

普通高等工科教育机电类规划教材

工厂供电

(第4版)

刘介才 编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TM727.3
6=3

普通高等工科教育机电类规划教材

工 厂 供 电

(第 4 版)

刘介才 编
简克良 审



机械工业出版社

本书是电气自动化专业和电气技术专业教材,为1984年出版以来的修订第4版。

本书共分十章。首先概述工厂供电及电力电源的基本知识,接着系统讲述工厂的电力负荷及其计算,短路电流及其计算,变配电所及一次系统,电力线路,供电系统的过电流保护、二次回路和自动装置,电气安全、接地与防雷,电气照明,最后讲述工厂的电能节约问题。为便于复习和自学,每章末附有复习思考题和习题,书末附有习题参考答案。

本书在第3版的基础上,按照与时俱进和培养技术应用型专门人才的要求,根据我国新颁标准规范进行了全面修订,以增强学生的规范意识,并加强了运行维护等实际知识的内容,增强了教材的针对性和应用性。文字叙述通俗易懂,便于自学。

本书除了可作应用型本科及高职高专教材外,广播电视大学、职工大学、业余大学和中专亦可选用,并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电/刘介才编. —4版. —北京:机械工业出版社,2004.5

普通高等工科教育机电类规划教材

ISBN 7-111-05927-1

I. 工... II. 刘... III. 工厂—供电—高等学校—教材
IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 028920 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:韩雪清 苏颖杰 版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 1 月第 4 版·第 6 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·24.75 印张·581 千字

定价:33.50 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) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是普通高等工科学学校电气自动化专业和电气技术专业的规划教材,为1984年出版以来的修订第4版。

本书也适用于广播电视大学、职工大学和业余大学,中等专业学校也可选用。教材内容可根据专业要求和教学时数自行取舍。

本书共分十章。首先概要地介绍工厂供电及电力电源的有关基本知识,接着系统地讲述工厂的电力负荷及其计算,短路电流及其计算,工厂变配电所及其一次系统,工厂的电力线路,工厂供电系统的过电流保护(包括熔断器保护、低压断路器保护和继电保护),二次回路和自动装置;电气安全、接地与防雷,工厂的电气照明,最后讲述工厂的电能节约问题。为便于学生复习和自学,每章末附有复习思考题和习题,书末附有习题参考答案。为配合教学和习题的需要,书末还附录一些技术数据图表。为便于学生更准确地理解有关专业名词术语的含义,本书对首次出现的一些专业名词术语加注了英文,并在本书前面列有中英含义对照的字符表,供参考。

本书在第3版的基础上,按照与时俱进培养技术应用型专门人才的要求,根据近年来我国新颁的一系列标准规范又进行了全面修订,以培养和增强学生的规范意识,并加强了运行维护等实际知识的内容,而基础理论和设计计算方面以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点,加强教材的针对性和应用性。本书在文字叙述上,力求浅显易懂,便于自学。

本书第1版和第2版,由陕西机械学院苏文成教授主审。本书第3版和这次修订的第4版,由西南交通大学简克良教授主审。简克良教授在这次审阅中提出了许多宝贵的意见,谨在此表示衷心的感谢!

本书的编写和历次修订,先后得到很多单位和个人的大力支持和帮助,亦在此表示诚挚的谢意!

限于本人水平,书中错漏难免,敬请使用本书的广大师生和读者批评指正,本人不胜感激!

