



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

电气接线原理及运行

王辑祥 梁志坚 合编



中国电力出版社
<http://www.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书全面介绍了发电厂和变电所各种电气接线的原理和运行。主要内容有：电气一次和二次接线；电气设备的控制回路和信号回路接线以及故障分析；互感器及其接线；继电保护接线；同期系统接线；水轮发电机组自动控制接线；电气测量接线等。内容紧密联系实际，注重实用性，除了阐述接线原理之外，还着重对电气接线运行中的问题进行分析。

本书适用于高等学校电气工程相关专业的本科、专科、高职学生作为教材或参考资料，也适用于从事电气工程设计、安装及运行维护人员阅读或作为培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气接线原理及运行/王辑祥, 梁志坚合编. —北京:
中国电力出版社, 2005
21世纪高等学校规划教材
ISBN 7-5083-3019-6

I. 电... II. ①王... ②梁... III. 电气回路—高等学校—教材 IV. TM645

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 005056 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005年2月第一版 2005年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10.5印张 238千字

印数 0001—3000册 定价 16.80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)

第一章 图形符号 文字符号 连线

接线

实际工程的电气接线是靠电气图纸来表征的，电气图纸是电气工程的语言，它对于电气工程设计、安装、制造、试验、运行维护和生产管理都是不可缺少的。为了表达、传递和沟通信息，电气工程图纸必须按照统一的标准和规定绘制。而图形符号、文字符号和连接线则是电气图纸的三个要素。

第一节 概 述

一、电气图符号标准的发展

我国在解放初期，电气图纸是套用前苏联的标准，其中文字符号是用俄文字母表示的。1964年，我国颁布一整套电气图形符号和文字符号国家标准，其中文字符号主要是由汉语拼音字母表示的，由于当时电力工业的规模还比较小以及当时的具体环境，标准的贯彻执行是比较顺利的，很快深入人心。为了适应改革开放的新形势，我国于1984年后陆续颁布了电气图形符号和文字符号新的国家标准，取代BG312—64旧标准图形符号和BG315—64旧标准文字符号，它是根据国际电工委员会（IEC）相关出版物制定的，仅有个别符号是我国已习惯使用而IEC又没有的符号，它的发布和实施使我国在电气制图领域的工程语言及规则得到统一，并与国际上通用的语言及规则协调一致，促进了国内各专业之间的技术交流，加强了国际间的交流和合作。上世纪90年代以来，电气制图和电气图形符号的国际标准已陆续修订，我国亦跟踪IEC再次修订了新的国家标准。

发电厂和变电站相关的图形符号和文字符号新标准如表1-1所示。

表 1-1 电气图形符号和文字符号新标准

标准代号	标 准 名 称
GB/T4728. 1~4728. 13—1996~2000	电气简图用图形符号
GB/T5465. 1—1996	电气设备用图形符号绘制原则
GB/T5465. 2—1996	电气设备用图形符号
GB/T6988. 1—1997	电气技术用文件的编制 一般要求
GB/T6988. 2—1997	电气技术用文件的编制 功能性简图
GB/T6988. 3—1997	电气技术用文件的编制 接线图和接线表

GB/T6988.6—1997	电气技术用文件的编制 控制系统功能表的绘制
GB/T16679—1996	信号与连接线的代号
GB7159—87	电气技术文件中文字符号制定通则
GB/T18135—2000	电气工程 CAD 制图规则

发电厂和变电所相关的图形符号和文字符号新标准如表 1-1 所示

二、积极推广应用新标准

新标准颁布实施已有十几年至二十年，原国家标准局曾发文要求，自 1990 年 1 月 1 日起，所有电气文件和图纸一律使用新的国家标准，但应用情况很不理想。时至今日我们看到，仍有不少设计手册、现场图纸和部分教科书甚至一些新的设计仍在使用旧符号，或者新旧符号混用（如英文和拼音字母混用；文字符号用新标准而图形符号用旧标准或反之；一个厂站新设备用新标准，旧设备用旧标准等等）。这与改革开放、与国际接轨以及经济全球化的新形势是极不相称的，也易造成运行维护、生产管理的混乱。造成这种局面的原因是执行应用新标准重视不够、推广不力、措施不到位。每一位电气工作者部应有紧迫感和使命感，把熟率并积极推广应用新标准为己任。

第二节 文字符号

文字符号用字母或字母组合构成。文字符号的字母采用拉丁字母大写正体字。文字符号可分为基本文字符号和辅助文字符号两类。

一、基本文字符号

基本文字符号可采用单字母符号或双字母符号。只有当用单字母符号不能满足要求需要将大类进一步划分时，才采用双字母符号，以便较详细和更具体地表述电气设备、装置和元器件。单字母符号是将各种电气设备、装置和元器件划分为 23 个大类，每一大类用一个专用拉丁字母表示。由于拉丁字母“l”和“O”易同阿拉伯数字“1”和“0”混淆，因此不把他们作为单独的文字符号使用。

双字母符号是由一个表示种类的单字母符号与另一个字母组成，其组合型式是以单字母符号在前，另一字母在后的次序列出。双字母符号的第二个字母可根据其功能、状态和特性等选定。如“K”为继电器类的单字母符号，而“KT”表示时间继电器。

基本文字符号不应超过两个字母。电气设备常用的基本文字符号见表 1-2。

表 1-2

电气设备常用基本文字符号

设备,装置和 元器件种类	举 例 中文名称	基本文字符号		旧 符 号 (GB315)
		单字母	双字母	
组件部件	分离元件放大器 调节器	A		FD
	本表其他地方未提及的组件、部件			T
	电桥		AB	DQ
	晶体管放大器		AD	BF
	集成电路放大器		AJ	
	磁放大器		AM	CF
	电子管放大器		AV	GF
	印刷电路板		AP	
	抽屉柜		AT	

续表

设备,装置和 元器件种类	举 例 中文名称	基本文字符号		旧 符 号 (GB315)		
		单字母	双字母			
非电量到电 量变换或电 量到非电量 变换器	热电传感器 热电池 光电池 测功计 晶体换能器 送话器 拾音器 扬声器 耳机 自整角机 旋转变压器 模拟和多级数字变换器 或传感器(用作指示和测量)	B		S SS Y EJ ZZJ ZB		
	压力变换器		BP	YB		
	位置变换器		BQ	WZB		
	旋转变换器(测速发电机)		BR	(CSF)		
	温度变换器		BT	WDB		
	速度变换器		BV	SB,SDB		
	电容器		电容器	C		C

二进制元件 延迟器件 存储器件	数字集成电路和器件 延迟线 双稳态元件 单稳态元件 磁芯存储器 寄存器 磁带记录机 盒式记录机 计算机 数字集成电路和元件、插件	D		
其他元器件	本表其他地方未规定的器件	E		
	发热器件		EH	
	发光器件		EL	ZD
	空气调节器		EV	
	热元件			
	照明灯			

续表

设备,装置和 元器件种类	举 例 中文名称	基本文字符号		旧 符 号 (GB315)
		单字母	双字母	
保护器件	过电压放电器件,避雷器	F		BL
	具有瞬时动作的限流保护器件		FA	
	具有延时动作的限流保护器件		FR	
	具有延时和瞬时动作的限流保护器件		FS	
	熔断器		FU	RD
	限压保护器件		FV	
发生器 发电机 电源	旋转发电机,振荡器	G		F
	发生器		GS	E
	同步发电机			
	异步发电机		GA	YF
	蓄电池		GB	XDC
	旋转式或固定式变频器		GF	BP
信号器件	声响指示器	H	HA	FM,JL,LB
	光指示器		HL	GP
	指示灯		HL	SD
接触器	接触器		KM	

继电器	瞬时接触继电器	K	KA	
	瞬时有或无继电器		KA	LJ
	交流继电器		KA	
	闭锁接触继电器(机械闭锁或永磁铁式有或无继电器)		KL	
继电器	双稳态继电器		KL	C
	极化继电器		KP	YLJ
	簧片继电器		KR	
	延时有或无继电器		KT	SJ
	逆流继电器		KR	NLJ
	控制继电器		KC	ZJ
	热继电器		KH	
	接地继电器		KE	
	双稳态继电器		KL	
电感器 电抗器	感应线圈 线路阻波器 电抗器	L		GQ DK

续表

设备,装置和 元器件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		旧 符 号 (GB315)
		单字母	双母	
发电机	电动机	M		D
	同步电动机		MS	TD
	可做发电机或电动机用的电机		MG	
	力矩电动机			
模拟元件	运算放大器,混合模拟/数字件	N		
测量设备 试验设备	指示器件 记录器件 积算测量器件 信号发生器	P		GB
	电流表		PA	A
	(脉冲)计数器		PC	JS
	电能表(电度表)		PJ	
	记录仪器		PS	
	时间操作时间表		PT	
	电压表		PV	V

	断路器		QF	DL,ZK
	电动机保护开关		QM	
	隔离开关		QS	GK
电阻器	电阻器	R		R
	变阻器			R
	电位器		RP	W
	测量分路表		RS	FL
	热敏电阻器		RT	
	压敏电阻器		RV	
控制、记忆、 信号电路的 开关器件选 择器	控制开关	R	SA	
	选择开关		SA	AN
	按钮开关		SB	
	机电式传感器(单级数字传感器)			
	液体标高传感器		SL	
	压力传感器		SP	
	位置传感器(包括接近传感器)		SQ	ZDK , ZK
	转数传感器		SR	
	温度传感器		ST	

续表

设备,装置和 元器件种类	举 例 中文名称	基本文字符号		旧 符 号 (GB315)
		单字母	双母	
变压器	电流互感器	T	TA	LH
	控制电路电源用变压器		TC	KB
	电力变压器		TM	LB
	磁稳压器		TS	WY
	电压互感器		TV	YH
调制器 变换器	鉴频器 解调器 变频器 编码器 变流器 逆变器 整流器 电板译码器	U		BP BL NB ZL

晶体管	气体放电管 二极管 晶体管 晶闸管	V		BG
	控制电路用电源的整流器		VC	
传输通道 波导 天线	导线 电缆 母线 波导 波导定向耦合器 偶极天线 抛物天线	W		DX DL M
端子 插头 插座	连接插头和插座 接线柱 电缆封端和接头 焊接端子板	X		JX
	连接片		XB	LP
	测试插孔		XJ	CK
	插头		XP	CT
	插座		XS	CZ
	端子板		XT	

续表

设备,装置和 元器件种类	举例 中文名称	基本文字符号		旧符 号 (GB315)
		单字母	双母	
电气操作的 机械器件	气阀	Y		
	电磁铁		YA	DT
	电磁制动器		YA	ZDT
	电磁离合器		YB	CLH
	电磁吸盘		YH	DX
	电动阀		YM	
	电磁阀		YV	DCF

终端设备 混合变压器 滤波器 均衡器 限幅器	电缆平衡网络 压缩扩展器 晶体滤波器 网络	Z		LB
------------------------------------	------------------------------------	---	--	----

二、辅助文字符号

辅助文字符号是用以表示电气设备、装置和元器件以及线路性能、状态和特征的，如“AC”表示交流，“P”表示保护或压力。辅助文字符号也可以放在表示种类的单字母符号后组成双字母符号，如“KA”表示电流继电器。辅助文字符号还可以单独使用，如“OFF”表示断开，“PE”表示保护接地等。

常用辅助文字符号见表 1-3。

表 1-3 常用辅助文字符号

序号	文字符号	名称	旧符号	序号	文字符号	名称	旧符号
1	A	电流	L	11	BK	黑	
2	A	模拟		12	BL	蓝	A
3	AC	交流	JL	13	BW	向后	
4	A, AUT	自动	Z	14	C	控制	K
5	ACC	加速		15	CW	顺时针	
6	ADD	附加	F	16	CCW	逆时针	
7	ADJ	可调		17	D	延时	
8	AUX	辅助	F	18	D	差动	
9	ASY	异步	Y	19	D	数字	
10	B, BRK	制动		20	D	降	J

续表

序号	文字符号	名称	旧符号	序号	文字符号	名称	旧符号
21	DC	直流	ZL	47	PE	保护接地	
22	DEC	减		48	PEN	保护接地与中性线公用	
23	E	接地		49	PU	不平衡保护	

直流发电机	G	GD	转子绕组	W	WR	变流器	U	
交流发电机	G	GA	励磁绕组	W	WE	逆变器	U	
同步发电机	G	GS	控制绕组	W	WC	变频器	U	
异步发电机	G	GA	电力变压器	T	TM	断路器	Q	QF
水轮发电机	G	GH	控制变压器	T	TC	隔离开关	Q	QS
励磁机	G	GE	升压变压器	T	TU	自动开关	Q	QA
直流电动机	M	MD	降压变压器	T	TD	转换开关	Q	QC
交流电动机	M	MA	自耦变压器	T	TA	刀开关	Q	QK
同步电动机	M	MS	整流变压器	T	TR	控制开关	S	SA
异步电动机	M	MA	稳压器	T	TS	行程开关	S	ST
笼型电动机	M	MC	电流互感器	T	TA	限位开关	S	SL
电枢绕组	W	WA	电压互感器	T	TV	终点开关	S	SE
定子绕组	W	WS	整流器	U		按钮开关	S	SB
接触器	K	KM	电感器	L		熔断器	F	FU
制动电磁铁	Y	YB	电抗器	L		蓄电池	G	GB
电阻器	R		感应线圈	L		调节器	A	
电位器	R	RP	电线	W		压力变换器	B	BP
起动电阻器	R	RS	电缆	W		位置变换器	B	BQ
制动电阻器	R	RB	母线	W		温度变换器	B	BT
频敏电阻器	R	RF	避雷器	F		速度变换器	B	BV
附加电阻	R	RA	照明灯	E	EL	测速发电机	B	BR
电容器	C		指示灯	H	HL	接线柱	X	

表 1-5 电气一次设备常用辅助文字符号

名称	新符号	旧符号									
高	H	G	反	R	F	电流	A	L	自动	AUT	Z
低	L	D	红	RD	H	时间	T	S	手动	MAN	S
升	U	S	绿	GN	L	闭合	ON	BH	起动	ST	Q
降	D	J	黄	YE	U	断开	OFF	DK	停止	STP	T
主	M	Z	直流	DC	ZL	附加	ADD	F	控制	C	K
辅	AUX	F	交流	AC	JL	异步	ASY	Y	信号	S	X
正	FW	Z	电压	V	Y	同步	ASN	T			

2. 电气二次回路常用的文字符号

电气二次回路常用的文字符号见表 1-5(继电器和小母线另列)

表 1-6 电气二次回路中常用的文字符号

名称	新	旧	名称	新	旧
单相短路	SC ⁽¹⁾	D ₍₁₎	跳闸线圈	Yoff ; LTR	TQ
二相短路	SC ⁽²⁾	D ₍₂₎	最大负载电流	I _{L·max}	I _{fz·zd}
二相接地短路	SC ^(1,1)	D _(1,1)	最小	min	ZX
三相短路	SC ⁽³⁾	D ₍₃₎	自启动系数	K _{st}	K _{Zq}
短路故障点	f	d	电流互感器变化	K _{TA}	n _{LH}
短路电流	I _{SC} ; I _f	I _d	或门	OG	HM
灵敏系数	K _{sen}	K _{im} ; D _I	或非门	ONG	HFM
动作电流	I _{op}	I _{dz}	与门	AG	YM
动作电压	U _{rds}	U _{dz}	与非门	ANG	YFM
残余电压	U _{em}	U _{cy}	延时	PT	YS
电磁力	F _{em}	F _{dc}	工作电压	U _w	U _G
电磁力矩	M _{em}	M _{dc}	额定电压	U _n	U _e ; U _{ed}
磁阻	R _m	R _c	电压互感器变化	K _{tv}	n _{YH}
电源控制开关	SA	K	正误差时间	t _F	t _Z
返回电流	I _{re}	I _{fh} ; I _h	负误差时间	t _n	t _F
返回系数	K _{re}	K _{fh} ; K _h	时间裕度	t _{as}	t _{yd}
合闸线圈	Y _{on} ; LCL	HQ	备用电源自动投入装置	AATS ; RSAD	BZT
电流正, 负母线	+W ; -W	+、-	击穿保险器	FD	JB
附加电阻	R _a ; RAU	R _{fj} ; R _f	报警熔断器	FUA	
电抗变压器	TC _L	DKB	合闸接触器	KMC	HC
电流变换器	TC _A	LB	控制开关	SAC ; SA	KK
电压变换器	TC _V	YB	选择(切换)开关	SAH	ZK
动作时间	T _{op}	t _{dz}	测量切换开关	SAM	CK
可靠系数	K _{rel}	K _k	信号切换开关	SACS	XK
连接片	XB	LP	同期开关	SAS	TK
切换片	XBC	QP	闭锁开关	SAL	BK
接线系数	K _{con}	K _{jx}	复归按钮	SBR ; SB _{RE}	FA
配合系数	K _{ma}	K _{ph}	跳闸按钮	SBT	TA
游丝反作用力矩	M _{sp}	M _y	音响解除按钮	SB _{AR}	YJA
摩擦阻力矩	M	M _m	紧急停机按钮	SB _{ES}	JTA
零序电流互感器	TA ₀ ; TAZ	LLH	停止按钮	SB _{SS}	TA
自动重合闸装置	ARE ; AAR	ZCH	起动按钮	SB _{ST}	QA ; QAN
不平衡电压	U _{unb}	U _{bph}	试验按钮	SB _{TE}	SA ; SAN
励磁电流	I _{fi} ; I _E	I _L			

续表

名称	新	旧	名称	新	旧
励磁涌流	I_{fi-im}	I_{LY}	刀开关	SKN	K
速饱和变流器	TQS	SLB ; BLH	行程开关	SP	XK ; SWK
试验盒	TB	SH	电磁锁	YET ; YEL	DS
自动调节励磁装置	AVR ; AAVR	ZTL	位置指示器	PP	
	AAER		转角变压器辅助	WVBL _{1(L2, L3)}	
发电机励磁线圈	L_{GE} ; LGE	FLQ	制动器	WTA _{L1 (L3)}	Z
励磁机励磁线圈	L_{EE} ; LEE	LLQ	失压脱扣器	TD	TD
灭磁开关	Q_{fd} ; QFB	MK	试灯开关	SAT	
灭磁电阻	R_{fd} ; RFS	R_{mc}	冲击电流	I_{imp}	I_{cj}
继电器整定电流	I_{se-k}	I_{zd-j}	同期表计切换开	SASC	QK
电源变压器	TC	YB	关		
分流器	KCL	R_{fl}	接地检查按钮	SB _{RY}	JJA
转角变压器	KF ; KRC	ZB	自同期重合闸装	AARE	ZZCH
直流接触器	KM_{DC}	ZC	置		
系统	S	x_t	发电无功电流	I_{g-w}	I_{f-w}
红灯	HR_d	HD	脉冲变压器	T_{imp}	MB
绿灯	HG_n	LD	波段开关	BS	K
白灯	HW_h	BD	风机开关	SAF	FK
			快速熔断器	FU_{hs}	RDS

3. 继电器的文字符号

继电器的文字符号及其新旧对照列于表 1-6 中。

表 1-7 继电器的文字符号

继电器名称	新符号	旧符号	继电器名称	新符号	旧符号
-------	-----	-----	-------	-----	-----

继电器	K	J	跳闸位置继电器	KTP	TWJ
电流继电器	KA	LJ	机组开机继电器	KST	JQJ
过电流继电器	KA0	LJ	机组停机继电器	KSP	TQJ
欠电流继电器	KAU	LJ	同步检查继电器	KSY	TJJ
电压继电器	KV	YJ	跳跃闭锁继电器	KJL	TBJ
过电压继电器	KV0	YJ	闭锁继电器	KLA	BSJ
欠电压继电器	KVU	YJ	加速继电器	KAC	JSJ
时间继电器	KT	SJ	电压中间继电器	KRE	YZJ
差动继电器	KD	CJ	事故信号中间继电器	KCA	SXJ
功率继电器	KP	GJ	预告信号中间继电器	KCS	YXJ
负序功率继电器	KPH		差动断线监视继电器	KDL	CJJ
零序功率继电器	KPZ		转子接地继电器	KLZ	ZLJ

续表

继电器名称	新符号	旧符号	继电器名称	新符号	旧符号
-------	-----	-----	-------	-----	-----

逆功率继电器			信号继电器		
逆电流继电器	KPP		冲击继电器	KS	XJ
频率继电器	KAH	NLJ	保护出口继电器	KAI	XMJ
差频继电器	KF	PJ	闪光继电器	KOU	BCJ
低频率继电器	KFD	CPJ	隔离开关位置继电器	KVL	SGJ
过频率继电器	KFU		切换继电器	QSKP	GWJ
零序电流继电器	KFO		电压切换继电器	KCW	QJ
零序电压继电器	KAZ	LLJ	绝缘监视继电器	KCWV	YQJ
零序功率方向继电器	KVP	ZYJ	手动合闸继电器	KVI	
负序电压继电器	KVN	FYJ	手动跳闸继电器	KCRM	SHJ
负序电流继电器	KAN	FLJ	闭锁继电器	KTPM	STJ
过励磁继电器	KEO		复归继电器	KCB	BSJ
欠励磁继电器	KEU		电压监视继电器	KPE	FJ
母线差动继电器	KDB		重合闸后加速继电器	KVS	JJ
阻抗继电器	KI	ZKJ	极化继电器	KCP	JSJ
防跳继电器	KJL	TBJ	瓦斯继电器	KPZ	
合闸继电器	KON	HJ	温度继电器	KG	WST
合闸位置继电器	KCP	HWJ	压力监视继电器	KTP	WJ
跳闸继电器	KTR	TJ	热继电器	KVP	YJJ
				KR	RJ

第三节 图形符号

图形符号是指通常用于图样或其他文件以表达一个设备或概念的图形、标记或字符。

一、图形符号的构成

电气图用图形符号由符号要素、限定符号、一般符号、方框符号和组合符号构成。

1. 符号要素。是一种具有确定意义的简单图形，不能单独使用。符号要素必须同其他图形组合后才能构成一个设备或概念的完整符号。例如继电器的线圈及其各对触点等符号要素可共同组成继电器的符号。符号要素组合使用时，其布置可以同符号所表示的设备的实际结构不一致。

2. 限定符号。是用以提供附加信息的一种加在其他符号上的符号。它通常不能单独使用。有时一般符号也可用作限定符号。如电容器的一般符号加到传声器符号上即构成电容式传声器符号。

3. 一般符号。是用以表示一类产品和此类产品特征的一种通常很简单

的符号。

4. 方框符号。是用以表示元件、设备等的组合及其功能的一种简单图形符号。它既不给出元件、设备的细节，也不考虑所有连接。方框符号通常使用在单线表示法的图中也可用在示出全部输入和输出接线的图中。

5. 组合符号。是指通过以上已规定的符号进行适当组合派生出来的、表示某些特定装置或概念的符号。

我国规定的电气图形符号由 13 部分组成，符号的形式、内容、数量等全部与 IEC 标准相同，可以参看相关的标准。本书只列出发电厂变电所常用的图形符号。

二、图形符号的使用规则

电气制图在选用图形符号时，应遵守以下使用规则：

1. 图形符号的大小和方位可根据图面布置确定，但不应改变其含义，而且符号中的文字和指示方向应符合读图要求。采用计算机辅助绘图时，应按特定的模数 $M = 2.5\text{mm}$ 的网格设计。这可使符号的构成、尺寸一目了然，方便人们正确掌握符号各部分的比例。

2. 在绝大多数情况下，符号的含义由其形式决定，而符号大小和图线的宽度一般不影响符号的含义。有时为了强调某些方面，或者为了便于补充信息，允许采用不同大小的符号，改变彼此有关的符号的尺寸，但符号间及符号本身的比例应保持不变。

3. 在满足需要的前提下，尽量采用最简单的形式；对于电路图，必须使用完整形式的图形符号来详细表示。

4. 在同一张电气图样中只能选用一种图形形式，图形符号的大小和线条的粗细亦应基本一致。

5. 符号方位不是强制的。在不改变符号含义的前提下，符号可根据图面布置的需要旋转或成镜像放置，但文字和指示方向不得倒置。

6. 图形符号中一般没有端子符号。如果端子符号是符号的一部分，则端子符号必须画出。

7. 导线符号可以用不同宽度的线条表示，以突出或区分某些电路、连接线等。

8. 图形符号一般都画有引线。在不改变其符号含义的原则下，引线可取不同方向。在某些情况下，引线符号的位置不加限制；当引线符号的位置影响符号的含义时，必须按规定绘制。

9. 图形符号均是按无电压、无外力作用的正常状态表示的。

10. 图形符号中的文字符号、物理量符号,应视为图形符号的组成部分。
当这些符号不能满足时,可再按有关标准加以充实。

三、发电厂变电所常用图形符号

发电厂变电所二次回路常用图形符号及其新旧对照见表 1-8。在表中,将新旧文字符号也一并标上,以便于对照。

表 1-9 为常用继电器的图形符号及其新旧对照,一般用于集中式二次原理图,并将新旧文字符号也一并标上。

表 1-10 为常用继电器线圈的图形符号,一般用于展开式二次原理图,继电器线圈的图形符号新标准与旧标准基本上是相同的。

表 1-11 为常用继电器触点的图形符号及其新旧对照表。

顺便指出,二次设备屏柜的屏后接线图中,也需要画出设备的图形,图形符号要标出设备的内部接线及接线柱号,标准对这种图形没有作出规定。设计屏后接线图时,可参考有关手册或产品目录。

表 1-8 常用电气二次图形符号和文字符号新旧对照表

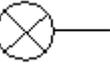
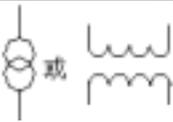
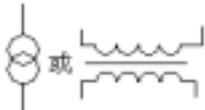
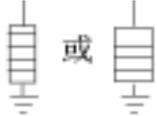
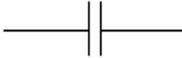
名 称	新 标 准		旧 标 准		
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号	
控制器或操作开关	与右边符号相同	SA		ZK	
限位开关	常开触头		SL		XWK
	常闭触头		SL		XWK
	复合触头		SL		XWK
按钮	起动按钮		SB _{ST}		QA
	停止按钮		SR _{SS}		TA

	复合按钮		SB		A ; AN
接 触 器	线图		KM		C
	动合触头		KM		C
	动断触头		KM		C
	带灭弧装置的动合触头		KM		C
	带灭弧的动断触头		KM		C

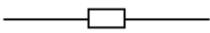
续

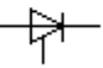
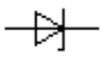
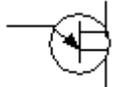
表

名 称	新 标 准		旧 标 准		
	图 形 符 号	文 字 符 号	图 形 符 号	文 字 符 号	
继电器	另见表 1-9 到表 1-11				
热继电器	热继电器		KTH	RJ	
	热元件		KTH		RJ
	常闭触点		KTH		RJ
电磁铁			YB		CT
接插器(插头, 插座)			XS ; XP		CZ

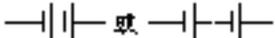
熔断器		FU		TD ; RM
信号(指示)灯		HL (PL)		ZSD
单相电压互感器		TA		YH
电流互感器		TA		LH
避雷器		F		RL
电容器		C	C	C

续表

名 称	新 标 准		旧 标 准	
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
电感器(线圈)带铁心的电感器铁心有间隙的电感器		L	L	L
电阻器		R		R
滑线变阻器		R	R	R
滑动触头电位器		RP	RP	RW ; W

母线(汇流排)		W ; WB	W ; WB	M
接地一般符号		E		
开关一般符号		Q		K
晶体二极管		V ; VD		D
晶体三极管(PNP型) 晶体三极管(NPN型)	 	V ; VT	 	BG
晶闸管(可控硅)		V ; VTH		SCR ; K2L KGZ
稳压管		V ; VS		Dw
单结晶体管		V ; VSJ		OJT
桥式整流器		VR		ZL

续表

名称	新标准		旧标准	
	图形符号	文字符号	图形符号	文字符号
蓄电池		GB		XDC
蓄电池组		GB		XDC

指示 仪表 (举	电 压 表		PV		V
----------------	-------------	---	----	---	---

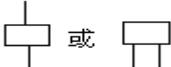
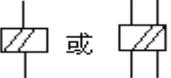
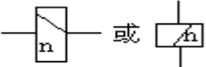
例)	功率表		PW		W
	记录式功率表		PW		
	积算仪表；电能表		PWh		
	光字牌(单或双)	 或 	H	 或 	GP
	电铃(警铃)		HAB (EB;PB)	 或 	DL;JL
	蜂鸣器		HAB (PBU)	 或 	FM
	电喇叭(电笛)	 或 	HAL (EW)	 或 	DD
	手车式；抽屉式插口				

表 1-9 常用继电器的表示符号

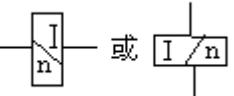
继电器名称	图形符号		文字符号	
	新	旧	新	旧
继电器一般表示			K	J
电流继电器			KA	LJ
过电流继电器			KOA	GLJ

电压继电器			KV	YJ
欠电压继电器			KUV	DYJ
过电压继电器			KOV	GYJ
时间继电器 (定时限)			KT	SJ
中间继电器 出口继电器			KC KOU	ZJ BCJ
信号继电器			KS	XJ
气体继电器 (瓦斯继电器)			KG	WST
差动继电器			KD	CJ

表 1-10 继电器线圈的表示符号

序号	说 明	图 形 符 号
1	继电器线圈的一般符号	
2	当需要指出继电器为双线圈时	
3	继电器有几个线圈时	

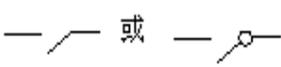
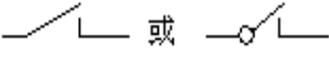
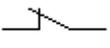
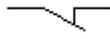
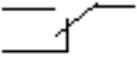
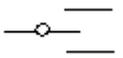
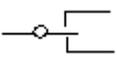
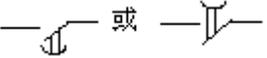
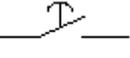
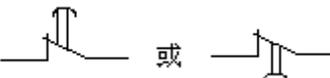
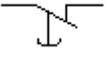
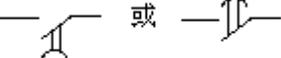
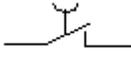
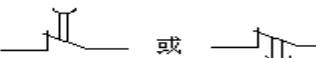
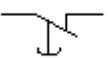
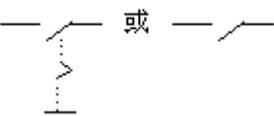
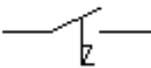
续表

序号	说 明	图 形 符 号
4	几个线圈的继电器的电流线圈	

5	继电器的交流线圈	
6	继电器的电流线圈	
7	继电器的电压线圈	
8	缓慢释放（缓放）线圈	
9	缓慢吸合（缓吸）线圈	
10	缓吸和缓放的线圈	
11	快速继电器（快吸和快放）的线圈	
12	机械（或电气）保持继电器的线圈	
13	极化继电器的线圈（圆点表示通过极化继电器的电流方向和运触点的运动之间的关系：当标有极点的绕组端子相对与另一绕组端子是正级时，动触点朝着标有圆点的位置运动）	
14	热继电器的驱动器件	

表 1-11 常用继电器触点的表示符号

序号	名称	图形符号	
		新符号	旧符号

1	动合触点(常开触点)		
2	动断触点(常闭触点)		
3	先断后合的转换触点		
4	中间断开的双向触点		
5	延时闭合的动合(常开)触点		
6	延时闭合的动断(带闭)触点		
7	延时断开的动合(带开)触点		
8	延时短开的动断(带闭)触点		
9	具有手动复归的机械(或电器)保持的动合(常开)触点		

第四节 连接线的标号

实际的电气接线，是通过导线、电缆、母线等连接线将电气设备连接起来的，形成特定功能和要求的系统。在电气二次接线图中，要对各连接线回路进行标号（编号），以便于了解回路的性质、功能和用途，并根据回路标号进行正确的接线。IEC 标准中只提到推荐使用回路标号的方法，但对回路标号未作具体规定。下面介绍国内统一应用的回路标号。

一、交流二次回路数字标号

交流二次回路数字标号见表 1-11。

表 1-11 交流二次回路数字标号

回路名称		文字符号或电压等级	二次回路标号				
			A(U、L1)相	B(V、L2)相	C(W、L3)相	中性线 N	零线 L(Z)
电流回路	保护及表计	TA	A401~A409	B401~B409	C401~C409	N401~N409	L401~L409
		1TA	A411~A419	B411~B419	C411~C419	N411~N419	L411~L419
		2TA	A421~A429	B421~B429	C421~C429	N421~N429	L421~L429
	
		9TA	A491~A499	B491~B499	C491~C499	N491~N499	L491~L499
		10TA	A501~A509	B501~B509	C501~C509	N501~N509	L501~L509
	
		19TA	A591~A599	B591~B599	C591~C599	N591~N599	L591~L599
	母线保护	500KV	A350	B350	C350	N350	
		220KV	A320	B320	C320	N320	
		110KV	A310	B310	C310	N310	
		35KV	A330	B330	C330	N330	
		6~10KV	A360	B360	C360	N360	
	电压回路	保护及表计	TV	A601~A609	B601~B609	C601~C609	N601~N609
1TV			A611~A619	B611~B619	C611~C619	N611~N619	L611~L619
2TV			A621~A629	B621~B629	C621~C629	N621~N629	L621~L629
...		
隔离开关辅助触点后		500KV	A(B、C、N、L) 750~759 A(B、C、N、L) 720~729 A(B、C、N、L) 710~719 A(B、C、N、L) 730~739 A(B、C、N、L) 760~769				
		220KV					
		110KV					
		35KV					
		6 —					
		10KV					

绝 缘 监 视 电 压	A700、B700、C700、N700
----------------------------	---------------------

交流回路的编号，是在数字（一般为三位数）前加上表示相别的文字符号。目前，相别的文字符号还不大统一，有些标 A、B、C、N、L；有些标 U、V、W、N、Z；有些标 L₁、L₂、L₃、N、L 等等。鉴于大多数的设计资料、有关电气工程方面的教科书还是采用 A、B、C、N、L 的文字标号，并且人们已经长期习惯使用，因此，本书也采用这一相别标号。

二、直流二次回路数字标号

直流二次回路数字标号见表 1-12。

表 1-12 直流二次回路数字标号

回路名称	二次回路标号			
	一	二	三	四
正电源回路				
负电源回路	1	101	201	301
合闸回路	2	102	202	302
红灯或合闸回路监视继电器回路	3 ~ 31	10 ~ 3131	203 ~ 231	303 ~ 331
跳闸回路	5	105	205	305
绿灯或跳闸回路监视继电器回路	334 ~ 9	13 ~ 3149	2332 ~ 49	333 ~ 349
备用电源自动合闸回路	35	135	235	335
开关设备的位置信号回路	50 ~ 69	150 ~ 169	250 ~ 269	350 ~ 369
事故跳闸音响信号回路	70 ~ 89	170 ~ 189	270 ~ 289	370 ~ 389
	90 ~ 99	190 ~ 199	29 ~ 0299	39 ~ 0399
保护回路	01 ~ 099			
机组自动控制回路	401 ~ 599			
发电机励磁回路	601 ~ 699			
信号及其他回路	701 ~ 999			

信号回路“+”电源+WS	701、703、705
信号回路“-”电源—WS	702、704、706
事故跳闸信号小母线 WFA	707、708
预告信号小母线 WAS	709、710、711、712
掉牌未复归小母线 WSR	716

