

21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

供用电工程

应敏华 程乃蕾 主编
常美生 编写



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

TM72
16

供用电工程

主 编 应敏华 程乃蕾
编 写 常美生
主 审 张 焰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书分为上、下两篇。上篇为供用电系统一次部分,包括供用电网络的基本知识、潮流计算、电力负荷计算和无功功率平衡、短路电流计算、开关电器、互感器、电气主接线和配电装置、导体的发热和电动力、电气设备的选择计算等。下篇为供用电系统二次部分,包括变电所的控制、信号与直流电源、常用继电器以及电力线路、变压器、电动机、电力电容器、母线等电气设备的继电保护、部分自动装置的构成与整定计算等。每章均附有思考题与习题。

本书可作为普通高等学校供用电专业、电气工程与管理专业及其他相关电气类专业的教材,也可供从事供用电、电气工程管理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电工程/应敏华,程乃蕾主编. —北京:中国电力出版社,2006. 9

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7 - 5083 - 4561 - 4

I. 供... II. ①应... ②程... III. 供电—电力工程—高等学校—教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 077826 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 582 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

《供用电工程》是上海电力学院自创办供用电专业以来,经多年教学实践和不断总结提高后编写的专业教科书,书中考虑了电力工业对供用电专业技术的需求并汇总了上海电力学院和有相关专业的兄弟高校的教学成果。编写本教材的目的是为了适应新形势下供用电类课程的教学要求,更有利于培养应用型的供用电专业高级工程技术人才。

鉴于电力市场改革已走向发输配电分离,本教材将重点放在 35kV 及以下供用电一、二次设备及系统的专业知识。根据供用电系统(侧)的特点和对一线电气工程师的要求,将电力系统、负荷统计、电气设备、二次回路和继电保护等方面的内容进行了有机整合。全书分为上、下两篇,共 18 章。上篇为供用电系统一次部分,共 9 章,主要叙述供用电系统的基本概念、电力网潮流计算、电力负荷计算、无功功率平衡和电压调整、短路电流计算、电气主接线和配电装置、开关电器、互感器、载流导体的发热和电动力、电气设备的选择等。下篇为供用电系统二次部分,共 9 章,主要叙述变电所的控制与信号回路、继电保护的基本概念与常用继电器、电力线路的继电保护、小电流接地系统的接地保护、变压器保护、电动机保护、6~10kV 电力电容器保护、母线保护、部分自动装置等。每章后均附有一定数量的思考题与习题。文前给出本书常用的电气设备和物理量下标的文字符号。

本教材是由上海电力学院和山西大学联合编写的。其中第一、二、三、四、七、九、由上海电力学院应敏华副教授编写,第十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八章由上海电力学院程乃蕾副教授编写,第五、六、八章由山西大学常美生副教授编写。本书由应敏华、程乃蕾任主编,负责全书统稿。书稿由上海交通大学张焰教授主审,提出了许多宝贵意见。在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有错误及不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2006 年 3 月

常用字符说明

本书常用字符如表 0-1 及表 0-2 所示。

表 0-1 电气设备的文字符号

文字符号	中文名称	文字符号	中文名称
AR	自动重合闸装置	QF	断路器、低压断路器(自动空气开关)
ATS	备用电源自动投入装置		
C	电容器	QK	刀开关
FU	熔断器	QS	隔离开关
G	发电机、电源	QE	接地开关
HA	蜂鸣器、电铃	R	电阻器
HG	绿色指示灯	SA	控制开关、选择开关
HL	指示灯、信号灯	SB	按钮
HP	光字牌	T	变压器
HR	红色指示灯	TA	电流互感器
K	继电器	TAM	中间变流器
KA	电流继电器	TV	电压互感器
KD	差动继电器	TVM	中间变压器
KG	气体(瓦斯)继电器	TX	电抗变压器
KR	热继电器、阻抗继电器	U	整流器、逆变器
KPD	功率方向继电器	UE	整流桥
KM	接触器、中间继电器	V	二极管、三极管、晶体管
KMC	合闸接触器	W	母线、导线、接线
KP	极化继电器		
KS	信号继电器	WFA	事故音响信号小母线
KSP	信号脉冲继电器	WC	控制操作回路电源小母线
KT	时间继电器		
KV	电压继电器	WF	闪光信号小母线
L	电感线圈、电抗器	WW	预告信号小母线
LC	合闸线圈	WL	线路、灯光信号小母线
LT	跳闸线圈、脱扣器	WO	合闸回路电源小母线
M	电动机	WS	信号回路电源小母线
N	中性线	WV	电压小母线
PA	电流表	x	端子板
PJ	电能表		
PV	电压表	XT	端子板(切换片)
XB	连接片		

