密度选择导线截面	25
习题	27
第三章 工厂供电系统	29
§ 3-1 工厂供电系统的方案比较	29
§ 3-2 电压的选择	32
§ 3-3 变电所位置及变电所中变压器容量 和数量的选择	36
§ 3-4 变电所的主接线图	45
§ 3-5 变电所的二次接线	54
§ 3-6 工厂高压配电网	60
§ 3-7 工厂 380V 以下配电系统及结构	70
§ 3-8 工厂供电系统的可靠性分析	73
习题	77
第四章 短路电流计算及电气设备的选 择与校验	79
§ 4-1 概述	79
§ 4-2 短路过程的简单分析	79
§ 4-3 对称短路电流的计算方法	83
§ 4-4 无穷大功率电源条件下短路电流的 计算	87
§ 4-5 感应电动机对短路电流的影响	89
§ 4-6 低压电力线路中短路电流的计算	90
§ 4-7 不对称短路的计算方法*	94
§ 4-8 交一直流供电系统整流装置短路 故障的分析*	103
§ 4-9 短路电流的力效应和热效应	109
§ 4-10 供电系统中电气设备的选择及校 验	115
习题	122
第五章 工厂供电系统的保护及供电自 动化	125
§ 5-1 继电保护装置的概念	125
§ 5-2 继电保护装置的操作电源	128
§ 5-3 电流互感器的误差曲线及接线 方式	132
§ 5-4 工厂供电系统单端供电网络的 保护	134
§ 5-5 变压器保护	150
§ 5-6 母线保护	161
§ 5-7 工厂供电系统的备用电源自动投入 及自动重合闸装置	162
§ 5-8 工厂低压供电系统的保护	167
§ 5-9 工厂供电系统的防雷与接地	174
习题	208
第六章 节约电能与提高工厂供电系统 的功率因数	210
§ 6-1 工厂企业中的电能节约	210
§ 6-2 工厂的功率因数及对供电系统的影 响	219
§ 6-3 提高自然功率因数	221
§ 6-4 功率因数的人工补偿	233
习题	247
第七章 工厂供电系统的电压质量	248
§ 7-1 电压的偏移及调节	248
§ 7-2 电压波动及其抑制	259
§ 7-3 供电系统中的高次谐波及其抑制	273
§ 7-4 供电系统中的不平衡负荷	281
习题	286

第八章 工厂照明	288	§ 8-7 厂区照明	303
§ 8-1 工厂照明概述	288	§ 8-8 照明配电	304
§ 8-2 良好视看条件的建立	289	§ 8-9 照明经济分析	306
§ 8-3 合理选择光源	291	习题	307
§ 8-4 灯具的选择和布置	293	附录 部分电器产品技术数据	308
§ 8-5 照明方式与照明种类的确定	296	参考书目	336
§ 8-6 照度计算	296	注：小节标题后有（*）号者为选读部分	

第一章 绪 论

§ 1-1 电力系统的概念

工厂供电系统是电力系统的主要组成部分，它是电能的主要用户，根据几个工业国家的统计，工厂用电量约占全国发电量的 50% 甚至 70% 以上。

绝大多数的工厂都由国家电力系统供电，图 1-1 为电力系统的示意图。所谓电力系统，就是包括不同类型的发电机，配电装置，输、配电线路，升压及降压变电所和用户，它们组成一个整体，对电能进行不间断的生产和分配。组成电力系统的目的是：

(1) 不受地方负荷的限制，可以增大单位机组的容量，而大容量的机组效率比小容量的高；

(2) 可以充分利用地方资源（水、燃料），减少运输工作量，降低电能成本；

(3) 利用电厂工作的特点（水电站的多水与枯水季节，火电厂热能的充分利用等），合理地分配负荷，使系统在最经济的条件下运行；

(4) 在减少备用机组的情况下，能增加对用户供电的可靠性。例如在局部系统发生故障时，可用切除部分次要负荷的办法，保证主要用户不间断供电的可能。

随着大型水、火电厂的建设和送电距离的增加，送电电压逐步提高，60 年代末期，若干工业国家的电压业已达到 750kV，目前，有的国家正在研究 1000 ~ 1500kV 超高压交流送电