编 者

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	英文含义	旧符号
A	装置,设备	device,equipment	Z,SB
A	放大器	amplifier	FD
APD	备用电源自动投入装置	auto-put-into device of reserve-source	BZT
ARD	自动重合闸装置	auto-reclosing device	ZCH
C	电容;电容器	electric capacity;capacitor	C
F	避雷器	arrester,lightning arrester	BL
FD	跌开式熔断器	drop-out fuse	DR
FDL	负荷型跌开式熔断器	drop-out fuse(load-type)	DR(H)
FE	熔体;排气式(管型)避雷器	fuse-element;expulsion-type lightning arrester	RT;GB
FG	保护间隙	protective gap	JX
FMO	金属氧化物避雷器	metal-oxide lightning arrester	JB
FU	熔断器	fuse	RD
FV	阀式避雷器	valve-type lightning arrester	FB
G	发电机;电源	generator;source	F;DY
GB	蓄电池	battery	XDC
GN	绿色指示灯	green indicating lamp	LD
HDS	高压配电所	high-voltage distribution substation	GPS
HL	指示灯,信号灯	indicating lamp, signal lamp	XD
HSS	总降压变电所	head step-down substation	ZBS
K	继电器;接触器	relay;contactor	J;JC
KA	电流继电器	current relay	LJ
KAR	重合闸继电器	auto-reclosing relay	CHJ
KG	瓦斯(气体)继电器	gas relay	WSJ
KH	热继电器	heating relay	RJ
KM	中间继电器;接触器	medium relay;contactor	ZJ;JC
KO	合闸接触器	closing (ON) contactor	HC
KS	信号继电器	signal relay	XJ
KT	时间继电器	time-delay relay	SJ
KV	电压继电器	voltage relay	YJ
L	电感;电感线圈	inductance;inductive coil	L

(续)

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
L	电抗器	reactor	DK
M	电动机	electric motor	D
N	中性线	neutral wire	N
PA	电流表	ammeter	A
PE	保护线	protective wire	—
PEN	保护中性线	protective neutral wire	N
PJ	(有功、无功)电能表	Watt-hour meter, var-hour meter	Wh, varh
Q	电力开关	power switch	K
QF	断路器	circuit-breaker	DL
QK	刀开关	knife-switch	DK
QKF	熔断器式刀开关	fuse-switch	RDK
QL	负荷开关	load-switch	FK
QM	手动操作机构辅助触点	auxiliary contact of manual operating mechanism	—
QS	隔离开关,隔离器	disconnector, isolator	GK
QV	电子(晶体)开关	electro (V) switch	—
R	电阻;电阻器	resistance; resistor	R
RD	红色指示灯	red indicating lamp	HD
RP	电位器	potential meter	W
S	电力系统;电源;起辉器	power system; source; glow starter	XT; DY; S
SA	控制开关;选择开关	control switch; selector switch	KK; XK
SB	按钮	push-button	AN
SQ	位置开关,限位开关	position switch, limit switch	WK, XK
STS	车间变电所	shop transformer substation	CBS
T	变压器	transformer	B
TA	电流互感器	current transformer(CT)	LH
TAN	零序电流互感器	neutral-current transformer	LLH
TM	电力(主)变压器	power(main) transformer	LB
TV	电压互感器	voltage (potential) transformer (PT)	YH
U, UR	整流器	rectifier	ZL
U, UV	逆变器	inverter	NB
UPS	不间断(不停电)电源	uninterrupted power supply	UPS
V, VD	二极管	diode	D
V, VT	晶体(三极)管	transistor, triode	T
W	母线;导线	busbar; wire	M; X
WA	辅助小母线	auxiliary small-busbar	FM
WAS	事故音响信号小母线	accident sound signal small-busbar	SYM
WB	母线	busbar	M

(续)

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
WC	控制小母线	control small-busbar	KM
WF	闪光信号小母线	flash-light signal small-busbar	SM
WFS	预告信号小母线	forecast signal small-busbar	YBM
WL	灯光信号小母线	lighting signal small-busbar	DM
WL	线路	line	XL
WO	合闸电源小母线	switch-on source small-busbar	HM
WS	信号电源小母线	signal source small-busbar	XM
WV	电压小母线	voltage small-busbar	YM
X	电抗	reactance	X
X	端子板,接线板	terminal block	—
XB	连接片;切换片	link;switching block	LP;QP
YA	电磁铁	electromagnet	DC
YE	黄色指示灯	yellow indicator lamp	UD
YO	合闸线圈	closing operation coil	HQ
YR	跳闸线圈,脱扣器	opening operation coil, release	TQ