表 0-2

常用物理量下角标的文字符号

文字符号	中文名称	英文名称	旧符号	文字符号	中文名称	英文名称	旧符号
act	动作	action	dZ	MS	自启动	Motor Autostarting	Zq
Al	铝	aluminium	Al	N	额定、标称	rated, nominal	e
al	允许	allowable	yx	NO	数目、序号	number	NO
arc	电弧	arc	h	net	电网	network	w
av	平均	average	pj	np	非周期性的	non-periodic	fz
aw	精确	accurate	jg	oc	开断	open circuit	kd
b	开始	begin	k	op	工作	operating	gz
B	基准	basic	j	p	周期性的	periodic	zq
bal	平衡	balance	ph	p	保护	protect	bh
bra	分支	branching	fz	ph	相	phase	x
c	接线	connection	jx	qb	速断	quick break	sd
c	持续	continue	r	ra	辐射	radiation	f
ca	计算	calculate	js	re	返回	returning	f
cl	关合	close	gh	rel	可靠(性)	reliability	k
cr	临界	critical	lj	res	恢复	restore	hf
Cu	铜	copper	Cu	resd	残余	residual	cy
d	需要	demand	x	s	系统	system	x
d	差动	differential	cd	s	跨步	step	k
de	破坏	destroy	ph	s	稳定	stable	w
div	分闸	divide	gf	sen	灵敏	sensitive	lm
E	地	earth	d	set	整定	setting	zd
e	有效的	efficient	yx	sh	冲击	shock, impulse	cj
ear	接地	earthing	jd	st	制定	stop	zh
ec	经济	economic	j	su	日照	Sun	t
eq	等效的	equivalent	dx	t	瞬态	transient	s
es	电动稳定	electrokinetic stable	dw	tou	接触	touch	jc
ex	励磁	excitation	lc	u	利用	use	L
f	最终	final	z	u	实用	utility	s
Fe	铁	iron	Fe	ub	不平衡	unbalance	bp
h	热	heat	r	w	工作	work	g
i	任意常数	arbitrary constant	i	wav	均权平均数	weighted average	J
in	内部	inside	n	Σ	总和	total, sum	Σ
K	短路	short-circuit	d	0	零、无、空	Zero, nothing, empty	0
l	负荷	load	fh	o	中性线	neutral wire	o
WL、L	线路	line	X	o	起始的	initial	o
max	最大	maximum	max				
me	仪表	meter	Yb				
med	介质	medium	j				
min	最小	minimum	min				

目 录

前言

常用字符说明

上篇 供用电系统一次部分

第一章 绪论	1
第一节 电力工业在国民经济中的地位	1
第二节 电力系统的组成和特点	1
第三节 发电厂和变电所的类型	4
第四节 发电厂和变电所电气设备简述	5
第五节 电力系统的接线方式和电压等级	6
第六节 电力系统中性点运行方式	9
思考题及习题	12
第二章 电力网计算	13
第一节 电力线路的结构	13
第二节 输电线路的电气参数计算和等值电路	20
第三节 变压器的参数计算和等值电路	26
第四节 电抗器的参数计算和等值电路	31
第五节 电力网的电压降落、电压损耗和电压偏移	32
第六节 电力网的功率损耗和电能损耗	36
第七节 辐射形电力网的潮流计算	42
思考题及习题	51
第三章 电力负荷计算、无功功率平衡和电压调整	53
第一节 负荷曲线和计算负荷	53
第二节 按需要系数法确定计算负荷	59
第三节 电力系统无功功率平衡	65
第四节 电力系统电压调整	72
第五节 无功补偿和功率因数调整	76
第六节 用户变电所主变压器选择原则	80
思考题及习题	81
第四章 短路电流计算	83
第一节 概述	83

