



普通高等教育“十二五”规划教材
电气工程、自动化专业规划教材



供配电技术 (第3版)

唐志平 主 编

杨胡萍 邹一琴 郭晓丽 副主编 史国栋 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



电气工程、自动化专业规划教材

供 配 电 技 术

(第 3 版)

唐志平 主编
杨胡萍 邹一琴 郭晓丽 副主编
史国栋 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书重点介绍供电系统的基本知识和理论、计算和设计、运行和管理,反映供电领域的新技术。全书共分11章,主要内容有:电力系统的基本知识,电力负荷计算及无功功率补偿,三相短路分析、计算及效应,变配电所及其一次系统,电气设备的选择与校验,电力线路,供配电系统的继电保护,变电所二次回路和自动装置,电气安全、防雷和接地,电气照明,供配电系统的运行和管理。每章都配以丰富的例题,附有小结、思考题和习题,书前列有常用文字符号表(包含新、旧符号和中英文对照),便于自学和复习。

本书可作为普通高等院校电气工程、电气工程及其自动化等专业的本科生教材,也可作为高职高专、电视大学、函授大学电气信息类相关专业的教学参考书,同时可供工厂、企业及城镇从事供电工作的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术 / 唐志平主编. — 3版. — 北京: 电子工业出版社, 2013. 1
电气工程、自动化专业规划教材
ISBN 978-7-121-19436-8

I. ①供… II. ①唐… III. ①供电—高等学校—教材②配电系统—高等学校—教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 009957 号

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 21.5 字数: 578 千字

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 39.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

第3版前言

《供配电技术》于2005年出版,2008年修订为第2版,被全国众多高等院校相关专业采用,广受读者欢迎。近10年来,我国科学技术的进步和电力系统的发展举世瞩目,我国电力和电气技术规范、设计规范及电工产品标准不断修订和更新,电气设备和材料日新月异。为跟踪供配电技术的发展、电工新设备和新产品的使用及新标准的采用,作者对本书第2版做了更新、充实和调整,推出了第3版。

全书共分11章,主要讲述电力系统概论,负荷计算,短路电流计算,变配电所及其一次系统,电气设备的选择,电力线路,供配电系统的继电保护,变电所二次回路和自动装置,电气安全、防雷和接地,电气照明,供配电系统的运行和管理。全书遵循“理论注重系统性”和“理论联系实际”的原则,重点介绍供配电系统的基本知识和理论、设计和计算、运行和管理,反映供配电领域的新技术、新标准和新产品。全书力求做到系统性好,实践性强,例题丰富,重点突出,文字简洁,好读易懂。每章有小结、思考题和习题,书前附有常用文字符号表,书末附有常用设备的主要技术数据。

本书可作为普通高等院校电气工程、电气工程及其自动化等相关专业的本科生教材,也可作为高职高专、电视大学、函授大学电气信息类相关专业的教学参考书,同时可供工厂、企业及城镇从事供配电工作的工程技术人员参考。

本书由唐志平教授任主编,杨胡萍、邹一琴和郭晓丽任副主编。唐志平编写第1章、第3章、第7章和附录A,杨胡萍编写第8章、第11章,邹一琴编写第2章、第6章、第10章,郭晓丽编写第4章、第5章、第9章。本书的编写得到很多单位和个人的大力帮助与支持,特别是钱银其、姜唤明,在此表示诚挚的谢意。

本书聘请史国栋教授主审。史国栋教授在审阅中对本书提出很多宝贵意见,谨在此表示衷心的感谢!

本书配有电子课件、习题参考答案等资源,任课教师可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn),注册后免费下载,也可与作者唐志平联系(E-mail: tangzp@czu.cn)。