二、物理量下角标的文字符号

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
a	年	annual, year	n
a	有功	active	yg
Al	铝	Aluminium	Al, L
al	允许	allowable	yx
av	平均	average	pj
C	电容;电容器	electric capacity; capacitor	C
c	计算;顶棚	calculate; ceiling	js; DP
cab	电缆	cable	L
cr	临界	critical	lj
Cu	铜	Copper	Cu, T
d	需要;基准;差动	demand; datum; differential	x; j; cd
dsq	不平衡	disequilibrium	bp
E	地;接地	earth; earthing	d; jd
e	设备;有效的	equipment; efficient	SB; yx
ec	经济的	economic	j, ji
eq	等效的	equivalent	dx
es	电动稳定	electrodynamic stable	dw
Fe	铁	Iron	Fe

(续)

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
<i>h</i>	高度;谐波	height; harmonic	<i>h</i>
<i>i</i>	电流;任一数	current; arbitrary number	<i>i</i>
ima	假想的	imaginary	jx
k	短路	short-circuit	d
L	电感;负荷	inductance; load	L
l	线;长延时	line; long-delay	x; c
M	电动机	motor	D
m	最大,幅值	maximum	m
man	人工的	manual	rg
max	最大	maximum	zd
min	最小	minimum	zx
N	额定,标称	rated, nominal	e
n	数,数目	number	n
nat	自然的	natural	zr
np	非周期性	non-periodic, aperiodic	f-zq
oc	断路,开路	open circuit	dl
oh	架空线路	over-head line	K
OL	过负荷	over-load	gh
op	动作,操作	operating	dz
OR	过流脱扣器	over-current release	TQ
p	有功功率;保护	active power; protect	yg; b
pk	尖峰	peak	jf
q	无功功率	reactive power	wg
qb	速断	quick break	sd
r	无功	reactive	wg
RC	室空间	room cabin	RC
re	返回,复归	return, reset	f, fh
rel	可靠	reliability	k
S	系统	system	XT
s	短延时	short-delay	d
saf	安全	safety	aq
sh	冲击	shock, impulse	cj, ch
st	起动,启动	start	q, qd
step	跨步	step	kp
T	变压器	transformer	B
<i>t</i>	时间;热的	time; thermal	t; r
tou	接触	touch	jc

(续)

文字符号	中文含义	英文含义	旧符号
u	电压	voltage	u
w	接线;工作;墙壁	wiring; work; wall	JX;gz;qh
WL	导线,线路	wire, line	XL
x	某一数值	a number	x
XC	[触头]接触	contact	jc
α	吸收	absorption	α
ρ	反射	reflection	ρ
θ	温度	temperature	θ
Σ	总和	total, sum	Σ, z
τ	透射	transmission	τ
φ	相	phase	xg, p
0	零,无,空	zero, nothing, empty	0
0	停止,停歇	stoping	0
0	每(单位)	per(unit)	0
0	中性线	neutral wire	0
0	起始的	initial	0
0	周围(环境)	ambient	0
0	瞬时	instantaneous	0
30	半小时[最大]	30min [maximum]	30