第二节	标么制算法与网络化简	85
第三节	由“无限大”电力系统供电的三相短路电流计算	93
第四节	由同步发电机供电的三相短路电流计算	99
第五节	运算曲线法	103
第六节	1kV 以下低压电力网短路电流计算的特点	110
第七节	不对称短路电流的计算简介	110
	思考题及习题	117
第五章	电气主接线和配电装置	118
第一节	有母线型的电气主接线	118
第二节	无母线型的电气主接线	126
第三节	变电所电气主接线的设计	128
第四节	配电装置的分类和安全净距	130
第五节	屋内外配电装置	135
第六节	成套配电装置	136
	思考题及习题	138
第六章	开关电器	139
第一节	开关电器的基本工作原理	139
第二节	高压断路器	147
第三节	隔离开关	158
第四节	熔断器	162
第五节	低压开关	166
	思考题及习题	169
第七章	互感器	170
第一节	电流互感器	170
第二节	电压互感器	176
	思考题及习题	181
第八章	载流导体的发热和电动力	182
第一节	导体的长期发热	182
第二节	导体的短时发热	186
第三节	导体短路时的电动力	191
	思考题及习题	197
第九章	电气设备的选择	198
第一节	导体和电气设备选择的一般条件	198
第二节	母线、电缆和架空线的选择	200
第三节	支持绝缘子和穿墙套管的选择	208
第四节	高压断路器、隔离开关和高压熔断器的选择	209
第五节	限流电抗器的选择	213
第六节	互感器的选择	214

第七节 消弧线圈的选择	217
第八节 电气设备选择计算例题	223
思考题及习题	229

下篇 供用电系统二次部分

第十章 变电所的控制与信号回路	231
第一节 二次回路的基本概念	231
第二节 操作电源	236
第三节 断路器的控制回路	239
第四节 变电所的信号回路	245
思考题及习题	248
第十一章 继电保护概述与常用继电器	249
第一节 继电保护的作用和基本原理	249
第二节 对继电保护的基本要求	250
第三节 常用继电器	251
第四节 继电保护技术的发展概况	259
第五节 微机保护简介	259
思考题及习题	261
第十二章 电力线路的继电保护	262
第一节 定时限过电流保护	262
第二节 电流速断保护	270
第三节 限时电流速断保护	271
第四节 三段式电流保护全图及整定计算例题	272
第五节 低电压闭锁过电流保护和反时限过电流保护	275
第六节 方向过电流保护	279
第七节 距离保护简介	291
第八节 差动保护	303
思考题及习题	308
第十三章 小电流接地系统的接地保护	310
第一节 中性点不接地系统单相接地故障的特点	310
第二节 中性点经消弧线圈接地系统单相接地短路故障的特点	312
第三节 中性点不接地系统的接地保护装置	313
思考题及习题	315
第十四章 变压器保护	316
第一节 变压器的故障和应装设的保护	316
第二节 变压器的瓦斯保护	316
第三节 变压器的电流速断保护	318

第四节	变压器的纵联差动保护	319
第五节	变压器的过电流保护和过负荷保护	331
第六节	变压器的温度信号装置	335
第七节	变压器保护原理接线图及整定计算例题	336
思考题及习题		341
第十五章	电动机保护	342
第一节	电动机的故障种类和不正常运行方式	342
第二节	电动机的相间短路保护	342
第三节	电动机的单相接地保护	345
第四节	电动机的过负荷保护	345
第五节	电动机的低电压保护	348
思考题及习题		350
第十六章	电力电容器的保护	351
第一节	电容器组与断路器之间连线短路故障保护	351
第二节	电容器组多台电容器故障保护	352
第三节	电容器组不正常运行的保护	354
思考题及习题		355
第十七章	母线保护	356
第一节	母线的故障	356
第二节	母线的电流保护	356
第三节	母线的差动保护	357
思考题及习题		359
第十八章	自动装置	360
第一节	自动重合闸装置	360
第二节	单侧电源供电的三相一次自动重合闸	361
第三节	备用电源和备用设备的自动投入装置	366
第四节	备用电源自动投入装置的典型接线	368
思考题及习题		371
参考文献		372