由于水平有限,书中难免有错缺之处,敬请同行、师生和读者批评指正,不胜感谢。

编者
2013年1月

常用文字符号表

1. 电气设备文字符号表

设备名称	文字符号	英文名	旧符号
装备,设备	A	device, equipment	—
备用电源自动投入装置	APD	reserve-source auto-put into device	BZT
自动重合闸装置	ARD	auto-reclosing device	ZCH
照明配电箱	ALD	lighting distribution box	MX
电力配电箱	APD	power distribution box	DX
电容器	C	electric capacity, capacitor	C
照明器	EL	lampping, lighting	ZMQ
避雷器	F	arrester	BL
熔断器	FU	fuse	RD
跌开式熔断器	FD	drop-out fuse	RD
发电机	G	generator	F
蓄电池	GB	battery	XDC
电铃	HA	electric bell	DL
电笛	HB	electric alarm whistle	DD
高压配电所	HDS	high voltage distribution substation	GPS
绿色指示灯	HG	green lamp	LD
总降变电所	HSS	head step-down substation	GPS
红色指示灯	HR	red lamp	HD
白色指示灯	HW	white lamp	BD
黄色指示灯	HY	yellow lamp	WD
继电器	K	relay	J
电流继电器	KA	current relay	LJ
重合闸继电器	KAR	auto-reclosing relay	ZCJ
差动继电器	KD	differential relay	CJ
闪光继电器	KF	flash-light relay	SGJ
气体继电器	KG	gas relay	WSJ
热继电器	KH	thermal orer load relay	RJ
冲击继电器	KI	impulse relay	CJJ
中间继电器	KM	auxiliary relay	ZJ
接触器	KM	contactor	CJ,C
防跳继电器	KTL	latching trip relay	TBJ
干簧继电器	KR	reed relay	GHJ
信号继电器	KS	signal relay	XJ
接地继电器	KE	earthing relay	JDJ

(续表)

设备名称	文字符号	英文名	旧符号
时间继电器	KT	time-delay relay	SJ
电压继电器	KV	voltage relay	YJ
电抗器	L	inductive coil reactor	DK
电动机	M	motor	D
保护导体	PE	protective wire	—
保护中性导体	PEN	protective neutral wire	N
中性导体	N	neutral wire	N
电流表	PA	ammeter	A
电能表	PJ	watt hour meter	WH
功率表	PP	power meter	W
无功功率表	PR	reactive power meter	VAR
无功电能表	PRJ	reactive volt-ampere-hour meter	VARH
电压表	PV	voltmeter	V
电力开关	Q	switch	DK
断路器	QF	circuit breaker	DL
刀开关	QK	knife switch	DK
低压断路器(自动开关)	QF	low-voltage circuit-breaker	ZK
负荷开关	QL	load breaking switch	HK
隔离开关	QS	disconnecter	G
电阻器、变阻器	R	resistor	R
系统	S	system	S
控制开关	SA	control switch	KK
选择开关	SA	selector switch	XK
按钮	SB	button	YA
位置开关、限位开关	SQ	limit switch	XK
车间变电所	STS	shop transformer substation	CBS
变压器	T	transformer	B
电流互感器	TA	current transformer	LH
零序电流互感器	TAZ	zero current transformer	ZLH
有载调压变压器	TLC	on-load tap-changing transformer	ZTB
电压互感器	TV	voltage transformer	YH
整流器	U	rectifier	AL
二极管	V	diode	D
事故音响母线	WAS	accident sound signal small busbar	SYM
母线	WB	busbar	M
控制小母线	WC	control small busbar	KM
熔断器报警母线	WF	fuse forecast signal busbar	RBM
预报信号小母线	WFS	forecast signal busbar	YBM

(续表)

设备名称	文字符号	英文名	旧符号
闪光信号小母线	WF	flash light signal busbar	SM
线路	WL	line, wire	L
合闸小母线	WO	switch-on busbar	HM
信号小母线	WS	signal small bsbar	XM
掉牌未复归光字牌母线	WSR	light-word-plate busbar for plate no reset	PM
端子排	X	terminal block	D
连接片	XB	link	LP
合闸线圈	YO	clossing operation coil	HQ
跳闸线圈	YR	release operation coil	TQ

2. 下标文字符号表

设备名称	文字符号	英文名	旧符号
年	a	year, annual	n
有功	a	active	yg
允许	al	allowable	yx
平均	av	average	pj
平衡	ba	balance	ph
镇流器损耗	bl	ballast loss	
电容, 电容器	C	electric capacity, capactor	C
计算	c	calculate	js
顶棚, 天花板	c	ceiling	P
补偿	c	compensantion	
电缆	cab	cable	L
额定运行短路分断能力	cs	operating short-circuit breaking capacity	oc
需要	d	demand	x
基准	d	datum	j
差动	d	differential	C
地, 接地	E	earth, earthing	d, jd
设备	e	equipment	S
有效的	e	efficient	yx
经济	ec	economic	ji, j
等效的	eq	equivalent	dx
电动稳定	es	electrodynamic stable	dw
熔断器	FU	fuse	RD
熔体	FE	fuse element	RL
地面	f	floor	d
发电机	G	generator	F
谐波	h	harmonic	
电流	i	current	i
投资	I	investment	t
假想的	ima	imaginary	jx
偏移	inc	inclined	py
瞬时	i	instantaneous	0