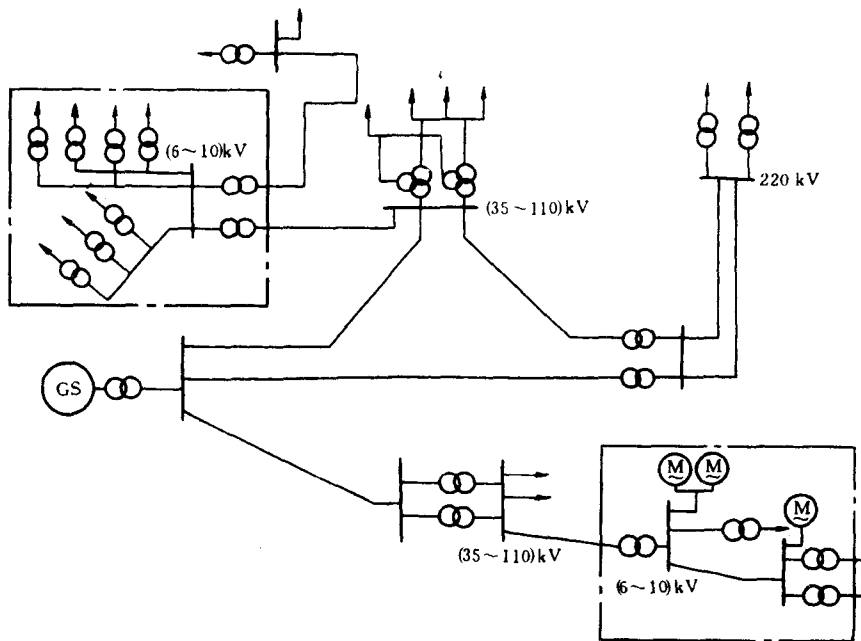


图 1-1 电力系统示意图

技术。我国在 1985 年建成了第一条 500kV 高压送电线路。根据国民经济发展的需要，更高电压的送电线路的研究正在进行中。

提高送电电压将增大送电容量和距离，节约有色金属，降低线路造价，减少电压损耗，提高电压质量，降低送电线路功率及能量损耗。但是否采用高一级电压等级，是根据发展中的送电容量及距离、高压技术、高压设备的制造能力等因素，进行技术经济比较而决定的。

§ 1-2 电网的额定电压

电网额定电压的等级，是根据国民经济发展的需要，技术经济上的合理性，以及电机电器制造工业的水平等因素，经全面研究分析，由国家制定颁布的。额定电压的等级不宜太多，否则送变电容量重复较多，使线损及无功损耗大，不易实现电机、变压器及其它用电设备的标准化生产，电网的接线也比较复杂零乱。我国公布的标准额定电压列表如表 1-1。

表 1-1 我国交流电力网和电力设备的额定电压

单位： 低压为 V
高压为 kV

	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	220/127	230	220/127	230/133
	380/220	400	380/220	400/230
	660/380	690	660/380	690/400
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
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。

额定电压是用电设备（电动机、白炽灯等）、发电机和变压器正常工作时具有最好技术经济指标的电压，显然，对用电设备来说，它的额定电压应和电网的电压一致。那么，发电机的额定电压和变压器一次绕组和二次绕组的额定电压又是根据什么决定的呢？

发电机的额定电压高于电网和用电设备的额定电压值是因为考虑到线路在输送负荷电流时必然产生电压损失，发电机的额定电压比电网电压高 5% 便是为了补偿电网上的电压损失，例如电网的额定电压为 10kV，则发电机的额定电压为 10.5 kV。

至于变压器的二次额定电压比电网和用电设备的额定电压高 10%，其原因是变压器的二次额定电压是指空载电压而言，当变压器通过额定负荷电流时，变压器绕组的电压损失约为电网额定电压的 5%，和发电机一样，它仍应比用电设备电压高 5% 左右，以补偿电网上的电压损失。另外，由于变压器的一次绕组都联接在对应于某一级额定电压电网的末端，性