三、小母线的文字符号和标号

二次回路装设小母线，可以使回路接线方便且清晰，并提高运行的可靠性。小母线的文字符号和标号见表 1-13。

表 1-13

小母线的文字符号和标号

小 母 线 名 称		文 字 符 号		数 字 标 号
		新 符 号	旧 符 号	
直流控制和信号的电源及辅助小母线				
控制回路电源小母线		+WC -WC	+KM -KM	101, 201, 301 102, 202, 302
信号回路电源小母线		+WS, -WS	+XM, -XM	701, 702
事故音响信号小母线		WFA	SYM	708
预告音响信号小母线	瞬时动作信号	1WAS, 2WAS	1YBM, 2YBM	709, 710
	延时动作信号	3WAS, 4WAS	3YBM, 4YBM	711, 712

续表

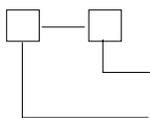
准同期合闸脉冲闭锁小母线	1WSC, 2WSC 3WSC	1THM, 2THM 3THM	721, 722 723
合闸小母线	+Won, -Won	+HM, -HM	
闪光小母线	(+) WFL	(+) SM	100
灯光小母线	+WLS, -WLS	+DM, -DM	725, 726
信号未复归小母线	(+) YMS, WSR	FM	703
		PM	716
隔离开关操作闭锁小母线	WQSL	GBM	880
旁路闭锁小母线	WPB	PHM	881
配电装置信号小母线	WAS	XPM	701
厂用电源辅助小母线	WAUX	+CFM, -CFM	
指挥信号小母线	WCS	ZYM	715
自动调频小母线	1WADJ, 2WADJ	1TZM, 2TZM	717, 718

自动调压小母线		3WADJ, 4WADJ	1TYM, 2TYM	1717, 1718
交流电压、同期和电压小母线				
同期小母线	待并系统	WST, WVC	TQMa, TQMc	A610, C610
	运行系统	WOS, WOC	TQMa', TQMc'	A620, C620
第一组同期母线的电压小母线		1WVBa, 1WVBb 1WVBc, 1WVBd	1YMa, 1YMb, 1YMc, 1YMd	A630, B630 (B600) C630, L630
第二组同期母线的电压小母线		2WVBa, 2WVBb 2WVBc, 2WVBd	2YMa, 2YMb 2Ymc, 1YMd	A640, B640 (B600) C640, L640
转角变压器辅助小母线		WTaa, WTAb WTAc	ZYMa, ZYMb ZYMc	A790, B790 (B600) C790

四、控制电缆的标号

屏柜之间二次设备的连接，以及屏柜二次设备（通过端子排）和屏柜外电气设备的连接，都要通过控制电缆连成一个系统，所以一个发电厂变电所控制电缆的数量是很多的。为了了解控制电缆的类型、走向及用途，需要对各条控制电缆进行标号，这也为编制电缆清册提供方便。

控制电缆标号的组成格式如下：



表明电缆种类和去向的序号号

表明电缆所属项目代号

控制电缆标号见表 1-15。

表 1-15

控制电缆标号

电 缆 走 向	顺 序 号	电 缆 走 向	顺 序 号
---------	-------	---------	-------

控制室范围内(包括保护及自动装置室	101	~	变电站—公用部分	391	~
	119		机旁屏范围内	399	
控制室—发电机电压配电装置	121	~	机旁屏—机组范围	401	~
控制室—变电站	129		机旁屏—励磁设备	449	
控制室—机旁屏	131	~	机旁屏—厂用设备	451	~
控制室—机组范围内	139		机旁屏—直流设备室	459	
控制室—励磁设备	141	~	机旁屏—公用部分	461	~
控制室—厂用设备	149		机组范围内	469	
控制室—直流设备室	151	~	机组—励磁设备	471	~
控制室—其他	159		机组—厂用设备	479	
发电机电压配电装置—变电站	161	~	机组—直流设备室	481	~
发电发电机电压配电装置范围内	169		机组—公用部分	489	
	171	~	励磁室范围内	491	~
机电电压配电装置—机旁屏	179		励磁室—厂用设备	499	
发电机电压配电装置—机组范围	181	~	励磁室—直流设备室	501	~
	189		励磁室—其他	559	
发电机电压配电装置—励磁设备	191	~	厂用设备范围内	561	~
	199		厂用设备室—直流设备	569	
发电机电压配电装置—厂用设备	201	~	厂用设备室—其他	571	~
	229		直流设备室范围内	579	
发电机电压配电装置—直流设备室	231	~	直流设备室—公用部分	581	~
	239		其他	589	
发电机电压配电装置—其他	241	~		591	~
变电站范围内(包括变电站的保护盘室)	249			599	
	251 ~ 259			601	~
变电站—机旁屏	261	~		669	
变电站—机组范围内	269			671	~
变电站—励磁设备	271	~		679	
变电站—厂用设备	279			681	~
变电站—直流设备室	281	~		689	
	289			691	~
	291	~		699	
	299			701	~
	301	~		779	
	339			781	~
	341	~		789	
	349			791	~

	351 ~		799
	359		801 ~
	361 ~		889
	369		891 ~
	371 ~		899
	379		901 ~
	381 ~		999
	389		

第二章 电气一次接线

第一节 电力系统概述

为了提高供电的可靠性和经济性,需要将许多发电厂用电力网联起来并列运行,组成统一的电力系统,本节介绍电力系统的一些基本知识。

一、电力系统的概念

目前,电力主要来自水电、火电和核电。由于用电的分散性和受地理条件的限制,负荷中心和动力资源往往相隔很远,必须将电能经变压器升高电压后,由输电线路输送到用户处,因此有必要在发电厂和用户之间建立升压和降压变电所。为了提高供电的可靠性和经济性,还须将各发电厂联接起来并列运行。

由发电厂的发电机及配电装置、升压及降压变电所、电力线路及电能用户的电气设备所组成的统一整体,称为电力系统。在电力系统中,变电所和电力线路所组成的部分称为电力网。电力系统加上水电厂的水力部分以及火电厂的热力部分和热能用户称为动力系统。动力系统、电力系统、电力网三者的相互关系如图 2-1 所示。

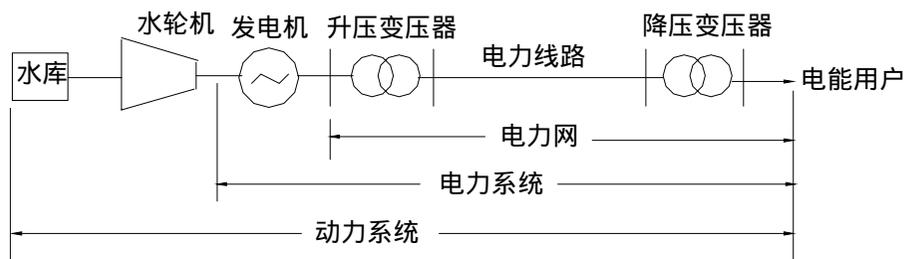


图 2-1 动力系统示意图

在电力系统中,发电、供电、用电是一个统一的整体,建立电力系统在技术上和经济上有着显著的优越性,主要表现在:

1. 提高供电的可靠性和电能质量。

当系统中任一发电厂事故停电时,系统中的其它发电厂可以继续供电,使用户供电的可靠性大大提高,电能质量也得到保证。

2. 提高系统运行的经济性。

建立统一的电力系统后,可以充分利用动力资源和发挥各类电厂的作用。例如,在丰水期,让水电厂多发电,火电厂少发电,以节省燃料;在枯水期,让水电厂少发电,担任高峰负荷,让火电厂担任基本负荷。这样可以

使水电和火电互相配合、互相调剂，充分发挥各类电厂的作用，有利于电网安全、经济、稳定运行。

3. 节省投资及减少备用容量

为了代替出故障或被检修的机组，必须装有备用机组，以保证对用户不间断的供电。建立电力系统以后，就不必在每个电厂都装设备用机组了，只要在系统中有总的备用发电容量即可。这样，从整个系统来看，便减少了投资。

二、电气设备的分类

为保证电能不间断地生产和输送，在电力系统中要装设各种各样的电气设备，它们可以分为两大类：

1. 一次设备。在电力系统中，担任发电，变电、配电任务的设备，称为一次设备。一次设备包括发电机、变压器、断路器、隔离开关、负荷开关、自动空气开关、接触器、闸刀开关、母线、电力电缆、电抗器、熔断器、避雷器、电力电容器、电压互感器、电流互感器等。表示一次设备连接的电气接线图，称为一次接线图或主接线图。

2. 二次设备。对一次设备进行监视、测量、控制、保护、调节的辅助设备，称为二次设备。二次设备包括继电器、仪表、控制开关、信号设备、自动装置、控制电缆等。表示二次设备连接的电气接线图，称为二次接线图。

第二节 电气主接线的基本形式

将电气一次设备，按一定顺序连接起来，用以表示产生、汇集和分配电能的电路，称为主接线图。

对电气主接线的基本要求是：

- (1) 根据系统和用户的要求，保证供电的可靠性和电能质量。
- (2) 接线力求简单、清晰、操作方便。
- (3) 保证进行一切倒闸操作的工作人员及设备的安全，并能保证维护和检修工作的安全进行。
- (4) 在满足技术要求的前提下，应使接线的投资和运行的费用最经济。
- (5) 具有扩建的可能性。

一、不分段的单母线接线

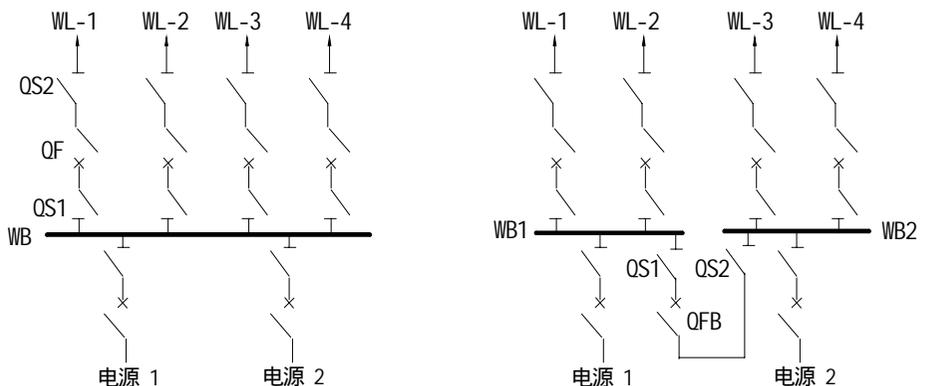


图 2-2 不分段单母线接线图

线图

图 2-2 为不分段的单母线接线图。图上有两个电源、四路出线，母线起着汇集和分配电能的作用，由电源来的电流汇集到母线后再分配到各条出线上。

单母线接线的主要优点是：接线简单清晰，操作方便，所用电气设备少，投资和运行费用低，隔离开关仅在检修时作隔离电压之用，并与断路器之间易做成可靠的联锁，避免发生误操作。

不分段单母线存在以下缺点：

- (1) 当母线发生故障或需要清扫、检修时，就要全部停电。
- (2) 任一母线隔离开关检修时，在整个检修时间内，要全部停电。
- (3) 任一断路器检修时，断路器所在的电路要停电。

这种接线用于回路少、容量小的发电厂和变电所中。

二、单母线分段接线

为了提高单母线接线的供电可靠性和灵活性，可采用单母线分段接线，其接线如图 2-3 所示。由断路器 QFB 及隔离开关 QS1、QS2 将母线分成两段，当其中一段母线或母线隔离开关需要清扫、检修时，可以拉开分段断路器 QFB 及两侧的隔离开关 QS1、QS2，则另一段母线仍能照常工作。如果有一段母线发生故障，继电保护装置可迅速跳开分段断路器 QFB 和故障母线上的电源，而没有故障的一段母线仍能继续工作。若为双回路供电的重要用户，两回路分别接到两段母线上，供电的可靠性很高。

三、双母线接线

单母线分段接线在一个分段母线发生故障或检修时，该段上的用户必须停电。为了提高供电的可靠性，可以采用双母线接线，如图 2-4 所示。每一电源和每条线路都通过一台断路器和两组隔离开关接到两组母线上。母线 WB1 是工作母线，WB2 是备用母线，两组母线之间由母线联络断路器(母联开关)QFB 和隔离开关 QS3、QS4 联接。

图 2-3 单母线分段接

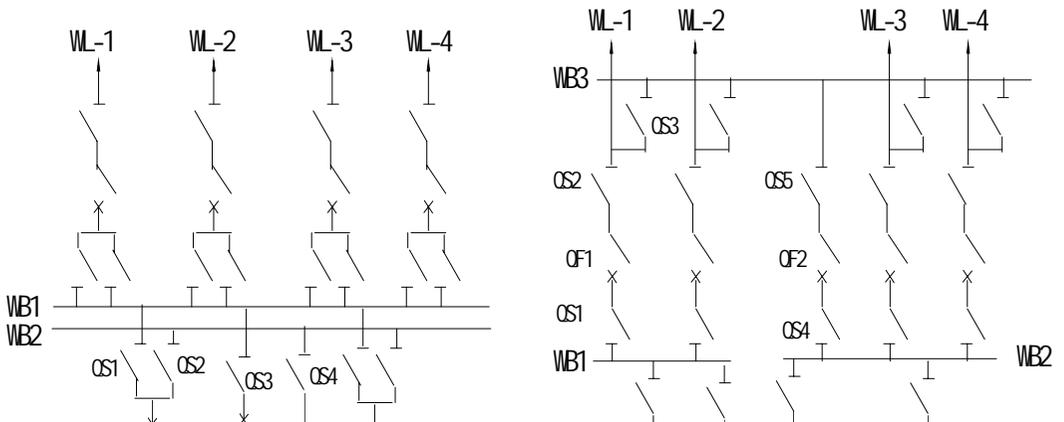


图 2-4 双母线接线图
接线图

图 2-5 带旁路母线的单母线分段

双母线接线的优点是：

- (1) 轮流检修母线时，不中断对用户的供电。
- (2) 检修任一回路的隔离开关时，只需断开该回路。
- (3) 工作母线发生故障时，可以把电源和出线都切换到备用母线上去，使线路全部恢复正常供电。

(4) 任一回路运行中的断路器，如果拒绝动作或因故不允许操作时，可利用母联开关代替来断开该回路。

双母线接线的主要缺点是：接线和操作比较复杂，在倒闸操作时，用隔离开关切换有负荷电流的线路，增加了发生误操作的可能性，隔离开关多，配电装置结构复杂，经济性差。

四、带旁路母线的接线

上面几种接线方式，在任一断路器检修时，该回路都要停止供电。为此，可以装设旁路母线，图 2-5 为带旁路母线的单母线分段接线图。图中 WB1、WB2 为工作母线，WB3 为旁路母线，QF2 和 QS4、QS5 为旁路断路器和隔离开关，QS3 为出线 WL—1 的旁路隔离开关。

如需检修出线断路器 QF1，则应先按顺序合上 QS4、QS5、QF2、QS3，然后按顺序断开 QF1、QS2、QS1，则电流从工作母线 WB1 经 QS4、QF2、QS5、QS3 到出线 WL—1，这样就用旁路断路器和隔离开关代替了出线断路器 QF1 和隔离开关 QS1、QS2。双母线接线也同样可以采用带旁路母线的形式。

这种接线的缺点是增加了设备和投资，配电装置的布置较困难。

五、桥式接线

当只有两台变压器和两条线路时，可以采用桥式接线，桥式接线按照连接桥的位置可分为内桥接线和外桥接线，如图 2-6 所示。内桥接线的连接桥设置在变压器侧，外桥接线的连接桥设置在线路侧。连接桥上亦装设断路器，正常运行时此断路器是接通的。这种接线中，四条回路只用了三台断路器，所用的断路器数量是较少的。



图 2-6 桥式接线

(a)内桥接线 ;(b)外桥接线

1. 内桥接线

内桥接线如图 2-6 (a) 所示。其特点是：两台断路器 QF1 和 QF2 接在引出线上。因此引出线的切除和投入是比较方便的。当线路发生短路故障时，仅故障线路的断路器断开，其它三条回路仍可继续工作。但是当变压器（如 1T）故障时，与变压器 1T 连接的两台断路器 QF1 和 QF3 都将断开，从而影响了非故障线路 WL—1 的工作。此外，这种接线当切除和投入变压器时，操作也比较复杂。例如切除变压器 1T 时，必须首先断开断路器 QF1、QF3 和变压器低压侧的断路器（图中未画出），再断开隔离开关 QS1，然后接通 QF1 和 QF3，使出线 WL—1 恢复工作。所以内桥接线一般适用于故障较多的长线路和变压器不需要经常切除的场合。

2. 外桥接线 .

外桥接线如图 2-6 (b) 所示，其特点与内桥接线相反。当变压器发生故障或运行中需要切换时，只要断开本回路即可，不影响其它回路的工作。但是，当线路（例如出线 WL—1）发生故障时，断路器 QF1 和 QF3 都将断开，因而变压器 1T 也将被切除。为了恢复 1T 的正常运行，必须在断开 QS2 后，再接通 QF1 和 QF3。因此，外桥接线适用于线路较短和变压器按经济运行需要经常切换的情况。此外，当电力系统有穿越性功率经过发电厂和变电所时，也应采用外桥接线，这时穿越功率仅经过连接桥上的断路器。否则，若采用内桥接线，穿越功率要经过三台断路器，其中任一台断路器发生故障或检修时，将影响穿越功率的传送。又如两条引出线接入环形电网时，也应采用外桥接线，使环形电网断开的机会减少。

桥式接线具有工作可靠、灵活、使用电器少、装置简单清晰、建造费用低和易于发展成单母线分段接线等优点。

六、单元接线

电力装置中各元件串联连接，其间没有任何横向联系的接线，称为单元接线。单元接线有发电机—变压器单元和变压器—线路单元接线。这里只

对前者加以说明。

发电机—变压器单元接线如图 2-7 所示。图 2-7(a)为一台发电机与一台双绕组变压器联接成为一个单元，电能通过高压断路器送入 35 千伏及以上电网。这种接线中，发电机和变压器不单独工机容量基本相同，且两者之间不装设断路器，为了便于对发电机单独进行试验，可装一组隔离开关。

为了减少变压器的台数和高压侧断路器数量，可将两台发电机和一台变压器相连接，称为扩大单元接线，当机组台数较多时，可采用这种接线，对减少占地面积和配电装置的布置较有利。但在运行上的灵活性较差，在检修变压器时时，需停两台机，产生的影响较大。

单元接线

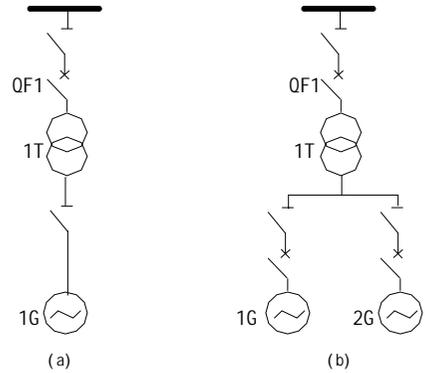


图 2-7 发电机变压器单元接线

(a) 一般单元接线 (b) 扩大单元接线

七、一个半断路器接线

两个元件引线用三台断路器接往两组母线组成一个半断路器接线，如图 2-8 所示。每

一回路经一台断路器接至母线，两回路间设一联络断路器，形成一串，又称二分之三接线。

运行时，两组母线和全部断路器都投入工作，形成多环状供电，具有较高的供电可靠性和

运行灵活性。任一母线故障或检修，均不致停电；除联络断路器故障时与其相连的两回路

路短时停电外，其他任何断路器故障或检修都不会中断供电；甚至两组母线同时故障(或

一组检修时另一组故障)的极端情况下，功率仍能继续输送。此种接线运行方便，操作简

单，隔离开关只在检修时作为隔离电器。为进一步提高接线可靠性，并防止联络断路器故

障可能同时切除两组电源线路，可尽量把同名元件布置在不同串上；同名元件分别接入不同母线上，如图 2-8 中右边一串。即将变压器和出线同串交叉配置，此时，将增加配电装置间隔。

一个半断路器接线，特别适宜于 220KV 以上的超高压、大容量系统中。但使用设备较多，特别是断路器和电流互感器，投资较大，二次控制接线和继电保护都比较复杂。

八、角形接线

当母线闭合成环形，并按回路数利用断路器分段，即构成角形接线。图 2-9 为四角形

接线。角形接线中，断路器数等于回路数，且每个回路都与两台断路器相连接，检修任意一台断路器都不致中断供电，隔离开关只用于检修，从而具有较高的可靠性和灵活性，运行操作方便。但在检修断路器（如 QF1）时，将开环运行。此时，如恰好发生断路器事故跳闸（如 QF2），则造成系统解列或分成两半运行，甚至会造成停电事故。注意应将电源和馈线回路相互交替错开布置或按对角原则连接，将会提高供电可靠性。

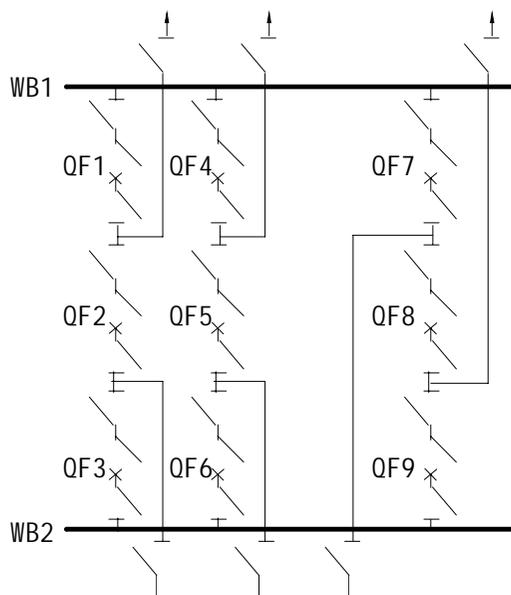


图 2-8 一个半断路器接线

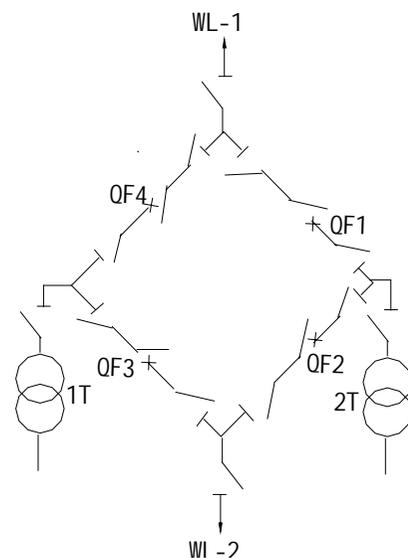


图 2-9

角形接线

多角形接线在开环和闭环两种运行状态时，所通过的电流差别很大，可能使设备选择

造成困难，并使继电保护复杂化。此外，角形接线也不便于扩建。这种接线多用于最终规

模较明确的 110kV 及以上的配电装置中，且以不超过六角形为宜。

九、电气主接线图例

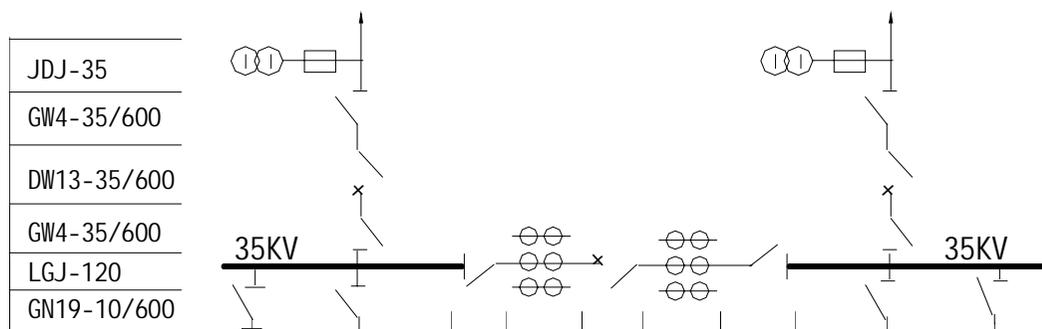


图 2-10 水电厂的电气主接线图

以上介绍了电气主接线的各种基本形式，一个发电厂变电所的电气主接线，一般都由这些基本形式组成一个整体。进行电气设计时，要根据发电厂变电所的类型、容量、在系统中的地位和作用、出线回路数、用户距离等各种因素，进行综合的技术经济分析和比较，确定合理可行的电气主接线。

电气主接线图的绘制应遵循以下原则：

1. 采用新标准规定的电气设备的图形符号和文字符号；
2. 三相交流系统采用单线图表示，但电流互感器应表示三相；
3. 断路器、隔离开关、跌落式熔断器等开关电器以断开状态表示；

4. 在图上要标出电气设备的型号及技术参数。

图 2-10 示出了一个小型水电站电气主接线图图例。图中，相同元件的型号不再重复标出。

第三节 开关电器的运行

一、开关电器的作用和分类

在电力系统中，开关电器是一次设备的重要组成部分，由于检修、改变运行方式或发生故障时，须将发电机、变压器，线路等元件接入或退出，因而要进行一些操作。例如：在正常情况下要能可靠地接通和开断电路；在改变运行方式时，要能灵活地进行切换操作；在电路发生故障情况下，须能迅速切断故障电流，保证未发生故障部分的继续运行；在检修设备时，隔离带电部分，保证工作人员的安全等等。为了完成上述这些操作，在电力系统中，必须装设各种类型的开关电器。

根据开关电器在电路中担负的任务，可以分成下列几类：

(1) 仅用来在正常工作情况下，断开或接通正常工作电流的开关电器，如高压负荷开关、低压闸刀开关、接触器等。

(2) 仅用来断开故障情况下的过负荷电流或短路电流的开关电器，如高低压熔断器。

(3) 既用来断开或接通正常工作电流，也用来断开或接通过负荷电流或短路电流的开关电器，如断路器、自动空气开关、跌落式熔断器等。

(4) 主要用来检修时隔离电压的开关电器，如隔离开关等。

在高压电路中，断路器和隔离开关是最重要且用得最多的开关电器，本节对它们的运行加以介绍。

二、断路器和隔离开关操作的顺序

断路器及其两侧的隔离开关，其操作顺序有严格的规定。停电时，先跳开断路器，在检查确认断路器已断开的情况下，先拉负荷侧的隔离开关，后拉电源侧的隔离开关；送电时，先合电源侧的隔离开关，后合负荷侧的隔离开关，再合上断路器。有人以为，既然断路器已经断开，先操作那一侧的隔离开关无关紧要，都不会造成带负荷拉合隔离开关的情况。问题在于，当断路器在合闸位置未被查出而造成带负荷拉合隔离开关的误操作事故时，其引起的后果是大不相同的。例如，在线路停电时，若断路器在合闸位置未被查出，先拉负荷侧的隔离开关造成短路，则故障发生在线路上，该线路的继电保护动作跳开线路断路器，隔离了故障点，只使该线路停电，不致影响其它回路的供电。若先拉电源侧隔离开关，虽同样是带负荷拉隔离开关造成短路，但故障相当于母线短路，继电保护将使母线上所有的电源切断，造成接在母线上的全部负荷都要停电，大大扩大了故障的范围，甚至引起全所停电、电网瓦解等严重后果。同理，在线路送电时，若断路器在合闸位置未查出，

先合电源侧的隔离开关时,是不会有问题的,再合负荷侧的隔离开关就会造成带负荷合隔离开关,如产生弧光短路,线路继电保护动作跳闸,不影响其它设备的运行,如操作顺序相反,在合电源侧隔离开关时造成带负荷合隔离开关短路,就会扩大事故。

有人在填写操作票时,为了省事,把隔离开关的操作只写成“拉开断路器两侧的隔离开关”一个步骤是不妥的,应该分为两步写。例如线路停电时,在断路器确已断开后,第一、拉开负荷侧的隔离开关 QS2,并检查其在断开位置;第二,拉开电源侧的隔离开关 QS1(图 2-2),并检查其在断开位置。另外,在操作步骤的安排上,应保证在操作隔离开关时,该回路的保护仍有操作电源,以便在产生上述误操作时能动作跳开断路器。有些资料上列出的典型操作票,在线路停电时,把拿下断路器的操作保险放在隔离开关拉开之前;在线路送电时,把给上断路器的操作保险放在隔离开关合闸之后,这样做会造成产生带负荷拉合刀闸造成短路时,继电保护不能动作跳闸的后果,是不合适的。

三、断路器的运行

断路器在电力系统中有两方面的作用:在正常运行时,根据运行需要,接通或断开负荷电流,起控制作用;在发生故障时,和继电保护装置相配合,自动切断故障电流,起保护作用。

断路器采用的灭弧介质不同,就构成了各种类型的断路器,如油断路器、六氟化硫断路器、真空断路器、空气断路器等

断路器的运行要点如下:

(1) 正常运行时断路器的工作电流不得超过额定值,在事故情况下,断路器的过负荷不得超过 10%,时间不超过 4 小时,断路器的断流容量必须满足要求。

(2) 明确断路器允许切断故障电流的次数,当断路器切断故障电流的次数小于规定值一次时,应将其自动重合闸退出;当开断故障电流次数达到规定值后,应将断路器退出运行,进行检修。

(3) 严禁将拒绝分闸或有严重缺油、漏油、漏气等缺陷的断路器投入运行。

(4) 一切断路器均应在其轴上装有分、合闸机械指示器,以便运行人员在操作或检查时用他来校对断路器断开或合闸的实际位置。

(5) 断路器在事故跳闸后,应进行全面、详细的检查是否有损坏的部件。

(6) 新投入或检修后的断路器,投入运行前,应作全面检查并进行继电保护和自动装置的整组传动试验,以保证分、合良好,信号正确。

(7) 多油断路器的外壳应有可靠的接地。

(8) 有些断路器,其外壳是带电的,值班人员不得任意打开正在运行的断路器室的门或网状遮栏。

四、隔离开关的运行

隔离开关没有专门的灭弧装置，所以不能用来接通和切断负载电流及短路电流。其作用是：

(1) 隔离电源：隔离开关造成可以看得见的空气绝缘间隙，即与带电部分造成明显的断开点，以便在检修设备和线路停电时，隔离电源，保证安全，这是隔离开关的主要用途。

(2) 倒母线操作：在双母线制的电路中，利用隔离开关将电气设备或供电线路从一组母线切换到另一组母线上，也即进行倒闸操作。

(3) 用以接通和切断小电流的电路：具体见有关规定。

隔离开关运行要点如下：

(1) 正常运行时，隔离开关的工作电流不得超过额定值，温度不超过允许值 70 。在运行中隔离开关的触头和接头不应有过热现象，可采用示温片或变色漆进行监视。如有过热，应立即设法减少隔离开关的负荷，并尽可能将其停电，若由于需要不允许停电时，则应采取降温措施(如吹风冷却)，并加强监视。

(2) 隔离开关的绝缘应完整无裂纹，无电晕和放电现象。

(3) 操作连杆及机械部分，应无损伤、不锈蚀，各机件应紧固，位置应正确，无歪斜、松动、脱落等不正常现象。

(4) 闭锁装置应良好，在隔离开关拉开后，应检查电磁闭锁或机械闭锁的销子确已锁牢，隔离开关的辅助接点位置应正确。

(5) 刀片和刀嘴应无脏污，无烧伤痕迹，弹簧片、弹簧及铜瓣子应无断股、折断现象。

(6) 接地线应良好。

第二章 二次接线图

表示二次设备连接的电气接线图，称为二次接线图。二次接线图分为集中式原理图、展开式原理图和安装接线图三类。

第一节 集中式原理图

一、集中式原理图的特点

集中式原理图有两个特点：

- (1) 二次设备（仪表、继电器、控制开关等）以整体的形式画出。
- (2) 二次接线的交流电流回路、交流电压回路、直流回路和一次回路的有关部分画在一起。

图 3-1 表示了 10 千伏线路保护和测量的集中式原理图。电流互感器有两组二次线圈 1TA 和 2TA，分别供电给保护继电器和测量仪表。过电流保护由电流继电器 1KA 和 2KA，时间继电器 KT、信号继电器 KS 以及连接片 XB 组成。

当线路上发生相间短路时，短路电流流过 1TAa 或 1TAc，使过电流保护起动：

电源“+” 1KA（或 2KA）常开接点 KT 线圈 电源“-”；

电源“+” KT 延时闭合的常开接点 KS 线圈 XB QF 辅助接点 Yoff 线圈 电源“-”，使断路器 QF 跳闸。（注：常开触点又称动合触点，常闭触点又称动断触点）。

二、集中式原理图的优缺点

集中式原理图的优点是：整体观念清楚明确，表示和叙述电气联系和动作原理方便。常用于继电保护和自动装置的原理分析和二次回路的初步设计。

集中式原理图的缺点是：元件和连线较多时，线条相互交叉，显得凌乱；同时，标记不全，有些细节在图上没有表示出来，因而不能用于施工、安装和运行。

第二节 展开式原理图

展开式原理图是设计、施工和运行中用得最为广泛的二次接线图，

电气人员必须掌握它。

一、展开式原理图的规则和特点

展开式原理图的绘制有一定的规则和特点，只有了解这些规则和特点，才能很好掌握展开式原理图。它们是：

1. 二次设备按统一规定的图形符号和文字符号画出。常用设备的新标准图形符号及文字符号见第一章表 1-2 至表 1-11。

2. 按供给二次设备的各个独立电源划分回路，各回路在图上分开表示。交流电路以电流互感器或电压互感器的一个次级线圈作为独立电源；直流电路以每组熔断器后引出作为独立电源。各种回路说明如下：

(1) 交流回路：分为交流电流回路（保护、测量、自动装置等）和交流电压回路（保护、测量、自动装置、同期等）；

(2) 直流电路：分为操作回路（断路器、隔离开关、灭磁开关、机组及其辅助设备、闸门等）、信号回路（位置、事故、预告、指挥信号等）和保护回路（发电机、变压器、线路、母线、电动机保护等）。

3. 继电器和接触器的线圈和接点、仪表的电流和电压线圈、控制开关的各对接点、断路器和隔离开关的各个辅助接点，都分开画在所属的回路中，但同一设备的文字符号必须相同。

4. 二次设备的连接次序从左到右，动作顺序从上到下，接线图的右侧有相应的文字说明。

5. 开关电器的触点采用开关断开时的状态，继电器的接点采用线圈不通电时的状态（即不带电表示法）。必须注意，继电器的线圈通电以后，并不一定会改变线圈不通电时接点的状态，只有通过继电器线圈的电流（或所加的电压）超过其整定值而使继电器动作时，接点的状态才会转换。

6. 二次设备之间的连接按等电位原则和规定的数字进行标号。所谓等电位原则就是连接于同一等电位点的导线只编一个号。

7. 继电器的线圈和接点不在同一张图上时，要注明引来或引出处。

二、展开图回路标号

在展开图中，为了便于了解该回路的用途和性质，以及根据编号进行正确的连接，以便于安装、施工、运行和检修，对各个回路要进行标号。

直流回路标号

直流正极回路的线段按奇数顺序标号，负极回路按偶数顺序标号，回路经过主要的压降元件（如线圈、电阻、电容等）后，即改变其电压的极性，回路的标号亦随之改变。直流回路的数字标号见表 1-13。

为了便于安装和运行，对某些主要回路，常给予固定的数字标号。例如，断路器的跳闸回路用 33、133、233；合闸回路用 3、103、203 等。

2. 交流回路标号

交流回路的数字标号见表 1-12。标号除了数字以外，在数字前面还加有表示相别的文字 A、B、C、N（中线）、L（零序）等。交流电流回路使用的数字范围是 400~599；交流电压回路使用的数字范围是 600~799，它们都是以十位数字为一组。回路使用的标号组应与互感器文字符号的数字序号相对应。例如 2TA 电流互感器 A 相回路标号应为 A421~A429；3TV 电流互感器 A 相回路标号应为 A631~A639。

3. 小母线的标号

为了使二次回路清晰和便于接线，提高回路的可靠性，设置了各种小母线，它们一般敷设在二次屏顶部。小母线分为直流小母线和交流小母线两类，每一类按用途又分为多种。小母线的标号见表 1-14。