上篇 供用电系统一次部分

第一章 绪 论

第一节 电力工业在国民经济中的地位

电力工业是国民经济的一个重要部门。由于电能具有输送、分配、转换、控制和使用方便等优点,因此电能不仅为工业、农业、现代科学技术和现代国防提供了必不可少的动力,而且与现代社会生活也有着日益密切的联系,电能已广泛应用到社会生产的各个领域和社会生活的各个方面。根据世界各国经济发展的进程来看,国民经济每增长1%,就要求电力工业增长1.3%~1.5%左右,从而,一些工业发达国家几乎是每7~10年(个别的为5~6年)装机容量增加一倍。因此可以认为,没有电力工业的先行作为基础,国民经济的现代化就不可能实现。

旧中国的电力工业发展十分缓慢,从1893年在上海建立第一个发电厂开始,到1949年全国解放时,全国发电设备总容量仅185万kW,年发电量仅43亿kW·h,居当时世界第25位。解放后,我国电力工业有了很大发展,至2005年年末,我国全国发电设备的总装机容量已超过5亿kW,年发电量超过24700亿kW·h,居世界第二位。我国已相继建成了750kV超高压输电线路和几十条500kV的超高压输电线路,500kV的超高压直流输电线路已建成并投入运行,800kV的超高压直流输电线路已进入规划和设计阶段。全国有7个跨省的电力系统,除了新建电网的大规模发展以外,对原有电网的改造也正在积极进行。总之,解放以来我国电力工业所取得的成就是巨大的。

但是,若按照人均用电量和人均装机容量来衡量,我国电力工业与世界上一些发达国家相比,仍有相当大的差距。因此我国电力工作者的一个重要任务就是加速电力工业的建设速度,为我国的经济建设提供稳定的电力保障。

第二节 电力系统的组成和特点

一、电力系统的形成

在电力工业发展初期,发电厂都建设在用电地区附近,规模很小,而且是孤立运行的。随着生产发展和科学技术的日益进步,用户的用电量和发电厂容量都在不断增大。由于电能生产是一种能量形式的转换,所以发电厂应建设在有动力资源的地方,例如水能资源集中在江河流域水位落差较大的地方,热能资源则集中在盛产煤、石油、天然气的矿区。而大城市、大工业中心等用电部门则由于地理、历史等各种条件的限制,往往与动力资源所在地有一定距离。因此必须建设升压变电所和架设高压输电线路,将电能送到电力负荷中心,随后经过降压变电所降压,再经过配电线路向各类用户提供电能。

为了提高供电的可靠性和经济性,将一些发电厂和用户通过升、降压变电所和输电线路组成在电气上相互连接的整体,形成电力系统。电力系统中输送、分配电能的部分称为“电力网”。如果将热力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用电设备,水力发电厂的水库、水轮机和原子能发电厂的反应堆等包括在内,称为“动力系统”。电力系统、电力网和动力系统的划分如图 1-1 所示。

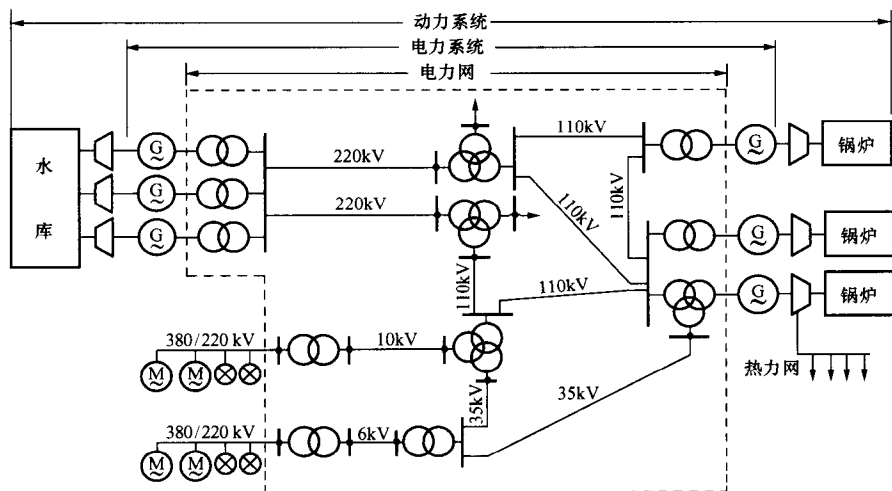


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

二、电力系统的优越性

联合电力系统实行统一调度,具有下列优越性。

1. 减少系统中的总装机容量

由于负荷特性、地理位置等的不同,电力系统中各发电厂孤立运行的最大负荷并不是同时出现的,因此系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时的最大负荷的总和,从而,相应地可减少系统中的总装机容量。