质上属于电网的一个负荷，所以它的额定电压与用电设备的额定电压相同。但如果变压器接在发电机的引出端（例如升压变压器），其一次绕组的电压应与发电机的额定电压相适应，即比电网额定电压高 5%。

用电设备的额定电压虽然规定得与电网的额定电压相一致，但电网中由于电压损失的影响，处处电压是不一样的，如图 1-2 所示。而且由于负荷的变化，电压损失也不可能维持在一个恒定的数值，所以要使加于用电设备处的电网电压与用电设备的额定电压

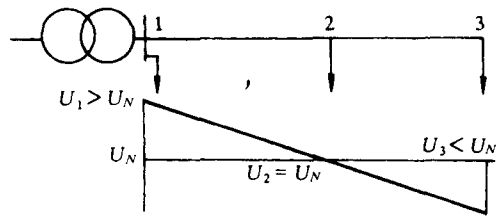


图 1-2 供电线路上的电压变化示意图

始终相同，既很困难，也无必要，所以一些国家规定低压用户供电电压变动不超过 $\pm 5 \sim 6\%$ ，高压用户根据负荷大小的不同，一般不超过 $\pm 5 \sim 7\%$ ^①，这也就是电源电压维持比电网电压高 +5% 的原因，因为在这种情况下，所有接在该级电网上的用电设备，都能够在其额定电压相接近的情况下工作。

有时供电电压的变动值超过了上述规定，其主要原因是：用户的负荷由发电机通过电网供给，当电流流经各级送变电设备时，产生了较大的电压损失，其次，电网运行时没有调压设备，由于电力潮流的变化，也会造成用户的电压过低。

§ 1-3 工厂供电系统的特点和决定供电质量的主要指标

工厂变电所是终端降压变电所。

工厂电网一般是 110kV 及以下的地方电网（图 1-1 中虚线框所示部分）。

工厂的电源绝大多数是由国家电网供电的，但在下述情况时，也可以建立工厂自用发电厂：

- (1) 距离系统太远；
- (2) 本工厂生产及生活需要大量热能；
- (3) 本工厂有大量重要负荷，需要独立的备用电源；
- (4) 本工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，作为解决第二电源的措施，发电机的原动机可利用柴油机或其他小型动力机械。大型工厂，若符合上述条件时，一般建设热、电并供的热电厂，机组台数不超过两台，容量一般不超过 25000kW/台。

决定工厂用户供电质量的指标为：(1) 电压；(2) 频率；(3) 可靠性。

1. 电压

加于用电设备端的电网实际电压与用电设备的额定电压差别较大时，对用户设备的危害很大，以照明用的白炽灯为例，当加于灯泡的电压低于其额定电压时，发光效率降低，发光效率的降低使工人的身体健康受影响，也会降低劳动生产率。当电压高于额定电压时，则使灯泡经常损坏。例如某工厂由于夜间电压比灯泡额定电压高 5~10%，致使灯泡损坏率达 30% 以上。表 1-2 列出端电压与灯泡光通量和寿命的关系。

① 我国 1983 年颁布的全国供用电规则规定：“10kV 及以下高压供电和低压电力用户为额定电压的 $\pm 7\%$ ，低压照明用户为额定电压的 +5%，-10%”。

表 1-2 白炽灯光通量与寿命和端电压的关系^①

电网电压 灯泡额定电压	110	105	100	95	90
光通量 额定光通量	135	120	100	82	68
使用时数 额定使用时数	30	55	100	150	360

① 表中数值为百分数

其他电光源当电压降低时，也发生类似情况，如电压降低 10%，日光灯亮度约减少 10%，水银荧光灯亮度减少 10~30%，日光灯寿命缩短 10% 以上。又如电压降低 20%，日光灯不能启动，水银荧光灯启动频繁，使用寿命缩短。