(续表)

设备名称	文字符号	英文名	旧符号
瞬时电流速断	ioc	instantaneous over current	qb
短路	K	short-circuit	d
继电器	KA	relay	J
电感	L	inductance	L
负荷	L	load	H
线	l	line	l
长时间	lt	long time	cs
维护	m	maintenance	w
电动机	M	motor	D
人工的	man	manual	rg
幅值	m	peak value	m
最大	max	maximum	max
最小	min	minimum	min
额定, 标称	N	rated, nominal	e
自然的	nat	natural	zr
非周期性的	np	non-periodic	f-zq
过电流	oc	over current	gl
架空线路	oh	over-head line	K
过负荷	OL	over-load	gh
动作, 运行	op	operating, operation	dz
过电流脱扣器	OR	over-current release	TQ
有功功率	p	active power	p
周期性的	p	periodic	zq
尖峰	pk	peak	jf
无功功率	q	reactive power	q
断路器	QF	circuit-breaker	DL
无功	r	reactive	wg
可靠(性)	rel	reliability	k
室空间	RC	room cabin	RC
返回	re	returning	f
系统	S	system	XT
短时间	st	short time	ds
灵敏度	s	sensitivity	s
冲击	sh	shock, impulse	cj, ch
启动	st	start	q, qd
跨步	step	step	kp
变压器	T	transformer	B
时间	t	time	t
时限电流速断	tioc	time instantaneous over current	—
接触	tou	touch	jc
热脱扣器	TR	thermal over-load release	R, RT
电压	u	voltage	u

(续表)

设备名称	文字符号	英文名	旧符号
不平衡	ub	unbalance	bp
利用	u	utilization	l
接线	w	wiring	JX
工作	w	working	gz
墙壁	w	wall	q
导线,线路	WL	wire, line	l
(触头)接触	XC	contact	jc
吸收	α	absorption	a
反射	ρ	reflection	ρ
温度	θ	temperature	θ
总和	Σ	total, sum	Σ
透射	τ	transmission	τ
相	φ	phase	ϕ
零,无,空	0	zero, nothing, empty	0
起始的	0	initial	0
停止,停歇	0	stopping	0
环境	0	enviroment	0
瞬时	0	instantaneous	0
半小时[最大]	30	30min[maximum]	30

目 录

第 1 章 电力系统概论	1	2.7.2 功率因数对供配电系统的影 响及提高功率因数的方法	35
1.1 电力系统和供配电系统概述	1	2.7.3 并联电容器补偿	36
1.1.1 电力系统	1	2.7.4 并联电容器的装设与控制	37
1.1.2 供配电系统	3	2.7.5 补偿后用户的负荷计算和功率 因数计算	40
1.1.3 供配电的要求和课程任务	3	小结	41
1.2 电力系统的额定电压	4	思考题和习题	42
1.3 电力系统的运行状态和中性点运行 方式	6	第 3 章 短路电流计算	44
1.3.1 电力系统的运行状态	6	3.1 短路概述	44
1.3.2 电力系统的中性点运行方式	6	3.2 无限大功率电源供电系统三相短路 分析	45
1.4 电能质量指标	9	3.2.1 无限大功率电源的概念	45
1.4.1 电压质量指标	9	3.2.2 无限大功率电源供电系统三相 短路暂态过程	46
1.4.2 频率质量指标	11	3.2.3 三相短路的有关物理量	48
1.4.3 波形质量指标	11	3.3 无限大功率电源供电系统三相短路 电流的计算	50
1.5 电力负荷	12	3.3.1 标幺制	50
1.5.1 按对供电可靠性要求的负荷 分类	12	3.3.2 短路回路元件的标幺值阻抗	51
1.5.2 按工作制的负荷分类	13	3.3.3 三相短路电流计算	52
小结	13	3.3.4 电动机对三相短路电流的 影响	55
思考题和习题	14	3.3.5 两相短路电流的计算	55
第 2 章 负荷计算	15	3.3.6 单相短路电流的计算	56
2.1 负荷曲线	15	3.4 短路电流的效应	56
2.1.1 日负荷曲线	15	3.4.1 短路电流的电动力效应	56
2.1.2 年负荷曲线	15	3.4.2 短路电流的热效应	58
2.1.3 负荷曲线的有关物理量	16	小结	60
2.2 用电设备的设备容量	17	思考题和习题	61
2.2.1 设备容量的定义	17	第 4 章 变配电所及其一次系统	63
2.2.2 设备容量的确定	17	4.1 电压的选择	63
2.3 负荷计算的方法	18	4.1.1 供电电压的确定	63
2.3.1 估算法	19	4.1.2 配电电压的确定	64
2.3.2 需要系数法	19	4.2 变电所的配置	64
2.3.3 单相负荷的计算	21	4.2.1 变电所的类型	64
2.4 功率损耗和电能损耗	24	4.2.2 变电所的位置选择	65
2.4.1 功率损耗	25	4.3 变压器的选择	67
2.4.2 电能损耗	26	4.3.1 变压器型号选择	67
2.5 用户负荷计算	27		
2.6 尖峰电流的计算	33		
2.7 功率因数和无功功率补偿	33		
2.7.1 功率因数的计算	33		