2. 合理利用动力资源,充分发挥水力发电厂的作用

水力发电厂的出力取决于河流的来水情况,由于水流情况的多变,很难与电力负荷相适应,往往在枯水季节出力不足,而丰水季节却要弃水。当水力发电厂连入电力系统后,它的运行情况就可与火力发电厂相互配合调剂。在丰水季节,水力发电厂尽量多发以减少火力发电厂的出力,节省燃料;而在枯水季节由水力发电厂担负尖峰负荷,火力发电厂担负固定的基本负荷。这样既充分利用了水能资源,又提高了火力发电厂的运行效率,降低了煤耗。所以电力系统将使多种能源得到充分利用。

3. 提高了供电可靠性

通常,孤立运行的发电厂必须单独装设一定的备用容量,以防机组检修或事故时中断对用户的供电。但当连成电力系统后,则随着系统容量的增大,不仅可以减少备用机组的台数和容量,提高设备的利用率,而且不同发电厂之间在发生事故时还可以相互支援,从而提高了供电可靠性。

4. 提高了运行的经济性

除了可以充分利用动力资源外,在电力系统中还可在各发电厂之间合理地分配负荷,降

低整个系统的电能成本。另外，随着系统容量的增大，就有可能采用单机容量较大的大型发电机组，降低了单位千瓦造价和运行损耗，提高了系统运行的经济性。

但是，电力系统的日益扩大，一处发生故障而波及广大地区的情况也越易发生；而且，系统短路容量也将随着增加，甚至达到设备所不能允许的程度。这些又是联合电力系统的缺点。

三、对电力系统运行的基本要求

电力工业电能的生产、输送、分配和消费与其他工业的区别在于：

(1) 与国民经济各部门的关系密切。由于电能与其他能源之间转换方便，宜于大量生产、集中管理、远距离输送、自动控制等，因此使用电能较其他能源有显著优点，各部门广泛使用电能。电能供应的中断或减少将影响国民经济的各个部门。

(2) 过渡过程非常短促。发电机、变压器、电力线路、电动机等元件的投入或退出都在一瞬间完成。电能输送所需的时间仅千分之几秒甚至百万分之几秒。电力系统从一种运行方式过渡到另一种运行方式的过渡过程更是非常短促。

(3) 电能不能大量储存。电能的生产、输送、分配、消费是同时发生的，即发电厂任何时刻生产的电能必须等于该时刻用电设备消费电能和输送、分配中损耗的电能之和。

根据这些特点，对电力系统运行的基本要求是：

(1) 保证可靠地持续供电。供电的中断将使生产停顿、生活混乱，甚至危及人身和设备安全，造成十分严重的后果。停电给国民经济造成的损失远远超过电力系统本身的损失。因此，电力系统运行首先要满足可靠、持续供电的要求。这就需做好设备的正常运行维护和定期的检查试验；同时，要提高运行水平，防止发生误操作，在事故发生后应尽量采取措施以防事故扩大，完善电力系统的结构等等。

虽然保证可靠供电是对电力系统的首要要求，但并非所有负荷都绝对不能停电。通常，根据用户对供电可靠性的要求，将用户分为下列三类：

1) 一类用户。如果对这类用户中断供电，就会带来人身危险、设备损坏、产生大量废品、严重破坏生产秩序、给国民经济带来巨大的损失或造成重大政治影响。对此类负荷须有两个或两个以上独立电源供电，并按生产需要和允许停电时间，以自动或手动切换电源。

2) 二类用户。如果对这类用户中断供电，将造成大量减产、停工、城市公用事业和人民生活受到影响等。此类负荷亦较重要，可由两回线路供电，如有困难时，允许由一回专用线路供电。

3) 三类用户。一般指不属于第一类、第二类的其他用户，短时停电不会带来严重后果，如工厂附属车间、小城镇等。对此类负荷通常用一个电源供电，无特殊要求。

当系统发生事故、出现供电不足的情况时，首先切除三类用户的供电，以保证一、二类用户的需要。

(2) 保证良好的电能质量。电能的质量指标主要是电压、频率和波形等变化不得超出允许范围。电压容许变化范围为额定电压的5%；频率的允许偏差为50 (0.2±0.5) Hz；波形应为正弦波，畸变量要十分小。