三、 展开式原理图举例

为了理解上述展开图的规则和特点，现举出 10 千伏线路保护和测量的展开式原理图的例子。如图 2-2 所示，其集中式原理图已表示于图 2-1。图中，WC 为操作小母线；WS 为信号小母线；Won 为合闸小母线；WFA 为事故信号小母线；WVB 为交流电压小母线。

现以 10KV 线路保护接线为例加以说明。

首先要了解设备在正常运行时的状态：断路器 QF 合闸，其辅助接点 QF2 通，QF1 断，红灯 HGn 亮，绿灯 HRd 灭，各继电器（电流、时间、信号）都不动作。

当线路产生短路后，要按照设备状态改变的因果关系顺序阅图，以了解保护的動作过程：

线路短路 1KA、2KA 线圈反应短路电流而动作 1KA、2KA 接点闭合
KT 线圈通电而动作 KT 接点延时闭合 (1)、(2)

(1) KS 线圈通电而动作 KS 掉牌，接点闭合 光字牌 HR 亮 WFA1、WFA2 带电 发事故音响（通过中央信号装置）；

(2) Yoff 线圈通电 QF 跳闸 QF2 断、QF1 通 红灯灭，绿灯亮；

短路切除 继电器 1KA、2KA、

KT 返回。

第三节 安装接线图

安装接线图是二次接线的主要施工图，也是提供厂家制造二次屏的图纸。施工图经过施工和试运行检验并加以修正后，就成为对二次回路进行维护、试验和检修的基本图纸。

安装接线图包括屏面布置图、端子接线图、屏后接线图和二次设备现场安装接线图。在作出展开式原理图后，根据选用的设备，作出屏内设备的屏面布置图，然后再按屏作出端子接线图，厂家根据原理图、屏面图和端子图作出屏后接线图，即可制作屏柜。

一、屏面布置图

屏面布置图用来表明屏上二次设备的排列位置和相互间的距离尺寸，并表明制

作此屏有关的图纸和设备，它是制作屏的总图。一块屏可以布置一个或多个安装单位的设备，每个安装单位一般按纵向分开，屏上元件应注明其所属安装单位和设备的顺序号。所谓安装单位，即是根据所属一次回路来划分，或者根据不同用途的二次回路来划分。不同安装单位的设备装在一块屏上，应该用罗马数字 I、II、III……等区别开。二次屏有多种型式可供选用。

1. 控制屏屏面布置

控制屏安装的设备从上至下排列为仪表、光字牌、控制开关和信号灯等，屏后布置有熔断器、电阻和个别继电器等。屏面设备布置要求清晰、整齐和便于操作监视和检修。目前，发电厂变电所大多不再设单独的控制屏，而是设置集中控制台，集控台分直立部分和平面部分，前者布置仪表和光字牌，后者布置控制开关、信号灯、按钮等。

控制屏屏面布置图例如图 3-3 所示。

2. 保护屏屏面布置

保护屏设备布置的顺序是：上部是继电器，下面依次是信号继电器、连接片、试验盒等。布置要求紧凑并便于观察、调试和检修。

保护屏屏面布置图例如图 3-4 所示。

二、端子接线图

1. 接线端子的类型

接线端子是二次回路接线不可缺少的部件，它使接线清晰，连接方便，便于试验和检修。接线端子的类型很多，常用的接线端子有 B₁型和 D₁型两个系列，D₁系列为全国统一设计产品，尺寸较小，分 10 安和 20 安两种。B₁系列为过去广泛使用的端子，尺寸较大，便于接线。

接线端子按用途可以分为以下类型：

(1) 一般端子 (B₁—1 型或 D₁—10 型)：供一个回路两端导线连接之用。

(2) 连接端子 (B₁—4 型或 D₁—10SL 型)：供端子间连接之用，绝缘隔板中有缺口，可以放置连接片。

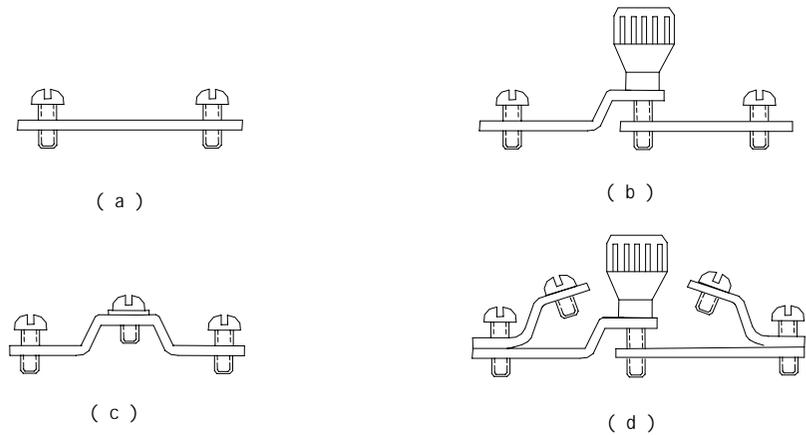


图3 - 5 不同类型端子的导电片图
(a)B1-6 (b) B1-1、 B1-4 (c) B1-7 (d) B1-2、 B1-3型

(3)试验端子(B₁—2 型或 D₁—10S 型):用于需要接入试验仪器的电流回路中,它能在不断开回路的情况下,对仪表或继电器进行试验。

(4)连接型试验端子(B₁—3 型或 D₁—10SL 型):它同时具备试验端子和连接端子的作用,用于彼此连接的电流试验回路中。

(5)终端端子(B₁—5 型或 D₁—B 型):用于固定或分隔不同安装单位的端子排。

(6)标准端子(B₁—6 型):直接连接屏内外导线用。

(7)特殊端子(B₁—7 型):用于开断需要很方便的回路中。

图 3-5 表示了不同类型端子的导电片图。现在还生产了多种类型的新型端子。

2. 需经端子排连接的回路

在进行设备的连接时,屏内同一安装单位设备的连线不需经过端子排,需经端子排进行连接的回路是:

- (1) 屏内设备和屏外设备的连接;
- (2) 屏内设备和小母线的连接;
- (3) 屏内设备和接于小母线的设备(电阻、熔断器、小开关)的连接;
- (4) 屏内各安装单位之间的连接;
- (5) 转接回路。

3. 端子排的表示方法

在端子接线图中,端子排可采用四格或三格表示法,除其中一格写入端子的序号及表示其型式外,其余的格需要表明设备的符号及回

路编号。图 2-6 为屏右侧端子排的四格表示法，如将左起第三格和第四格的内容合写在一格中，即为三格表示法。

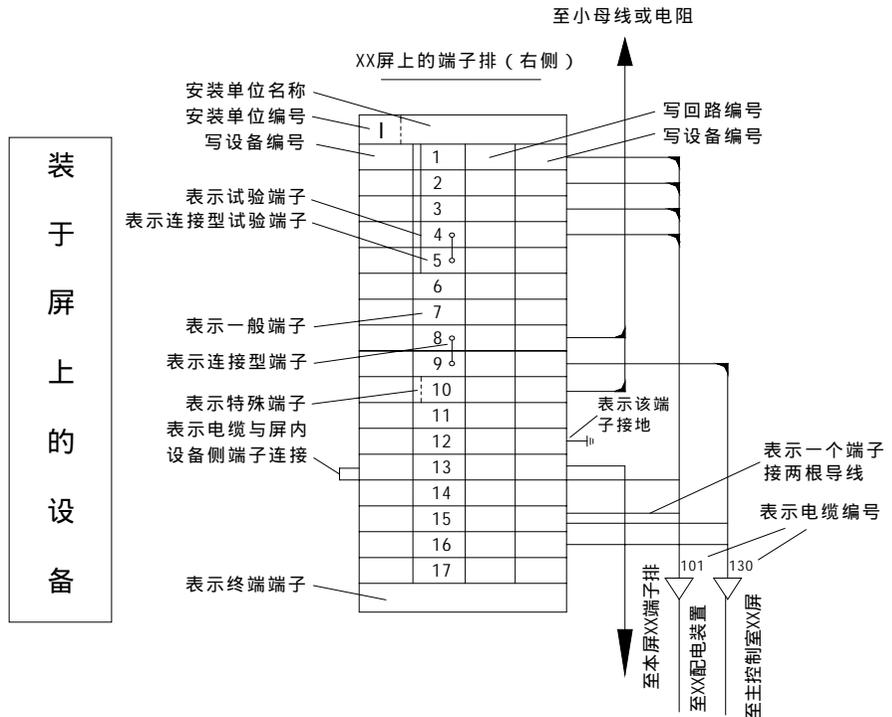


图 2-6 端子排的四格表示法

4. 端子排排列的原则

为便于运行、检修和调试，端子排一般应按下列原则排列：

(1) 当同一块屏上有几个安装单位时，每一安装单位应有独立的端子排。它们的排列应与屏面布置相配合，最后留 2~5 个端子作备用，在端子排的两端应装终端端子。

(2) 端子型式的选用，要根据具体情况决定。一般来说，交流电流回路应经试验端子；运行中需要很方便断开的回路，应经特殊端子或试验端子。

(3) 正、负电源之间，合闸和跳闸回路之间的端子排不应挨近，需用一个空端子隔开。

(4) 一个端子的每一个接线螺钉，一般只接一根导线，特殊情况下，最多可接两根导线。接于端子的导线截面，不应超过 6 平方毫米。

(5) 端子排的排列顺序应考虑屏面布置的实际情况，一般自上而下按下列顺序排列：

交流电流回路：按每组电流互感器标号数字大小排列，再按相别 A、B、C、N 排列。如 A411、B411、C411、N411；A421、B421、C421、

N421。

交流电压回路：按每组电压互感器标号数字大小排列，再按相别 A、B、C、N、L 排列。

信号回路：按位置、事故、预告及指挥信号分组，每组按数字大小排列。

控制回路：按每组熔断器分组。其中每组先按正极性回路（编号为奇数）由小到大排列；然后再按负极回路（编号为偶数）由大到小排列。例如 101、103、133、142、140、102；201、203、233、242、240、202；……。

其它回路。

转接回路。

三、屏后接线图

二次屏的设备大多装置在屏的正面，设备的接线柱在屏后，接线是在屏后进行的，故称为屏后接线图，它是屏的背视图。图上设备的相对位置应与屏面布置图一致。

1. 二次设备的表示方法

在屏后接线图上，要把二次设备的图形画出，在图形上应表示出设备的内部接线和接线柱号，图形左上方有设备的各种标号，它应和展开图、屏面图的标号一致。如图 3-7 所示。

2. 二次设备连接的表示方法——相对编号法

在安装接线图上，设备间的连接不画出直接连线图，而是广泛采用“相对编号法”，这一方法就是：如甲、乙两个接线端子要用导线连接起来，就在甲端子上标上乙端子的编号；而在乙端子上标上甲端子的编号，因为编号是互相对应的，故称为相对编号法。

图 3-8 表示了相对编号法的应用。在屏内安装配线时，相对编号的数字写于(或打印)套在导线端部的套箍上，以便于运行检修时进行查找。

3. 安装接线图举例

现以图 3-9(a) 的 10 千伏线路定时限过电流保护展开图为例说明端子接线图和屏后接线图的表示方法，见图 3-9(b) 和图 3-9(c) 所示。引至端子排的控制电缆应该进行编号，控制电缆的数字标号见表 1-15。

在图 3-9 中，从 10 千伏配电装置的电流互感器 1TA 处经 111# 电缆引来三根芯线（回路编号为 A411、C411、N411）通过 1~3 号试验端子，分别与屏上的 1KA、2KA 的接线柱号 连接。例如，端子排 1 号端子与 1KA 的 号接线柱相连，用相对编号法在 1 号端子上标上 1—2（或 1KA—2），表示接到 1KA 的 号接线柱上；而在 1KA 的 号

接线柱上标上 I—1，表示接到安装单位 I 的 1 号端子。正、负控制电源，从屏顶小母线 $\pm WC$ 的熔断器 1FU 和 2FU 引到 5、7 号端子（回路编号 101、102），这两个端子分别与屏上 1KA 的接线柱、KC 的接线柱连接。信号回路从屏顶小母线+WMS 和 WSR 引至 11、12 号端子（回路编号是 703、716），这两个端子分别与屏上 KS 的接线柱、连接。断路器的辅助接点 10F 的正电源和跳闸线圈 Yoff 的负电源，由 10 号和 8 号端子经 111# 电缆引至 10 千伏配电装置。屏上各设备之间的连接也应用相对编号法表示，例如，1KA 和 2KA 的 号接线柱要连接，就在 1KA 的接线柱 标上 I_{2-3} ，而在 2KA 的接线柱 标上 I_{1-3} 。

当一幅图上的全部二次设备都属于同一个安装单位时，例如发电机保护屏就是如此。为了简化，在屏后接线图和端子接线图的标号中，也可以不标出安装单位编号“ I ”（如 I_{1-2} 写成 1-2；I-5 写成 5），当同一屏台上有两个及以上安装单位设备时，一定要标出安装单位编号。

为了便于练习，图 3-11 画出了三段式过电流保护装置的图形符号和端子排，读者可根据图 3-10 所示三段式过电流保护的展开图作出屏后接线图和端子接线图。

需要指出，电流（或电压）继电器内部有两个线圈，根据整定值需要可以接成串联或并联。接成串联时，继电器 4、6 端用连片或导线短接，从 2、8 端引出；接成并联时，继电器 2、4 端和 6、8 端分别短接，也是从 2、8 端引出。如果不短接，继电器将不起作用，并且会引起电流互感器二次侧开路的严重后果。

第三章 断路器控制回路接线

断路器控制回路是发电厂、变电所二次回路的重要组成部分，它们对于安全可靠的发供电有很重要的意义。

第一节 断路器的控制回路

断路器的合闸和跳闸是通过它的操动机构来实现的。操动机构可以分为电磁操动机构(CD)、弹簧操动机构(CT)、液压操动机构(CY)、电机操动机构(CJ)、气动操动机构(CQ)等。本节只介绍应用比较普遍的电磁操动机构的断路器控制回路。对于这种控制回路应满足下列几点要求：

(1) 断路器的合闸和跳闸线圈是按短时通电设计的，跳合闸电流的持续时间必须是短暂的，应在操作完成后自动解除。

(2) 接线应有防止断路器多次跳合闸的“防跳”装置。

(3) 接线应能监视操作电源和控制回路的完整性。

(4) 接线应有表示断路器位置状态(合闸和跳闸)的信号。

一、断路器的跳合闸回路

断路器的跳合闸接线如图 4-1 所示。控制开关 SA 为 LW₂—W—2/F6 型，W 表示自复式，即操作完松手后，开关的把手会自动回复到原来的中间位置，对装有自动重合闸装置的线路，其断路器的控制开关采用 LW₂—W—2，2，40/F6 型，这两种开关的触点动作图表如图 4-2 所示。

断路器的合闸操作回路由控制开关 SA 的接点 1—3，断路器 QF 的常闭接点 QF1 和合闸接触器 KMC 的线圈组成；合闸线圈回路由合闸接触器 KMC 的主触头和合闸线圈 Yon 组成。断路器在跳闸位置时，其辅助接点 QF1 闭合，QF2 断开。当进行合闸操作时，顺时针扳动控制开关 SA 的把手，其接点 SA₁₋₃ 闭合，接通了合闸操作回路：

+WC 1FU SA₁₋₃ QF1 KMC 线圈 2FU -WC

使合闸接触器 KMC 的线圈通电而动作，KMC 的常开触头闭合，接通了合闸线圈回路：

+Won 3FU KMC 触头 Yon 线圈 KMC 触头 4FU -Won

使断路器的合闸电磁铁动作，通过机械传动机构使断路器合闸，断路器合闸后，其辅助接点 QF1、QF2 切换：QF1 断开，切断了合闸操作回

路；QF2 闭合，准备了跳闸回路。

断路器的跳闸回路由控制开关 SA 的接点 2—4、QF 的常开辅助接点 QF2 和跳闸线圈 Yoff 组成。当进行跳闸操作时，反时针扳动控制开关 SA 的把手，其接点 SA2-4 闭合，接通了跳闸回路：

+WC 1FU SA2-4 QF2 Yoff 线圈 2FU -WC

使断路器的跳闸电磁铁动作，搭钩脱开而跳闸，与此同时，辅助接点 QF1、QF2 随之切换，断开跳闸回路，并为合闸回路的操作做好了准备。

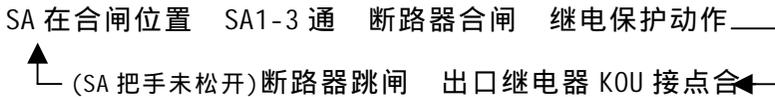
由于断路器的合闸电流很大（直流电压 220 伏时约 100 安），不能由控制小母线供电而另设合闸母线 Won，通过中间合闸接触器 KCM 来控制合闸线圈 Yon。断路器的跳闸电流小（直流电压 220 伏时约 2.5 安），跳闸线圈 Yoff 可直接接到控制回路。

为了实现继电器保护的自动跳闸，保护出口继电器的接点 KOU 与跳闸回路 SA2-4 接点并联；为了实现自动装置（如自动重合闸、备用电源自动投入、自动同期）合闸，自动装置出口继电器的接点 KC 与合闸操作回路的 SA1-3 并联。

二、断路器的“防跳”装置

1、断路器的“跳跃”

当操作控制开关 KK 使断路器合于存在永久性故障（如检修后地线未拆除）的电路时，会产生以下的过程：



这就会使断路器发生多次的“跳—合”，产生“跳跃”现象。SA1-3 接点卡住或自动合闸后 KC 接点粘住不返回，合于故障电路都可能发生断路器的跳跃现象。断路器的跳跃危害很大，因为断路器多次断开和接通短路电流，就可能使断路器损坏甚至引起严重事故，同时也使电力系统的正常工作受到很大的影响，所以断路器应有“防跳”措施。

2、专用继电器的电气防跳

对于线路上的断路器，因跳合闸的机会多并且装有自动重合闸，对防跳的要求要高一些，一般应加装专用继电器的电气防跳装置，其接线如图 3-3 所示。

专用防跳继电器 KLJ 有两个线圈：串接于断路器跳闸回路的电流起动线圈和并接于 KMC 线圈上的电压自保持线圈。当操作 SA 使断路器

合于永久性故障电路的时候，其防跳原理可用下面的过程来说明：

SA 在合闸位置 SA1-3 通 断路器合闸 继电器保护动作 ， ：

Yoff 线圈通电 断路器跳闸

KJL (I) 线圈通电 继电器 KJL 动作 a, b

a. KJL1 通 KJL(V)线圈通电 继电器 KJL 自保持直至 SA1-3 断开。

b. KJL2 断 切断 KMC 线圈回路。

接点 KJL3 的作用是防止 KOU 接点先于 QF2 接点复归而烧坏，电阻 R 的作用是使并接的信号继电器能可靠动作。但 KJL3 接点回路有可能引起跳闸线圈烧毁的事故，有关分析及采取的措施将在下面论述。

三、断路器控制回路的监视

断路器控制回路电源消失或跳合闸回路断线，都会危及到设备的安全运行，所以要对控制回路的完整性进行监视，以便及时发现和处理故障，一般采用灯光监视和音响监视两种接线。

1. 灯光监视的控制回路

灯光监视的控制回路接线如图 4-3 所示，在合闸回路中接入绿灯 HRd，在跳闸回路中接入红灯 HGn。当断路器在合闸状态时，红灯 HGn 亮，表示电源和跳闸回路是完好的；当断路器在跳闸状态时，绿灯 HRd 亮，表示电源和合闸回路是完好的。如果控制电源消失、操作保险熔断或控制回路断线，相应的指示灯就会熄灭。由于信号灯的电阻相对于 KMC 线圈或 Yoff 线圈的电阻大得多，不会引起 KMC 或 QF 动作。

2. 音响的监视控制回路

灯光监视的控制回路接线简单，但出现故障不易被及时发现，灯泡烧坏和控制回路故障也不能区别，对于比较重要的发电厂和变电所，常采用音响监视的回路，其接线如图 4-4 所示。在合闸回路中，接入跳闸位置继电器 KTP，在跳闸回路中接入合闸位置继电器 KCP。KTP 和 KCP 各有一对常闭接点串联再与光字牌 HR 串接后连来至延时预告信号小母线 3WAS、4WAS。当断路器处于合闸状态时，合闸位置继电器 KCP 动作，其常开接点闭合，红灯 HGn 亮，表示电源和跳闸回路是完好的，同时 KCP 的常闭接点断开，切断光字牌的信号回路；当断路器处于跳闸状态时，跳闸位置继电器 KTP 动作，其常开接点闭合，绿灯 HRd 亮，表示电源和合闸回路是完好的，同时 KTP 的常闭接点断开，切断光字牌的信号回路。

如果控制电源消失；或在合闸状态时跳闸回路断线；或在跳闸状态时合闸回路断线，位置继电器 KCP 和 KTP 都返回，使两继电器的常闭接点都接通，使光字牌 HR 亮，并通过中央预告信号装置发出音响信

号(电铃)。

四、触点 KLJ3 作用的分析

在图 4-4 中,继电器的触点 KLJ3 的目的是:在保护动作跳闸后,当继电保护出口中间继电器的触点 KOU 先于断路器辅助触点 QF2 断开时,对触点 KOU 起保护作用。但在实际运行中,曾多次发生断路器跳闸线圈 Yoff 烧毁的事故。Yoff 线圈烧毁的原因都是由于断路器辅助触点的连杆调整不当或经多次动作后松动,当断路器跳闸时,其常开辅助触点 QF2 却未能随之断开所致。当手动跳闸时,电流通过 Yoff 使断路器跳闸的同时,防跳继电器的电流线圈 KJL(I)也通电动作,使 KJL3 闭合。而如果 QF2 不断开,继电器 KJL 就会由于 KJL3 闭合而自保持其动作状态,使 Yoff 继续通电,且因 KJL3 短接了合闸位置继电器 KCP 线圈,使 KCP 不动作,故没有任何信号使运行人员发现故障,最终导致 Yoff 线圈烧毁。

解决这一问题的措施是取消触点 KJL3 回路,但这样会失去对触点 KOU 的保护作用。为此,保护出口继电器 KOU 要改用具有电流自保持线圈的中间继电器(如 DBZ-257 型),如图 4-4 中虚线框所示。

当保护跳闸时,跳闸电流的通路为:

+WC KOU 触点 KOU(I)线圈 KJL(I)线圈 QF2 触点 Yoff
线圈 WC

使出口继电器 KOU 的电流线圈流过跳闸电流而自保持,直至触点 QF2 断开切断跳闸电流,继电器 KOU 才返回,同样能起到保护 KOU 触点的作用。当然,如果继电保护动作使断路器跳闸后,QF2 不断开,仍然会产生 Yoff 继续通电的情况,但手动跳闸比保护跳闸的机会要多得多。当手动跳闸而 QF2 不断开时,断路器跳闸后,红灯 HGn 仍点亮,运行人员很容易判断是跳闸回路没有断开,从而进行检查处理,使之恢复正常。实践证明,凡是采用这一简易措施的再没有发生过 Yoff 烧毁的事故。

五、具有闪光的断路器控制回路

在火电厂和容量大的重要变电所,常采用断路器位置信号灯可以闪光的控制回路。控制开关一般采用 LW₂-Z-1a,4,6a,40,20,20/F8 型,它有六个位置,即“跳闸后”、“预备合闸”、“合闸”、“合闸后”、“预备跳闸”、“跳闸”。图 4-6 示出了这种控制开关的触点动作图表。

图 4-7 示出了断路器的控制电路图,控制开关采用上述的 LW₂-Z-1a,4,6a,40,20,20/F8 型,下面说明控制回路的动作情况。

1. “跳闸后”位置

当控制开关 SA 在“跳闸后”位置,其接点 SA10-11 通,且断路器也在跳闸状态时,QF1 接点闭合,形成了以下的通路:

+WC 1FU SA10-11 HRd 1R QF1 KCM 线圈 2FU -WC

此时,绿灯 HRd 亮,指示出断路器在跳闸位置,并监视控制电源

和合闸操作回路的完整性。

2. “预备合闸”位置

SA 把手顺时针转 90° 在“预备合闸”位置，SA9-10 接通，而 QF1 尚未断开，使闪光母线 (+) WFL 和控制母线 -WC 之间形成了电流通路，即：

(+) WFL SA9-10 HRd 1R QF1 KMC 线圈 2FU -WC

此时，接通了闪光电源，使绿灯 HRd 闪光，这时可以核对确认所需合闸的断路器。

3. “合闸”位置

当 SA 的手把再顺时针转 45° 到“合闸”位置时，SA5-8 接通，HRd 及 R 被短接，KMC 起动。其通路为：

+WC 1FU SA5-8 QF1 KMC 线圈 2FU -WC

KMC 的两对带灭弧的常开触点闭合，合闸线圈 Yon 通电使断路器合闸，其辅助接点 QF1 断开，QF2 闭合。

4. “合闸后”位置

松手后，把手自动弹回至垂直位置，即“合闸后”位置时，SA16-13 接通，其通路为：

+WC 1FU SA10-13 HGn 2R QF2 Yoff 线圈 2FU -WC

此时，红灯 HGn 亮，指示出断路器已在合闸状态，同时监视着控制电源和跳闸回路的完整性。

“跳闸后”位置的手柄（正面）的样式和触点盒（背面）接线图																		
手柄和触点盒型式 F8			1Q	4	6a	40	20	20										
触点号		-	1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20	21-23	21-22	22-24
位	跳 闸 后		-	×	-	-	-	-	×	-	×	-	-	-	×	-	-	×
	预 备 合 闸		×	-	-	-	×	-	-	×	-	-	-	×	-	-	-	×
	合 闸		-	-	×	-	-	×	-	-	-	×	×	-	-	×	-	-
	合 闸 后		×	-	-	-	×	-	-	-	-	×	×	-	-	×	-	-
置	预 备 跳 闸		-	×	-	-	-	-	×	×	-	-	-	×	-	-	-	×
	跳 闸		-	-	-	×	-	-	×	-	×	-	-	-	×	-	-	×

图4-6 LW2-Z-a、4、6a、40、20、20/F8转换开关触点动作图表

5. “预备跳闸”位置

SA 把手逆时针转 90° 在“预备跳闸”位置时，SA13-14 接通，其通

路为：

(+) WFL SA13-14 HGn 2R QF2 Yoff 线圈 2FU -WC

此时，接通了闪光电源，红灯 HGn 闪光，并发出预备跳闸信号。

6. “跳闸”位置

将 SA 把手逆时针转 45°到“跳闸”位置时，SA6-7 接通，HGn 和 2R 被短接，直流电压加到 Yoff 线圈上，其通路为：

+WC 1FU SA6-7 QF2 Yoff 线圈 2FU -WC

此时，跳闸线圈 Yoff 通电使断路器跳闸，辅助接点 QF2 断开，QF1 闭合。松开把手，SA 即回到“跳闸后”位置，绿灯 HRd 亮。

7. 事故跳闸

由于继电保护动作，断路器事故跳闸时，SA 把手仍在“合闸后”位置，SA9-10 接通，其通路为：

(+) WFL SA9-10 HRd 2R QF1 KMC 线圈 2FU -WC

此时，HRd 闪光，表示事故跳闸；若合闸过程中发生自动跳闸，因 SA9-10 已接通，HRd 也会闪光。

事故跳闸时，还会发出事故音响信号。其通路为：

-WC 2FU QF3 SA17-19 SA1-3 3R WFA 中央信号装置
+WC

图中 SA1-3 与 SA17-19 相串联可满足断路器在“合闸后”位置时才接通的要求，以防止 SA 在合闸操作过程中，发生由于位置不对应而引起短时的事故音响动作。当断路器在合闸后位置时，其控制开关接点 SA1-3、SA17-19 闭合，如此时继电保护动作或断路器误脱扣跳闸，断路器辅助接点 QF3 闭合，接通事故音响小母线 WFA 回路，发出事故音响信号。

值班人员处理事故时，首先停止音响信号，但保留闪光，以便在处理事故过程中知道是哪一回路发生了事故跳闸。事故处理完毕后，将 SA 把手旋转到“跳闸后”位置，SA9-10 断开，闪光便解除，同时，SA1-3、SA17-19 断开，事故信号回路又随之切断。

8. 断路器自动合闸

当自动装置动作使断路器自动合闸时，此时 SA 把手在“跳闸后”位置，SA14-15 接通，QF2 也是接通的，此时的通路为：

(+) WFL SA14-15 HGn 2R QF2 Yoff 线圈 2FU -WC

这时 HGn 闪光，发出自动合闸信号。将 SA 把手旋转到“合闸后”位置，SA14-15 断开，闪光即解除。

由上述说明可知，当断路器的状态和控制开关的位置不对应时，信号灯即被接通到闪光母线 (+) WFL 上，并发出闪光，闪光装置由闪光继电器构成。上述控制回路可以加装防跳装置，也可以改为音响监

视的控制回路。

第五章 信号回路接线

第一节 概述

在发电厂和变电所中,运行人员除了依靠电气测量仪表对设备的运行进行监视外,还需借助于各种信号装置来反映设备的状态和运行中的不正常工作情况,它是运行人员分析和判断事故的性质及其发生的地点以便及时采取对策的有力工具。信号装置按用途可以分为以下四类:

一、位置信号

位置信号用来表示开关电器和设备的状态。例如,断路器和闸门的位置状态用红、绿灯来表示;隔离开关的状态用 MK - 9 型位置指示器;机组启动准备状态用白色信号灯;某些回路还装有电源状态监视信号灯。

二、事故信号

事故信号用来在电气设备和发电机组发生事故或严重不正常情况时,及时向运行人员报警。例如,线路短路、发电机和变压器内部事故以及水力机械事故等,在造成断路器跳闸或停机时,就需要发出事故信号。这时,运行人员不仅要立刻知道发生了事故,而且要知道发生事故的地点和性质,以便及时处理事故。所以事故信号由警报音响(喇叭)和光字牌两部分组成。前者用以引起值班人员的注意,后者用以指明事故对象及性质。事故信号是由装在保护出口回路的信号继电器的常开接点来起动的,信号继电器有机械掉牌装置(或红色弹子),当通电使继电器动作后,机械掉牌能固定本身的动作状态,通过手动才能复位。这样就可以用信号继电器将所发生的事故记忆下来,便于事故的分析 and 统计。

三、预告信号

预告信号用来在在电气设备和发电机组发生不正常情况时,向运行人员报警。这些不正常运行情况一般不会立即造成设备的损坏或危及人身的安全,故可以继续运行一段时间,但应使运行人员及时了解情况并采取措施恢复正常。水电厂或变电所(除机组外)常见的不正常运行情况有:

发电机过负荷;发电机转子回路一点接地;发电机轴承温度升高;发电机轴承油位异常;水轮机轴承温度升高;水轮机轴承油位异常;油压装置油压异常;剪断肖剪断;冷却水中断;变压器过负荷;变压器油温升高;变压器轻瓦斯动作;自动装置动作;交流回路绝缘损坏;电压互感器二次回路断线;直流回路绝缘损坏;断路器控制回路断线;直流回路保险熔断等。

预告信号的构成原则与事故信号相同,也是由音响(电铃)和光字牌组成。预告信号直接由在发生不正常状态时反映参数变化的继电器起动。对于

装有冲击继电器的预告信号装置，预告音响应有一定的延时，因为有些异常情况是瞬时性的，有些回路在切换过程中也可能误发信号，加上延时，可以避免发出音响信号。

发电厂和变电所一般只装一套事故和预告信号装置，设在中央控制室内，故称为中央信号装置。中央信号装置有重复动作和不重复动作两种形式。所谓重复动作，是指发生一个故障在音响解除后，引起故障的原因还未消除或有关故障回路没有复归时，相继又发生了故障，仍能发出音响。发电厂和变电所一般采用重复动作的信号装置，对于小型电厂和变电所，可以采用较简单的不重复动作的信号装置，即只有第一个故障发出音响，当第一个故障原因尚消除时，相继出现的故障只能点亮光字牌而不发音响。

不能重复动作的事故音响信号装置接线之一如图 5-1 所示。它包括电喇叭 HAL、信号继电器 KS、中间继电器 KC 和按钮 SB 等。WS 为信号电源小母线，WFA 为事故信号小母线，凡需跳闸和停机的保护装置的信号继电器的接点都接于 WFA 上，白灯 HW 为

事故信号装置的动作过程说明于下。

1. 事故发声光信号

设备发生事故时，其对应的保护装置动作，跳开该设备的断路器，同时，对应信号继电器动作掉牌，其接点 KS1（或 KS2 等）接通，形成了以下通路：
+WS KS1 接点 1HR
WFA 2R KS 线圈 -WS，使 KS 动作，常开触点闭合，形成了以下通路：
+WS KC HAL KS -WS，
使喇叭发出事故音响。

2. 音响复归

为了在安静的环境下处理事故，运行人员在听到喇叭声响后应将音响复归，

这时可按下复归按钮 SR 使中间继电器

KC 动作，其一对常开接点自保持，另一对常开接点切断音响回路。当全部信号都复归后，要手动复归信号继电器 KS，准备下次动作。

3. 再发生事故

若信号继电器 KS1 还未复归，由于 KC 动作并自保持，断开了音响回路。如另一事故使信号继电器 KS2 动作掉牌时，不能再发出音响，只能点亮光字牌 2HR。

4. 试验

按下试验按钮 SB，喇叭 HAL 的回路接通，发出音响，按下 SR 音响即

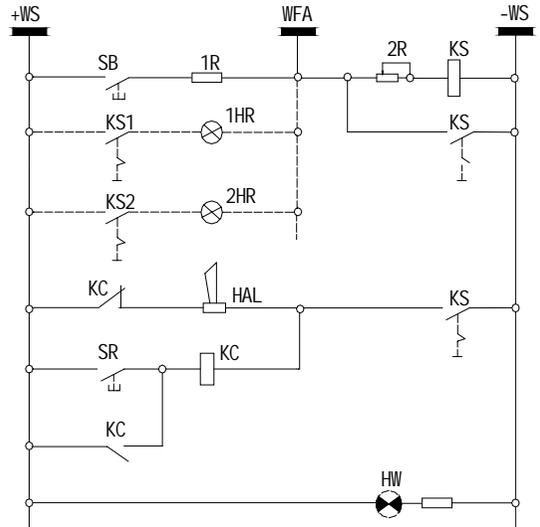


图 5-1 不重复动作的中央信号接线图

停止，同时要手动复归信号继电器 KS。

预告信号回路也是按图 5-1 接线，只要将电喇叭换为电铃，事故信号小母线换成预告信号小母线 WAS 即可。

四、指挥信号

发电厂中的指挥信号是用以传达车间之间的操作命令的。它一般用于发电厂主控制室与汽机房之间的联系。

第二节 ZC - 23 型冲击继电器构成的中央信号

一、冲击继电器

重复动作的中央信号装置中的关键元件是冲击继电器，目前常用的冲击继电器有三种类型：(1) 用极化继电器为执行元件的 CJ 系列；(2) 用干簧继电器为执行元件的 ZC 系列；(3) 用晶体管构成的 BC 系列。

现介绍 ZC - 23 型冲击继电器，它的内部接线如图 5-2 所示。图中 T_{mip} 为脉冲变流器，KR 为执行元件（自

电器），KC 为出口中间元件（多触点干簧继电器），V1、V2 为二极管，C 为电容器。KR 主要由线圈和干簧管组成。干簧管是个密封的玻璃管，舌簧片具有良好的导磁性能，又富有弹力，它既是导体又是磁体，当在线圈通入电流时，在线圈内部有磁通穿过，使舌簧片磁化，其两端所产生的磁极性正好相反。当通过的电流达到继电器的起动值时，干簧片靠磁的异性相吸而闭合，将外电路接通；当线圈中电流降低到继电器的起动值时，舌簧片靠本身的弹性而返回，使触点断开。干簧继电器具有灵敏度高、消耗功率小、动作速度快、经久耐用以及出厂后不需调整等优点，因而得到广泛的应用。