对电动机而言，当电压降低时，转矩急剧减小。例如当电压降低 20%，转矩将降低到额定值的 64%，电流增加约 20~35%，温度升高约 12~15℃，转矩减小，使电动机转速降低，甚至停转，导致工厂产生废品甚至招致重大事故，感应电动机本身，也将因为转差率增大致使有功功率损耗增加，线圈过热，绝缘迅速老化，甚至烧坏。

某些电热及冶炼设备对电压的要求非常严格，电压降低使生产率下降，能耗显著上升，成本增高。

电网容量扩大和电压等级增多后，保持各级电网和用户电压正常是比较复杂的工作，因此，供电单位除规定用户电压质量标准外，还进行无功补偿和调压规划的设计工作，以及安装必要的无功电源和调压设备，并对用户用电和电网运行也作了一些规定与要求。

以上谈到的是对供电电压的量上的要求，还有由于供电电压畸变，不是正弦波形的问题。

近年来，由于大型可控整流装置的利用，引起供电系统中电压、电流出现高次谐波。这种高次谐波产生的谐波压降，使发电机端电压波形畸变，增加附加损耗，促使绝缘老化，从而使维护管理工作量增加，且对工厂用户产生严重的影响。如由于高次谐波电流使电网电流有效值增加，电阻也因集肤效应的影响而相应增大，致使电网中产生附加功率及能量损耗；高次谐波电流加大了旋转电机、变压器、电缆等电气元件中绝缘介质的电离过程，使其发热量增加，寿命降低；特别是对静电电容器，高频电流使其发热量超过正常值，绝缘老化过程加速。元件绝缘的老化，比较容易发生接地故障，从而降低了用户用电的可靠性。高次谐波电流除对电气设备产生不良影响外，而且也波及到自动化、远动、通讯，使它们的质量和都受到干扰和破坏。

目前，作为抑制供电系统高次谐波的重要措施有：(1) 采用多相整流的整流装置；(2) 限制系统中接入的整流装置最大功率；(3) 在整流装置高压侧加 $L-C$ 谐振回路，使整流器产生的高次谐波电流大部分流入谐振回路；(4) 采用电力电子技术实现有源滤波。

三相电压与电流的不对称也是电能质量的重要指标之一。电压与电流的不对称有短时的和持续的两种。短时的不对称往往伴随电力系统的故障而产生。持续的不对称则是由于电力系统运行参数不对称、用户采用大功率单相用电设备、以及三相用电设备工作不对称引起。供电系统的不对称运行，对发电设备、用电设备、自动控制及保护系统、通信信号等均会产生不良的影响。在低压供电系统中，不对称的电压和电流会形成三相中性点的偏移，从而危及人身及用电设备的安全和寿命。三相交流系统在设计中对单相用电设备必须尽量采用对称

布局的方法，也设计了专用的装置以消除用电系统的不对称现象（见 § 7-4）。

2. 频率

我国工业上的标准电流频率为 50Hz，除此而外，在工厂的某些方面有时采用较高的频率，以减轻工具重量，提高生产效率，加热零件。如汽车制造或其他大型流水作业的装配车间采用频率为 175~180Hz 的高频工具。某些机床采用 400Hz 的电机以提高切削速度。锻压、热处理及熔炼利用高频加热等。

电网低频率运行时，所有用户的交流电动机转速都将相应降低，因而许多工厂的产量和质量都将不同程度地受到影响。例如频率降至 48Hz 时，电动机转速降低 4%，冶金、化工、机械、纺织、造纸等工业的产量相应降低，有些工业产品的质量也受到影响，如纺织品出现断线、毛疵，纸张厚薄不匀，印刷品深浅不规律，计算机发生误计算和误打印，信号误表示等。