(3) 保证电力系统运行的经济性。要使电能在生产、输送和分配过程中效率高、损耗小，以期最大限度地降低电能成本。这样不仅是节省能量资源，且意味着各用电部门成本的

降低,使国民经济整体受益。

应当指出,以上要求是互相关联的,而且常是相互矛盾、相互制约的。因此,要综合考虑,满足任何一项要求时,须兼顾其他要求。

第三节 发电厂和变电所的类型

发电厂是将各种天然能源,如煤炭、水能、核能等转换成电能的工厂。电能一般还要由变电所升压,经高压输电线路送出,再由变电所降压才能供给用户使用。为便于了解电能生产、输送、分配的全过程,现将发电厂和变电所的类型简述如下。

一、发电厂的类型

(一) 火力发电厂

这是以煤(包括油和天然气)为燃料的发电厂。火力发电厂的原动机,大多为汽轮机,也有个别地方采用柴油机或燃气轮机的。火力发电厂又可分为:

(1) 凝汽式火电厂。锅炉产生蒸汽,送到汽轮机,带动发电机将机械能转换为电能。已作过功的蒸汽,排入凝汽器内冷凝成水,又重新送回锅炉。在凝汽器中,大量的热量被循环水带走。所以,凝汽式火电厂的效率很低,只有30%~40%左右。但现代大容量机组(600MW及以上)的出现,火电厂的效率有所提高。凝汽式火电厂,通常简称火电厂。

(2) 热电厂。热电厂与凝汽式火电厂不同之处主要在于:汽轮机中一部分作过功的蒸汽,从中间段抽出供给热力用户,或经热交换器将水加热后,把热水供给用户。这样,便可减少被循环水带走的热量损失。现代热电厂的效率高达60%~70%。

(二) 水力发电厂

水力发电厂将水的位能和动能转变成电能。根据水力枢纽布局的不同,水电厂又可分为堤坝式水电厂、引水式水电厂等。

(1) 堤坝式水电厂。这种水电厂在河床上游修建拦河坝蓄水,抬高上游水位,形成发电水头,这种发电方式称为堤坝式。

(2) 引水式水电厂。这种水电厂建筑在山区水流湍急的河道上,或河床坡度较陡的地方,由引水建筑物集中形成水头,一般不需修坝或只修低堰。上述是专供发电的水电厂。

尚有一种特殊形式的水电厂。当电力系统处于低负荷时,系统尚有多余出力,此时,机组以电动机—水泵方式工作,将下游水库的水抽至上游水库储存,待系统需高峰负荷时,机组再以水轮机—发电机的方式运行,将蓄水用于发电,满足调峰要求,这种水电厂称为抽水蓄能电厂。此外,抽水蓄能发电厂还可有调频、调相、系统备用容量等多种用途。

(三) 核电厂

核电厂是利用核裂变能转化为热能,再按火电厂的方式发电。只不过它是以核蒸汽发生装置代替了蒸汽锅炉,核蒸汽发生装置除蒸汽发生器、泵等外主要是原子核反应堆。反应堆中除核燃料外,并以重水或高压水等作为慢化剂和冷却剂,反应堆又可分为重水堆、压水堆等。

此外,还有利用其他一次能源的发电厂,如风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂以及直接将热能转换成电能的磁流体发电厂等。

二、变电所的类型

变电所是联系发电厂和用户的中间环节,起着变换和分配电能的作用。图 1-2 所示为各类变电所在电力系统中的作用。根据变电所在电力系统中的作用,可分成下列几类:

(一) 枢纽变电所

枢纽变电所位于电力系统的枢纽点,连接电力系统高压和中压的几个部分,汇集多个电源,电压为 330、500kV 的变电所。全所停电后,将引起系统解列,甚至使系统出现瘫痪。

(二) 中间变电所

中间变电所高压侧以交换潮流为主,起系统交换功率的作用,或使长距离输电线分段,一般汇集 2~3 个电源,电压为 220、330kV,同时又降压供给当地用电。中间变电所起中间环节的作用。全所停电后,将引起区域网络解列。