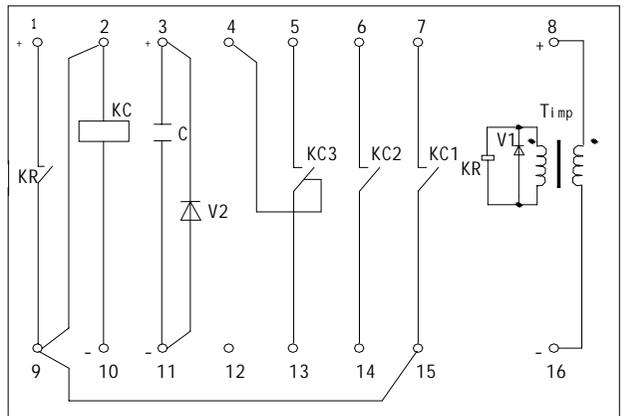


图 5-2 ZC-23 型冲击继电器内部接线图

将外电路接通；当线圈中电流

降低到继电器的起动值时，舌簧片靠本身的弹性而返回，使触点断开。干簧继电器具有灵敏度高、消耗功率小、动作速度快、经久耐用以及出厂后不需调整等优点，因而得到广泛的应用。

二、中央事故信号回路接线

为了发出事故信号，每一保护装置的信号继电器接点单独或并接后经过光字牌接至事故信号小母线 WFA1 和 WFA2，然后经试验开关 SAT（运行时 SAT9 - 10、SAT11 - 12 通）接至冲击继电器，事故信号起动回路接线如图 3-3 所示。

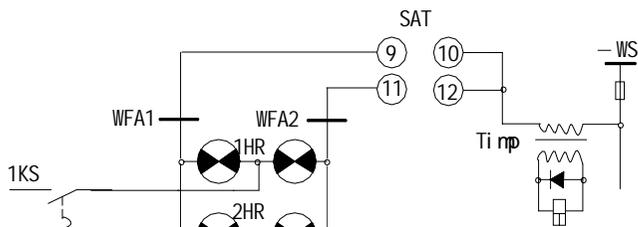


图 5-3 事故信号起动回路接线

由 ZC - 23 型冲击继电器构成的事故信号回路接线如图 5-4 所示，其工作原理说明于下：

(1) 冲击继电器起动。发生事故以后，冲击继电器起动发出事故音响的动作过程是：

发生事故 继电器动作 相应的信号继电器动作掉牌 相应的光字牌 HR 亮 WFA1、WFA2 带电 冲击继电器 1KAI 流过脉冲电流 KR 动作 KC 动作

- KC1 合 自保持；
- KC3 合 发事故音响；
- KC2 合 音响自动解除。

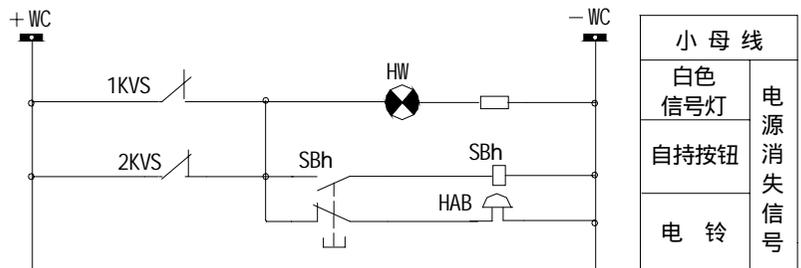
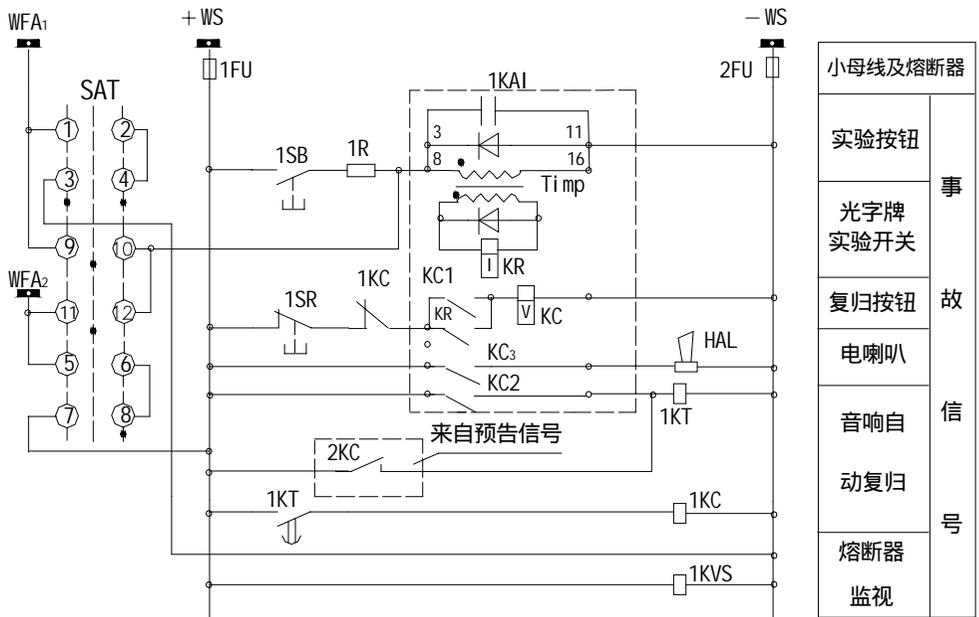


图 5-4 ZC-23 型冲击继电器构成的事故信号接线图

图 5-4 ZC-23 型冲击继电器构成的事故信号接线图

(2) 音响解除。事故音响可以自动解除或手动解除。自动解除音响的过程是：

KC 动作 KC2 接点合 1KT 动作 1KT 接点延时闭合 1KC 动作 1KC 接点断开 KC 返回 KC3 接点断开 事故音响解除。

手动复归音响信号时，按下按钮 1SR 使中间继电器 KC 返回即可。

(3) 重复动作。事故音响解除，掉牌的信号继电器尚未复归，光字牌还点亮，这时若再发生事故，又会有另一个信号继电器动作掉牌并点亮另一个光字牌(见图 5-3)，使冲击继电器的脉冲变压器一次侧电流有一个突增，Timp 二次侧感应出脉冲电势使 KR 再次起动，发出事故音响。

(4) 音响试验。按下试验按钮 1SB，如装置完好，即发出音响。

(5) 光字牌试验。将试验开关 SAT 由工作位置扳向试验位置，SAT1 - 2、SAT3 - 4、SAT5 - 6、SAT7 - 8 四对接点接通，使信号电源通过光字牌形成通路，如图 5-5 所示，这样就可以检查光字牌是否完好。

(6) 电源监视。1KVS 为事故信号电源监视继电器，当电源电压消失时，1KVS 返

回，其常闭触点接通，使电铃 HAB 响并点亮白灯 HW，按下自持按钮可以复归音响。

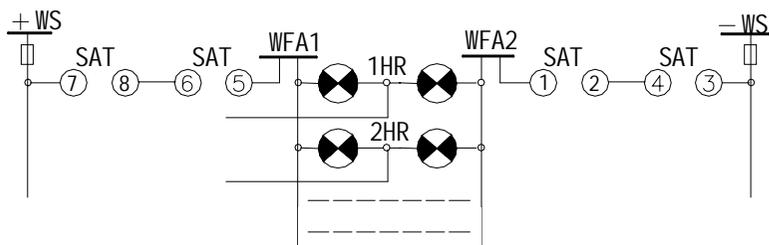


图 5-5 检查光字牌的电流通路

图 5-4 设置两条事故信号小母线 WFA1、WFA2 的目的就是为了对光字牌进行检查，有些发电厂和变电所的设计只用一条事故信号小母线，就不能对光字牌进行检查。当然，如果采用具有闪光的断路器控制回路，事故信号小母线并不与光字牌相连，采用一条即可（见图 4-7）。

大型发电厂和变电所有些断路器事故跳闸时，要向中心调度所发遥信信

号，以便使调度及时了解运行情况，这时要专设一个发遥信的冲击继电器，其工作原理和上述是基本相同的，图上没有画出这部分接线。

三、中央预告信号回路接线

延时预告信号回路的接线如图 5-6 所示。其动作原理与事故信号装置是相似的，但采用了两个 ZC - 23 型冲击继电器反极性串联以实现冲击自动返回的性能。

当发生异常情况时，相应的继电器接点闭合，点亮光字牌并使延时预告信号小母线 3WAS、4WAS 带电，使冲击继电器 2KAI、3KAI 的脉冲变压器 T_{imp} 一次侧流过电流，二次侧则产生感应脉冲电势，但由于 3KAI 的脉冲变压器 T_{imp} 是反向连接的，其二次侧的脉冲电势被二极管所短路，故 3KAI - KR 不会动作。因此只有正向连接的冲击继电器 2KAI 的执行元件 2KAI - KR 动作，并起动 2KAI - KC，KC 通过其 KC1 接点自保持，通过 KC2 接点起动时间继电器 KT，KT 的接点延时闭合，发出预告音响信号。

当冲击继电器受到短时冲击时（如外部短路电压短时降低，监视电压互感器保险熔断

的电压继电器可能动作一下），开始的动作过程和上述发生异常情况是相同的。若在时间继电器 KT 的延时接点未闭合前，冲击消失，则由于流过脉冲变压器 T_{imp} 一次侧的电流突然减小或消失， T_{imp} 的二次侧将感应出反方向的脉冲电势，但冲击继电器 2KAI 的脉冲变压器 T_{imp} 二次侧脉冲电势被二极管所短接，故只有 3KAI - KR 动作，并起启动 3KAI - KC，KC 通过 KC1 接点自保持，通过 KC3 接点使已经自保持的 2KAI - KC 返回，时间继电器 KT 随之复归，达到了冲击自动返回的目的。

有一些发电厂和变电所只设置瞬时预告信号装置，这样就没有冲击自动返回的性能，短时冲击就可能发出音响。例如，在操作断路器时，断路器的辅助接点 QF1 和 QF2 在切换过程中可能都断开，使合闸位置继电器 KCP 和跳闸继电器 KTP 都短时失电，使两继电器的常闭接点都闭合，从而起启动冲击继电器发出音响，并可见“操作回路断线”光字牌闪一下（参见图 4-4）。如果采用延时预告信号装置，就不会产生这种误发音响的情况。容量较大的发电厂和变电所，一般都分别装设有瞬时预告信号和延时预告信号装置。

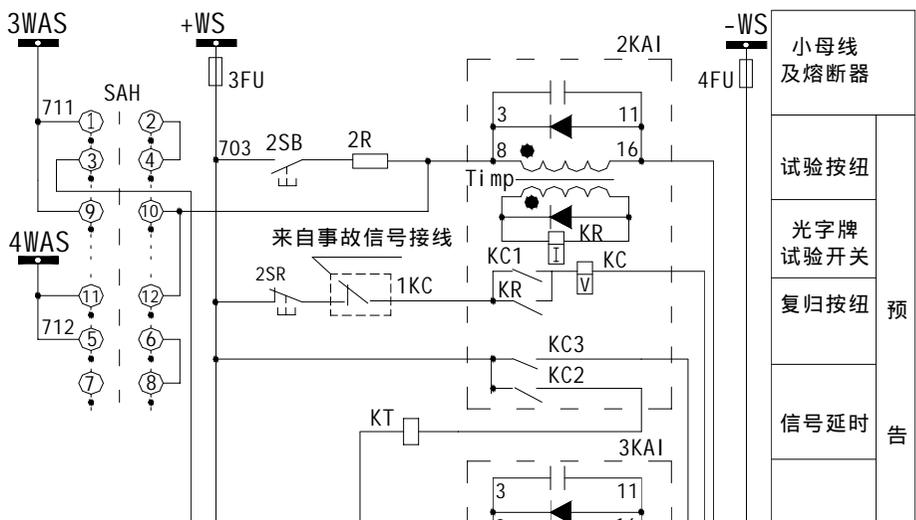


图 5-6 由 ZC-23 型冲击继电器构成的延时预告信号接线图

第三节 用 JC-2 型冲击继电器构成的中央信号

一、事故信号

JC—2 型冲击继电器构成的中央信号接线如图 5-7 所示。冲击继电器中有一个双线圈双位置的极化继电器 K1 和 K2。K1 或 K2 线圈中流过冲击正向电流时（即 K1 从左到右，K2 从右到左），可动衔铁的顶部受磁化，使触点动作，并保持在该位置。如果其中一个线圈中流过相反方向的电流，致使可动衔铁的极性改变，可使触点回复原状。

事故信号的动作情况说明如下：

(1) 冲击继电器起动

当断路器事故跳闸时，事故信号小母线 WFA 经 3R、SA1-3、SA19-17、KTP13-15 与负电源接通（见图 4-7），正电源通过线圈 K1，电容 C 及线圈 K2，对电容器充电，使冲击继电器 1KAI 起动。在充电期间，继电器线圈中流过电流使衔铁动作，带动触点闭合。充电完毕后，线圈中电流消失，衔铁亦保留在动作位置，让触点可靠闭合。1KAI 的触点闭合后，便起动中间继电器 1KC。它有两对常开触点，其中一对触点起动时间继电器 3KT，另一对触点接通蜂鸣器 HAL，发出音响，表明已发生事故。

(2) 自动解除和手动解除

上述动作状态，只是暂时存在，经时间继电器触点延时后，便自动解除。时间继电器的整定时间大约为 5s，待延时到达后，3KT 的触点 3KT4-12 立

即闭合, 起动中间继电器 3KC, 使触点 3KC9-11 闭合, 让电流从小母线+WC 经 1KAI 的端子 流入, 经电阻 1R、1KAI 的端子、线圈 K2、电阻 R、1KAI 端子 至小母线- WC。此时, 线圈 K2 中电流的方向正好与动作时相反(从左到右), 衔铁的极性改变, 使 1KAI 的触点重新断开, 中间继电器 1KC 也相继断电返回。然后, 时间继电器复原, 触点 1KC9-11 将蜂鸣器回路切断, 响声也就自动停止。

欲使蜂鸣器提前解除, 可按下手动复归按钮 1SR, 其动作过程与上述相同。

(3) 重复动作

前面已分析过, 冲击继电器能自动复归, 为下次动作做好准备。断路器事故跳闸后, 小母线 WFA 是通过一电阻和负电源接通的, 若开关 SA 尚在“ 合闸后” 位置时, 又发生另一个断路器事故跳闸, 由于两个电阻并联使电容充电回路电阻的减小, 电容会再次充电, 使冲击继电器会再次起动, 保证信号装置又重复动作。只要事故信号回路电阻选择适当, 可重复动作 8 次。

(4) 试验

在运行中, 须对事故信号装置进行试验, 检查是否处于完好状态。试验时, 按下试验按钮 1SB, 起动冲击继电器发出音响。同样, 音响可用手动复归按钮 1SR 加以解除。注意: 按下 1SB 的时间要超过 3KT 的整定时间, 才能对复归回路进行试验。

二、预告信号

预告信号分为瞬时预告信号和延时预告信号, 图中只画出延时预告信号接线图。它的工作原理和事故信号是基本相同的。

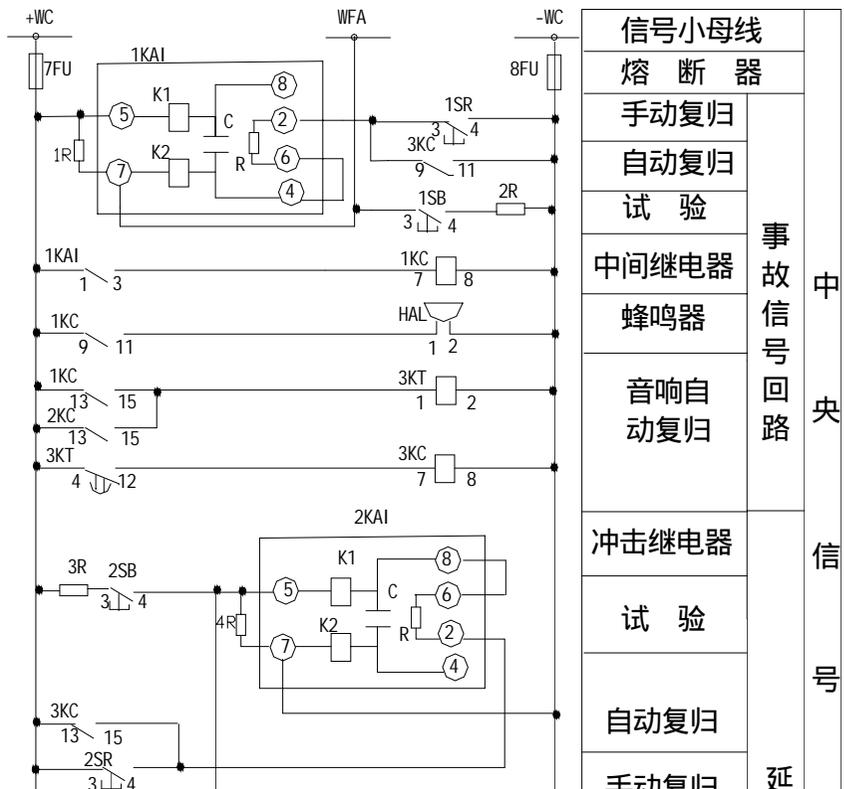


图 5-7 JC2 型冲击器构成

的中央信号接线图

(1) 音响的起动与复归

光字牌试验开关 SAT 置于“工作”位置时,其触点 13-14、15-16 接通。当产生不正常运行情况时,正电源通过相应的光字牌到延时预告信号小母线 3WAS 和 4WAS,(例如,断路器操作回路断线,见图 4-4,+WS 通过合闸位置继电器 KCP 和跳闸位置继电器 KTP 的常闭触点,再经过“操作回路断线”光字牌 HR 到延时预告信号小母线 3WAS 和 4WAS)再通过 SAT13-14、15-16 开关触点向冲击继电器 2KAI 中的电容 C 充电,2KAI 中的 K1 和 K2 流过充电电流而动作,从而起动时间继电器 4KT,其触点延时闭合后起动中间继电器 2KC,触点 2KC9-11 闭合使电铃响,另一对触点 2KC13-15 闭合起动 3KT(与事故信号共用),从而使 3KC 动作将其触点 3KC13-15 闭合使音响自动复归。按下按钮 2SR 可以手动复归音响。

(2) 冲击自动返回

JC2 型冲击继电器由于采用极化继电器作为执行元件,本身具有冲击自动返回的性能,不需像 ZC-23 那样用两个冲击继电器串接。当遇到短时异

常信号时(如短时过负荷),和前述一样,3WAS和4WAS带正电,并通过2KAI内的K1和K2向电容器C充电,使2KAI启动闭合其触点从而使4KT线圈通电,假如在4KT的触点闭合前异常信号消失,3WAS和4WAS不再带正电,前已充在电容器C上的电压,就会通过K1和K2线圈放电,由于流过K1和K2是反方向的电流,使2KAI自动返回,4KT也随之返回,不会误发音响。

(3) 试验

将开关SAT板向试验(M)位置,其触点1-2、3-4、5-6、7-8、9-10、11-12接通,3WAS带负电,4WAS带正电,使接于两条小母线上的所有光字牌都点亮,由于光字牌的两只灯是串联的,其亮度要比真正产生故障时(两灯并联)要低。当光字牌较多时,通过SAT的电流较大,为了在开关断开时减小触点灭弧电压而保护触点,采用多对触点串联。

音响的试验按下按钮2SB即可,但按下时间一定要超过4KT整定的动作时限(一般整定为9s左右),如果按下时间不够,一旦松手,2KAI会自动返回而不能发音响。

第四节 模块式的中央信号装置

以冲击继电器为核心的中央信号系统,它存在以下缺点:

(1) 冲击继电器是整个信号系统的核心,音响信号必须通过冲击继电器才能发出。冲击继电器一旦故障,整个信号系统将失灵,影响信号系统的可靠性。

(2) 信号的重复动作次数取决于冲击继电器长期热稳定电流。当信号数量较多时,会出现漏发信号或冲击继电器烧坏的现象。

(3) 预告信号系统的光字牌无闪光,故同时出现两个以上信号时,先后出现的信号不易分辨。

(4) 反映信号不完善,例如全所保护动作只发“掉牌未复归”信号,而且当该信号发出时,要到保护屏上去寻找,延长了事故判断和处理时间。

(5) 与微机监控系统连接不方便。一般来说,需要将发出的中央信号信息输入到微机监控系统中。为了获取这些信息,对常规的中央信号系统,需增加大量信号继电器。

因此,一些发电厂变电所采用了一种新型的模块式中央信号装置。这些装置由若干模块构成积木式结构。它的主要特点是每个要发出的信号,无论是事故信号还是预告信号,都要先接到一个信号模块上,每个信号模块完成以下功能:

- (1) 记忆功能。即将输入信号记录下来。
- (2) 显示功能。即通过灯光显示。
- (3) 启动音响。

高频音响。与此同时,8D的Q端高电平信号与频率 F_0 的振荡电压同时经与门5D输出后,再送入计数器7D的CP端,使计数器按频率 F_0 开始计数,待计数达到整定时间(1~8s可调),便输出高电平至反相器6D,使反相器5D即输出低电平0V,计数器即停止计数。同时,计数器输出的高电平又送至触发器8D的复位端R,使8D的Q端输出低电平,使9DX端的音响调制信号 f_1 消失,音响立即停止。同时,由于触发器8D的 \bar{Q} 端为高电平,送到计数器7D的CR端,将计数器清零,准备好下次再动作。音响重复次数不受限制。

由图5-8可知,如果事故消失,KOU触点断开;继而隔离继电器1KC的常闭触点闭合,送入+12V电压,经电容2C微分,发出音响返回信号,同样可使触发器D4的Q端输出低电平,音响也就停止。

音响启动的同时,启动脉冲还使触发器12D翻转,12D的Q端输出高电平,使与非门13D的输出端为0V,晶体管V1即截止,继电器3KC失电,其常闭触点闭合,启动停钟回路,记下故障发生的时间。

图5-9中,3SB为事故音响试验按钮,供调试和运行中自检试验之用,4SB为音响复归按钮,5SB为停钟解除按钮。当故障处理完毕后,可将钟核校对到正确时间,再按5SB,钟又恢复走时。

2. 预告信号

设备运行中出现危及安全的异常情况时,如变压器过负荷、10KV系统接地、电压回路断线等,便发出预告信号,提醒值班人员注意,进行适当处理。

预告信号也由灯光信号和音响信号组成。其接线及动作原理,与事故信号相同。不同之处仅是音响为延时启动(在0-8s范围内可调),小于延时的动作信号,便不会发出音响(相当于前面提到的冲击自动返回功能),以免造成误动。另外,音响信号的频率为 f_2 ,使得预告信号电喇叭发出的响声与事故信号电喇叭的响声不同,便于识别。

应当指出,目前有些发电厂变电所已经采用了计算机监控系统,其功能已能完全代替并超过现有的信号系统功能,就没有必要再另设常规的中央信号系统。

第五节 指挥信号

发电厂中的指挥信号是用以传达车间之间的操作命令的。它一般用于火电厂主控制室与汽机房之间的联系,主控制室发给汽机房的指挥信号有:注意、增负荷、减负荷、发电机已合闸、发电机已解列、停机、更改命令、电话共八种;汽机房发给主控制室的指挥信号有:注意、减负荷、可并列、汽机调整、更改命令、电话共六种。

指挥信号装置由发送与解除命令的按钮、信号灯、标明各种命令的光字牌和音响信号组成。在主控制室每块发电机控制屏上及汽机房相应的汽轮机控制屏上，各装有指挥信号用的按钮和光字牌。

图 5-10 示出了一种带自保持按钮的双灯串联的指挥信号回路，其操作过程如下：

当主控制室向汽机房发送命令时，值班人员首先按下指挥信号按钮 1SB，于是电流从正电源+WC 经汽机房的复归按钮 SB4，再经主控制室的发送命令按钮 1SB 后分三路到负电源—WC：第一路经按钮的自保持线圈 1SB 到负电源，使 1SB 自保持；第二路经汽机房的电笛 HAL 到负电源，使汽机房的电笛响；第三路经光字牌 1HR1 和 1HR2 到负电源，使汽机房及主控制室“注意”光字牌亮。采用自保持按钮的目的是为了使发送信号的值班员不能在发送端将自己所发出的信号解除，必须由接受端的值班员使用解除信号按钮才能将信号解除。

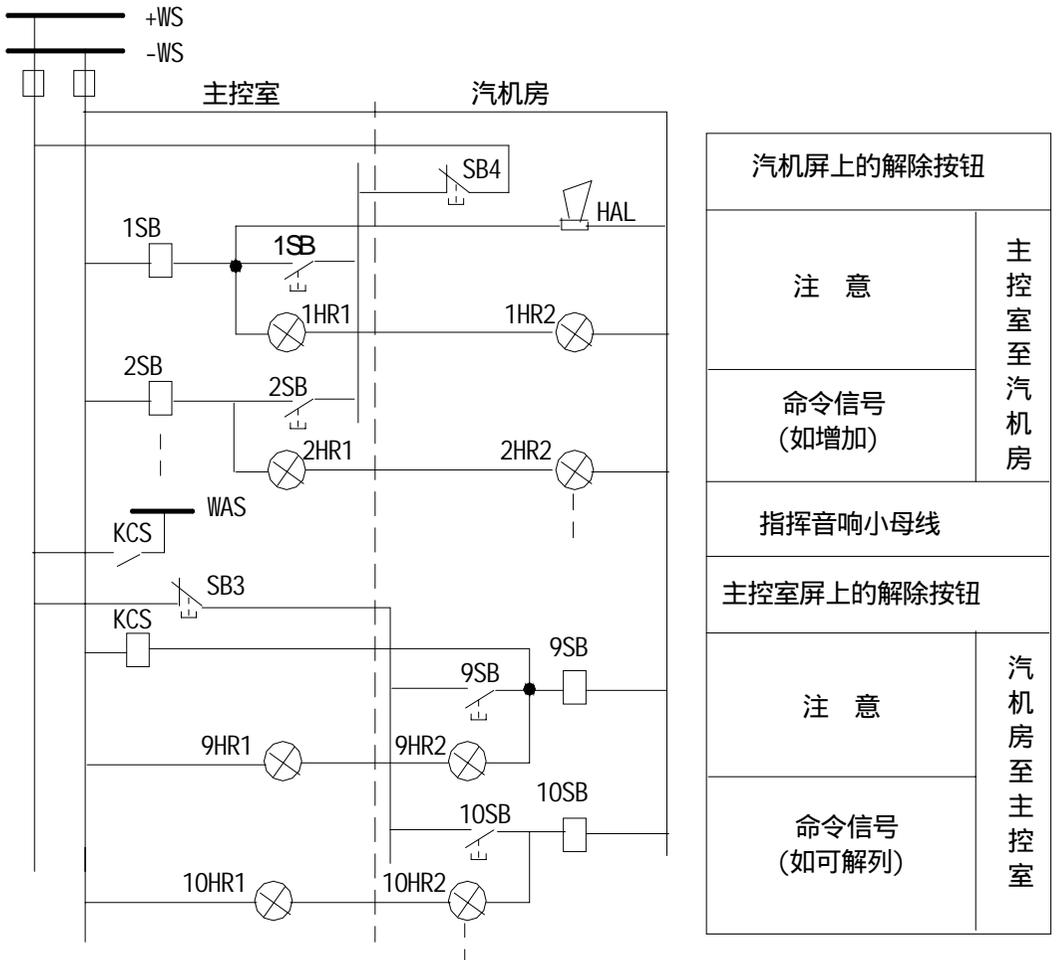


图 5-10 指挥信号回路接线图

汽机房值班人员听到音响信号后，按下 SB4 断开按钮 1SB 的自保持电路，两处的“注意”光字牌同时熄灭，表示汽机房已准备好接受命令。然后主控制室值班人员再按下所需的命令按钮，例如当按下 2SB 时，主控制室与汽机房中“增负荷”光字牌 2HR1、2HR2 亮。汽机房执行命令后，按下 SB4，即将命令解除。从汽机房向主控制室发送命令时，其顺序同上。不同的是主控制室的警铃是公共的，跨接在指挥信号小母线与负电源之间，而汽机房的电笛则是每台机组各装一个。当汽机房某机组发出“注意”命令时，按下 9SB，则两处标有“注意”的光字牌 9HR1、9HR2 亮，并起动中间继电器 KCS，其常开触点闭合，把正电源送至指挥信号小母线 WAS 上，使公共警铃发出声响。

第六章 电气接线故障分析

下面结合校内电气实习所采用的保护、控制、测量、信号回路接线图(见图 6-1、6-2)和由 JC2 型冲击继电器构成的中央信号回路接线图(见图 5-7),对一些典型的问题进行分析。

第一节 断路器事故跳闸

一、看图原则

断路器事故跳闸是由于产生短路事故继电保护动作而产生的。分析这类事故,应遵循“先一次,后二次;先交流,后直流;先线圈,后触点;先上下后下,先左后右”的原则,现以线路产生相间短路事故为例进行分析。

先一次,后二次:首先是线路的一次主电路产生了相间短路,从而产生了比负载电流大得多的短路电流,由于电流互感器 2TA 的一次线圈是串联在线路上的,它同样流过这一短路电流,从而在电流互感器 2TA 的二次线圈上也反映了这一短路电流,其二次电流值由互感器的变流比而定。所以电流互感器是联系交流一次电路和交流二次电路的桥梁。

先交流,后直流:线路装有典型的三段式过电流保护,由电流继电器 1KA 和 2KA 构成瞬时电流速断保护,由电流继电器 3KA 和 4KA 构成限时电流速断保护,由电流继电器 5KA 和 6KA 构成定时限过电流保护。电流互感器的二次线圈经电流继电器线圈形成二次交流电流通路,当二次短路电流大于电流继电器的整定动作电流时,相应保护的继电器就会动作,而电流继电器的触点是接于直流操作回路中的。

先线圈,后触点:继电器触点的通断转换依赖于继电器的动作,而继电器的动作又依赖于流过其线圈的电流(或所加的电压)是否大于其动作值,所以看图时,一定要先看线圈回路是否形成电流通路而使继电器动作,如果动作,就要找到这一继电器的各对触点,看这些触点的转换(常开触点通,常闭触点断)会引起什么变化。

先上下后下,先左后右:在接线图中,二次设备的动作顺序一般都是从上到下,连接次序从左到右,在看图时也应遵循这一原则。

二、动作过程的分析

现以定时限过电流保护的動作过程为例进行说明。

1. 短路前,线路断路器 QF 处于合闸状态,其辅助触点 QF6-4 断开而 QF3-5 闭合,
合闸位置继电器 KCP 动作:

+WC 1FU KCP 线圈 KJL (I) QF3-5 跳闸线圈 Yoff
2FU —WC。其常开触点闭合，常闭触点断开；

操作开关 SA 处于“合闸后”位置，触点 SA13-16 闭合，红灯 HGn 亮平光：

+WS 5FU SA13-16 KCP9-11 HGn 6FU —WS；

2. 线路发生短路事故：

线路短路 线路上产生短路电流 短路电流流过 2TA 一次线圈
2TA 二次线圈反应二次短路电流：

(1) 5KA (6KA) 动作：

二次短路电流由 2TA-K1 2KA 线圈 5KA 线圈 2TA-K2，形成闭合回路；

(2) 5KA (6KA) 常开触点 1-3 闭合，使时间继电器 2KT 动作：

+WC 1FU 5, 6KA1-3 2KT 线圈 2FU —WC；

(3) 触点 2KT4-12 延时闭合，使信号继电器 3KS 和保护出口中间继电器 KOU 动作：

+WC 1FU 2KT4-12 3KS 线圈 3XB KOU 线圈 2FU
—WC；

(4) 3KS 动作掉牌 (红色弹子弹出)，其常开触点 3KS1-5 闭合，点亮“掉牌未复归”光字牌 2HR：

+WS 5FU 3KS1-5 2HR 6FU —WS；

(5) KOU 动作，其常开触点 KOU2-10 闭合，使 QF 跳闸：

+WC 1FU KOU2-10 KJL (I) 线圈 QF3-5 触点 Yoff
线圈 2FU —WC。其辅助触点也随之转换；

(6) QF4-6 闭合，跳闸位置继电器 KTP 动作：

+WC 1FU KTP 线圈 QF4-6 合闸接触器 KMC 线圈 2FU
—WC。KTP 常开触点闭合，常闭触点断开；

(7) 绿灯 HRd 闪光：

(+) WS SA9-10 KTP9-11 HRd 6FU —WS；

(8) 事故信号小母线 WFA 带负电：

—WS 6FU KTP13-15 SA17-19 SA3-1 1R WFA。从而
起中央事故信号回路，使蜂鸣器 HAL 发事故音响；

(9) 将 SA 扳至“跳闸后”位置，使 SA 与断路器跳闸状态对应，闪光解除而 绿灯亮平光。

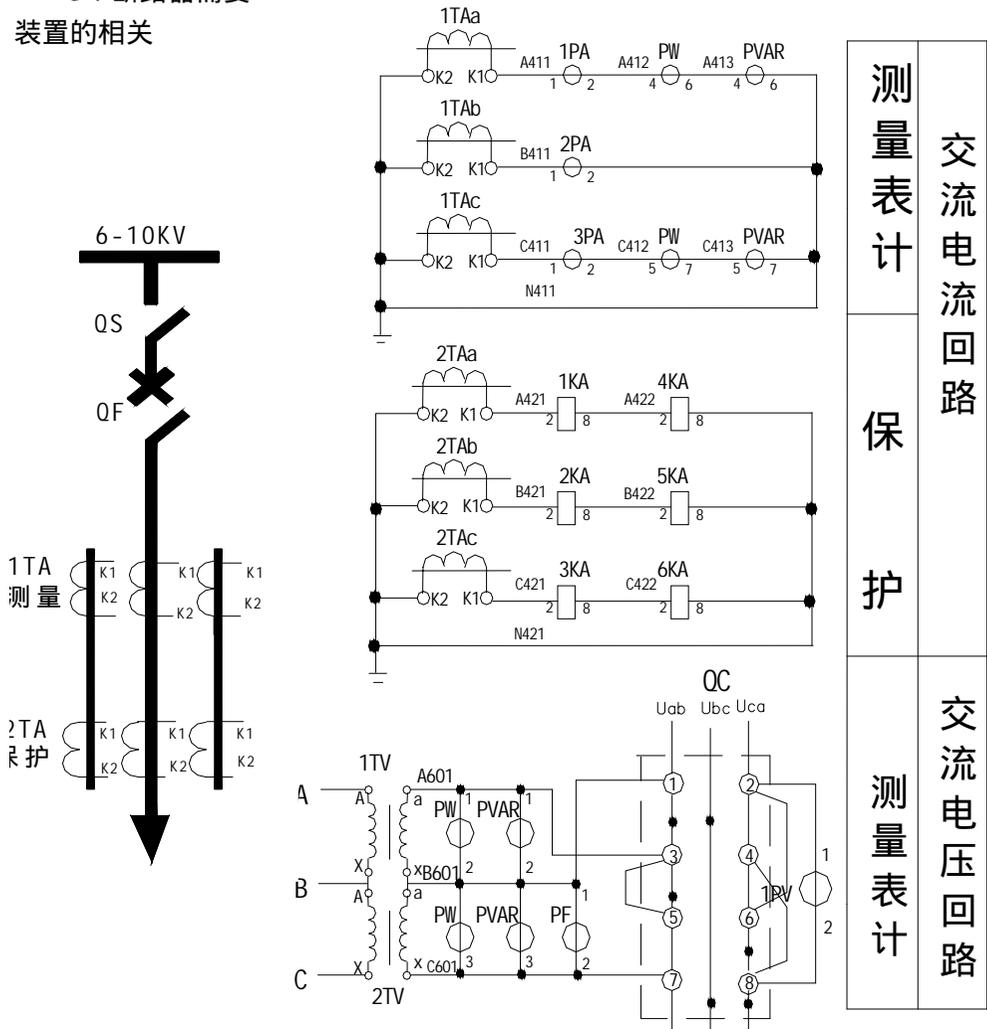
综上所述，断路器事故跳闸所发生的现象是：蜂鸣器响，绿灯闪光，“掉牌未复归”光字牌亮，相应保护的信号继电器掉牌。