4.3.2	变压器台数和容量的确定	68	5.7.2	低压断路器脱扣器的选择和整定	117
4.3.3	变压器的实际容量和过负荷能力	69	5.7.3	前后级低压断路器选择性的配合	119
4.4	变电所主要电气设备	70	5.7.4	低压断路器灵敏度的校验	119
4.4.1	高压断路器	70	小结		120
4.4.2	高压隔离开关	73	思考题和习题		121
4.4.3	高压负荷开关	73	第6章 电力线路		122
4.4.4	高压熔断器	75	6.1	电力线路的接线方式	122
4.4.5	互感器	76	6.1.1	放射式接线	122
4.4.6	避雷器	82	6.1.2	树干式接线	122
4.4.7	高压开关柜	82	6.1.3	环形接线	124
4.4.8	低压电气设备	83	6.2	导体和电缆选择的一般原则	124
4.5	变配电所主接线	86	6.2.1	导体和电缆型号的选择原则	124
4.5.1	变配电所主接线概述	86	6.2.2	导体和电缆截面的选择原则	126
4.5.2	变电所常用主接线	87	6.3	按允许载流量选择导体和电缆截面	127
4.5.3	总降压变电所主接线	89	6.3.1	三相系统相导体(相线)截面的选择	127
4.5.4	10kV 变电所主接线	90	6.3.2	中性导体和保护导体截面的选择	127
4.5.5	车间变电所主接线	91	6.4	按允许电压损失选择导体和电缆截面	129
4.5.6	配电所主接线	92	6.4.1	线路电压损失的计算	129
4.5.7	主接线实例	92	6.4.2	按允许电压损失选择导体和电缆截面	132
4.6	变电所的布置和结构	93	6.5	按经济电流密度选择导体和电缆截面	134
4.6.1	变电所的布置	93	6.6	电力线路的结构和敷设	135
4.6.2	变电所的结构	96	6.6.1	电力线路的结构	135
4.6.3	变电所布置和结构实例	99	6.6.2	电力线路的敷设	137
小结		102	6.6.3	车间电力平面布置图	139
思考题和习题		102	小结		141
第5章 电气设备的选择		104	思考题和习题		142
5.1	电气设备选择的一般原则	104	第7章 供配电系统的继电保护		144
5.2	高压开关电器的选择	105	7.1	继电保护的基本知识	144
5.2.1	高压断路器的选择	106	7.1.1	继电保护的的任务	144
5.2.2	高压隔离开关的选择	106	7.1.2	保护的分类	144
5.2.3	高压熔断器的选择	107	7.1.3	对继电保护的要求	145
5.3	互感器的选择	107	7.1.4	继电保护的基本工作原理和构成	145
5.3.1	电流互感器的选择	107	7.1.5	继电保护技术的发展	146
5.3.2	电压互感器的选择	110	7.2	常用的保护继电器	147
5.4	母线、支柱绝缘子和穿墙套管的选择	111			
5.4.1	母线的选择	111			
5.4.2	支柱绝缘子的选择	112			
5.4.3	穿墙套管的选择	113			
5.5	高压开关柜选择	114			
5.6	低压熔断器的选择	115			
5.7	低压断路器的选择	117			
5.7.1	低压断路器选择的一般原则	117			