(三) 地区变电所

地区变电所高压侧电压一般为 110、220kV,对地区用户供电为主,是一个地区或城市的主要变电所。全所停电后,仅使该地区中断供电。

(四) 终端变电所

终端变电所在输电线路的终端,接近负荷点,高压侧电压为 35、110kV,经降压后直接向用户供电。全所停电后,只是用户受到损失。

另外,按变电所作用的不同,可分为升压变电所、降压变电所、联络变电所和整流变电所等。

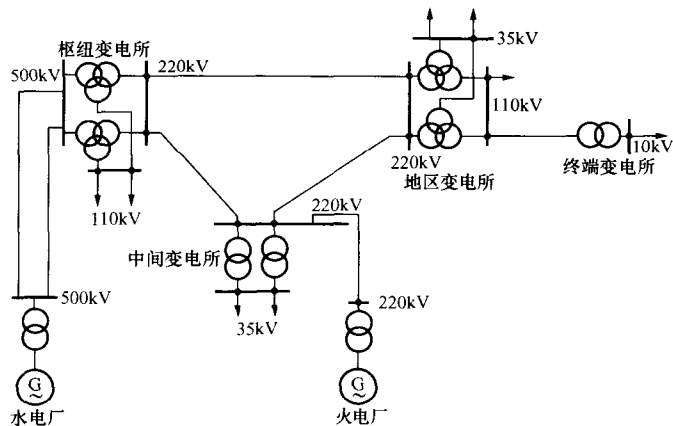


图 1-2 变电所类型示意图

第四节 发电厂和变电所电气设备简述

发电厂和变电所的主要任务是生产、输送和分配电能。为此,运行人员须根据负荷变化的要求,起动、调整或停运机组,对电路进行必要的切换,经常地监视主要设备的工作,周期性地检查和维护主要设备,定期检修设备以及迅速消除发生的故障等。因此,发电厂和变电所中装设的主要电气设备有:

(1) 电能生产和转换的设备,如将机械能转变成电能的发电机;将电能转变成机械能的电动机;使电压升高或降低的变压器。

(2) 接通和断开电路的开关电器,如断路器、熔断器、接触器等。于正常或事故时,用它们将电路闭合或断开。

(3) 限制故障电流和防御过电压的电器,如限制短路电流的电抗器和防御过电压的避雷器等。

(4) 接地装置。防雷设备(避雷针、避雷线和避雷器)接地、电力系统中性点的工作接地及保护人身安全的保护接地等,均用金属接地体埋入地中(或连成接地网)。

(5) 载流导体,如母线、电缆等。

上述设备担负着生产和输配电能的任务,通常称作一次设备。

还有一些设备是对上述一次设备进行监察、测量、控制和保护用的,称为二次设备。它们包括:

(1) 仪用互感器,如电流互感器和电压互感器,将电路中的电流和电压降至较低值,供仪表和保护装置使用。

(2) 测量表计,如电压表、电流表、电能表等,用于测量电路中的参量。

(3) 继电保护及自动装置,这些装置能迅速反应不正常情况并进行调节或作用于断路器跳闸,切除故障。

(4) 直流设备,包括直流发电机组、蓄电池等,供给保护、控制及事故照明的直流用电。

随着监控设备在电力系统中应用的逐渐普及,一些实际工作现场把相关的监控设备称之为三次设备。

第五节 电力系统的接线方式和电压等级

一、电力系统的接线方式

(一) 电力系统的接线图

电力系统的接线图有两种:电气接线图和地理接线图。电气接线图如图 1-1 所示。在电气接线图上较详细地表示出电力系统各主要元件之间的电气联系,但不能反映各发电厂、变电所的相对地理位置。地理接线图如图 1-3 所示。在地理接线图上,各发电厂、变电所的相对地理位置以及各条电力线路的路径都按一定比例表示出来,但各主要元件之间的电气联系却不能像图 1-1 中表示的清楚。因此,这两种接线图常配合使用。