频率的变化对电力系统运行的稳定性影响很大，因而对频率的要求要比对电压的要求严格得多，一般不得超过 $\pm 0.5\%$ 。

由电力系统变电所供电的工厂，其频率是由电力系统保证的，即在任一瞬间：

$$P_f = P$$

式中 P_f ——电源发出的有效功率；

P ——用户负荷所需的有效功率。

当重大事故发生时， $P_f \neq P$ ，以致影响到频率的质量，电力系统往往按照频率的降低范围，切除某些次要负荷，这是一套自动装置，称为在故障情况下，自动按频率减负荷装置。

3. 可靠性

可靠性即根据用电负荷的性质和由于事故停电在政治、经济上造成损失或影响的程度对用电设备提出的不中断供电的要求。用电负荷分为下列三级：

(1) 一级负荷

1) 中断供电将造成人身伤亡者；

2) 中断供电将在政治、经济上造成重大损失者。如：重大设备损坏，重大产品报废，用重要原料生产的产品大量报废，国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等；

3) 中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作者。如：重要铁路枢纽，重要通信枢纽，重要宾馆，经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。

(2) 二级负荷

1) 中断供电将在政治、经济上造成较大损失者。如：主要设备损坏，大量产品报废，连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复，重点企业大量减产等；

2) 中断供电将影响重要用电单位的正常工作者。如：铁路枢纽、通讯枢纽等用电单位中的重要电力负荷，以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等大量人员集中的重要的公共场所秩序混乱者。

(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，应根据地区供电条件，按下列情况考虑决定：

一级负荷应由两个独立电源供电，有特殊要求的一级负荷，两个独立电源且应来自不同的地点。

二级负荷的供电系统，应尽量做到当发生电力变压器故障或电力线路常见故障时不致中断供电（或中断后能迅速恢复）。在负荷较小或地区供电条件困难时，二级负荷可由一回6kV及以上专用架空线供电。

三级负荷对供电电源无特殊要求。

独立电源的要求是：发生任何一种故障时，两个电源的任何部分不致同时受到损坏，满足这种要求的条件是：

电源来自不同的发电机。

电源来自发电厂、变电所的不同母线段，母线分段之间无联系，或虽有联系，但在其中一段发生故障时，能自动将其联系断开，不影响另一段母线继续供电。

负荷分级问题非常复杂，同样的生产机械，但不同容量，或设置于不同工厂，其分级就可能不同，某些一级负荷也可以有极小间隙停电的可能，因此，必须对各个工厂、不同设备的使用情况进行实事求是的调查分析。

70年代以来，利用可靠性技术的基本理论，对工厂供电系统的可靠性研究与分析的整体量化工作，并取得了一定的进展。

§ 1-4 工厂供电设计的主要内容

工厂供电设计是按照国家对工厂所规定的产品纲领，根据工艺、公用所提供的资料进行的。

设计一般分为两个阶段，即：扩大初步设计阶段及施工图设计阶段。扩大初步设计的主要内容有：

- (1) 按照工艺、公用设计所提供的资料，计算车间及全厂的计算负荷；
- (2) 根据车间环境及计算负荷数字，选择车间变电所位置及变压器容量、数量；
- (3) 根据负荷等级，全厂计算负荷，选定供电电源、电压等级及供电方式；
- (4) 选择总降压变电所（配电所）位置、变压器台数及容量；
- (5) 确定总降压变电所（配电所）接线图和厂区内的高压配电方案；
- (6) 选择高压电气设备及配电网路载流导体的截面，必要时，并需进行短路条件下动稳定及热稳定的校验；
- (7) 选择继电保护及供电系统的自动化方式，进行参数的整定计算；
- (8) 提出变电所和工厂建筑物的防雷措施、接地方式及接地电阻的设计计算；
- (9) 确定提高功率因数的补偿措施；
- (10) 选定高压变电所的控制及调度方式；
- (11) 核算建设所需器材与总投资。

扩大初步设计是工厂供电系统设计的主干，需经设计领导机关的批准。至于施工图设计，则是按照批准后的扩大初步设计，进行包括车间供电系统及照明等单项的施工图样的绘制。

要把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国，工厂供电是工业电气自动化的一个有机组成部分。作为培养一个工业电气自动化技术人员的要求来