三、二次图之间的联系

必须强调，发电厂变电所的二次接线是一个整体，二次设备之间有着紧密的联系，而根据各种设备和各种功能绘出的图纸有几十张甚至上百张，各

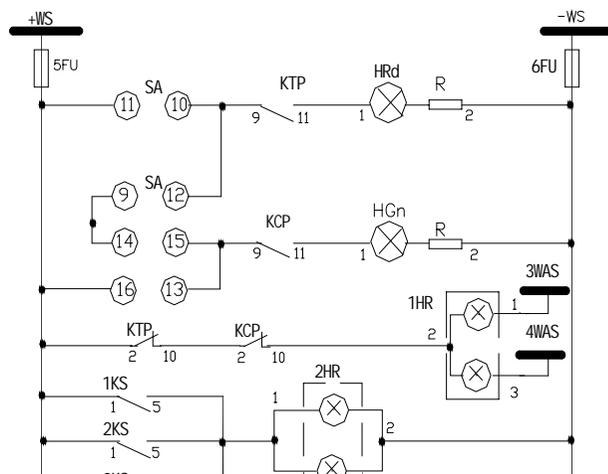
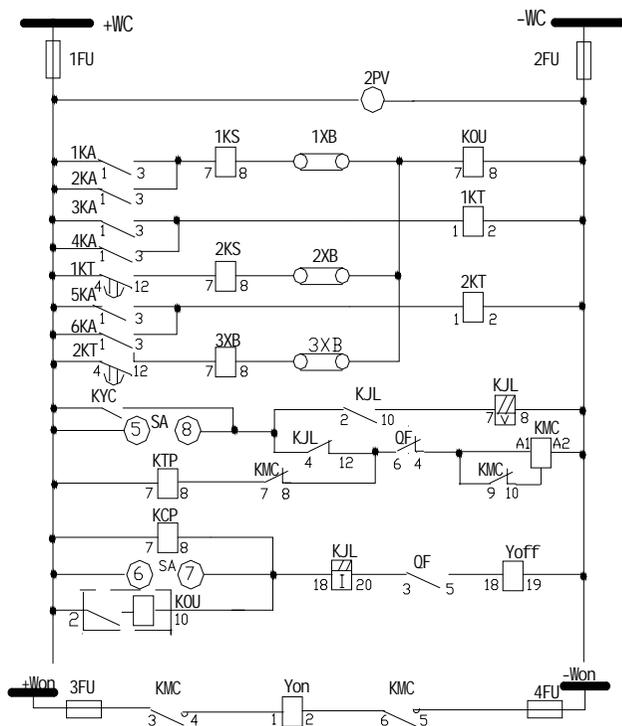
图纸之间必然也有着紧密的联系，看图时一定要找出图纸之间的联系点，用全局的、联系的观点来分析工作原理和动作过程。例如，分析断路器事故跳闸发事故音响的动作过程，就是通过事故信号小母线 WFA 这一“桥梁”，将断路器控制信号接线图与中央事故信号接线图联系起来。在实际工程设计中，断路器控制信号接线图与其它部分的联系可以归纳为：

1. 与中央信号的联系，通过事故信号小母线 WFA 和预告信号小母线 WAS；
2. 工程设计中继电保护接线分门别类的图纸，与继电保护的联系通过保护出口继电器
3. 断路器需要装置的相关



SA (LW2-Z-1a, 4, 6a, 40, 20/F8) 触点表

触点号 位置	1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	18-20
跳闸后	←	×	—	—	—	—	×	—	×	—	—	×
预备合闸	↑	×	—	—	×	—	—	×	—	—	—	—
合闸	↗	—	×	—	—	×	—	—	—	×	×	—



控制小母线	
熔断器	
电压表	
电流速断	保护直流回路
限时电流速断	
定时限过流	
防跳	断路器操作回路
合闸操作	
跳闸位置继电器	
合闸位置继电器	
跳闸操作	
保护跳闸	
合闸回路	
信号小母线	
熔断器	
跳闸指示	
合闸指示	
操作回路断线	断路器信号回
掉牌未复归	

图 6-2 保护控制测量原理接线图(2)

点接至合闸回路；

4. 装有自动重合闸装置时，与重合闸接线的联系，通过重合闸装置的输出触点接至合闸回路；

5. 装有备用电源自动投入装置时，通过装置的输出触点接至跳、合闸回路；

6. 原动机（水轮机或汽轮机）事故时，通过事故输出触点接至跳闸回路；

7. 装有低周减载、低周解列等自动装置时，通过事故输出触点接至跳闸回路；

8. 断路器的辅助触点根据需要分别接至继电保护回路、原动机操作回路、励磁控制回路、自动装置回路等。

第二节 操作回路断线

操作回路断线信号是用来监视断路器跳、合闸回路和控制电源是否完好的。分别采用合闸位置继电器 KCP 和跳闸位置继电器 KTP 各一对常闭触点 2-10，串联后经“操作回路断线”光字牌 1HR、延时预告信号小母线 3WAS 和 4WAS 至中央延时预告信号回路。下面就几种情况加以分析。

一、控制电源消失

控制电源不消失而正常运行时，断路器无论是在合闸状态还是跳闸状态，合闸位置继电器 KCP 和跳闸位置继电器 KTP 总有一只是动作的，因而它们串联的两对常闭触点也总有一对是断开的，操作回路断线信号回路是不通的。同时断路器位置信号灯 HRd 和 HGn 总有一只是亮的，对应着断路器的状态。

控制电源消失一般是由于操作保险 1FU 或 2FU 熔断或者小母线+WC 或—WC 无电所致。这时，继电器 KCP 和 KTP 都失电返回，点亮了“操作回路断线”光字牌 1HR：

+WS 5FU KTP2-10 KCP2-10 1HR 3、4WAS SAT13-14、
15-16 2KAI K1 C K2 2KAI 8FU —WC。由于冲击继电器 2KAI 的动作，电铃发出音响。

同时，由于继电器 KCP 和 KTP 都失电返回，位置信号灯灭。

由此可见，控制电源消失产生的现象是：电铃响，“操作回路断线”光字牌亮，信号灯灭。

二、断路器在合闸状态，跳闸回路断线

跳闸回路指的是与断路器跳闸线圈 Yoff 相关的回路，当没有断线时，合闸位置继电器 KCP 动作，红灯 HGn 亮平光。

当跳闸回路断线（如 QF3-5 断开、Yoff 线圈断线、连线断线或接触不良等）时，继电器 KCP 返回，就产生以下现象：

接通“操作回路断线”光字牌 1HR 的回路，使光字牌亮；

起动冲击继电器 2KAI，使电铃响；

断开了红灯 HGn 回路，使红灯灭。

三、断路器在跳闸状态，合闸接触器回路断线

与上述分析相同，在合闸接触器回路没有断线时，跳闸位置继电器 KTP 动作，绿灯 HRd 亮平光。当合闸接触器回路断线（如 KMC 线圈断线、QF6-4 断开）时，继电器 KTP 返回，就产生以下现象：

接通“操作回路断线”光字牌 1HR 的回路，使光字牌亮；

起动冲击继电器 2KAI，使电铃响；

断开了绿灯 HRd 回路，使绿灯灭。

四、断路器在合闸状态，合闸接触器回路断线

断路器在合闸状态，其辅助触点 QF6-4 本来就是断开的，继电器 KTP 不动作。合闸接触器回路断线，并不改变继电器 KTP 和 KCP 的状态，因而不会产生任何信号。同样，断路器在跳闸状态，跳闸回路断线，也不会产生任何信号。因此，值班人员并不能靠信号及时发现断线故障。但这并不影响断路器的操作，当断路器下一次操作改变状态后，其辅助触点也随之切换，操作回路断线的信号和现象就会立即出现，值班人员就会检查处理。

第三节 其它故障的分析

断路器控制和中央信号回路可能出现的故障多种多样，下面举几个例子进行分析。

一、断路器合闸保险熔断，操作 SA 欲使断路器合闸

断路器在跳闸状态时，合闸保险 3FU 或 4FU 熔断后，本身并不出现什么信号。这时，辅助触点 QF4-6 通，QF3-5 断，操作开关 SA 对应断路器的状态在“跳闸后”位置，跳闸位置继电器 KTP 动作，绿灯 HRd 亮平光。

当手动操作开关 SA 欲使断路器合闸时，操作者松手后 SA 处在“合闸后”位置，而由于合闸保险熔断，断路器并没有合闸，其辅助触点当然也不会切换，跳闸位置继电器 KTP 照样维持动作，而操作开关 SA 却由“跳闸后”转换到“合闸后”位置，其触点的通断情况改变了。这时，会产生以下现象：

(1) 断路器合不上闸，仍在跳闸状态；

(2) 发事故音响：

+WC 7FU 1KAI K1 C K2 1KAI WFA 1R
SA1-3 SA19-17 KTP13-15 6FU —WS。使 1KAI 起动，
通过事故信号回路使蜂鸣器响；

(3) 绿灯闪光：

(+) WS SA9-10 KTP9-11 HRd 6FU —WS；

二、QF 事故跳闸后，KOU 触点 2—10 粘住不返回，下次手动合闸

断路器事故跳闸后，如果继电器 KOU 的常开触点粘住不返回，由于辅助触点 QF3-5 已经断开，并不会引起什么改变，值班人员不会觉察。断路器跳闸后，相应的绿灯会闪光，为了解除闪光并为下一次操作作好准备，在事故处理就绪后，值班人员会将开关 SA 扳至对应断路器状态的“跳闸后”位置，使绿灯亮平光。

当手动操作 SA 放到“合闸”位置时，SA5-8 通，断路器合闸过程如下：

+WC 1FU SA5-8 KJL4-12 QF6-4 KMC 线圈 2FU
—WC。使合闸接触器动作。

+Won 3FU KMC3-4 Yon 线圈 KMC6-5 4FU —Won。
使断路器合闸，其辅助触点随之转换，QF3-5 闭合，由于 KOU 触点粘住，断路器跳闸线圈 Yoff 立即通电跳闸，如果操作者还未松手，SA5-8 继续接通，会不会产生断路器多次跳合闸的跳跃现象呢？

由于装设了防跳继电器 KJL，跳跃现象是不会产生的。当断路器跳闸时，跳闸电流流过了防跳继电器的电流起动线圈 KJL (I)，使继电器 KJL 动作，其常闭触点 KJL4-12 断开，切断了合闸接触器线圈回路，使断路器不能再次合闸，同时常开触点 KJL2-10 闭合，使继电器 KJL 自保持：

+WC 1FU SA5-8 KJL2-10 KJL(V)线圈 2FU —WC。
直至松手后 SA5-8 断开，KJL 自保持才解除而复归，此时，SA 在“合闸后”位置，使触点 SA1-3、SA17-19 接通，且由于断路器在跳闸状态，触点 QF6-4 接通，使跳闸位置继电器 KTP 动作，WFA 会接通负电源。这时，会产生以下现象：

(1) 断路器合上即跳，但不会再合；

(2) 起动中央事故信号回路，发事故音响；

(3) 接通闪光母线至绿灯的回路，使绿灯闪光。

三、QF 自动合闸后，KYC 粘住，下次手动跳闸和再次合闸

断路器自动合闸后，红灯闪光，运行人员会将 SA 扳向对应 QF 合闸状态的“合闸后”位置，自动合闸触点 KYC 虽然粘住不返回，但断路器已完成了合闸，QF6-4 断、QF3-5 通，继电器 KCP 动作，红灯亮，并没有出现什么信号。

当操作 SA 进行手动跳闸时，SA6-7 通，Yoff 线圈通电而使断路器跳闸。这时，由于 KJL (I) 线圈也通过跳闸电流而使 KJL 动作，其触点 KJL2-10 通，因为触点 KYC 粘住，使 KJL (V) 线圈通电而一直自保持。同时，因 KJL4-12 断开，触点 KYC 并不能短接继电器 KTP 的线圈，因此继电器 KTP 照常动作，绿灯 HRd 亮平光，并没有产生异常信号。

当操作 SA 再次合闸时，由于继电器 KJL 保持在动作状态而使 KJL4-12 断开，断路器不能合闸，操作者松手后，SA 就回到了“合闸后”的位置。这时产生的现象是：

断路器合不上；发事故音响；绿灯闪光。

动作过程的分析同上。

四、KTP 线圈回路串上合闸接触器的常闭触点 KMC7-8

有些断路器操作回路的合闸接触器，动作后保持电流很小（如低压断路器或小型灭磁开关）。当操作 SA 欲使断路器合闸，合闸接触器随之动作，但如果由于机械上的原因，断路器并没有合上，使其辅助触点 QF6-4 仍是接通的。假定未串入触点 KMC7-8，KTP 线圈和 KMC 线圈就会流过电流而可能使合闸接触器保持其动作状态，其接于断路器合闸线圈回路的主触头 KMC3-4 和 KMC5-6 闭合，使合闸线圈 Yon 长期通电而过热甚至烧坏。如果串上触点 KMC7-8，合闸接触器动作后，触点 KMC7-8 断开，使其线圈无电流流过而使接触器返回，避免了上述事故的发生。

应该指出，发电厂变电所的二次接线设备多、接头多、连线多、屏柜多、电缆多，要比一次接线复杂得多，故障要隐蔽得多。以上只是举了几个故障分析的例子，目的是使读者掌握分析工程实际问题的方法。电气接线故障的原因是很多的，我们一是要把接线的工作原理和动作过程学深学透，把所学的知识用好用活，培养自己的综合能力、分析能力、思维能力、自学能力，提高自己的素质，切忌死记硬背。这里的故障分析，是先设定故障的原因，然后根据接线图分析工作过程，从而得出所产生的现象。而实际运行中，情况正好相反，先是出现了故障的现象和信号，然后去寻找原因并进行处理，而产生同一故障现象的原因却是多种多样的，要找出故障所在就比较困难。但只要深刻掌握正确的分析检查方法，就能融会贯通，运用自如，问题就会迎刃而解。通过本课程的学习和实际的工程训练相结合，读者一定要自觉地注重各种能力的培养。

第四节 二次回路故障的查找

一、对二次回路工作的要求

进行二次回路的工作时，除了必须遵守《电业安全规程》之外，还必须注意下述几个方面：

(1) 至少有两人参加工作，参加人员必须明确工作目的和工作方法。参加工作的人员与工作内容须按规定经过批准。

(2) 必须按符合实际的图纸进行工作。

(3) 在运行设备上进行工作时，只有在非停用保护不可用时（例如工作时有引起保护误动的可能）才允许停用保护，停用时间要尽量短，并应得到调度部门的同意。雷雨或恶劣天气不得退出保护。

(4) 如要进行整组试验，应事先查明是否与运行断路器有关，如一组保护跳多台断路器时，应先切除跳其他设备的压板后才允许进行试验。这些保护有主变保护、低周减载装置、备用电源自动投入装置、低电压保护等。

(5) 如果要停用电源设备，如电压互感器或部分电压回路的熔断器等，必须考虑停用后的影响，以防停用后造成保护误动或拒动。

(6) 切除直流回路熔断器时，应正、负极同时拉开，或先拉开正电源、再拉负电源；恢复时，顺序相反。目的是防止寄生回路而发生误动作引起误跳断路器。

(7) 测量二次回路的电压时，必须使用高内阻电压表，例如万用表等，禁止使用灯泡等代替仪表。

(8) 如果在运行中的电源回路上测量电流，须事先核实电流表及其引线接线是否良好，要特别注意防止电流回路开路而发生人身和设备事故。测量电流的工作应通过试验端子进行，测量仪表应该用螺丝连接，不允许用缠绕的方法，而且应站在绝缘垫上进行。

(9) 工作中使用的工具大小应合适，并使金属外露部分尽可能的少，以免发生短路。

(10) 应站立在安全及适当的位置进行工作。特别是登高工作是更应注意。

(11) 如果可停电进行工作时，应事先检查电源是否已断开，确证无电后才可工作。在某些没有切除电源的设备（例如信号回路、电压回路等）处工作时，对有可能碰及的部分，应将其包扎绝缘或隔离。

(12) 如果工作中需要拆动螺丝、二次线、压板等，应先核对图纸，并做好记录或在设备上标上明显的标记（如套塑料管或夹子等），工作完后应及时恢复，并进行全面的复查。

(13) 需要拆盖检查继电器内部情况时，不允许随意调整机械部分。当调整的部位会影响其特性时，应在调整后进行电器特性试验。

(14) 在下列情况下应尽量进行整组试验，其项目应事先拟定： 拆动

二次线工作； 对某些缺陷处理后必须用整组试验才能检验的。

(15) 二次回路工作结束后, 应将结果详细记录于“ 继电保护记录簿 ” 上。拆除铅封的继电器也同样记上。

二、查找故障的一般步骤及方法

要做到正确、迅速地消除故障, 首先要将故障现象弄清, 然后再根据现象分析其故障原因, 最后确定处理的步骤及方法。

运行中某设备发生故障后, 应尽量保持现状, 先进行外部检查, 例如保护拒绝动作, 尽量不要立即用控制开关 SA 去操作跳闸 (除需紧急处理事故外), 而应先检查断路器状态, 再模拟事故进行分析、处理。否则, 很可能无意中消除了故障, 但却找不出发生事故的原因。

确定检查故障项目的顺序时, 应先检查发生故障可能性较大的和比较容易发生故障的项目, 以少走弯路、缩短检查时间。

当上述方法尚不能消除故障时, 则应采用“ 缩小范围法 ” 进行检查, 即把故障范围逐级缩小进行检查, 最终找出发生故障的地点。图 6-3 所示为缩小范围法示意图, 若发现第一回路动作时, 被控元件不动作, 此时可使第二回路工作, 若被控元件动作了, 则故障可能在第一回路; 若被控元件仍不动作, 可再使第三回路工作, 此时如被控元件动作, 则故障可能在第四回路; 若被控元件还不动作, 则可能是被控元件本身有故障。例如, 某一断路器跳闸后重合闸未动作, 若断路器手动操作良好, 则故障可能为重合闸部分; 若都不好, 则故障可能在合闸执行部分。

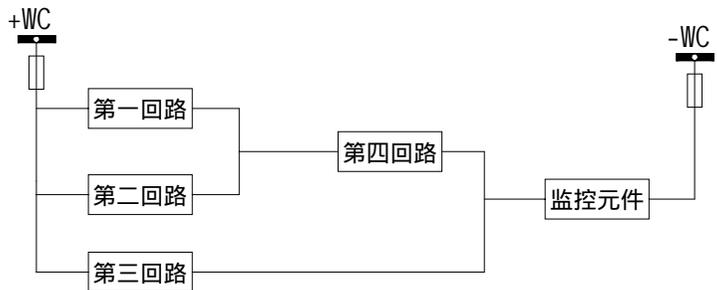


图6-3 缩小范围法示意图

二次回路的故障很多是隐藏的, 眼睛不易发现, 需要用仪表进行测量检查, 下面介绍

使用仪表进行故障检查的几种方法。

三、用仪表进行故障检查的方法

1. 回路不通的检查 (一般现象为被控元件不动作)

(1) 导通法: 应使用万用表, 不能用摇表。因为摇表不易发现接触不良或电阻变值。应用导通法时, 必须断开操作电源。导通法检查示意图如图

6-4 所示。检查时，先将断路器合上，使辅助接点 QF1 接通，将万用表的一支试笔固定在“02”，另一支试笔触到“39”导线上，依次向“37”“33”“09”……移动。若发现回路不通或数值与正常值误差过大，则故障可能就在此段范围内。

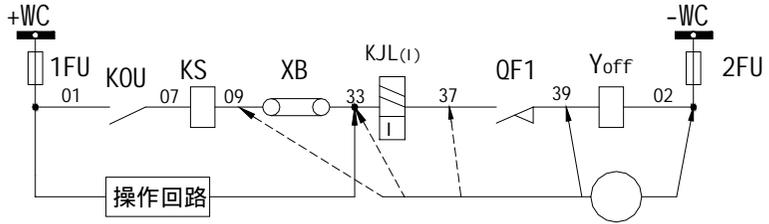


图6-4 导通法检查示意图

如果“02”与被测点距离很远，无法将试笔固定在“02”时，则可以采用分段检查的方法，但必须防止漏测。

使用导通法时，还必须注意被测元件有否旁路；否则，会造成误判断。因此，必须将旁路拆开（但如图6-4中的“01”与“33”间有两条通路都有接点断开，相互并不影响，就不必拆开）。一般检查电流回路可用导通法进行。

（2）电压降法：采用此法进行检查时，应接入操作电源。电压降法示意图如图6-5所示。检查时，先将断路器合上，使辅助接点QF1接通，然后将电压表的负试笔固定在负极“02”上，用电压表的正试笔先触及“01”，此时表计指示应为操作电源的全电压，表明电源良好。随后，将正试笔移到“07”，将KOU接点接通，电压表应为全电压，标明“01-07”间回路良好；再将正试笔依次移到“09”、“33”、“37”等（KOU接点要接通）处，当发现表计指示值过小或无指示时，则表明故障即在此回路。

检查中间继电器不动作的原因或其他被控元件不动作，也可以使用上述方法进行。二次回路多为接触不良、断线或接线错误等故障，用电压降法检查是比较方便和有效的，因而最常用。由于是带电工作，要特别小心。

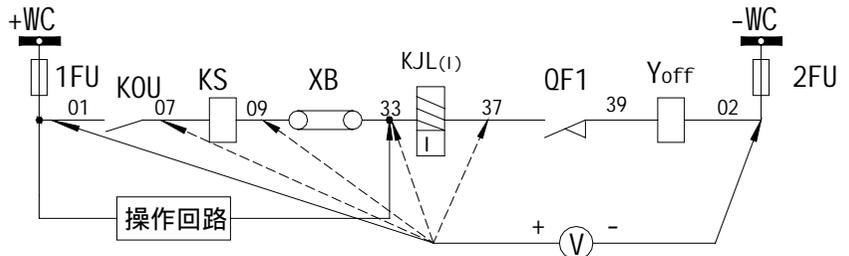


图6-5 电压降法示意图

(3) 对地电位法：此法也应将操作电源接入进行。对地电位法示意图如图 6-6 所示，先分析回路正常情况下各点的电压。在 KOU 接点断开时，“39”上的电位应该为负电位；而导线上的“07”、“09”、“33”、“37”等点，当 KOU 和 QF1 接点打开时应不带电。当 QF1 接点闭合后，导线“07”、“09”、“33”、“37”上都应带上负电。当 QF1 断开而使 KOU 接点闭合时，导线“07”、“09”、“33”、“37”上都应带上正电。如果所测结果与此相反或误差很大，则表明该部分内有故障。

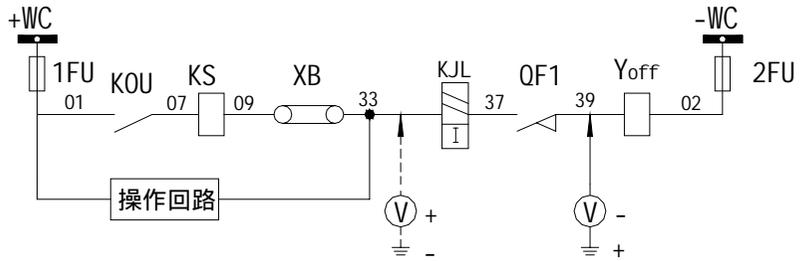


图6-6 对地电位法示意图

测量各点电位时，可将电压表的一支试笔接地（接金属外壳），另一支试笔触及被测点。如果被测点为正极性，则应将电压表的正试笔触及该点，而负试笔接地。若电压表的指示数为操作电压的一半左右，则表明这点至“01”间是良好的。

电压表的读数所以会指示约一半的操作电压，是因为在直流系统中有绝缘监察装置的缘故。图 6-7 所示为直流回路绝缘监察装置的原理图。图中，在 R_1 （1000 欧）在 R_2 （1000 欧）两电阻的中点 O 与地间接有一个电流继电器 KA，KA 的内阻为 30 千欧。如果用一个内阻较高的电压表（2000 欧/伏）测量正极或负极对 O 的电位时，电压表的指示应为电源电压的一半。当测量正极或负极对地的电压时，电压表的指示值也应为电源电压的一半，因为 $R_1 = R_2$ ，而 JJ 线圈的电阻远小于电压表的内阻，在 KA 上的压降很小，对电压表的读数影响不大。如果使用的电压表内阻很小，则测量数值就不准，甚至会使 KA 误动作，这就是必须使用高内阻电压表的理由之一。

如果直流系统没有绝缘监察装置或退出了运行，则对地电位法就不宜采用。

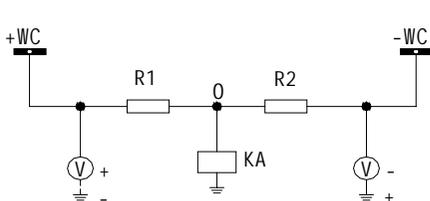


图6-7 直流回路绝缘监察装置原理图



图6-8 回路短路的检查示意图

2. 回路短路的检查

当回路发生短路时，一般现象是熔断器一放上就熔断、接点烧坏、短路点冒烟等。

检查的方法，首先是目观检查，看是否冒烟和接点烧坏的现象。如果发现接点烧坏，可进一步检查该回路内的设备，如用导通法测量该回路的电阻值是否变小。如果尚未发现故障点，下一步就应该对每一回路进行检查。以图 6-8 为例，即将第一回路的正极或负极拆开，用导通法测量该回路的电阻值及第二、三回路的电压看其是否正常，直到发现故障点为止。如果未发现故障点，则可能是不同回路间发生了短路或者正、负极间直接短路了，此时仍用导通法测量各回路的电阻值；也可以将万用表试笔直接接于正、负极上，然后把回路一个一个的恢复，如发现某一回路接入后电阻突然变小，则很可能是该回路中有故障，可根据此线索进一步检查。

通过以上的检查，若仍未发现故障点，则可能是由于万用表电压低，而短路点电阻大的原因所致。此时，可以将各个回路一个一个的投入，直到发现故障回路为止。如果操作过程中发生了短路现象，例如在操作回路合闸的过程中保险熔断，则故障与合闸回路有关，可以对合闸回路进行详细的检查。

3. 回路参数变值的检查

当回路参数变值时，故障现象表现为被控元件的动作力量不足，或者有过热现象等。以图 6-9 为例，若当 KOU 接点接通后，断路器未跳闸，为了检查其回路是否良好，可以用“压降法”和导通法配合进行。

(1) 首先使 KOU 接点接通，让回路有电流流过，测量此时 Yoff 线圈的电压是否正常。若电压与额定电压接近（一般偏小，但不小于 80% 额定电压）时，则表明回路良好，那可能就是操作机构卡住了；若测得的 Yoff 线圈电压很低（低于 80% 额定电压），则可能是由于 Yoff 线圈或回路中其他元件变值，或操作电源容量变小所致。

(2) 解除操作电源，测量 Yoff 线圈的电阻，检查 Yoff 线圈是否变值（与原始资料比较）。如果 Yoff 线圈参数正常，可再测量“07”和“02”回路的电阻是否与原始资料相近。若相差过大，则可能是由于该回路中其他元件电阻变值了，可再做进一步的检查。如果还未发现问题，可投入操作电源使 KOU 接点闭合，测量“01”、“02”间的电压，此值应与电源额定电压相近；若测得的数值过小，则可能是操作电源有问题，可再对电源进行检查。

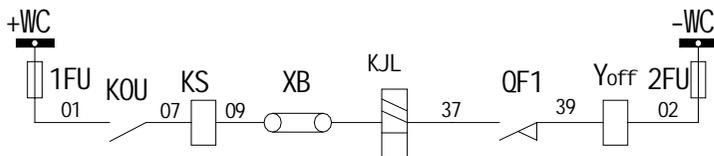


图 6-9 回路参数变值的检查示意图

第七章 互感器及其接线

在电力系统的测量、保护和自动装置中，广泛应用着电压互感器和电流互感器，它们的作用是：

(1) 将高电压、大电流变为便于测量的低电压（额定值为 100 伏）和小电流（额定值为 5 安或 1 安），使测量仪表和继电器小型化和标准化，并可采用小截面的电缆进行远距离测量。

(2) 使测量仪表和继电器与高压装置在电气上隔离，保证工作人员的安全，同时还可以降低仪表和继电器的绝缘要求，使之结构简化，成本降低。

将高电压变为低电压的叫电压互感器，将大电流变为小电流的叫电流互感器。

第一节 电压互感器

电压互感器是一种特制的仪用变压器，其工作原理和电力变压器是相同的。互感器按绝缘特点可分为干式和油浸式两种，干式电压互感器只用于 10 千伏以下的户内配电装置中。油浸式电压互感器又分为普通式和串级式两种：所谓普通式就是二次线圈和一次线圈完全互相耦合，和普通的变压器一样，这种结构常用于一次电压为 35 千伏及以下的电压互感器；所谓串级式就是一次线圈分为几个单元串联而成，最后一个单元接地，二次线圈只和最后一个单元耦合，这种结构常用于一次电压为 110 千伏及以上的电压互感器。

一、电压互感器的接线方式

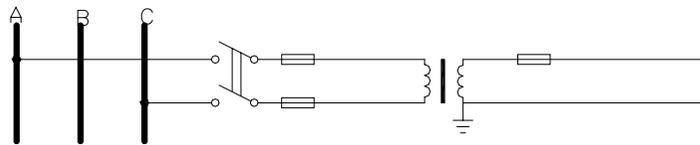
根据发电厂和变电所中测量仪表、继电器等二次设备的要求，电压互感器常用的接线方式有以下几种。

(1) 单相接线。如图 7-1 (a) 所示，单相电压互感器的一次侧接于电源的线电压上，二次侧一端接地，可以测量一个线电压，常接于需要同期或检查电压的线路侧。

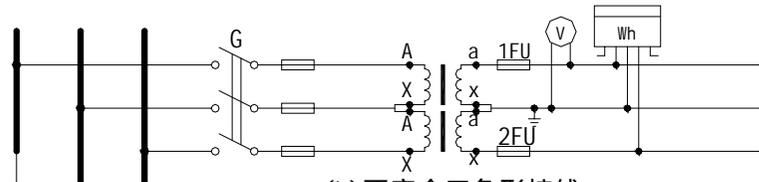
(2) 不完全三角形接线 (V - V 接线)。如图 7-1 (b) 所示，它由两只单相电压互感器组成，电压互感器二次绕组分别接在一次回路 AB、BC 相间，可以测量三个线电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 。当仪表和保护只需接三个线电压时（如三相功率表、电度表），采用此接线最简单。但这种接线不能测量相电压，而且其输出的有效容量仅为两台电压互感器额定容量总和的 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 倍。这种接线常用于小型发电厂和变电所中。

(3) 星形 - 星形接线 (Y/Y0 接线)。如图 7-1 (c) 所示, 它由三相三柱式的电压互感器构成。互感器的一、二次绕组都接成星形, 可以用来测量三个线电压。但在负载不平衡时, 将引起较大误差, 而且一次侧中性点不允许接地, 否则当一次侧电网有单相接地故障时, 可能烧坏互感器, 故互感器一次侧中性点无引出线, 也就不能测量对地电压, 由于存在这些缺点, 这种接线方式应用较少。

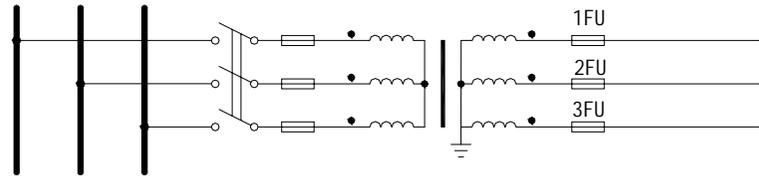
(4) 星形 - 星形 - 开口三角接线 (Y0/Y0, D 接线)。如图 7-1 (d)、7-1 (e) 所示, 电压互感器的线圈是按相电压设计的, 它的三个基本二次线圈接成星形, 可以测量三个线电压和三个相电压 (由于一次侧中性点接地, 也即三个相对地电压); 它的三个辅助二次



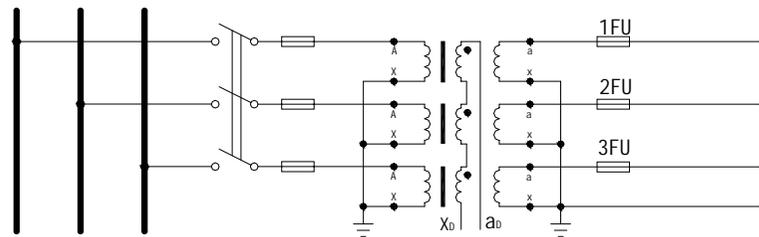
(a) 单相接线



(b) 不完全三角形接线



(c) 星形-星形接线



(d) 星形-星形-开口三角接线

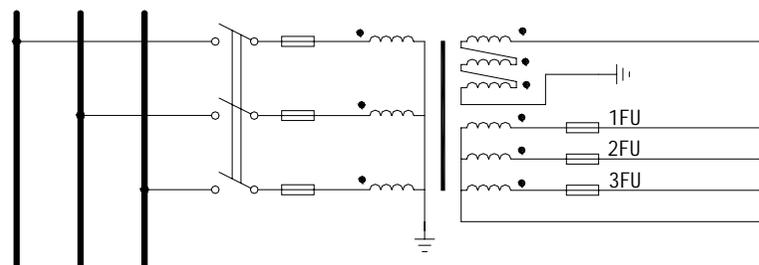


图 7-1 电压互感器的各种接线

线圈接成开口三角形，可以测量零序电压，辅助线圈的额定电压，用于小接地电流系统时按 100/3 伏设计，用于大接地电流系统为 100 伏。这种接线方式应用很广泛。

此接线方式由三只三线圈的单相电压互感器构成，如图 7-1 (d) 所示。在 35KV 及以

上系统中，均采用单相电压互感器。在 10 千伏及以下的系统中，也大多数采用单相电压互感器，有一些老的发电厂变电所仍有采用三相五柱式电压互感器，如图 7-1 (e) 所示。

(5) 三角形 - 星形接线 (D/Y0 接线)。由三只单相电压互感器构成，一次侧接成三角形，二次侧接成星形。主要用于发电机励磁系统中。

二、电压互感器的使用

电压互感器的使用要注意以下几个方面：

(1) 正确选择电压互感器。电压互感器应根据额定电压、准确等级及接线方式的要求选择，其额定容量则按二次负载来选择。

(2) 电压互感器投入使用前，要按有关规程规定的项目进行试验，安装时应按要求的相序进行接线，对单相电压互感器组还应注意不要接错极性，否则会造成测量错误甚至损坏设备。

例如，V-V 接线是由两只单相电压互感器构成的，正确的接线应如图 7-1 (b) 所示，如果互感器二次侧两个同极性端连起来作为 b 相引出，就是一种错误接线，如图 7-2 (a) 所示。这时在二次侧端头测得的三个电压的矢量图如图 7-2 (b) 所示，可见三个电压之间的相位不相等，而且其中一个电压值增大了 $\sqrt{3}$ 倍。为了对比，画出了图 7-1 (b) 正确接线时的电压矢量图，如图 7-2 (c) 所示。