7.2.1	电磁式继电器	147	8.1.3	交流操作电源	199
7.2.2	感应式电流继电器	149	8.1.4	所用变压器及其供电系统	199
7.3	电力线路的继电保护	151	8.2	高压断路器控制回路	200
7.3.1	电力线路的常见故障和保护配置	151	8.2.1	对高压断路器控制回路的要求	201
7.3.2	电流保护的接线方式和接线系数	151	8.2.2	电磁操动机构的断路器控制回路	201
7.3.3	过电流保护	152	8.2.3	弹簧操动机构的断路器控制回路	203
7.3.4	电流速断保护	156	8.3	中央信号回路	204
7.3.5	阶段式电流保护	160	8.3.1	对中央信号回路的要求	205
7.3.6	单相接地保护	164	8.3.2	中央事故信号回路	205
7.3.7	过负荷保护	166	8.3.3	中央预告信号回路	206
7.4	电力变压器的继电保护	167	8.4	测量和绝缘监视回路	208
7.4.1	电力变压器的常见故障和保护配置	167	8.4.1	测量仪表配置	208
7.4.2	变压器二次侧短路流经一次侧的穿越电流和电流保护的接线方式	167	8.4.2	直流绝缘监视回路	210
7.4.3	变压器的电流保护	170	8.5	自动重合闸装置(ARD)	211
7.4.4	变压器的气体保护	173	8.5.1	对自动重合闸的要求	211
7.4.5	变压器的差动保护	174	8.5.2	电气一次自动重合闸装置	211
7.5	高压电动机的继电保护	181	8.6	备用电源自动投入装置(APD)	213
7.5.1	高压电动机的常见故障和保护配置	181	8.6.1	对备用电源自动投入装置的要求	213
7.5.2	高压电动机的过负荷保护和电流速断保护	182	8.6.2	备用电源自动投入装置的接线	214
7.5.3	高压电动机的单相接地保护	183	8.7	二次回路安装接线图	215
7.6	6~10kV 电力电容器的继电保护	184	8.7.1	二次回路安装接线图基本知识	215
7.6.1	6~10kV 电力电容器的常见故障和保护配置	184	8.7.2	屏面布置图	217
7.6.2	电容器组的电流速断保护	184	8.7.3	端子排图	217
7.6.3	电容器组的过电流保护	184	8.7.4	屏后接线图	219
7.6.4	电容器组的过负荷保护	184	8.8	智能变电站	221
7.6.5	电容器组的过电压保护	185	8.8.1	变电站自动化	221
7.6.6	电容器组的单相接地保护	185	8.8.2	智能变电站	223
7.7	微机保护	187	小结		228
7.7.1	配电系统微机保护的功能	187	思考题和习题		229
7.7.2	微机保护装置的硬件结构	188	第9章 电气安全、防雷和接地		231
7.7.3	微机保护装置的软件系统	189	9.1	电气安全	231
小结		193	9.1.1	电气安全的含义和重要性	231
思考题和习题		194	9.1.2	电气安全措施	231
第8章 变电所二次回路和自动装置		196	9.1.3	电气防火和防爆	232
8.1	二次回路与操作电源	196	9.1.4	触电及防护	232
8.1.1	二次回路概述	196	9.2	过电压和防雷	233
8.1.2	直流操作电源	196	9.2.1	过电压及雷电概述	233
			9.2.2	防雷装置	235
			9.2.3	电力装置的防雷保护	241
			9.2.4	建筑物的防雷保护	244
			9.3	接地	247

9.3.1	接地概述	247	11.2.1	电压偏差与调节概述	284
9.3.2	接地装置	252	11.2.2	电压调节的方法	285
9.3.3	接地电阻	254	11.3	电压波动、闪变与抑制	288
9.3.4	低压配电系统的等电位联结	258	11.3.1	电压波动和闪变	288
小结	.....	260	11.3.2	电压波动和闪变的测量和 估算	289
思考题和习题	.....	260	11.3.3	电压波动和闪变的抑制	293
第 10 章 电气照明	.....	262	11.4	谐波与抑制	293
10.1	电气照明概述	262	11.4.1	谐波计算与标准	293
10.1.1	照明技术的有关概念	262	11.4.2	谐波源	295
10.1.2	照明方式和种类	264	11.4.3	谐波的危害	296
10.1.3	照明质量	265	11.4.4	电网谐波的抑制	297
10.1.4	绿色照明	265	11.5	变配电所的运行和维护	298
10.2	常用照明光源和灯具	266	11.5.1	变配电所的规章制度和值班 制度	299
10.2.1	照明光源	266	11.5.2	变配电所的送电和停电操作	299
10.2.2	灯具的类型、选择及布置	270	11.5.3	变配电设备的巡视规定	301
10.3	照度计算	272	11.5.4	智能变电站的运行和维护	302
10.3.1	照度标准	272	11.6	电力线路的运行和维护	302
10.3.2	照度计算	273	11.6.1	架空线路的运行维护	302
10.4	照明配电及控制	276	11.6.2	电缆线路的运行维护	303
10.4.1	照明配电系统	276	11.6.3	车间配电线路的运行维护	303
10.4.2	照明配电方式	277	11.6.4	线路运行中突遇停电的处理	304
10.4.3	照明控制	277	11.7	供配电系统综合管理和智 能化	304
10.4.4	照明配电系统图	278	11.7.1	供配电监控系统	305
10.4.5	电气照明平面布置图	278	11.7.2	供配电系统综合管理和 智能化	305
小结	.....	280	小结	.....	306
思考题和习题	.....	280	思考题和习题	.....	306
第 11 章 供配电系统的运行和管理	.....	281	附录 A 常用设备的主要技术数据	.....	308
11.1	节约电能	281	参考文献	.....	332
11.1.1	节约电能的意义	281			
11.1.2	节约电能的一般措施	281			
11.1.3	电力变压器的经济运行	282			
11.2	电压偏差与调节	284			