说, 不只应当熟悉怎样以电气手段, 实现生产设备和生产过程的自动化, 而且, 必须了解怎样才能可靠、安全地获得电能, 怎样才能合理、经济地利用国家的电能资源。

工厂供电系统既是电力系统的一个组成部分, 必然要反映电力系统各方面的理论和要求, 并如何恰当地运用在工厂供电的设计、维护运行之中, 它当然要受到电力系统工作情况的影响和制约。但工厂供电系统和电力系统不同, 它主要反映工厂用户的特点和要求。如工厂的电力负荷如何计算; 怎样实现电能的合理利用和节约; 减少用地面积的新型变电所结构; 大型及特种设备的供电问题; 厂内采用集中控制和调度技术的合理性问题等等, 这些问题中有的对电力系统的安全和经济运行关系密切, 有的则为了保证用户的高质量用电。近些年来由于能源紧缺、科技进步, 计划用电、节约用电、安全用电受到了普遍的重视, 工厂供电的讨论内容也较之过去更为广泛, 如供电方案的可行性研究; 低耗能、高性能、便于安装维护快速施工的新型电气设备及配电电器的选用; 我国现行接地保护方式与国际标准协调的研讨; 现正运行的用户变电所变压器的合理使用; 以及计算机用于工厂供电系统的辅助设计及监控等都已在国内引起热烈的讨论。由于非线性负荷的增加, 设备容量的增大, 铁道电气化的发展, 使广大用户对电能质量的要求更加重视, 例如对电压和功率因数的改善和提高, 谐波危害的抑制和消除, 都引起了更多的科技工作者的研究。用电管理, 电能的优化分配问题也已提到了日程。所有这些, 都与国民经济各部门的发展密切相关, 随着改革的深入, 将会更进一步地显示供电学科的重要性。因此, 为设计机构、工厂企业, 培养大批技术人员, 从事工厂供电方面的研究、设计和维护管理工作, 是非常必要的。

工厂供电的内容比较广泛, 因此, 本教材针对工厂供电系统的主要问题, 作较全面的介绍, 以供电设计为主, 着重从基本原理、基本工程计算方法叙述, 其目的要使读者全面了解工厂供电系统的主要内容和设计步骤, 能正确地选择设备、载流导体及保护装置, 并能熟悉供电系统运行维护的主要问题, 提出改善的途径和措施, 对工厂供电急待研究解决的方向性问题, 也能有所了解。

习 题

- 1-1 试述工业企业供电系统的构成。
- 1-2 工业企业供电系统的常用额定电压等级及选取额定电压等级时应考虑的因素。
- 1-3 统一规定各种电气设备的额定电压有什么意义? 发电机、变压器、用电设备以及电网的额定电压有无差别? 差别的原因是什么?
- 1-4 简述工厂供电系统电能质量的主要指标及其对用户的影响。
- 1-5 试述工厂供电设计的主要内容。
- 1-6 如图 1-3 所示的电力系统, 标出变压器一、二次侧及发电机的额定电压。

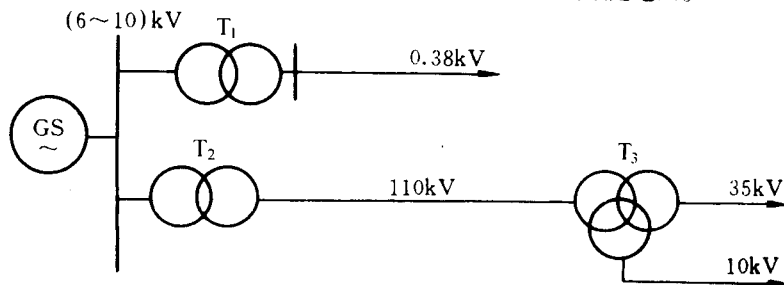


图 1-3 习题 1-6 图

第二章 负荷计算

§ 2-1 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:

1) 连续运行工作制 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。

2) 短时运行工作制 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。

3) 断续周期工作制 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。