目 录

前言

本书常用字符表

第一章 概论	1
第一节 工厂供电的意义、要求及课程任务	1
第二节 工厂供电系统及发电厂、电力系统与工厂的自备电源	2
第三节 电力系统的电压与电能质量	10
第四节 电力系统中性点运行方式及低压配电系统接地型式	20
复习思考题	26
习题	26
第二章 工厂的电力负荷及其计算	28
第一节 工厂的电力负荷与负荷曲线	28
第二节 三相用电设备组计算负荷的确定	32
第三节 单相用电设备组计算负荷的确定	40
第四节 工厂的计算负荷及年耗电量的计算	43
第五节 尖峰电流及其计算	48
复习思考题	49
习题	49
第三章 短路电流及其计算	51
第一节 短路的原因、后果及其形式	51
第二节 无限大容量电力系统发生三相短路时的物理过程和物理量	53
第三节 无限大容量电力系统中短路电流的计算	56
第四节 短路电流的效应和稳定度校验	65
复习思考题	71
习题	72
第四章 工厂变配电所及其一次系统	73
第一节 工厂变配电所的任务和类型	73
第二节 电气设备中的电弧问题及对触头的要求	75
第三节 高压一次设备	79
第四节 低压一次设备	96
第五节 电力变压器	105
第六节 电流互感器和电压互感器	113

第七节 工厂变配电所的主接线图	121
第八节 工厂变配电所的所址、布置、结构及安装图	132
第九节 工厂变配电所的运行维护和检修试验	144
复习思考题	159
习题	159
第五章 工厂电力线路	161
第一节 工厂电力线路及其接线方式	161
第二节 工厂电力线路的结构和敷设	164
第三节 导线和电缆截面的选择计算	176
第四节 车间动力电气平面布线图	187
第五节 电力线路的运行维护与检修试验	189
复习思考题	195
习题	196
第六章 工厂供电系统的过电流保护	197
第一节 过电流保护的任务和要求	197
第二节 熔断器保护	198
第三节 低压断路器保护	204
第四节 常用的保护继电器	208
第五节 工厂高压线路的继电保护	216
第六节 电力变压器的继电保护	231
第七节 高压电动机的继电保护	241
复习思考题	243
习题	243
第七章 工厂供电系统的二次回路和自动装置	245
第一节 二次回路及其操作电源	245
第二节 高压断路器的控制和信号回路	248
第三节 电测量仪表与绝缘监视装置	252
第四节 供电系统的自动装置与远动化	256
第五节 二次回路的接线和接线图	263
复习思考题	267
习题	268
第八章 电气安全、接地与防雷	269
第一节 电流对人体的作用及有关概念	269
第二节 电气安全与触电急救	271
第三节 电气装置的接地	277
第四节 过电压与防雷	293
复习思考题	308
习题	309

第九章 工厂的电气照明	310
第一节 照明技术的基本概念	310
第二节 工厂常用的电光源和灯具	313
第三节 照度标准和照度计算	324
第四节 照明供电系统及其选择	328
复习思考题	331
习题	332
第十章 工厂的电能节约	333
第一节 电能节约的意义及其一般措施	333
第二节 电力变压器的经济运行	336
第三节 并联电容器的接线、装设、控制、保护及其运行维护	339
复习思考题	345
习题	345
附录	346
附录表 1 用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数	346
附录表 2 部分工厂的全厂需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时参 考值	347
附录表 3 并联电容器的无功补偿率	347
附录表 4 部分并联电容器的主要技术数据	348
附录表 5 S9、SC9 和 S11-M·R 系列配电变压器的主要技术数据	349
附录表 6 三相线路导线和电缆单位长度每相阻抗值	352
附录表 7 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数	354
附录表 8 部分高压断路器的主要技术数据	354
附录表 9 RM10 型低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线	355
附录表 10 RT0 型低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线	356
附录表 11 部分低压断路器的主要技术数据	357
附录表 12 LQJ-10 型电流互感器的主要技术数据	359
附录表 13 外壳防护等级的分类代号	360
附录表 14 架空裸导线的最小截面	360
附录表 15 绝缘导线芯线的最小截面	361
附录表 16 LJ 型钢绞线和 LGJ 型钢芯铝线的允许载流量	361
附录表 17 LMY 型矩形硬铝母线的允许载流量	362
附录表 18 10kV 常用三芯电缆的允许载流量	362
附录表 19 绝缘导线明敷、穿钢管和穿硬塑料管时的允许载流量	364
附录表 20 电力变压器配用的高压熔断器规格	371
附录表 21 GL- ^{11、15} _{21、25} 型电流继电器的主要技术数据及其动作特性曲线	371