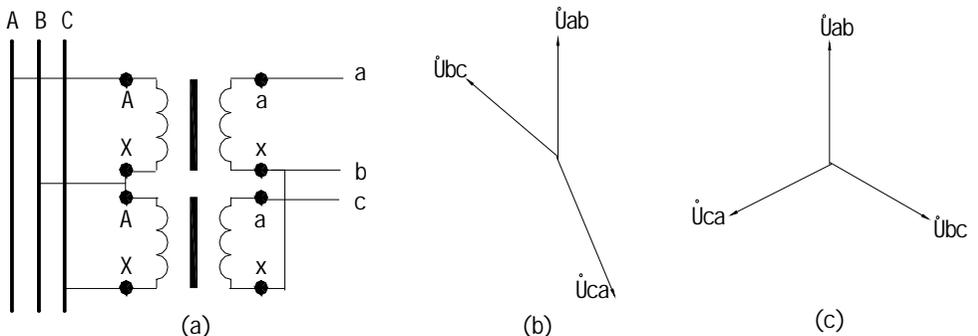


图 7-2 V-V 接线电压互感器错误接线

(a)接线图 ;(b) 错误接线时的电压矢量图 ;(c) 正确接线时的电压矢量图 ;

对于三单相互感器组二次侧星形接线的某一相或两相极性错了 ,二次侧电压的大小和相位也会不对称,请读者自行分析。

(3) 电压互感器二次侧不允许短路。接于电压互感器二次侧的仪表、继电器的电压线圈阻抗都是很大的,电压互感器的工作接近于变压器的空载状态,因而其容量很小。如果二次侧短路就会烧坏电压互感器,所以电压互感器的高低电压侧都要装短路保护设备。对于 35KV 及以下电压互感器可装设快速熔断器作短路保护,110KV 及以上电压互感器,为防止距离保护误动作,多用自动开关作短路保护设备。

(4) 电压互感器二次绕组必须有一点接地。这是为了防止一、二次绕组之间绝缘损坏时,危及二次设备及工作人员的安全。在发电厂和需要进行同期的变电所中,为了简化同期接线,35KV 及以下电压互感器一般采用 B 相接地,为了在 B 相保险熔断时仍能保留有接地点,电压互感器二次绕组的中性点经击穿保险接地,如图 7-3 所示。在不需要同期操作的变电所,可以采用电压互感器二次绕组中性点接地。110KV 及以上电压互感器采用中性点接地,需要同期时,交流同期电压从电压互感器的开口三角绕组引出。

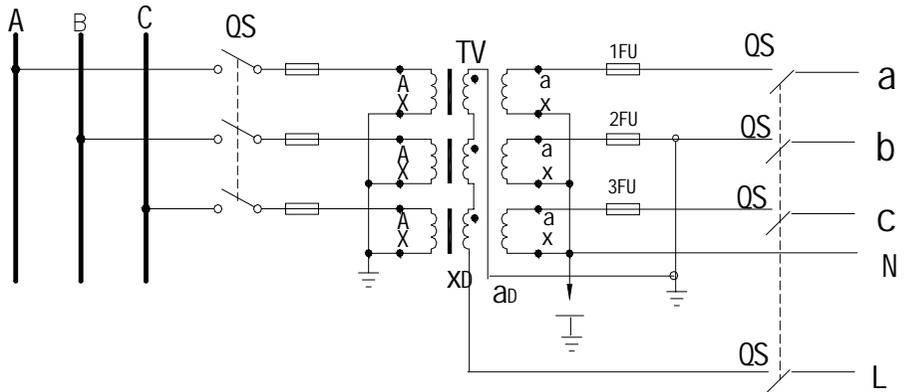


图 7-3 电压互感器二次侧中性点经击穿保险接地

(5) 应防止二次回路向一次回路反馈电压。电压互感器在停用或检修时,既要断开其一次侧的隔离开关,又要同时切断其二次回路,以防止二次侧向一次侧反送电,造成人身和设备事故。为此,电压互感器二次引出端需串入隔离开关 QS 的辅助触点,如图 7-3 所示。

(6) 用于监视系统对地绝缘的电压互感器的一次绕组中性点必须接地。

三、电压互感器运行中的巡视检查

(1) 互感器的瓷瓶应清洁，完整，无损坏及裂纹，无放电痕迹及电晕声响。

(2) 油位应正常，油色透明不发黑，无严重渗、漏油现象。

(3) 在运行中，内部响声应正常，无放电及剧烈振动声。当系统产生接地时，更应注意用于监视对地绝缘用的电压互感器声响是否正常，有无焦臭味。

(4) 高压侧导线接头不应过热，低压电路的电缆及导线不应腐蚀及损伤，高、低压侧熔断器及限流电阻应完好，低压电路应无短路现象。

(5) 电压表三相指示应正确，电压互感器不应过负荷。

(6) 电压互感器外壳应清洁，二次线圈接地线应良好。

四、电压互感器的铁磁谐振

在中性点不接地系统中，由于电压互感器引起的铁磁谐振事故比较普遍，致使互感器的保险熔断或电压互感器烧毁，甚至引起避雷器爆炸和系统停电事故。

(1) 铁磁谐振地的产生。

中性点不接地系统中，系统中性点的位移电压由下式计算，即：

$$\dot{U}_{od} = - \frac{\dot{U}_{AO} \dot{Y}_A + \dot{U}_{BO} \dot{Y}_B + \dot{U}_{CO} \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C}$$

式中 \dot{U}_{od} ——中性点位移电压；

\dot{U}_{AO} 、 \dot{U}_{BO} 、 \dot{U}_{CO} ——分别为三三相的相电压；

\dot{Y}_A 、 \dot{Y}_B 、 \dot{Y}_C ——分别为三三相的对地导纳。

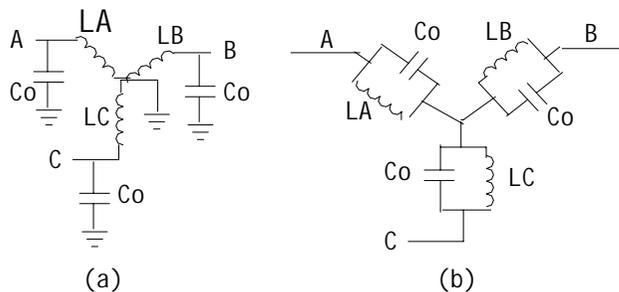


图 7-4 电压互感器的谐振回路

(a) 电路图；(b) 等值电路

为了监视各相对地绝缘，电压互感器的一次测中性点是接地的，这样互

感器的电感 L 和线路对地电容 C_0 构成一个并联回路，如图 7-4 所示。

系统各项对地的导纳为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{Y}_A &= j(\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_A}) \\ \dot{Y}_B &= j(\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_B}) \\ \dot{Y}_C &= j(\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_C}) \end{aligned} \right\}$$

式中 C_0 ——各相对地电容；

L_A 、 L_B 、 L_C ——电压互感器各相电感；

ω ——角频率。

电压互感器是一种铁磁元件，在正常运行时，互感器不饱和，其电感很大，各项导纳表现为容性且三者相差甚小，可视为相等，由于三相电压 U_{A0} 、 U_{B0} 、 U_{C0} 是对称的，故中性点位移电压 U_{0d} 等于零。但是，当系统发生冲击扰动时，如线路发生瞬间的弧光接地或断路器的突然合闸等，可能使一相或两相的对地电压瞬时升高，导致电压互感器趋于饱和，其电感急剧减小。如果 $1/L > C$ 就会使该相对地导纳呈感性，致使总导纳 $Y_A+Y_B+Y_C$ 显著减少，从中性点位移电压的计算公式可知，这就会使中性点位移电压明显上升。当参数的配合使总导纳接近于零时，就会产生铁磁谐振现象，使中性点位移电压急剧上升，导致一相、两相或三相对地电压升高从而在电压互感器流过大大超过额定值的电流，这是互感器保险不正常熔断或烧毁以及避雷器爆炸的主要原因。

(2) 铁磁谐振的防止

为了防止铁磁谐振，可以采取以下一些措施。

电压互感器一次侧中性点通过一台零序电压互感器一次绕组接地。零序电压互感器的额定电压和三台单相主互感器（或三相五柱式互感器）的额定电压是相同的，原接成开口三角的三个辅助绕组接成闭口三角形。零序互感器二次侧接发接地信号的电压继电器。运行实践证明，这一措施对消除铁磁谐振有显著的效果，对 10 千伏及以下的中性点不接地系统可以普遍采用，对于 35 千伏系统，若采用的电压互感器中性点侧是按全绝缘设计的，也可以采用这一措施。

10 千伏及以下的电网，可在电压互感器的开口三角处长期并接 200~500 瓦的白炽灯作为阻尼电阻。

电压互感器原边中性点经 10~20 千欧、100 瓦的电阻接地，10 千伏以下系统用下限值，35 千伏系统用上限值（电压互感器中性点侧需按全绝

缘设计)。

采用消谐装置。当发生谐振时，自动将电压互感器开口三角接入消谐装置，当前国内已生产了多种消谐装置供选用。

改善电压互感器的励磁特性。上述措施既增加了设备，又给运行维护工作带来麻烦，有时要综合采用才能凑效，并要通过运行实践的考验。而采用励磁特性优良的电压互感器，使其在最高线电压下铁心仍不饱和，这就从根本上解决了铁磁谐振问题。

第二节 小接地电流系统对地绝缘监视

一、对地绝缘监视接线

在小接地电流系统中，要装设专用仪表来监视系统对地绝缘的状况。对地绝缘监视的接线如图 7-5 所示。TV 是接于母线的三单相组或三相五柱式电压互感器，电压互感器的一次侧接成星形，其中性点直接接地。电压互感器二次侧每相都有两个绕组，额定电压为 $100/\sqrt{3}$ 伏的二次绕组接成星形，每相接一只电压表(也可以通过转换开关只接一只电压表)，用来测量各相对地电压值；额定电压为 $100/3$ 伏的二次绕组接成开口三角形，用来反应零序电压，其引出端接一电压继电器 KV。

系统正常运行时，三个相电压大小相等，且相位差为 120° 。这时，电压互感器的一次绕组加上对称的三相电压，三个电压表测得的对地电压都是相电压(约为 $100/\sqrt{3}$ 伏)，而开口三角的三个绕组的电压 U_a 、 U_b 、 U_c 也是大小相等、互差 120° ，故三相电压的矢量和为零，即开口三角引出电压为零，如图 7-6 (a) 的矢量图所示，这样，电压继电器 KV 不动作。

当系统 A 相发生完全接地故障时，A 相对地电压为零，B、C 相对地电压 U_{bd} 、 U_{cd} 在数值上升高 $\sqrt{3}$ 倍，在相位上相差为 60° 。于是，A 相的电压表指示为零，B、C 相电压表指示为线电压(约为 100 伏)，开口三角三相电压相加不为零，其引出电压约为 100 伏，

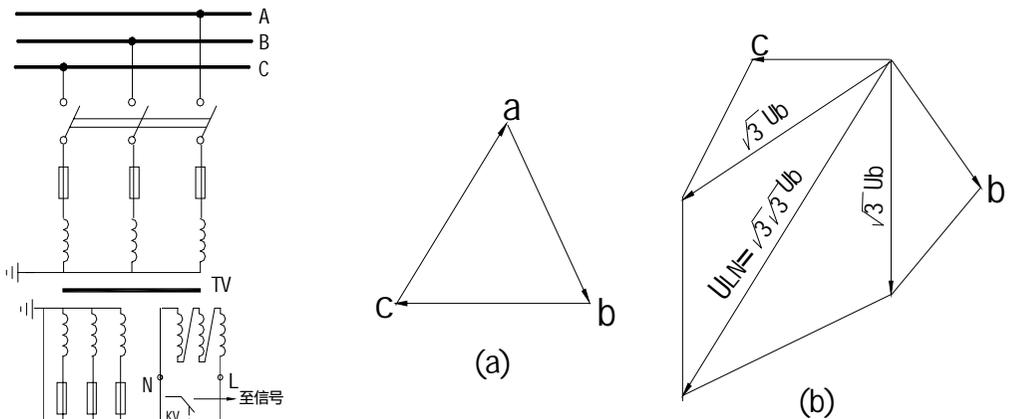


图 7-6 电压互感器开口三角的矢量

图

图 7-5 对地绝缘监视接线图

(a) 正常运行时 ;(b)A 相完全接地时

如图 7-6 (b)的矢量图所示,这会使电压继电器 KV 动作,发出声光信号通知值班人员。当发生不完全接地时,只要开口三角上的电压大于电压继电器的整定值,也会发出声光信号。

值班人员获得接地信号以后,应按下列步骤处理接地故障:

- (1) 判断是否是真正产生了单相接地故障;
- (2) 确认系统产生了单相接地故障后,判明是哪一相产生接地;
- (3) 寻找哪一条线路产生接地;
- (4) 若接地的线路有多段或多条分支线,寻找接地发生在哪一段或哪一分支线上;
- (5)寻找接地点。

二、接地故障的判断

在运行中,当发出系统单相接地故障信号时,并不一直都是系统真正产生了接地,当产生所谓虚幻接地时,也会发出信号。因此,当运行中出现接地信号时,必须正确区别是发生了接地故障还是其它故障。如果判断错误就会进行错误的处理而带来不应有的损失。

1. 铁磁谐振

在中性点不接地系统中,当产生某种冲击扰动时,例如断路器的突然合闸,电网产生瞬时接地等,都可能使一相或两相对地电压瞬间升高,致使电压互感器的铁心饱和,激磁电感下降。在某些情况下,电压互感器的非线性电感就会和系统的对地电容产生铁磁谐振,使系统中性点的位移电压大大增加。各相对地电压是其电源电压和中性点电压的矢量和,这就使各相对地电压与正常运行情况发生了显著的变化。发生铁磁谐振时,中性点位移电压(即零序电压)反映到电压互感器的开口三角上,使电压继电器动作发出接地信号。

铁磁谐振时,中性点位移电压可以是基波的(50周/秒),也可能是分频的(一般约为25周/秒),还可能是高频的(如100周/秒或150周/秒)。它们使系统各相对地电压的变化有各自的特点。运行实践和试验研究表明,发生基波谐振时,一相对地电压降低,另两相对地电压升高并超过线电压,表针打到头;发生分频谐振时,三相对地电压都升高,但升高的数值较小;发

生高频谐振时,三相对地电压都升高,且升高的数值很大,表针往往打到头。根据这些情况就可以判断为产生了铁磁谐振,应采取正确的处理措施。如何防止电压互感器产生铁磁谐振,上面已有阐述。

2. 电压互感器高压保险熔断

当电压互感器的高压保险熔断一相或两相时(常因铁磁谐振引起),也可能发出接地信号。正常运行时,电压互感器的激励电感很大,往往比电网对地电容的容抗大得多,故电压互感器的一次侧电流比电网对地电容电流小得多,如图 7-7 (b)所示。电压互感器一相或两相高压保险由于某种原因熔断后,熔断相一次电流为零,但因网络对地电容电流相对很大,故并不会使电压互感器的一次侧中性点产生明显的位移,在开口三角上就会出现电压。例如,电压互感器的 C 相保险熔断,如图 7-7 (a)所示。这时,C 相的对地电压就不能在电压互感器的二次侧得到反映,故 C 相电压表指示为零或很小,A、B 两相电压表的指示基本不变,即等于相电压。由于 C 相二次侧电压为零,故在开口三角上反应的是 A、B 两相对地电压的矢量和。如果忽略很小的中性点位移电压,开口三角上的电压 U_a 和 U_b 相位差为 120° ,数值都是 $100/3$ 伏,两者的矢量和也是 $100/3$,如图 7-7 (c)的矢量图所示。

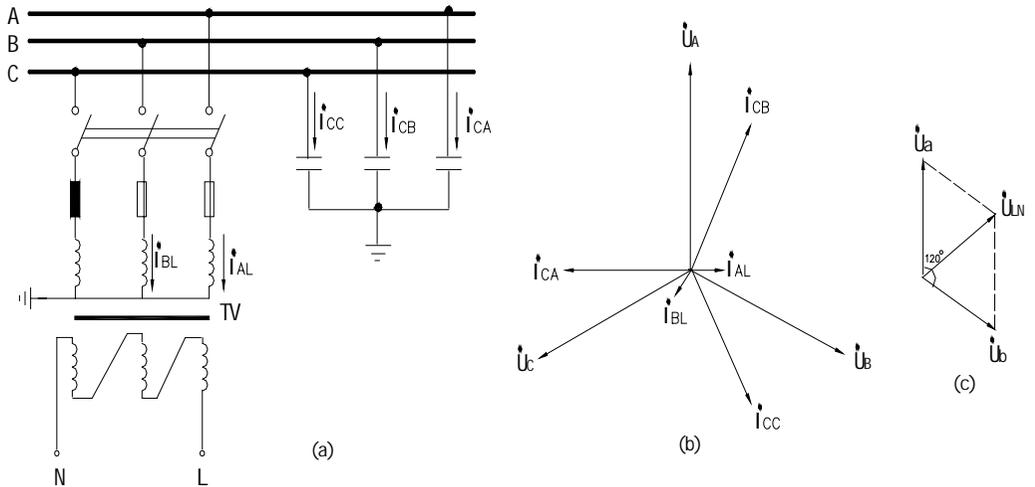


图 7-7 电压互感器高压保险一相熔断的情况

(a)电路图;(b)电流矢量图;(c)开口三角电压矢量图

接于开口三角上的电压继电器一般整定为低于 30 伏,所以会发出接地信号。

同理,当电压互感器高压保险熔断两相时,熔断的两相电压表指示为零或很小,非熔断相电压表指示基本不变(相电压),在电压互感器的开口三角上也是测得 $100/3$ 伏的电压,因而也会使电压继电器动作而发信号。

电压互感器高压保险熔断一相或两相虽然也发接地信号,但是根据其非熔断相对地电压基本不变的特点,就可以与单相接地故障相区别。

3. 线路断线

中性点不接地系统中，发生线路一相或两相断线时，由于断线相的对地电容减小，系统中性点就会出现位移电压。此位移电压反映到绝缘监视电压互感器的开口三角上，当其数值达到电压继电器的整定值时，也会发出接地信号。位移电压的大小与断线使对地电容减小的程度有关。

分析表明，发生单相断线时，一相电压升高，不超过 $1.5U_p$ (U_p 为相电压)，两相电压降低且相等，其数值不低于 $0.866U_p$ 。当发生两相断线时，一相电压降低但不到零，另外两相电压升高且相等，其值不超过线电压。由于分析比较复杂，这里不再介绍。

表 7-1 列出了接地故障和上述几种故障的特征。根据表中断线时各相对地电压的特点，一般是可以和单相接地相区别的。在某些情况下，两种故障的对地电压值比较接近，这时就要结合各线路的供电情况有无变化进行综合判断。当为线路断线时，断线相的电流为零，其输送功率到零或显著下降，而为单相接地时；运行情况没有变化。

三、接地相的判别

当发出系统接地信号和三相对地电压指示有变化时，首先要判断是否为接地故障，确认已发生接地以后，就要正确判别是哪一相发生接地，以便有针对性地去寻找接地故障点，这时要对三个电压表测得的各相对地电压进行分析。

表 7-1 单相完全接地故障与其它故障的鉴别表

故障类型	各相对地电压的特征	故障相
单相完全接地	一相电压为零，两相电压升高为线电压	电压为零的相为接地相
单相不完全接地	一相电压降低但不到零，两相电压升高但不相等(其中一相不超过线电压，另一相可略超过线电压)	电压降低相为接地相
	一相电压升高但不超过线电压，两相电压降低但不相等	中性点不接地和欠补偿网络，电压最高相的下一相为接地相，对过补偿网络，电压最高相的前一相为接地相
单相断线	一相电压升高，不超过 $1.5U_p$ ，两相电压降低且相等，不低于 $0.866U_p$	电压升高相为断线相
两相断线	一相电压降低但不到零，两相电压升高且相等，不超过线电压	电压升高的两相为断线相
基波谐振	一相电压降低，两相电压升高超过线电压	

分频谐振	三相电压均升过电压数值较小	
高频谐振	三相电压均升高，过电压数值较大	
电压互感器一相 高压保险熔断	一相电压表指示降低接近于零，两相电压表指示基本不变，接近相电压	电压降低的一相为熔断相
电压互感器两相 高压保险熔断	一相电压表指示基本不变，接近相电压，两相电压表降低接近于零	电压降低的两相为熔断相

如果一相对地电压降低为零，另两相对地电压升高为线电压，显然是发生了金属性完全接地，电压为零的一相为接地相。但是，当通过不同的过渡电阻值发生接地时，情况就比较复杂。

设中性点不接地系统中，A 相的接地过渡电阻为 R_d ，如图 7-8 (a)所示。

当没有发生接地故障时，即 $R_d = \infty$ ，中性点对地电压 $\dot{U}_{od} = 0$ ，当 A 相发生完全接地时，即 $R_d = 0$ ，中性点对地电压为 $\dot{U}_{od} = \dot{U}_A$ ，其数值等于相电压 U_p ，当 R_d 在 $0 \sim \infty$ 之间变化时， U_{od} 的值则在 $U_p \sim 0$ 范围内变动，把 \dot{U}_{od} 矢量的末端固定在中性点 O 上，可以证明，矢量始端的

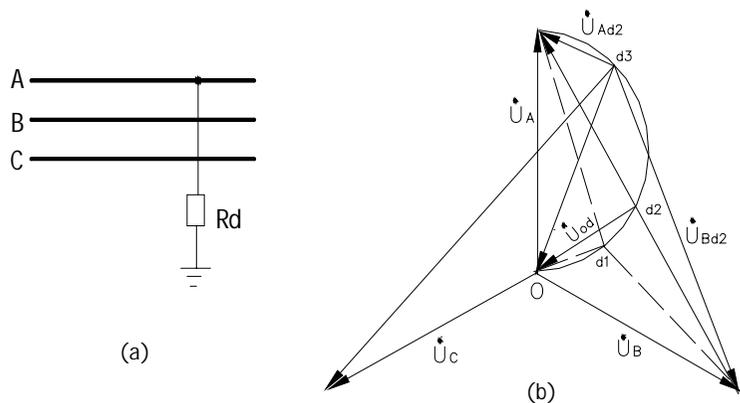


图 7-8 中性点不接地系统接地电阻变化时的对地电压
(a)电路图；(b)矢量图

变化轨迹是以矢量 \dot{U}_A 为直径的在顺时针方向的半圆，见图 7-8 (b)。

用接地系数 $K = U_{od} / U_p$ 表示接地的程度，K 值在 $0 \sim 1.0$ 之间变化，下面分析几种不同 K 值的情况。

(1) $K = 0.5$ 。当 A 相通过某一 R_d 值接地时， \dot{U}_{od} 矢量的始端正好落在

线电压 U_A 和半圆的交点 d2 点上,如图 7-8(b)所示。从图可见, $U_{od} = 0.5U_p$, 各相对地电压的数值为, $U_{Cd2} = 1.5U_p$, $U_{Ad2} = U_{Bd2} = 3U_p/2 = 0.866U_p$ 。C 相对地电压升高, A、B 两相对地电压、降低(相对于相电压而言)且相等, 但接地相为 A 相。

(2) $K < 0.5$ 。这时, U_{od} 矢量的始端在 0~d2 圆弧段变化, 例如在 d1 点, 从图 7-8 (b)可见, 各相对地电压的关系是: $U_{Cd1} > U_{Ad1} > U_{Bd1}$ 。同时, C 相对地电压升高, A、B 相对地电压降低而且 B 相对地电压最低, 但接地相却是 A 相而不是 B 相。顺便指出, 当接地过渡电阻 R_d 过大使开口三角上的电压小于电压继电器的动作值时, 就不能再发接地信号了。例如, 继电器整定动作值为 20 伏, 当 $K < 0.2$ 以后就没有信号了, 但三相对地电压的变化仍可从三个电压表的指示反映出来。

(3) $K > 0.5$, 这时, U_{od} 矢量的始端在 d2 点至 U_A 矢量末端的一段圆弧变化, 例如在 d3 点, 从图 7-8 (b)可知: $U_{Cd3} > U_{Bd3} > U_{Ad3}$, C 相对地电压升高, A 相对地电压降低, B 相对地电压是升高还是降低, 视 K 值而定。可以证明, 当 $K < 0.655$ 的范围内 A 相不完全接地, B 相对地电压是降低的, 只有当 $K > 0.655$ 时, B 相对地电压才会升高。所以, 当 $K > 0.5$ 以后, 接地相才是对地电压最低的 A 相。还应指出 经分析后可以证明 当 K 在 $0.756 < K < 1.0$ 的范围内 A 相不完全接地时, C 相对地电压的升高可略大于线电压。

有一种看法认为, 产生单相不完全接地时, 接地相对地电压降低, 非接地相的对地电压必定升高, 对地电压最低的一相必定是接地相。对于全部单相不完全接地情况而言, 这种看法是不妥的。由上述对单相不完全接地各种情况的分析可知, 发生单相不完全接地时, 并不都是一相对地电压降低, 两相对地电压升高, 而且并不一定都是对地电压最低的一相为接地相。确定接地相的原则是: 按电压变化的正相序(即 A 相 B 相 C 相 A 相.....), 对地电压最高相的下一相为接地相。例如, 上述分析的几种情况, 不论 K 的数值如何, 都是 C 相对地电压最高, 所以 C 相的下相 A 相为接地相。如果总认为对地电压最低的一相为接地相, 就可能导致错误的判断。

四、接地线路的查找

每条线路都装有单相接地保护装置, 在产生单相接地时, 故障线路的保护动作发出信号。由于构成保护的原理不同, 保护装置有各种类型, 有些保护运行情况还不够理想。而且出线要装三相电流互感器或零序电流互感器, 以便检测零序电流。

当线路未装单相接地保护时, 确定接地线路一般是采用试拉各条线路的方法。若拉某线路时, 接地信号消失, 说明接地就在该线路上, 若拉开某线路时接地信号仍然存在, 说明该线路没有接地, 应迅速恢复供电。线路拉闸

的顺序应从次要线路到重要线路。

目前，国内已研制生产了微机型的接地故障测距装置，可以判断接地点的大致位置，但运行经验还不多。

第三节 电流互感器的运行

电流互感器的一次绕组串联于一次电路中，二次绕组则与仪表和继电器的电流线圈串联，由于通过电流互感器将大电流变为小电流，所以其一次绕组匝数仅一匝或几匝，而二次绕组匝数较多。电流互感器根据一次绕组的匝数，可以分为单匝式和多匝式；根据铁心的数目可以分为单铁心式和多铁心式；根据安装方式可以分为穿墙式、支柱式和套管式；根据装设地点可以分为户内式和户外式。

一、 电流互感器的接线方式

根据发电厂和变电所中测量仪表、继电器等二次设备的要求，电流互感器常用的接线方式有以下几种。

(1) 单相接线。如图 7-9 (a) 所示，只能测量一相电流，用于平衡的三相电路中。

(2) 星形接线。如图 7-9 (b) 所示，能反应各相电流和各种类型的故障电流，广泛用于发电机，变压器和 35 千伏以上电力线路的保护和测量。

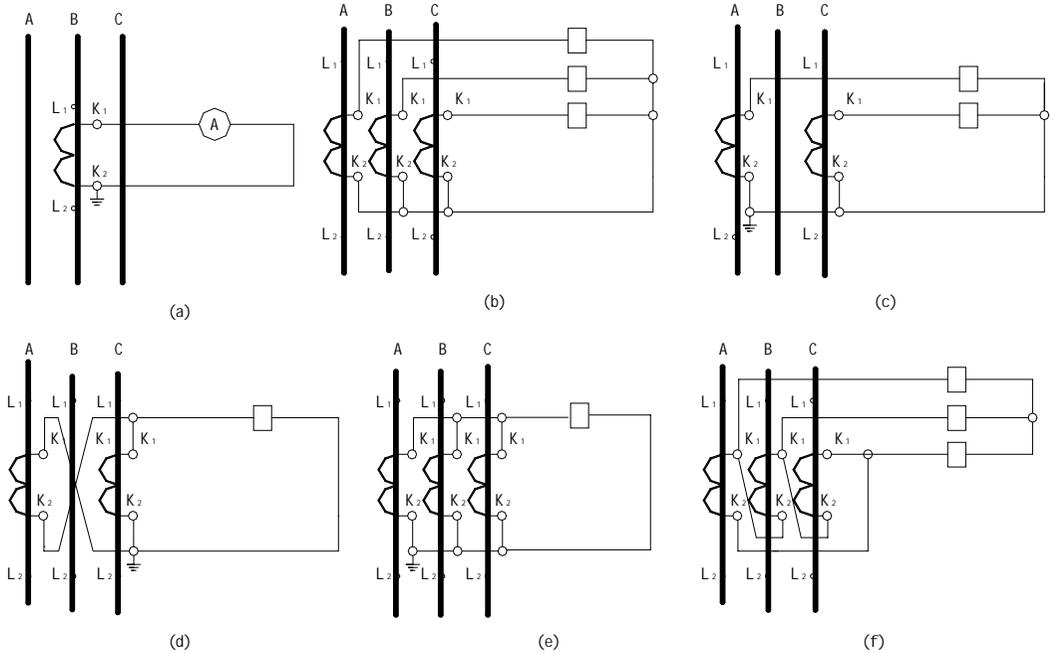


图7-9 电流互感器的接线

- (a) 单相接线; (b) 星形接线; (c) 不完全 星形接线; (d) 两相差接;
 (e) 零序接线; (f) 三角形接线

(3) 不完全星形接线。如图 7-9 (c) 所示, 这种接线也叫 V 型接线, 二次侧公共流过的电流, 正好是未接电流互感器一相的二次电流 I_b 即:

$$I_1 + I_2 = -I_b$$

这种两相式接线的三只电流表, 分别反应了三相电流, 节省了一支电流互感器, 但不能反应所有的接地故障, 所以广泛用于小接地电流系统中, 供测量和保护用。

(4) 两相电流差接线。如图 7-9 (d) 所示, 这种接线的二次侧公共线中流过的电流等于其他两相电流之差, 其值是一相电流的 $\sqrt{3}$ 倍, 这种接线不能反应所有的接地故障, 一般只用于三相三线制不重要电路的保护中。此外, 同步发电机的相复励磁系统的电流互感器也常用这种接线方式。

(5) 零序接线。如图 7-9 (e) 所示, 它由三只同型号电流互感器的同极性端子并联后引出, 它的二次侧公共线流过的电流, 等于三相电流之和, 即 $I_a + I_b + I_c = I_0$ 反应的是零序电流, 这种接线专用于零序保护。

(6) 三角形接线。如图 7-9 (f) 所示, 用于星形 - 三角形连接的变压器差动保护的接线中。

二、 电流互感器的使用

电流互感器的使用要注意以下几个方面:

(1) 正确选择电流互感器。选择电流互感器时, 除考虑使用场所外, 还应正确选择额定电压、额定变比、准确等级、额定容量等参数, 并进行热稳定和动稳定校验。差动保护回路应选用准确等级为 B 级的电流互感器。

(2) 电流互感器二次侧不允许开路。串联于电流互感器二次侧的仪表、继电器的电流线圈, 阻抗都是很小的, 互感器的工作接近于短路状况。这时, 二次负荷电流所产生的磁通和-

磁通相互抵消, 铁心中的合成磁通是不大的。如果二次侧开路, 二次电流为

零, 而一次电流 I_1 仍然保持不变, 这就使铁心中的磁通大大增加达到饱和状态, 从而使随时间变化的磁通波 变为平顶波, 如

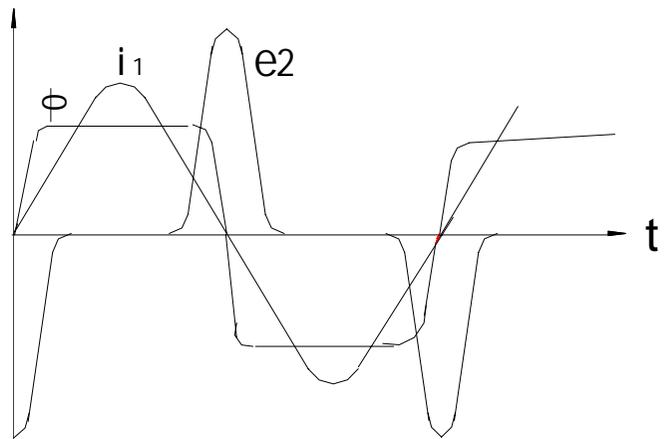


图 7-10 所示。由于感应电势正比于磁通的变化率

($d\Phi/dt$)，故在磁通急剧变化的时段，开路的二次

绕组将感应出很高的电势 e_2 ，其峰值可达到数千伏，这对二次设备和工作人员的安全都是很危险的。同时由于磁通剧增，铁心损耗增大，发热严重，将损坏电流互感器绕组的绝缘。因此，在运行中，如果需要断开仪表或继电器的电流线圈时，必须先将电流互感器的二次侧短接后再进行。此外，电流互感器回路应尽量避免电流切换，如确需切换时（如电流选测回路），要确保二次侧不致开路。

（3）电流互感器二次绕组必须有一端必须接地。以免一、二次绕组之间绝缘击穿使二次侧也带上高电压时，危及人身和设备的安全。对于差动保护一般在保护屏端子接地，其他电流回路在配电装置或端子箱内部经端子排接地。

图 7-10 电流互感器二次测开路的磁通和电势

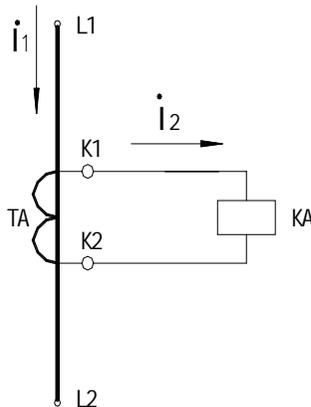


图 7-11 电流互感器的极性

感器的极性

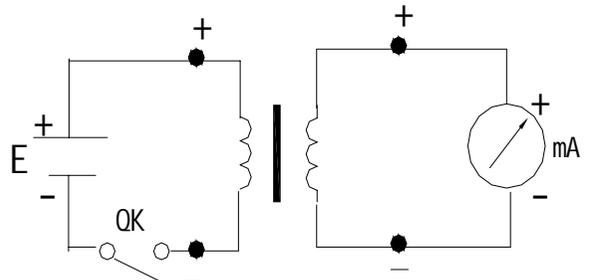


图 7-12 直流法测定互感器的极性

（4）电流互感器使用时要注意极性。电流互感器一、二次绕组的极性是按减极性原则标注的， L_1 和 K_1 、 L_2 和 K_2 为同极性端，如图 7-11 所示。若一次电流 I_1 从同极性端 L_1 流入，从 L_2 端流出，二次电流 I_2 必然从同极性端 K_1 流出，从 K_2 端流进。同理，若一次电流 I_1 从同极性端 L_2 流入，二次电流 I_2 必然从同极性端 K_2 流出。有人往往只注意电流互感器二次侧的标记，却不注意检查一次电流从那一个极性端流入（二次图一般不标出 L_1 、 L_2 ），就可能产生错误接线。在运行中，由于电流互感器的极性错误而产生异常情况的事例屡见不鲜。例如：

- (1) 继电保护装置可能误动或拒动，如发电机或变压器的纵差动保护；
- (2) 有功功率表、无功功率表、功率因数表指示不正常；
- (3) 有功电度表、无功电度表读数不对，电能计量错误；
- (4) 发电机励磁调节器调差回路接反，正调差变成负调差，使运行不稳定。