第 1 章 电力系统概论

供配电系统是电力系统的电能用户。了解和掌握电力系统和供配电系统的概念、电力系统的额定电压、电力系统中性点的运行方式、电能的质量指标和电力负荷等基本知识,对学习供配电技术是很重要的。

1.1 电力系统和供配电系统概述

电能是一种清洁的二次能源。电能不仅便于输送和分配,易于转换为其他的能源,而且便于控制、管理和调度,易于实现自动化。因此,电能已广泛应用于国民经济、社会生产和人民生活的各个方面,电能已成为现代社会的主要能源。绝大多数电能都由电力系统中发电厂提供,我国电力工业得到迅猛发展,为实现现代化打下坚实基础。我国已建成并投入运行交流 1000kV 特高压输电线路、直流 $\pm 800\text{kV}$ 特高压输电线路,达到世界领先水平。到 2011 年年底,我国发电机装机容量达 105577 万千瓦(kW),居世界第 2 位,发电量达 46037 亿度(kWh),居世界第 1 位。工业用电量已占全部用电量的 70%~80%,是电力系统的最大电能用户。供配电系统是电力系统的重要组成部分,供配电系统的任务就是向用户和用电设备供应和分配电能。用户所需的电能,绝大多数是由公共电力系统供给的,故在介绍供配电系统之前,先介绍电力系统的知识。

1.1.1 电力系统

电力系统是由发电厂、变电所、电力线路和电能用户组成的一个整体。图 1-1 所示为电力系统的示意图。

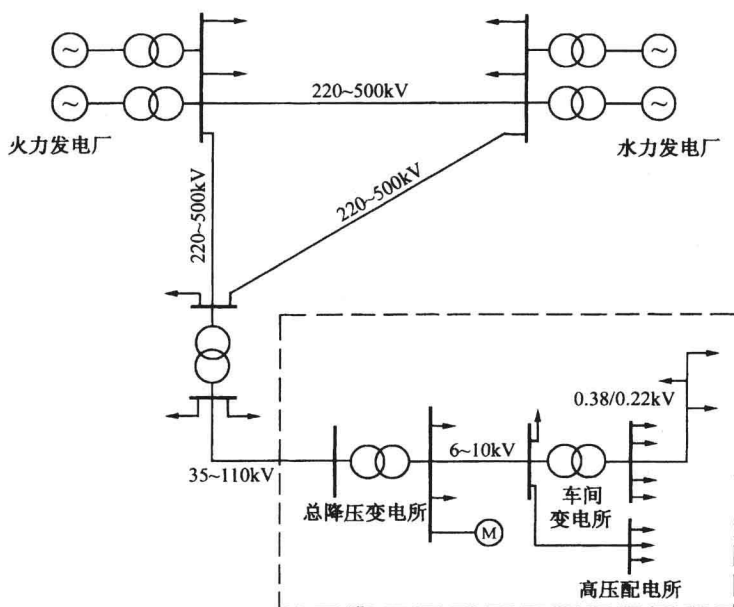


图 1-1 电力系统的示意图

为了充分利用动力资源,降低发电成本,发电厂往往远离城市和电能用户,例如,火力发电厂大多建在靠近一次能源的地区,水力发电厂一般建在水利资源丰富的、远离城市的地方,核能发电厂厂址也受种种条件限制。因此,这就需要输送和分配电能,将发电厂发出的电能经过升压、输送、降压和分配,送到用户。