附录表 22	爆炸和火灾危险环境的分区	372
附录表 23	爆炸危险环境钢管配线的技术要求	372
附录表 24	部分电力装置要求的工作接地电阻值	372
附录表 25	土壤电阻率参考值	373
附录表 26	垂直管形接地体的利用系数值	373
附录表 27	PZ220 型普通照明白炽灯的主要技术数据	374
附录表 28	生产车间及工作和生活场所的照度标准值	374
附录表 29	GC1-A、B-1 型配照灯的主要技术数据和概算图表	376
附录表 30	配照灯的比功率参考值	378
习题参考答案		379
主要参考文献		382

第一章 概 论

本章概述工厂供电有关的基本知识和基本问题。首先扼要说明工厂供电的意义、要求及本课程的任务,然后简介典型的各类工厂供电系统及发电厂、电力系统和工厂自备电源的基本知识,接着重点讲述电力系统的电压和电能质量问题,最后讲述电力系统的中性点运行方式及低压配电系统的接地型式。

第一节 工厂供电的意义、要求及课程任务

工厂供电 (plant power supply), 就是指工厂所需电能的供应和分配, 亦称工厂配电。

众所周知, 电能是现代工业生产的主要能源和动力。电能既易于由其他形式的能量转换而来, 也易于转换为其他形式的能量以供应用。电能的输送和分配既简单经济, 又便于控制、调节和测量, 有利于实现生产过程自动化, 而且现代社会的信息技术和其他高新技术无一不是建立在电能应用的基础之上的。因此电能在现代工业生产及整个国民经济生活中应用极为广泛。

在工厂里, 电能虽然是工业生产的主要能源和动力, 但是它在产品成本中所占的比重一般很小 (除电化等工业外)。例如在机械工业中, 电费开支仅占产品成本的 5% 左右。从投资额来看, 一般机械工厂在供电设备上的投资, 也仅占总投资的 5% 左右。因此电能工业生产中的重要性, 并不在于它在产品成本中或投资总额中所占的比重多少, 而是在于工业生产实现电气化以后可以大大增加产量, 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, 有利于实现生产过程自动化。从另一方面来说, 如果工厂供电突然中断, 则对工业生产可能造成严重的后果。例如某些对供电可靠性要求很高的工厂, 即使是极短时间的停电, 也会引起重大设备损坏, 或引起大量产品报废, 甚至可能发生重大的人身事故, 给国家和人民带来经济上甚至政治上的重大损失。因此, 做好工厂供电工作对于发展工业生产, 实现工业现代化, 具有十分重要的意义。

工厂供电工作要很好地为工业生产服务, 切实保证工厂生产和生活用电的需要, 并做好节能工作, 就必须达到以下基本要求:

- (1) 安全 在电能的供应、分配和使用中, 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即连续供电的要求。
- (3) 优质 应满足电能用户对电压和频率等质量的要求。
- (4) 经济 供电系统的投资要少, 运行费用要低, 并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。

此外, 在供电工作中, 应合理地处理局部和全局、当前和长远等关系, 既要照顾局部和当前的利益, 又要有全局观点, 能顾全大局, 适应发展。例如计划用电问题, 就不能只

考虑一个单位的局部利益，更要有全局观点。

本课程的任务，主要是讲述中小型工厂内部的电能供应和分配问题，并讲述电气照明，使学生初步掌握中小型工厂供电系统和电气照明运行维护和设计计算所必需的基本理论和基本知识，为今后从事工厂供电技术工作奠定一定的基础。