三、电流互感器运行中的巡视检查

- (1) 电流互感器的接头应无过热现象。
- (2) 电流互感器在运行中，应无异声及焦臭味。
- (3) 瓷质部分应清洁完整，无裂纹及放电现象。
- (4) 电流互感器的油位应正常，应无渗、漏油现象。
- (5) 电流表三相指示值应在允许范围之内，电流互感器不应过负荷运行。
- (6) 电流互感器一、二次侧接线应牢固，二次线圈应经常接上仪表，以防开路。
- (7) 接地线应良好，无松动及断裂现象。
- (8) 定期检查电流互感器的绝缘情况，对充油的电流互感器要定期放油，试验油质情况。

四、互感器极性的测定

当电流或电压互感器标记掉了或修理后要判别极性时，测定极性的方法有直流法、交流法和比较法。

1. 直流法

最简单和常用的是直流法，极性测定的步骤如下：

先将一、二次绕组上标上+、—号，作为假定的极性端，如图 7-12 所示。

将电池的正极接到匝数较多的绕组（电压互感器的一次侧、电流互感器的二次侧）的“+”端，电池的负极经一开关 QK 接至绕组的“-”端。

将一万用表的量程转换到毫安或微安档，接到互感器另一绕组上，万用表的正笔接绕组“+”端，负笔接绕组的“-”端。

开关 QK 合上的瞬间，万用表指针正向偏转，说明开始假定的极性是正确的，如指针反转，说明原假定的极性不对。

2. 交流法

交流法测定电压互感器极性的接线如图 7-13 (a) 所示。将电压互感器一、二次侧的一个同名端 X 和 x (或 A、a) 连接起来，互感器的一次侧加上交流低电压，测量互感器端头 A—X、a—x、A—a 的电压，并分别用 U_1 、 U_2 和 U_{Aa} 表示。在图 7-13 (a) 的情况下有：

$$U_{Aa} = U_1 - U_2 < U_1$$

即不相连的另一对同名端的电压小于外加电压。其电压矢量图如图 7-13 (b) 所示。

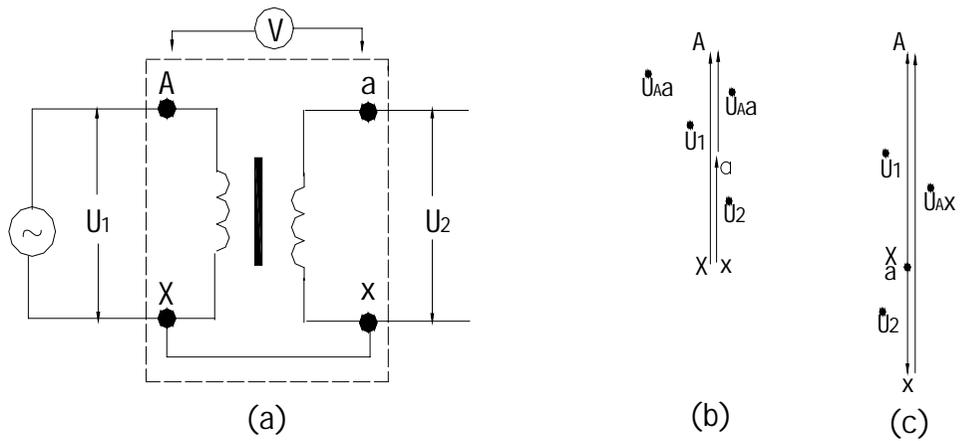


图 7-13 交流法测定电压互感器的极性

(a) 测定接线；(b) 同名端相连时的电压矢量图；(c) 异名端相连时的电压矢量图

当电压互感器一、二次侧的一个是异名端 X 和 a (或 A、x) 相接时，另一对异名端的电压为：

$$U_{AX} = U_1 + U_2 > U_1$$

这种情况的电压矢量图如图 7-13 (c) 所示。

因此，比较所测定的三个电压，即可判别电压互感器的极性。

电流互感器极性的测定也可以使用交流法，但接线比较复杂，如操作不当还可能导致电流互感器二次侧开路，要特别注意。

3. 比较法

比较法就是采用极性和变比已知的标准互感器与被测互感器进行比较以确定极性。图 7—14 示出了利用标准电流互感器 TA1 测定被测电流互感器 TA2 极性的接线。在一次侧，TA1—L2 和 TA2—L1 相连；在二次侧，TA1—K1 (TA1—K2) 与 TA2—K2 (TA2—K1) 连成闭合回路，两根连线之间接上一只电流表。

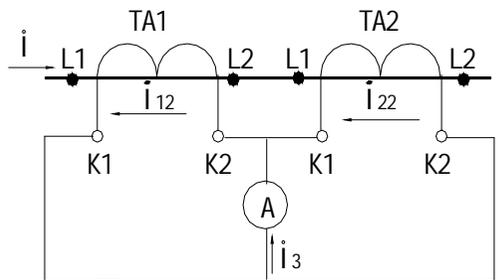


图 7-14 用标准电流互感器测定极性

极性

当互感器一次侧通以电流时，对于图 7—14 的接线，电流表中的电流为两互感器二次电流之差，即：

$$I_3 = I_{12} - I_{22} < I_{12}$$

当互感器一次侧的连接不改变，而二次侧为同极性端相连时，电流表中的电流为两互感器二次电流之和，即：

$$I_3 = I_{12} + I_{22} > I_{12}$$

对电流表读数的大小进行比较，就可以判别被测电流互感器的极性。
同理，也可以用标准电压互感器判别另一台电压互感器的极性。

第八章 继电保护接线

第一节 继电保护的基本知识

一、电力系统的事故和不正常运行状态

电力系统的事故和不正常运行状态对电力系统的安全影响很大，事故和不正常运行状态主要有以下几种。

1. 短路事故

短路是输电线路和电气设备最严重的故障，它可以分为对称短路(三相短路)和不对称短路，后者又分为单相短路、两相短路、两相短路接地。短路引起的危害很大：

- (1) 中断或影响对用户的供电。
- (2) 损坏电气设备。
- (3) 破坏电力系统稳定。
- (4) 使电厂失去厂用电，甚至引起全厂停电。
- (5) 引起对通信线路的干扰。

为了减少短路的危害，必须尽快将发生事故的元件从电网中切除，以便恢复系统的正常运行，并减轻故障设备损坏的程度，这就借助于继电保护装置。

2. 不正常运行状态

电气设备的不正常运行状态有多种，如小接地电流系统的单相接地，电气设备温度过高，过负荷，发电机转子一点接地等等。发生不正常运行状态时，不需立即将设备从电网中切除，只发出预告信号，通知值班人员以便及时处理，使系统恢复正常运行，这也要借助于继电保护装置。

二、对继电保护的基本要求

为了使继电保护装置能及时、正确地完成它所担负的任务，对其有以下四个基本要求：

1. 选择性

当电力系统某部分发生故障时，继电保护应只切除网络中的故障元件，称为保护装置的选择性。即首先切除靠近故障点的断路器，使停电范围尽量缩小，保证非故障部分的正常运行。

以图 8-1 为例，在各个断路器处都装有保护装置。当 f_1 点故障时，因为短路电流经过断路器 QF1, QF2, QF3, QF4, QF5, QF6 流至故障点 f_1 ，则相应的保护装置都有可能动作。但根据选择性的要求，应首先由断路器 QF6 处的保护装置动作，使断路器 QF6 跳开，切除故障线路。若此时，保

护装置首先使断路器 QF5 跳开，则变电所 将全部停止供电，这种情况称为无选择性的动作，一般是不允许的。同理，f2 点短路时，应由断路器 QF5 跳开；f3 点短路时，应使断路器 QF1、QF2 跳开；

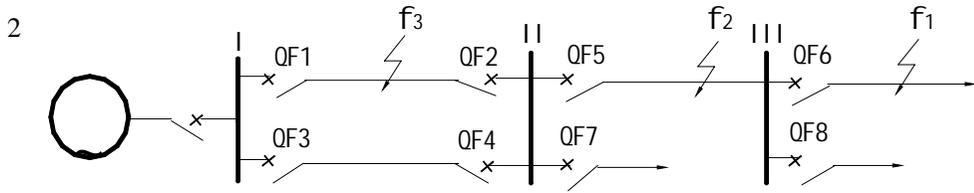


图 8-1 继电保护的选择性动作

快速切除故障可以减轻短路电流对电气设备的损坏程度，加快系统电压的恢复，为电动机自启动创造有利条件，并可提高电力系统的稳定性。但切除故障的时间越短，往往使保护装置越复杂，可靠性将相应降低，因此对不同元件的保护，应作具体的分析。

3. 灵敏性

灵敏性是指保护装置对故障和不正常工作状态的反应能力。在继电保护装置保护范围内发生故障，不管系统的运行方式、短路点位置和短路性质如何，保护装置都应正确动作；而在保护范围外发生故障时，保护装置又都不应动作。通常用灵敏系数来衡量保护装置对故障的反应能力，各种保护装置的最小灵敏系数，都有具体的规定数值。

4. 可靠性

投入运行的保护装置，应随时处于准备状态，当被保护设备发生故障时，保护装置应能有选择性的正确动作，不应拒动，而当无故障或故障发生在保护范围外时，则不应该误动作，若不能保证工作的可靠性，保护装置本身便成为扩大事故或直接造成事故的根源。为了保证保护装置的可靠性，要求保护的设计原理、整定计算、安装调试正确无误，还要求组成保护的各元件质量好，并需加强运行维护。

应该指出，对上述四项要求要结合具体情况作综合处理，对于 35 千伏及以下的电网，在满足选择性和灵敏度的条件下，应尽量采用简单的保护，以提高保护的可靠性。

三、继电保护的基本原理

1. 继电保护的类型

电力系统发生故障时的特点是电流增大、电压降低、电流和电压间的相位角会发生变化。因此，应用于电力系统中的各种继电保护的绝大多数都是以反应这些物理量的变化为基础，利用正常运行与发生故障时各物理量间的差别来实现的。

根据所反应的上述各种物理量的不同，构成了以下各种不同类型的继电保护：

(1) 反应电流改变的，有电流速断、定时限过流、反时限过流及零序电流保护等。

(2) 反应电压改变的，有低电压和过电压保护。

(3) 既反应电流又反应电流与电压间相角改变的，有方向过电流保护。

(4) 反应电压和电流的比值，即反应短路点到保护安装处阻抗(或距离)的，有距离保护等。

(5) 反应输入电流和输出电流之差的，有差动保护。

2. 继电保护的组成

继电保护虽有各种类型，但一般都由测量部分、逻辑部分和执行部分三个基本环节组成，其示意的框图如图 8-2 所示。

各基本部分的作用是：

(1) 测量部分。是测量反映被保护设备工作状态(正常工作状态、不正常工作状态或事故状态)的一个或几个有关的物理量。

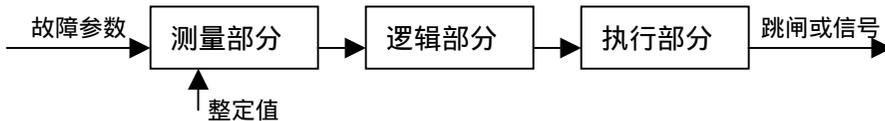


图 8-2 继电保护组成框图

(2) 逻辑部分。是根据各测量元件输出量的大小或性质及其组成或出现的顺序，判断被保护设备的工作状态，以决定保护是否应该动作。

(3) 执行部分。是根据逻辑部分所作出的决定，执行保护的任任务(即给出信号、或跳闸，或不动作)。

现以图 3-1 过电流保护接线为例加以说明。在该保护中，电流继电器 1KA、2KA 的线圈回路就是测量部分，它监视被保护设备的工作状态，反应电流的大小，只有线路发生短路故障时，它才会动作。因此，测量部分可处于动作或不动作两种状态，并根据这两种状态确定发出作用于逻辑部分的信号。电流继电器的接点回路就是逻辑部分，它接受测量部分送来的信号后，确定是否起动整套保护。执行部分就是时间继电器和信号继电器回路，它接到逻辑部分送来的信号后，给出断路器的跳闸脉冲并发出信号。

第二节 输电线路的继电保护

输电线路有多种类型的继电保护，如电流电压保护、距离保护、高频保护等。这里只介绍输电线路的电流保护。

一、定时限过电流保护

在电力系统中，输电线路发生相间短路故障的特点是，线路中的电流突然增大、电压突然降低。由于电流突然增大而引起电流继电器动作的保护，

就是线路的电流保护。

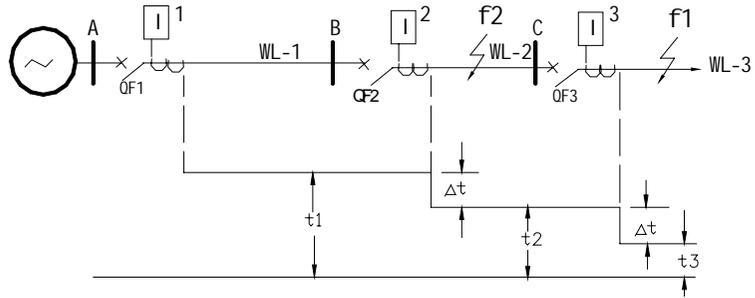


图 8-3 定时限过电流保护的配置及时限特性

图 8-3 表示单侧电源辐射形网络电的定时限过电流保护，每一线路的始端均有断路器和保护装置。当线路 WL-3 的 f1 点发生短路故障时，短路电流 I_{f1} 将流过装设在电源至短路点之间所有的保护装置 1、2、3，且当 I_{f1} 大于保护装置 1、2、3 的整定电流时，各保护装置均将起动。但按选择性的要求，只要求距故障点 f1 最近的保护装置 3 动作，跳开断路器 QF3。QF3 跳闸后，保护装置 1、2 的电流继电器都应返回。为了获得过流保护的选择性，各保护装置的动作时限应为：

$$t_1 > t_2 > t_3$$

因此可得： $t_1 = t_2 + t$ $t_2 = t_3 + t$

t 称为时限级差，一般取 0.5 秒。从图 8-3 的时限特性可以看出，各段保护的时限是从用户到电源逐级增大的，即越靠近电源，过电流保护的时限越长，这好比一个阶梯，故称为阶梯形时限特性。由于各段保护的时限都是分别固定的，而与短路电流的大小无关，所以称这种过电流保护为定时限过电流保护。

每一线路的定时限过电流保护除保护本线路外，还应起与其相邻的下一段线路的后备作用。例如，图 8-3 中的保护 2 应起保护 3 的后备保护作用，即当线路 WL-3 发生故障时，由于某种原因，保护 3 不动作或断路器 QF3 拒动时，保护 2 应动作跳开断路器 QF2。同理，保护 1 应起保护 2 的后备保护作用。

2. 原理接线图

三相三继电器定时限过电流保护原理接线图如图 8-4 所示。

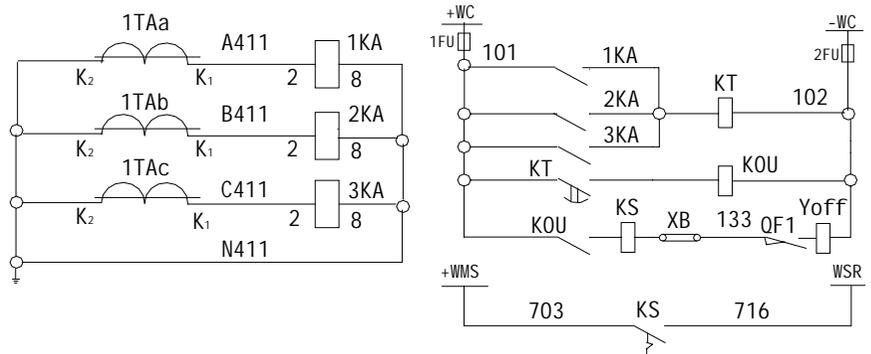


图 8-4 三相三继电器式定时限过电流保护的原理接线图

保护装置中各元件的作用如下：

1~3KA：电流继电器，担负测量电流的任务。当线路发生短路故障时，电流互感器 1TA 的二次电流超过任一只电流继电器的动作电流时，其相应的继电器将起动。

KT：时间继电器，建立保护装置所需要的动作时限。

KOU：保护出口中间继电器，当线路装有两套以上的保护时，各保护动作都起动 KOU，由它发出断路器跳闸脉冲。

KS：信号继电器，动作后，其接点闭合发信号，并掉牌指明所动作的保护装置。

QF1：断路器常开辅助接点，当断路器跳开后，QF1 随之断开，切断跳闸线圈 Yoff 中的电流，以防由中间继电器 KOU 的常开接点来切断跳闸电流而烧坏。

保护装置的動作过程可以表述如下：

线路短路 TA 电流增大动作 KA 动作 KA 接点闭合 KT 动作 KT 接点延时闭合 跳 QF，发事故音响；KS 动作，光字牌亮。

此外，定时限过电流保护还有两相三继电器、两相两继电器、两相一继电器的接线。

二、电流速断保护

定时限过电流保护简单可靠，但它为了保证有选择性的动作，必须逐级加上一个 t 的延时，因而影响了近电源端保护动作的快速性。为了迅速切除故障，根据越靠近电源发生故障，其短路电流越大的特点，可采用提高电流继电器的动作电流值来获得保护的选择性，这就构成了电流速断保护，它可以分为瞬时电流速断保护和延时电流速断保护。

1. 瞬时电流速断保护

瞬时电流速断保护与过电流保护的区别，在于它的动作电流值不是躲过最大负荷电流，而是按躲过被保护线路末端短路时的最大短路电流整定，从而使其保护范围限制在被保护线路的内部，从整定值上保证了选择性，因此可以瞬时跳闸。所以瞬时电流速断保护不能保护线路的全长，只能保护线路的一部分。一般保护范围能达到线路全长的 50%，即认为该保护有良好的保护效果。在最小运行方式能保护线路全长的 15—20%，即可装设。线路不能被保护的区域称为死区。由此可见，瞬时电流速断保护的任务是在线路始端短路时能快速地切除故障。

2. 延时电流速断保护

瞬时电流速断保护的最大优点是动作迅速，但只能保护线路首端；而定时限过电流保护虽能保护线路全长，但动作时限太长。因此，常用延时电流速断保护来消除瞬时电流速断保护的死区，要求延时电流速断能保护线路的全长。所以它的保护范围必然会伸到下一段线路的始端去，这样，当下一段线路首端发生短路时，保护也会起动。为了保证选择性的要求，需使它的动作时限比下一段线路瞬时电断保护大一个时限级差 t ，其动作电流也要比下一段线路瞬时电流速断保护的動作电流大一些。

三、三段式过电流保护装置

瞬时电流速断保护只能保护线路的一部分，延时电流速断保护虽能保护线路全长，但不能保护下一段线路的全长，所以必须装设定时限过电流保护，以作为本段或下段线路的后备保护，这就构成了三段式过电流保护装置，常应用于单侧电源的供电线路上。各保护的功能是：

(1) 在线路的始端，瞬时电流速断保护作为主保护，延时电流速断保护和定时限过电流保护作为后备保护。

(2) 在线路的末端，延时电流速断保护作为主保护，定时限过电流保护作后备保护——近后备。

(3) 当下段线路短路，下段线路的保护或断路器拒绝动作时，上段线路的定时限过流保护动作跳闸——远后备。

图 8-5 为三段式过电流保护装置展开图，其中 1KA、2KA 及 1KS 构成一段保护，3KA、4KA、1KT 及 2KS 构成二段保护，5KA、6KA、2KT 和 3KS 构成三段保护，KOU 为保护出口中间继电器。任一段保护动作时，都有相应的信号继电器掉牌，可以知道是哪一段保护动作。从保护的動作情况和其它征象可以判断短路故障发生的大致范围。

最后需要指出，输电线路并不一定都要装三段式过电流保护装置，有时只装瞬时电流速断保护和定时限过流保护就能满足要求。

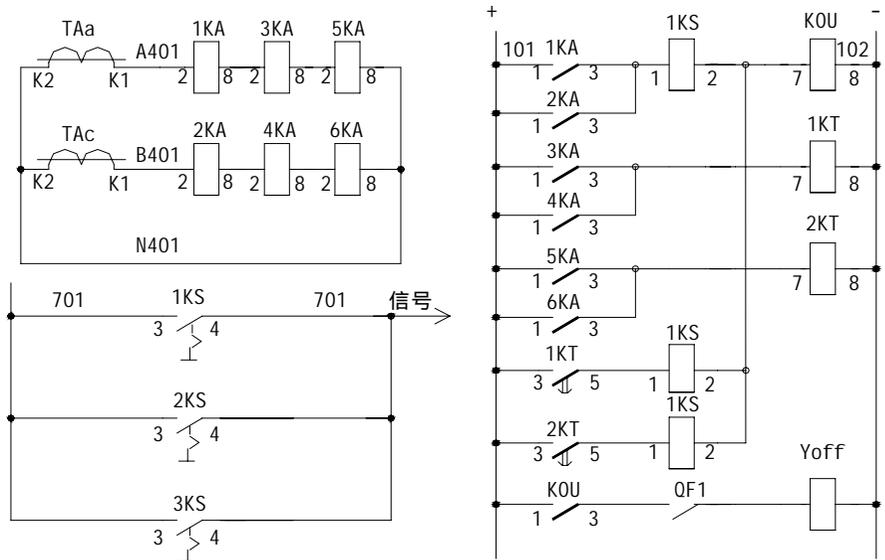


图 8-5 三段式过电流保护接线图

第三节 电力变压器的继电保护

变压器是发电厂和变电所的重要电气设备，在运行中可能发生各种故障及不正常运行情况，影响系统的运行和供电的可靠性。因此，必须对电力变压器装设专用的保护装置。

电力变压器多为油浸式，其高、低压线圈均在油箱内，故在变压器内部发生相间短路的可能性较小。其常见的内部故障是匝间短路，常见的外部故障是绝缘套管闪络或击穿，这种故障可能引起出线端相间短路或一相碰接外壳。此外，变压器还可能出现外壳损坏而漏油及过负荷等不正常的工作状况。为此，**变压器通常需装设下列保护装置：**

(1) 瓦斯保护。容量在 800 千伏安(车间用容量为 400 千伏安)以上的变压器，应装设瓦斯保护，作为变压器内部故障和油面降低的主保护。重瓦斯保护动作于跳闸，轻瓦斯保护作用于信号。

(2) 纵联差动保护或电流速断保护。容量在 5600 千伏安及以上的变压器，采用纵联差动保护，作为变压器的内部绕组、绝缘套管及引出线相间短路的主保护。小容量的变压器可采用电流速断保护代替纵联差动保护。

(3) 过电流保护。作为变压器外部短路及瓦斯和纵联差动(或电流速断)保护的后备保护。

(4) 零序电流保护。当变压器中性点直接接地时，装设零序电流保护，以提高发生单相接地时保护的灵敏度。

(5) 过负荷保护。变压器过负荷时，保护延时动作发出信号。

一、瓦斯保护

当变压器内部发生故障时，短路电流所产生的电弧将使变压器油和绝缘物分解，并产生大量气体，利用这种气体来动作的保护装置，称为瓦斯保护。瓦斯保护灵敏、快速、接线简单。运行实践证明，变压器油箱内的故障大部分是由瓦斯保护动作切除的。瓦斯保护和差动保护共同构成变压器的主保护。瓦斯保护的主要元件是瓦斯继电器，它装于变压器油箱与油枕之间的联接管道上。

瓦斯保护不能反映变压器油箱外套管和连接线上的故障，因此还要装设纵差动保护或电流速断保护。

二、变压器的差动保护

首先，用线路的差动保护来说明纵差动保护的一般工作原理，然后再说

明变压器差动保护的一些特殊问题。

图 8-6 示出了按环流法构成的线路纵差动保护单相原理接线图。在线路两侧装有型式相同、变比相同的电流互感器，且同极性端相连接。电流继电器接在差流回路内，如图 8-6(a)所示。当正常运行或外部短路的，流经线路两侧的电流相等，即 $I_{I.1}=I_{I.1}$ 。于是，两个电流互感器的二次电流大小相等，方向相同，即 $I_{I.2}=I_{I.2}$ 。流过继电器的电流为：

$$I_{act} = I_{I.2} - I_{I.2} = 0$$

因而继电器不会动作。

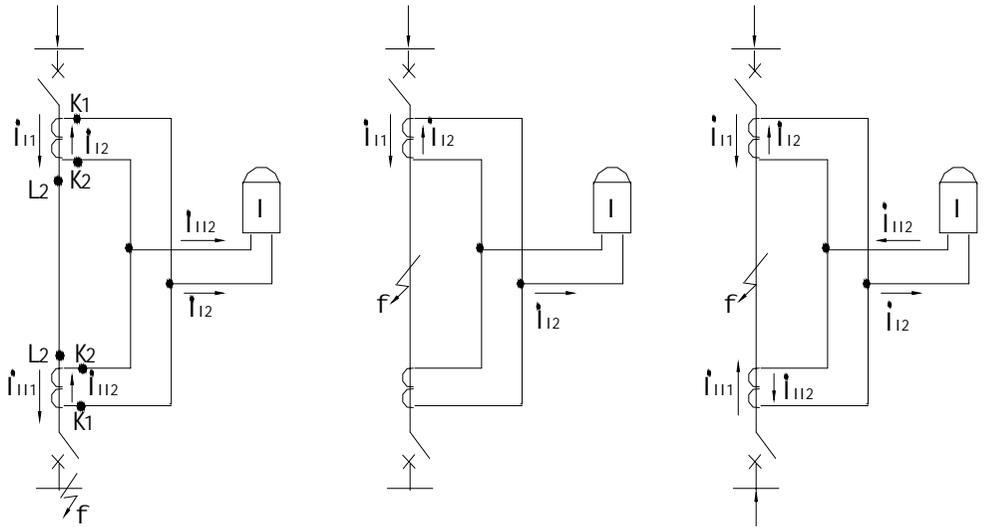


图 8-6 线路差动保护单相原理接线图

(a)正常运行或外部短路 (b)单侧电源内部短路 (c)双侧电源内部短路

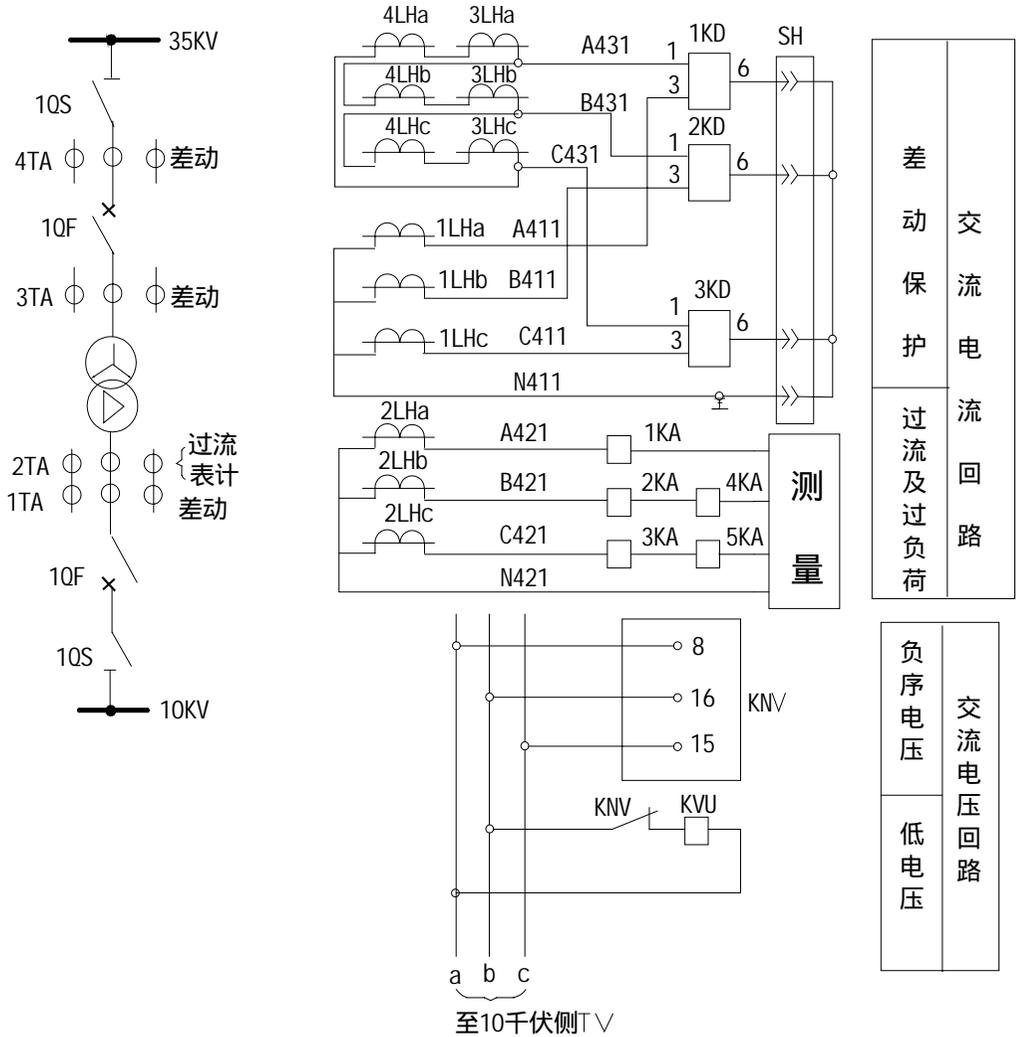
当单侧电源线路内部发生短路时，如图 8-6(b)所示，线路的电源侧电流互感器流过短路电流，而线路的负荷侧电流互感器无电流流过，故两组电流互感器二次侧电流大小不相

等。由于 $I_{I.2} = 0$ ，流过继电器中的电流为 $I_{act} = I_{I.2}$ ，当此电流大于继电器的动作电流时，继电器即动作。

当双侧电源线路内部发生短路时，如图 8-6(c)所示，两侧短路电流的方向都是由电源流向短路点，两组电流互感器二次侧电流在差流回路中方向相同，流过继电器中的电流为两电流之和，即 $I_{act} = I_{I.2} + I_{I.2}$ ，使继电器动作，将故障元件自两侧同时切除。

由此可见，纵差动保护的 protection 范围是两侧电流互感器所包括的范围。在保护范围外部故障时，保护装置不动作，因此，不需要与相邻元件保护相配合，故可构成瞬时动作的保护。差动保护广泛用来保护发电机和变压器，当用于保护输电线路时，需要很长的二次辅助导线，因而很少采用。

变压器差动保护的原理与线路差动保护是相同的。但存在两侧电流互感器型式和变比不同、各侧线圈接线方式不同、存在励磁涌流、分接头位置改变等特殊问题，要采用相位补偿、躲过励磁涌流等措施。



(a)

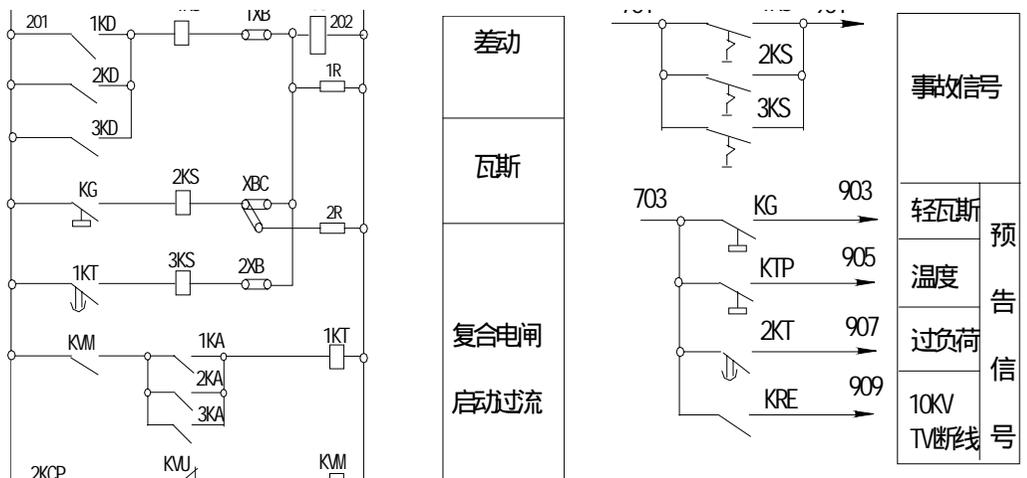


图 8-7 变压器保护接线总图
(a) 交流回路；(b)直流回路

三、变压器的后备保护

为了反应变压器外短路引起的过电流，并作为变压器主保护的后备保护，变压器还需装设过电流保护。过电流保护可以分为单纯的过电流保护、低电起动的过电流保护、复合电压起动的过电流保护、负序过电流保护等。

四、变压器保护接线总图

图 8-7 示出了 35 千伏双绕组变压器保护接线总图。变压器装设以下保护装置：

(1) 纵差动保护：由 DCD-2(或 BCH-2)型差动继电器 1KD、2KD、3KD 和信号继电器 1KS 组成，瞬时动作于变压器两侧的断路器跳闸。

(2) 瓦斯保护：由瓦斯继电器 KG、信号继电器 2KS、切换片 XBC 和电阻 2R 组成。轻瓦斯保护动作于信号，重瓦斯保护瞬时动作于变压器两侧的断路器跳闸，也可由 XBC 切换到电阻 2R，只动作于信号。

(3) 复合电压起动的过电流保护 装于电源侧，由负序电压继电器 KVN，低电压继电器 KVU，中间继电器 KVM，电流继电器 1KA、2KA、3KA，时间继电器 1KT 和信号继电器 3KS 组成。它作为变压器主保护的后备保护，经延时后作用于两侧的断路器跳闸。

(4) 过负荷保护：由电流继电器 4KA 和时间继电器 2KT 组成。经延时后作用于故障信号。附加电阻 1R 的作用，是当变压器内部发生故障，几种

保护同时动作于出口中间继电器 KOU 时，保证各保护装置中相应的串联信号继电器都能可靠动作。

在各个保护的跳闸回路中，都装有连接片 XB，以便在需要将相应的保护退出工作。

第四节 同步发电机的继电保护

发电机是电力系统的电源，它的安全运行，对电力系统工作的稳定性和对用户供电的可靠性，起着决定性的影响。因此，对发电机各种不同类型的故障和不正常工作状态，应装设专门的保护装置。**这些保护装置是：**

(1) 纵联差动保护或电流速断保护。容量在 1000 千瓦以上的发电机，装设纵联差动保护，作为发电机定子绕组及其引出线相间短路的主保护。1000 千瓦以下的发电机，当与其它机组或系统并列运行时，可在发电机出口侧装设电流速断保护。如果电流速断保护的灵敏度不满足要求，也可装设纵联差动保护。保护均动作于跳闸、灭磁和停机。

(2) 过电流保护。作为发电机外部短路及纵联差动(或电流速断)保护的后备保护，保护动作于跳闸和灭磁。过电流保护也可以分为单纯的过电流保护、低电起动的过电流保护、复合电压起动的过电流保护、负序过电流保护等。

(3) 过负荷保护。由于过负荷引起发电机定子绕组过电流时，过负荷保护延时动作于信号。

(4) 过电压保护。由于水轮发电机突然甩负荷或励磁调节装置误强励时，会引起发电机定子绕组过电压，过电压保护带延时动作于跳闸和灭磁。

(5) 接地保护。发电机电压网络发生接地故障时，接地保护动作于信号。

(6) 励磁回路一点接地保护。励磁回路产生一点接地时，保护作用于信号。

(7) 失磁保护。发电机励磁消失时，失磁保护作用于跳闸。

(8) 横差动保护。对于定子绕组为双星形接法的大型机组，作为绕组相间短路的保护作用于跳闸。

图 8-8 示出了水轮发电机保护接线总图。发电机装设以下保护装置：

(1) 纵联差动保护：由 DCD-2(或 BCH-2)型差动继电器 IKD、2KD、3KD，电流继电器 5KA、信号继电器 1KS 和保护出口中间继电器 1KOU 组成，瞬时动作于发电机跳闸、灭磁和停机。