1. 发电厂

发电厂将一次能源转换成电能。根据一次能源的不同,有火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂;此外,还有风力、太阳能、地热和海洋发电厂等。

目前,我国火力发电厂的装机容量比重最大,约占总装机容量的70%以上,水力发电厂的装机容量约占20%,其他发电厂的装机容量约占10%。

火力发电厂将煤、天然气、石油的化学能转换为电能。我国火力发电厂燃料以煤炭为主,随着西气东输工程的竣工,将逐步扩大天然气燃料的比例。火力发电的原理是:燃料在锅炉中充分燃烧,将锅炉中的水转换为高温高压蒸汽,蒸汽推动汽轮机转动,带动发电机旋转发出电能。

由于煤、天然气和石油是不可再生能源,且燃烧时会产生大量的 CO_2 、 SO_2 、氮氧化物、粉尘和废渣等,对环境和大气造成污染。因此,我国正发展超临界火力发电,逐步淘汰小火力发电机组,加快水电站和核电的建设,大力发展绿色能源。

水力发电厂将水的位能转换成电能。水流驱动水轮机转动,带动发电机旋转发电。按提高水位的方法分类,水电厂有堤坝式水电厂、引水式水电厂和混合式水电厂3类。

核能发电厂利用原子核的核能生产电能。核燃料在原子反应堆中裂变释放核能,将水转换成高温高压的蒸汽,蒸汽推动汽轮机转动,带动发电机旋转发出电能,其生产过程与火电厂基本相同。

2. 变电站(所)

变电站的功能是接收电能、变换电压和分配电能。为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户,需将发电机电压进行多次电压变换,这个任务由变电站完成。变电站由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电站的性质和任务不同,可分为升压变电站和降压变电站;除与发电机相连的变电站为升压变电站外,其余均为降压变电站。按变电站的地位和作用不同,又分为枢纽变电站、地区变电站和用户变电站。

仅用于接收电能和分配电能的场所称为配电所,而用于交流电流与直流电流相互转换的场所称为换流站。

3. 电力线路

电力线路将发电厂、变电站和电能用户连接起来,完成输送电能和分配电能的任务。电力线路有各种不同的电压等级,通常将220kV及以上的电力线路称为输电线路,110kV及以下的电力线路称为配电线路。交流1000kV及以上和直流 $\pm 800\text{kV}$ 及以上的输电线路称为特高压输电线路,220~800kV输电线路称为超高压输电线路。配电线路又分为高压配电线路(110kV)、中压配电线路(35~6kV)和低压配电线路(380/220V),前者一般作为城市配电网骨架和特大型企业供电线路,中者为城市主要配网和大中型企业供电线路,后者一般为城市和企业的低压配网。

除了上述交流输电线路外,还有直流输电线路。直流输电主要用于远距离输电,连接两个不同频率的电网和向大城市供电。它具有线路造价低、损耗小、调节控制迅速简便和无稳定性问题等优点,但换流站造价高。

4. 电能用户

电能用户又称电力负荷,所有消耗电能的用电设备或用电单位均称为电能用户。电能用户按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户等。

与电力系统相关联还有动力系统和电网。火力发电厂的汽轮机和锅炉、水力发电厂的水轮机和水库、核能发电厂的汽轮机和核反应堆等动力设备,与电力系统一起,称为动力系统。电网是指电力系统中除发电厂和电能用户之外的部分。

1.1.2 供配电系统

供配电系统是电力系统的电能用户,也是电力系统的重要组成部分。它由总降压变电所,高压配电所、配电线路,车间变电所或建筑物变电所和用电设备组成。图 1-2 所示为供配电系统结构框图。

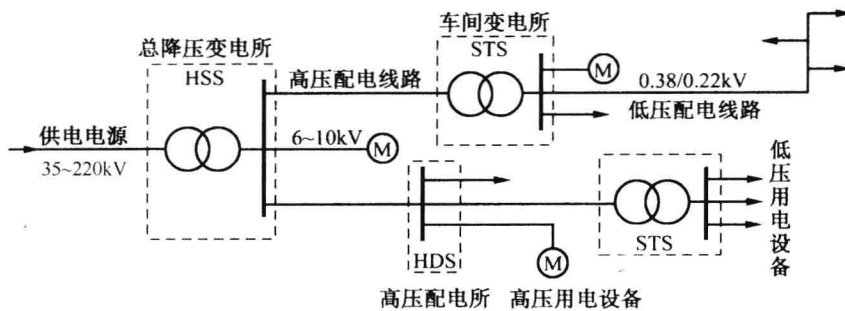


图 1-2 供配电系统结构框图

总降压变电所是用户电能供应的枢纽。它将 35~220kV 的外部供电电源电压降为 6~10kV 高压配电电压,供给高压配电所、车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备。