第二节 工厂供电系统及发电厂、电力系统与工厂的自备电源

一、工厂供电系统概况

一般中型工厂的电源进线电压是 $6 \sim 10\text{kV}$ 。电能先经高压配电所 (high-voltage distribution substation) 集中，再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所 (shop transformer substation)，或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装设有电力变压器，将 $6 \sim 10\text{kV}$ 的高压电降为一般低压用电设备所需的电压 (如 $220/380\text{V}^\ominus$)，然后由低压配电线路将电能分送给各用电设备使用。

图 1-1 是一个比较典型的中型工厂供电系统简图。该图未绘出各种开关电器 (除母线和低压联络线上装设的联络开关外)，而且只用一根线来表示三相线路，即绘成单线图 (single-line diagram) 的形式。

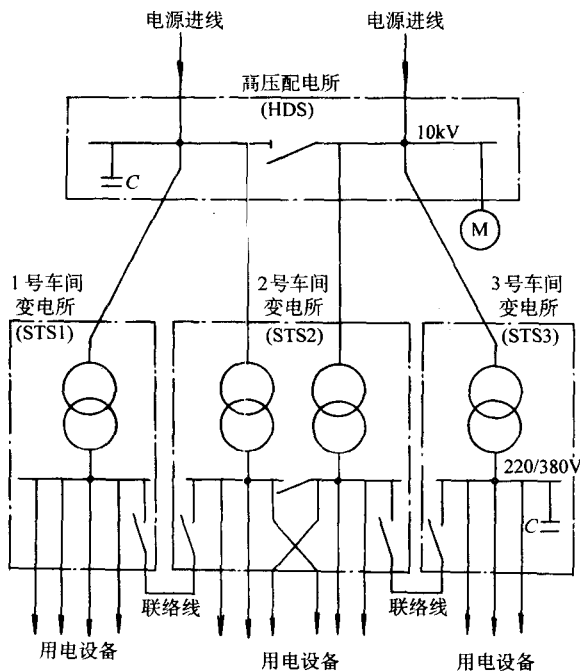


图 1-1 中型工厂供电系统简图

⊖ 按 GB156—1993《标准电压》规定：“220/380V”的斜线“/”左边 (220V) 为三相线路的相电压，右边 (380V) 为其线电压。

从图 1-1 可以看出, 该厂的高压配电所有两条 10kV 的电源进线, 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 (又称联络隔离开关), 形成所谓“单母线分段制”。在任一条电源进线发生故障或进行检修而被切除后, 可以利用分段隔离开关的闭合来恢复对整个配电所 (特别是其重要负荷) 的供电。这类接线的配电所通常的运行方式是: 分段隔离开关闭合, 整个配电所由一条电源进线供电, 其电源通常来自公共电网 (电力系统), 而另一条电源进线作为备用, 通常由邻近单位取得备用电源。

图 1-1 所示高压配电所有四条高压配电线, 供电给三个车间变电所, 其中 1 号车间变电所和 3 号车间变电所都只装有一台配电变压器, 而 2 号车间变电所装有两台, 并分别由两段母线供电, 其低压侧又采用单母线分段制, 因此对重要的低压用电设备可由两段母线交叉供电。车间变电所的低压侧, 设有低压联络线相互连接, 以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外, 该高压配电所还有一条高压配电线, 直接供电给一组高压电动机; 另有一条高压线, 直接与一组并联电容器相连。3 号车间变电所低压母线上也连接有一组并联电容器。这些并联电容器都是用来补偿无功功率以提高功率因数用的。图 1-2 是图 1-1 所示工厂供电系统的平面布线示意图。