(二) 电力系统的接线

电力系统的接线大致可分无备用和有备用两类。

(1) 无备用接线。用户只能从一个方向取得电源的接线方式,包括单回路放射式、干线式和链式,如图 1-4 所示。

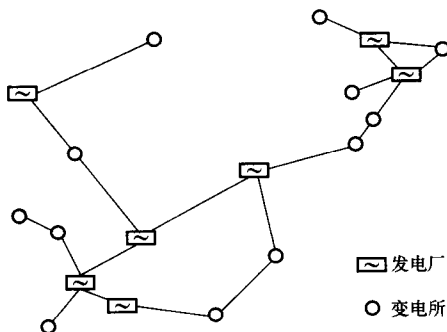


图 1-3 电力系统的地理接线图

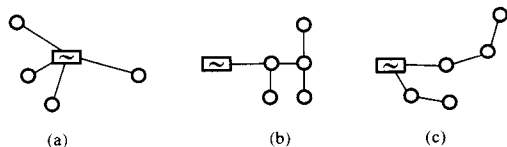


图 1-4 无备用接线

(a) 单回路放射式; (b) 单回路干线式; (c) 单回路链式

这类接线的主要优点是简单、经济、运行方便，主要缺点是供电可靠性差。因此，这类接线不适用于一类负荷比重很大的场合，依靠继电保护和自动重合闸相配合，可以适用于向二类负荷供电。

(2) 有备用接线。它是指用户可以从两个或两个以上方向取得电源的接线，如图 1-5 所示。这类接线的优点是供电可靠，缺点是运行操作和继电保护复杂，经济性较差。对一、二类负荷尤其是一类负荷供电，应当优先考虑采用有备用接线。

接线方式需经技术经济比较后方能确定。所选接线除保证供电可靠、有良好的电能质量和经济指标外，还应保证运行灵活和操作时的安全。

二、电力系统的电压等级

(一) 电力系统的额定电压等级

由于三相功率和线电压 U 、线电流 I 间的关系为 $S = \sqrt{3} UI$ ，输送功率一定时，输电电压愈高，电流愈小，需要的导线和电气设备等载流部分的截面积愈小，投资愈少；但电压愈高，对绝缘的要求愈高，杆塔、变压器、断路器等用于绝缘上的投资也就愈大。综合考虑这些因素，对应一定的输送功率和输送距离就有一个最合理的线路电压值。从设备制造角度考虑，为保证生产的系列性，线路电压值又不应任意确定。而且规定的标准电压等级过多也不利于电力工业的发展。考虑到现有的实际情况和进一步的发展，我国国家标准规定的标准电压（又称额定电压）如表 1-1 和表 1-2 所示。选择电力线路电压时，只能选用国家规定的电压等级。

表中用电设备、发电机、变压器的额定电压不一致，及其与线路额定电压之间的关系，可由图 1-6 电力网络的电压分布说明如下：

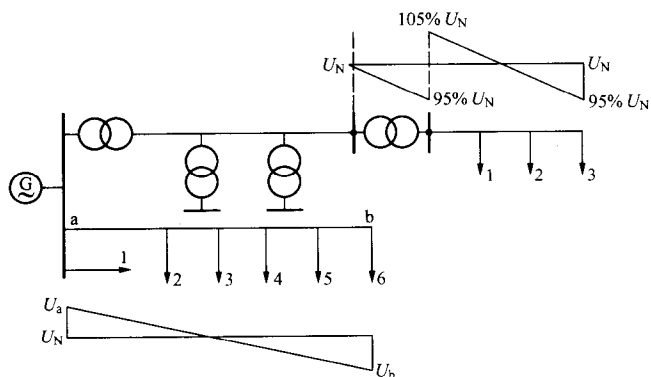


图 1-6 电力网络中的电压分布

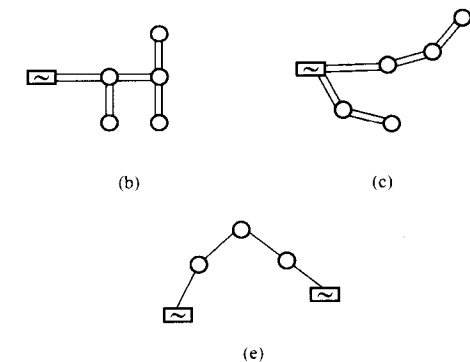


图 1-5 有备用接线

(a) 双回路放射式；(b) 双回路干线式；(c) 双回路链式；(d) 环式；
(e) 两端供电网络

当线路输送功率时，沿线路的电压分布往往是始端高于末端。如图 1-6 中，沿线段 ab 的电压分布可能如斜直线 $U_a - U_b$ 所示，用电设备 1~6 的端电压将各不相同。线路额定电压 U_N 即线路的平均电压 $(U_a - U_b) / 2$ ，而各用电设备的额定电压则取与线路额定电压相等，使所有用电设备能在接近其额定电压下运行。用电设备的允许电压偏