高压配电所集中接收 6~10kV 电压,再分配到附近各车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备。一般负荷分散、厂区大的大型企业需设置高压配电所。

配电线路分为 6~10kV 高压配电线路和 220/380V 低压配电线路。高压配电线路将总降压变电所与高压配电所、车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备连接起来。低压配电线路将车间变电所或建筑物变电所的 220/380V 电能送到各低压用电设备。

车间变电所或建筑物变电所将 6~10kV 电压降为 220/380V 电压,供低压用电设备使用。

用电设备按用途可分为动力用电设备、工艺用电设备、电热用电设备、试验用电设备和照明用电设备等。

应当指出,对于某个具体用户的供配电系统,可能上述各部分都有,也可能只有其中的几个部分,这主要取决于电力负荷的大小和厂区的大小。不同的供配电系统,不仅组成不完全相同,而且相同部分的构成也会有较大的差异。通常,大型企业都设总降压变电所,中小型企业仅设全厂 6~10kV 变电所或配电所,某些特别重要的企业还自备发电厂作为备用电源。

1.1.3 供配电的要求和课程任务

做好供配电工作,对于促进工业生产、降低产品成本、实现生产自动化和工业现代化及保障人民生活有着十分重要的意义。对供配电的基本要求是:

- 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;
- 可靠 应满足用电设备对供电可靠性的要求;

- 优质 应满足用电设备对电压和频率等供电质量的要求；
- 经济 供配电应尽量做到投资少,年运行费低,尽可能减少有色金属消耗量和电能损耗,提高电能利用率。

应当指出,上述要求不但互相关联,而且往往互相制约和互相矛盾。因此,考虑满足上述要求时,必须全面考虑,统筹兼顾。

本课程的任务主要讲述 35kV 及以下供配电系统电能供应和分配的基本知识和理论,使学生掌握供配电系统的设计和计算方法、管理和运行技能,为学生今后从事供配电技术工作奠定基础。110~220kV 供配电系统的理论、设计和计算方法,参见相关电力工程书籍。

1.2 电力系统的额定电压

电力系统的电压是有等级的,电力系统的额定电压包括电力系统中各种发电、供电、用电设备的额定电压。额定电压是能使电气设备长期运行在经济效果最好的电压,它是国家根据国民经济发展的需要、电力工业的水平和发展趋势,经全面技术经济分析后确定的。GB/T156—2007《标准电压》规定了我国三相交流系统的标称电压和高于 1000V 三相交流系统的最高电压。标称电压是系统被指定的电压,又称额定电压;系统最高电压是指在正常运行条件下,在系统的任何时间和任何点上出现的电压的最高值,它不包括电压瞬变,比如,由于系统的开关操作及暂态的电压波动所出现的电压值。我国三相交流系统的标称电压、最高电压和发电机、变压器的额定电压如表 1-1 所示。

表 1-1 我国三相交流系统的标称电压、最高电压和发电机、变压器的额定电压 (单位:kV)

分类	系统标称电压	系统最高电压	发电机额定电压	电力变压器额定线电压	
				一次绕组	二次绕组
低压	0.38	—	0.4	0.22/0.38	0.23/0.4
	0.66	—	0.69	0.38/0.66	0.4/0.69
	1(1.14)	—	—	—	—
高压	3(3.3)	3.6	3.15	3,3.15	3.15,3.3
	6	7.2	6.3	6,6.3	6.3,6.6
	10	12	10.5	10,10.5	10.5,11
	—	—	13.8,15,75,18, 22,24,26	13.8,15,75,18, 20,22,24,26	—
	20	24	20	20	21,22
	35	40.5	—	35	38.5
	66	72.5	—	66	72.6
	110	126(123)	—	110	121
	220	252(245)	—	220	242
	330	363	—	330	363
	500	550	—	500	550
	750	800	—	750	820
1000	1100	—	1000	1100	

注:①表中数值为线电压;②表中斜线“/”左边的数值为相电压,右边的数值为线电压;③括号内数值用户有要求时使用。