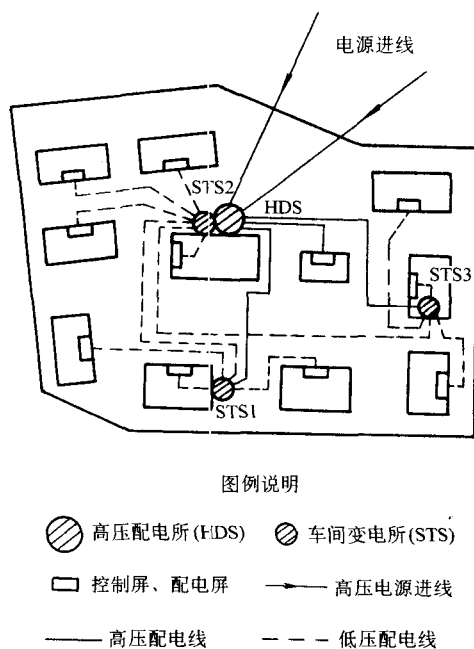


图 1-2 中型工厂供电系统的平面布线示意图

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。其中装有较大容量的电力变压器, 将 35kV 及以上的电源电压降为 6~10kV 的配电电压, 然后通过高压配电线将电能送到各个车间变电所, 也有的经高压配电所再送到车间变电所, 最后经配电变压器降为一般低压用电设备所需的电压, 其简图如图 1-3 所示。

有的 35kV 进线的工厂, 只经一次降压, 即 35kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间

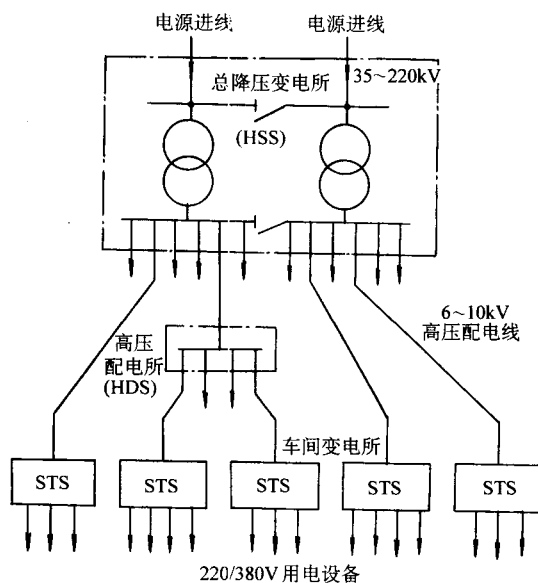


图 1-3 具有总降压变电所的工厂供电系统简图

变电所，经车间变电所的配电变压器直接降为低压用电设备所需的电压，如图 1-4 所示。这种供电方式，称为高压深入负荷中心的直配方式。这种直配方式，可以省去一级中间变压，从而简化了供电系统接线，节约了投资和有色金属，降低了电能损耗和电压损耗，提高了供电质量。然而这要根据厂区的环境条件是否满足 35kV 架空线路深入负荷中心的“安全走廊”要求而定，否则不宜采用，以确保供电安全。

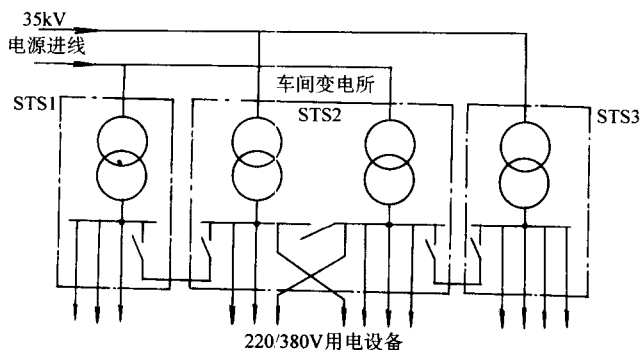


图 1-4 高压深入负荷中心的工厂供电系统简图

对于小型工厂，由于所需容量一般不大于 $1000\text{kV}\cdot\text{A}$ 或稍多，因此通常只设一个降压变电所，将 $6\sim 10\text{kV}$ 降为低压用电设备所需的电压，如图 1-5 所示。

如果工厂所需容量不大于 $160\text{kV}\cdot\text{A}$ 时，一般采用低压电源进线，直接由公共低压电网供电，因此工厂只需设一低压配电间，如图 1-6 所示。