(2) 复合电压起动的过电流保护：装于发电机中性点侧，由负序电压继电器 KVN、低电压继电器 KVU、中间继电器 KVM、电流继电器 1KA、2KA、3KA、时间继电器 1KT、信号继电器 2KS 和保护出口中间继电器 2KOU 组成，保护延时动作于跳闸和灭磁。

(3) 过负荷保护：由电流继电器 4KA 和时间继电器 3KT 组成，延时动

图 8-8 水轮发电机保护接线总图

(5) 励磁回一点接地保护：由转子一点接地继电器 KLE 构成，动作于发信号。

(6) 失磁保护：由灭磁开关联锁使发电机断路器跳闸，信号继电器 4KS 指示动作掉牌。容量较大的发电机一般应装设专用的失磁保护装置。

在各个保护的跳闸回路中，都装有相应的连接片 XB，以便在需要时将相应的保护退出工作。

图中的 1KCP 是发电机断路器合闸位置继电器的常开接点，它们分别串接于低电压起动回路和失磁保护回路中，以防发电机断路器在跳闸状态时保护装置的动作。

需要指出，目前发电厂变电所电气设备的保护有三种类型：电磁型、电子型、微机型。它们构成保护的原理和外部接线是基本相同的。这些保护都由图 8-2 所示的三部分构成，对于测量部分，电子型和微机型要加上变换隔离环节。三者的根本区别在于中间的逻辑判断部分：电磁型是用作用于电磁继电器的机械力大小来进行比较判别的；电子型则是通过模拟电路实现各种电量的运算和逻辑判断；微机型则是用数字技术进行数值运算实现综合分析判断，它在硬件结构的基础上，其保护原理是用软件实现的。微机保护由于其改善了继电保护的動作持性、能方便扩充其它辅助功能、使用方便灵活等优点，且经过多年的运行实践性能已有很大提高，因而正在逐步得到推广应用。但是微机保护的動作过程分析不像常规保护那样直观易懂。因此对于初学者来说，通过对常规保护的电气接线、工作原理、動作过程的学习，才能很好地掌握继电保护的有关知识，为学习和掌握微机保护打下牢固的基础。而对于外部接线来说，各种保护的接线并无区别。

第九章 同期系统接线

多台发电机、多个电力系统相互连接起来并列运行，不仅可以提高供电可靠性，改善供电质量，而且可以使负荷分配更加合理，减少系统备用容量，达到安全、稳定、经济运行的目的。然而，只有当待并发电机与电力系统以相同的电角速度旋转，而且彼此的相角差不超过允许的限值，归算电压近似相等时，发电机才能投入电力系统列运行。

在发电机投入电力系统列运行时必需完成一定的操作，这种操作称为并列(并网)操作或称同期(同步)并列。

同期并列有手动、自动和半自动三种。手动同期时，发电机投入系统的所有并列操作，包括调节机组的转速，调节发电机的电压和断路器合闸等，均由运行人员手动进行；自动同期时，所有这些操作均由自动装置完成；有时也采用半自动同期并列，即一部分操作由运行人员手动完成，而另一部分的操作则由自动装置完成。

第一节 同期方式和同期点的选择

一、同期方式

通常采用两种同期方式，即准同期方式和自同期方式。无论哪一种同期方式，必需首先使得待并发电机相电压的旋转方向与工作的发电机(或系统)相电压的旋转方向相同，即相序相同。这一条件可在发电机安装时予以解决。

1. 准同期方式

准同期方式是：发电机在并列前已励磁建压，然后在一定的条件下，即发电机的电压、频率、相位分别与投入系统的电压、频率、相位相同或接近相同时，将发电机断路器合闸，合闸瞬间发电机定子冲击电流很小。

在正常情况下，准同期的优点是：只有较小的冲击电流，不致于降低系统电压。但准同期也有缺点：装置比较复杂；准同期过程比较长，尤其是在系统事故情况下，系统频率和电压急剧变化时并列过程更长。并且由于各种原因有可能造成非同期并列，严重者将导致发电

机损坏。

大、中型电厂发电机的正常并列一般采用准同期方式。通常设有自动准同期和手动准同期两种装置，并均带有非同期间锁。

2. 自同期方式

自同期方式是：在发电机转速升高到接近系统同期转速(或接近已运行发电机的转速)时，将未加励磁的发电机投入系统，然后给发电机迅速加入励磁，从而产生转矩，在同步转矩的作用下，将发电机拉入同步。

自同期的优点是：并列快，不会造成非同期合闸，特别是系统事故时在低频率、低电压情况下，能使机组迅速并入系统。但自同期的缺点是冲击电流大，振动较大，可能对机组的某些部位有一定影响。在水轮发电机定子线圈的绝缘及端部固定情况良好，均可采用自同期并列方式。

二、同期点及同期方式的选择

为了达到并列运行的目的，水电站内有些断路器必需进行同期并列操作，这些有同期并列任务的断路器叫做同期点。同期点的选定原则如下：

发电机的同期。所有发电机出口断路器以及发电机—变压器组高压侧断路器(当发电机出口无断路器时)均需作为同期点。大中型发电机一般采用自动准同期作为正常的同期并列方式，以手动准同期作为备用的同期并列方式，自动自同期作为系统事故情况下的同期并列方式。

变压器的同期。作为升压的三线圈变压器或具有三级电压的升压自耦变压器与电源相连接的各侧断路器均应作为同期点。作为升压的双线圈变压器或联络变压器一般有一侧断路器作为同期点即可。但某些主接线，例如有一侧为多角形接线的联络变压器，则有时将变压器两侧断路器均作为同期点。

单元接线的变压器高压侧断路器和与发电机直接连接的变压器低压侧断路器，其同期点的同期方式应与发电机断路器的同期方式相同。

线路和母线的同期。接在单母线上的线路断路器在设计中一般均考虑作为同期点。

对于双母线的接线曾经只考虑利用母线联络断路器进行并列，线路断路器不作为同期点。但对要分裂成二个单独系统运行的以母线和110kV及以上电压等级的系统主要联络线，则线路断路器应作为同期点。带有旁路母线的线路断路器以往也不作为同期点，只将旁路断路器作为同期点。这样做虽然可在线路侧不设电压互感器，但在进行同期前和同期后均需倒换有关隔离开关，增加了操作，故对110kV及以

上的接在双母线上或是接在带有旁路母线上的线路断路器均作为同期点为宜。

多角形接线和外桥形接线中，与线路相关的两个断路器均需作为同期点。

一个半断路器接线的运行方式变化较多，一般断路器均做为同期点。

第二节 同期电压接线

一、对同期接线的要求

在设计准同期接线时，需满足下列要求：

各同期点均需装置单独的同期用的切换开关 SAS。为了防止运行人员的误操作，所有同期切换开关应公用一个可抽出的把手，此把手只在“断开”的位置时才能抽出。不然，有可能将几个同期切换开关同时投入，使同一同期小母线引入几种电压造成电压互感器二次回路短路，或者造成错误同期。

对于采用按钮带继电器的接线，各同期点需装置各自的按钮和继电器。为防止上述误操作，在接线中必需考虑电气闭锁，使得操作一个按钮选定某一同期点后，未经复归，如再操作其它按钮均不起作用。

所有引至同期回路的电压互感器二次侧 B 相是通过一个公用的小母线 WVB_b 接地的。这是因为发电机电压互感器往往采用 V/V 接线，需要 B 相接地。而且也简化了同期系统的接线和减少同期切换开关的档数。

由于电力变压器通常采用 Y/△-11 接线，星形与三角形接线两端的电压向量相差 30°。为此，对于星形侧为小接地电流系统的，通常用接线为 Y/△-1 的中间转角变压器接在变压器高压侧的电压互感器的二次侧作为补偿。

对于星形侧为大接地电流系统的，则高压侧的同期电压可取自电压互感器的第三绕组（开口三角绕组），使其相位与低压侧对应。

各同期点断路器的手动合闸回路必须经过相应的同期切换开关接点（或继电器接点）加以闭锁，以消除在接通同期装置之前就有合闸的可能性。对于集中装设一套同期闭锁装置而出现全厂共用的同期闭锁小母线的情况，在接线中还要考虑消除将一个断路器的控制开关切至合闸位置时使几个断路器同时合闸的可能性。为此一般同期闭锁小母线两侧均经同期切换开关的接点（或继电器接点）闭锁。这样，操作某一断路器的控制开关进行合闸时，只有选定的断路器才能投入。

对于只有一侧作为同期点的双线圈变压器，其不作为同期点的

断路器合闸回路，须增设另一侧断路器的常开辅助接点加以闭锁。

(6)为防止准同期操作时的非同期合闸事故，必须对非同期合闸加以闭锁。

二、典型的同期电压接线图

为了进行同期，同期点两侧必须引接同期电压，下面是一些典型的同期电压接线图。

1. 发电机作为同期点的接线

在发电机电压系统具有母线、扩大单元、升压三线圈变压器或升压自耦变压器等主接线的情况下均以发电机断路器作为同期点。其接线图如图 9-1 所示，同期电压由断路器两侧电压互感器二次侧经同期开关 SAS 引至各同期小母线。

2. 大电流接地系统的变压器高压侧断路器作为同期点的接线

经星形—三角形变压器后大电流接地系统的断路器作为同期点的接线，见图 9-2。由于经 Y/D-11 接线的变压器后，星形与三角形两侧电压向量相差 30° ，因此引入同期装置的电压的向量差必须加以补偿，对于大电流接地的 110kV 及以上系统，从变压器高压引至准同期装置的电压由电压互感器第三线圈取得。这样，就不必增加中间转角变压器。即使遇到有些 110kV 及以上的线路继电保护要求电压互感器的二次侧中性点接地时，也不会由于和同期接线 B 相接地产生矛盾，而不得不采取隔离措施。因为继电保护可以由电压互感器的第二线圈供电，与第三线圈无关。

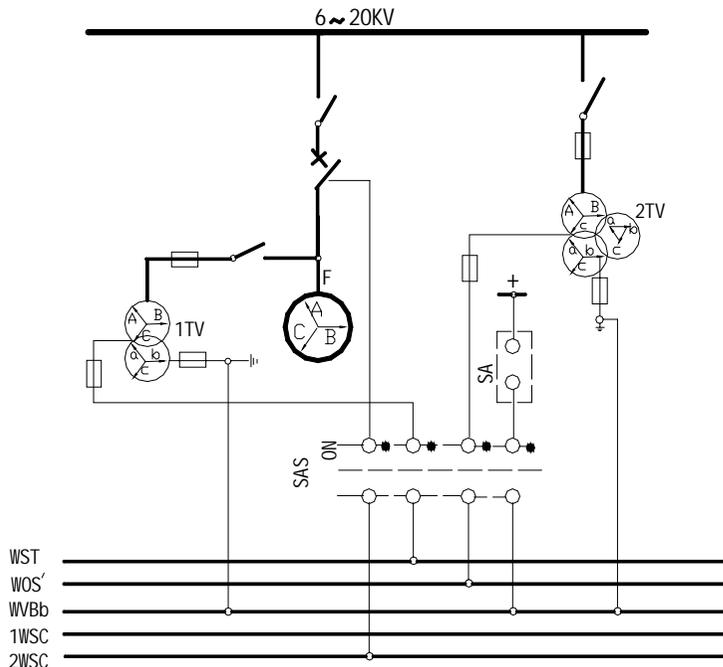


图 9-1 发电机断路器作为同期点的接线

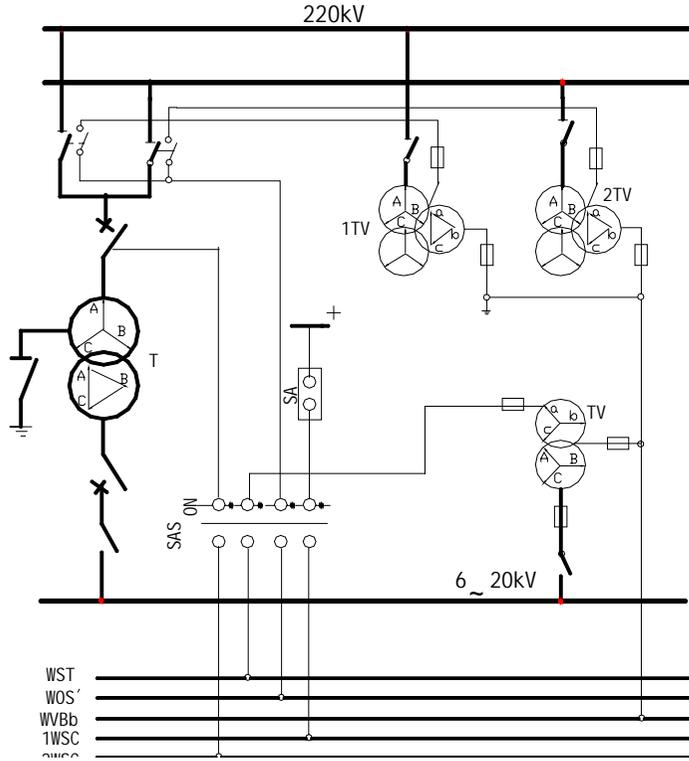


图 9-2 大接地电流系统变压器高压侧断路器的同期接线

3. 小电流接地系统的变压器高压侧断路器作为同期点的接线

经星形—三角形变压器后小电流接地系统的断路器作为同期点的接线,见图 9-3。目前在我国 35KV 及以下的系统均为小电流接地系统。因为小电流接地系统有可能在一相接地情况下运行,根据不同的接地情况,各相的电压值可从零至线电压值之间变化,不能在所有运行方式下保持不变。而且为了满足零序电压保护的要求,其电压互感器第三线圈的额定电压为 $100/3$ 伏。因此利用上述从电压互感器第三线圈抽取的同期电压的办法不论是在系统故障还是在正常运行时都是行不通的。在这种情况下为了补偿角度偏差,需要装设中间转角变压器 TR。

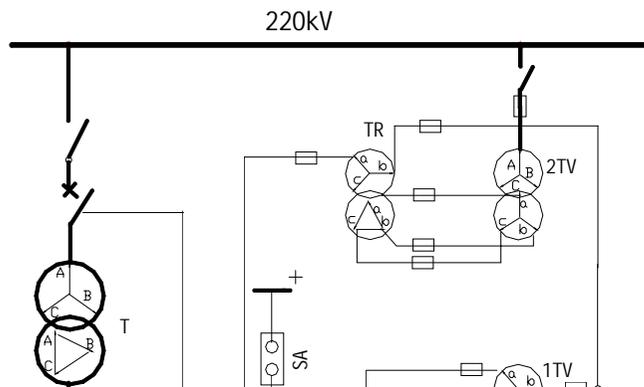


图 9-3 小接地电流系统变压器高压侧断路器的同期接线

4. 三绕组变压器(或自耦变)各侧断路器同期接线

一般在变压器低压侧不装设电压互感器，低压侧同期电压取自低压母线电压互感器二次侧星形绕组，高、中压侧同期电压取自高、中压母线电压互感器二次侧开口三角绕组，接线见图 9-4。但当中压侧为小电流接地系统时，须装中间转角变压器。

5. 线路和旁路断路器的同期接线

为了同期的需要，一般在线路上或旁路母线上各装设一只单相的电压互感器。对于 35KV 及以下的小电流接地系统，该电压互感器是跨接在相间上，利用其第二线圈供同期电源。对于 110kV 及以上的大电流接地系统，该电压互感器是跨接在某一

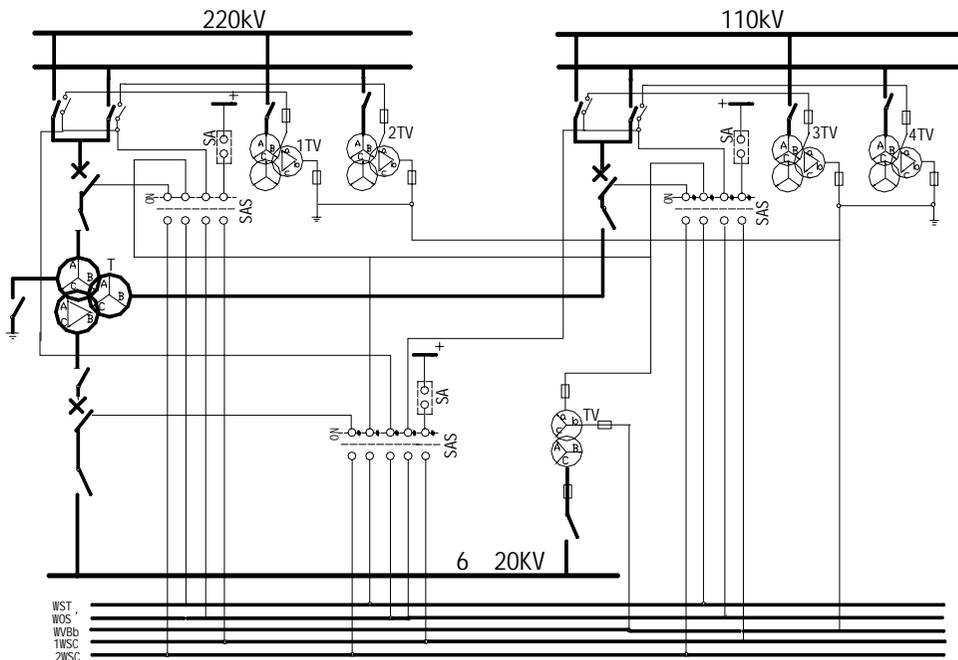
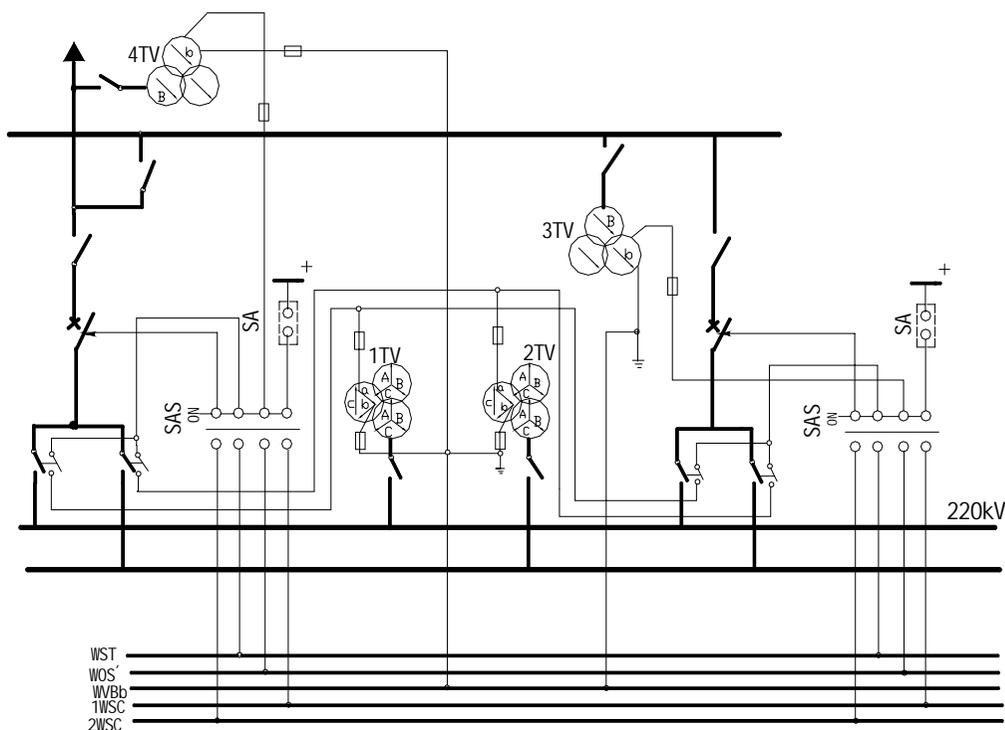


图 9-4 三绕组断路器的同期接线



9-5 线路和旁路断路器的同期接线

相上(相—地),同期电源由电压互感器的第三线圈抽取。具体接线如图 9-5 所示。

母联断路器的同期电压分别从两段母线的电压互感器引出,在此不再画图。

第三节 常规准同期装置的接线

在发电厂中,同期仪表、自动准同期装置、同期闭锁继电器和有关的转换开关一般都是公用的,装设于中央控制室,同期装置接线和同期电压接线组成完整的同期系统接线图,两图之间是用同期电压小母线作联系桥梁的。自动准同期装置有常规(模拟)型和微型两类。本节论述常规准同期装置的接线。

当一台发电机需要投入系统并列运行,其准同期并列的理想条件

是： 相位相同； 频率相同； 电压相同。然而，要绝对准确地满足理想条件实际上是不可能的。在同期时往往存在一些差值，根据运行经验，这些差值一般不应超过下列数值：相位角差不超过 10 度；电压差不超过额定值的 10~20%，最好控制在 5~10%的范围内。频率差不超过额定值的 0.1~0.5%，即 0.05~0.25Hz。

目前，大部分电厂采用集中自动准同期方式接线，即全厂装设 1 至 2 台自动准同期装置对所有发电机进行自动并列。其接线如图 9-6 所示。

自动准同期并列的操作步骤如下：

(1) 如全厂装设二台自动准同期装置，则首先操作切换开关 SAH，选好 1ZZQ 或 2ZZQ 准备投入运行；

(2) 操作待并系统(发电机)断路器相应的同期切换开关 SAS，将发电机的电压和系统电压经 SAS 的接点加到同期小母线 WST、WOS 上；

(3) 待并机组升速到一定值后，将切换开关 1SASC 切到“手准”(SY)位置，将同期表投入工作；

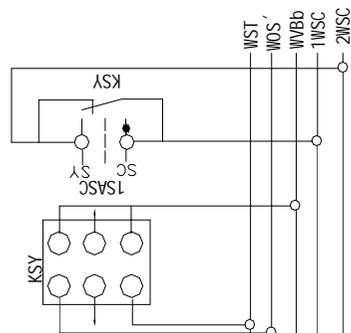
(4) 将切换开关 2SASC 切到“试验”(TE)位置，将小母线 WST、WOS 上的电压经继电器 1KC 接点加入自动准同期装置，使它投入工作，并经 2SASC 的接点准备点亮白色信号灯 HW，2SASC 的另一接点断开引至 1WSC 的合闸回路；

(5) 自动准同期装置投入工作后，根据机组转速高低，装置发出减速或增速脉冲(通过小母线 1WADJ 作用于机组调速器的调速机构或频率给定机构)，同时根据机端电压的高低发出降压或增压脉冲(通过小母线 3WADJ 作用于机组自动励磁调节器给定机构)。

(6) 当机组与系统的频率差缩小至自动准同期装置的整定值时，装置按给定的导前时间发出合闸脉冲使白色信号灯 HW 点亮。如与 HW 点亮的同时，同期表指针接近同期指示位置，则说明装置工作正常。此时可 2SASC 至“投入”(ON)位置，发出合闸脉冲将断路器投入。

(7) 发电机与系统并列后，需将切换开关 2SASC、1SASC 和同期开关 SAS 切到“断开”位置，使回路全部复原。

同期闭锁继电器 KSY 的作用是：当待并发电机电压与系统电压的相位差小于其整定值(20-30°)时，KSY 的常闭接点才闭合，接通同期合闸小母线 1WSC 和 2WSC，同期



根据图 9-6 可以画出自动准同期合闸回路，如图 9-7 所示，图中将手动准同期回路和点的断路器才能进行合闸，防止了非同期合闸事故。当系统没有电压而建压的发电机断路器

点的断路器才能进行合闸，防止了非同期合闸事故。当系统没有电压而建压的发电机断路器

需要合闸时(无压合闸)，同期闭锁继电器 KSY 线圈只加有发电机一侧电压，其接点是断开的，这时要将 1SASC 开关扳向“无压”(SC)位置，才能使

8. 具有低压和高压闭锁功能，防止误同期；
9. 调试校验功能。

现以国内应用比较广泛的SID-2V型微机自动准同步装置为例加以介绍。

二、SID-2V型自动准同步装置应用范围及特点

SID-2V型自动准同步装置是供给一台发电机或不超过15台发电机复用进行全自动差频并网的同步装置，也可作为只存在差频并网方式的输电线路检查同步自动并网用。特点是：在结构上采用了全封闭式和严密的磁屏蔽措施；对输入信号采用光电或电磁隔离，并进行数字滤波；按模糊控制算法实施自动均频及均压控制，具有促成同步条件快速实现的良好控制品质；在软件上采取快速求解计算频差及其一阶、二阶导数的微分方程，实现精确的零相角差并网；建立在机组运动方程基础上理想导前合闸角的预测算法，能万无一失的捕捉到第一出现的同步时机，使准同步并网速度达到自同步的水平；在软件及硬件上对合闸控制采用了多重冗余闭锁，误合闸概率接近于零；装置面板提供的智能化整步表及数码显示器使运行人员能非常直观地监督并网全过程；装置内部自备可调频的工频信号源，简化了调试设备；可接受上位机以开关量形式的投入和切除命令；装置电源交直流两用。

三、SID-2V型同步装置软件流程

SID-2V型自动准同步装置的软件流程如图9-8所示。

1. 主程序

装置接入后(或装置在带电状态接到复位命令后)CPU工作，首先进行装置的主要部件自检，如出错，将在8位数码显示器上显示出错部位信息，并启动报警继电器报

警。如各部件正常，则进入到检测工作/设置开关(W/T)的状态，如检测为工作状态W，则检测外部各并列点同步开关(或由上位机控制的继电器)送来的并列点选择信号，如无并列点选择信号或选择信号多于一个则显示器显示出错信息并报警，此时在显示器上交替显示并列点出错信息和系统侧频率值。如检测到一个特定的并列点信号，则打开定时中断程序，装置进入同步工作状态。如在自检后测到W/T开关在参数设置的“T”状态，则程序转向查整定参数的KG及KP按键状态，KG键每闭合一次，就自动调出下一个待整定参数，KP键每闭合一次就将待整定参数值增加一个分度(即步距)值。SID-2V型同步装置通过KG及KP键整定的参数含每一并列点的导前时间、允许频差、均频控制系数、均压控制系数。因并列点最多可达成15个，所以整定的参数共 $15 \times 4 = 60$ 个。允许压差的整定使用4个多圈精密电位器整定，15个并列点共用一组允许压差定值。

2. 定时中断子程序说明

由于同步装置在并网过程中必须在准同步的三个条件中压差及频差达到允许值时才能去捕获第三个条件，即相角差为零的时机。因此装置需要及时地检测压差及频差，尽管在某个时刻压差及频差已满足要求，程序已进入捕获相角差的过程中，也可能又再次出现压差或频差超出允许值的情况，此时装置必须再重新检测压差及频差，以确保在三个条件都同时满足时才进行并网操作。因此，同步装置的并网程序采用定时中断的方式进行。

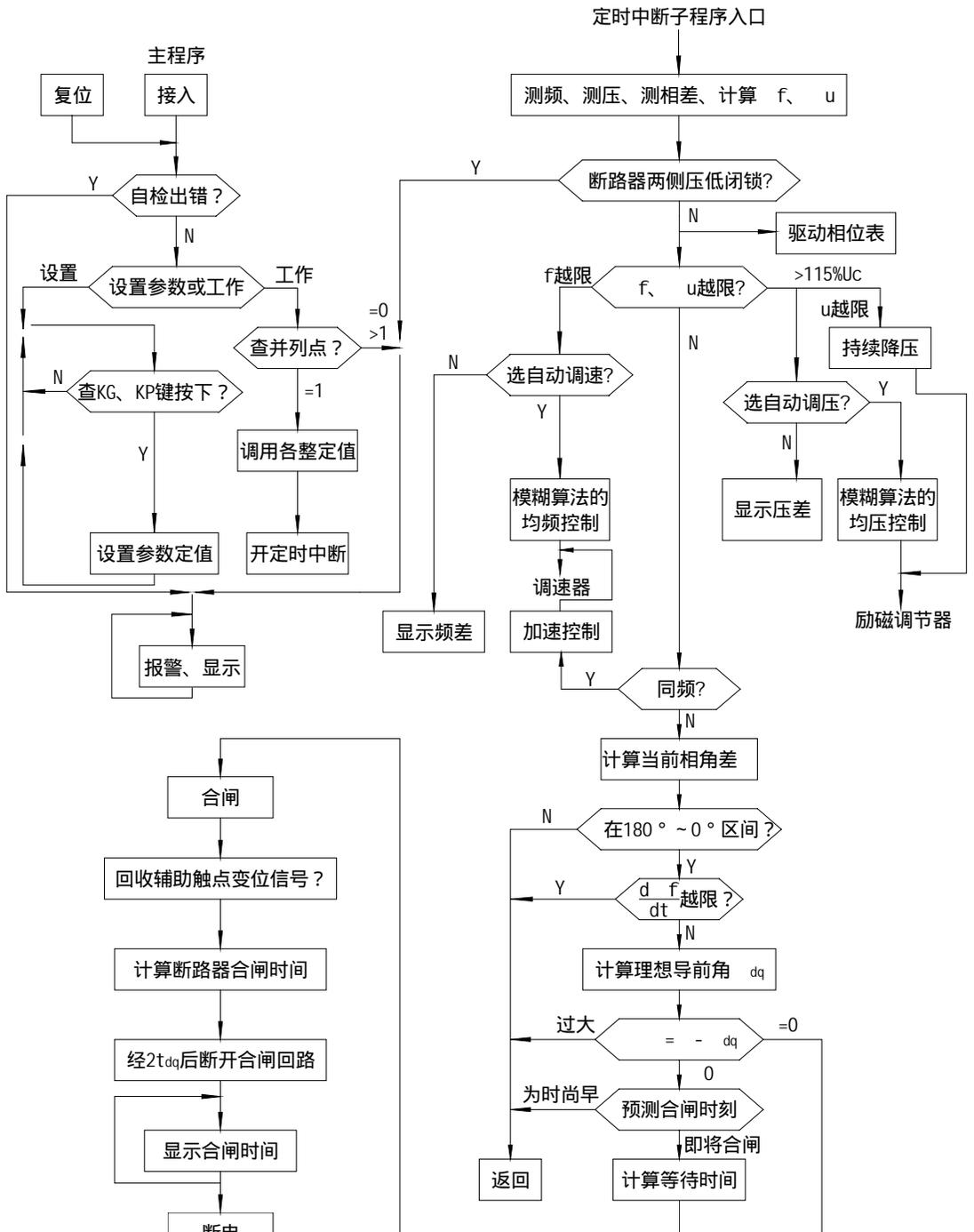


图9-8 SIV-2D软件流程图

在主程序进入“工作”方式后即打开定时中断子程序。程序的起始部分是根据外部输入TV信号经变换后提取频差、压差及相角差的信息，进而计算出 f 、 U 及 ϕ ，如果发电机侧或系统侧的TV二次电压低于整定的低压闭锁值，表明可能是TV二次断线或保险丝熔断，或TV一次电压本身就很低，这都不适于发电机并网，因此，装置将报警并停止执行并网程序。如并列点两侧的TV二次电压均高于整定的低压闭锁值，则装置面板上由软件驱动的相位表将按滑差角频率旋转，且程序进入检查 f 和 U 是否越限程序段。如任一项或两项都越限，且整定时已选择了需要同步装置具备自动调压和自动调频功能，则装置将依据原整定的均压控制系数和均频控制系数按模糊控制算法进行调压和调频。如未选择自动调压和调频，则装置只显示压差及频差的越限提示符，而不进行调压和调频。如 f 及 U 均在允许范围内，程序下一步将检查断路器两侧是否同频（ $f \neq 0.05\text{Hz}$ ），如出现同频，装置将自动发出加速控制命令，使待并发电机加速，以破坏同频的僵持状态，促成同步条件的出现，因同频而引起的加速控制和选择自动调频无关。在 f 、 U 均满足要求后程序准备进入并网阶段，测量当前的相角差 ϕ ，如 ϕ 处在 0° - 180° 区间，则不存在并网机会，直到 ϕ 进入 180° - 0° 区间，就开始检查频差变化率 $\frac{d\Delta f}{dt}$ 是否越限，如未越限，程序进行理想导前角 ϕ_{dq} 的计算，并不断查看当前相角差 ϕ 是否与 ϕ_{dq} 一致，如出现 $\phi = \phi_{dq}$ ，即 $\phi - \phi_{dq} = 0$ 时，可发出合闸命令，确保在 $\phi = 0^\circ$ 时断路器主触头闭合。如 $\phi \neq 0$ 则进行合闸时机的预测，当预测的时刻到来即发出命令实行并网。这样就能确保能捕捉到第一次出现的合闸机会，使并网速度达到极值。发出合闸脉冲后，装置将进行合闸回路的动作时间的计算，并显示。

从软件流程中可以后看出设计SID-2V型自动准同步装置主要解决如下问题：

(1) 确保在相角差 $\phi=0^\circ$ 时并网。支持这一目的的措施是：精确掌握发电机组在并网前的运动规律；精确掌握断路器合闸回路的合闸时间。

(2) 确保捕获第一次出现的 $\phi=0^\circ$ 时机。支持这一目的的措施是利用理想合闸角的预测算法，使计算机的离散计算方式能获取连续运算的结果。

(3) 快速、平稳的均压及均频控制。支持这一目的的措施是使用模糊控制理论以偏差的绝对值及变化率为变量，进行高速运算获取适应被控对象工况的控制量。

(4) 高可靠性。支持这一目的的措施是软件的多重闭锁和硬件超常的冗余设计。

五、SID-2V同期装置的二次接线

表9-1为SID-2V型同步装置的端子接线表，给出装置各对外引线的端子号。

图9-9为SID-2V型自动准同步装置用于发电厂的一个典型的同步二次接线图，分为交流回路和操作控制回路两部分，现分述如下：

1. 交流回路

交流回路主要是并列点断路器的TV二次电压输入回路，两个电压可以有公共端（JK3-5与JK3-6联通），也可没有。图中的SSA开关可以是手动同步开关，也可以是

表 9-1 SID-2V 型同步装置的端子接线表

外接信号	接线号	信号形式	外接信号	接线号	信号形式
系统 TV B 相	JK3-6		1F 同步开关	JK4-1	
系统 TV A 相	JK3-4		2F 同步开关	JK4-2	
发电机 TV 或 B 相	JK3-5		3F 同步开关	JK4-3	
发电机 TV A 相	JK3-3		4F 同步开关	JK4-4	
待并机短路辅助触点	JK3-1		5F 同步开关	JK4-5	
待并机断路辅助触点	JK3-2		6F 同步开关	JK4-6	
合闸控制	JK2-1		7F 同步开关	JK4-7	
合闸控制	JK2-12		8F 同步开关	JK4-8	

加速控制	JK2-2		9F 同步开关	JK4-9	
减速控制	JK2-3		10F 同步开关	JK4-10	
均频控制公共	JK2-13		11F 同步开关	JK4-11	
升压控制	JK2-5		12F 同步开关	JK4-12	
降压控制	JK2-4		13F 同步开关	JK4-13	
均压控制公共	JK2-14		14F 同步开关	JK4-14	
报警	JK2-10		15F 同步开关	JK4-15	
报警	JK2-17		远方复位	JK4-16	
失电	JK2-11		+5V 公共端	JK4-17	
失电	JK2-19		工作电源	JK1-2	+ 或 ~
直流工作电源负极	JK3-7		工作电源	JK1-3	- 或 ~

由上位计算机控制的继电器组，如同步装置为多个并列点共用，则同步开关或继电器组的数量等于并列点数量，编号为SSA1、SSA2、...、SSA15。

2. 操作控制回路

操作控制回路可分供电回路、输出控制回路、并列点选择回路、断路器辅助触点输入回路、信号回路、上位机远方复位控制回路。现分述如下：

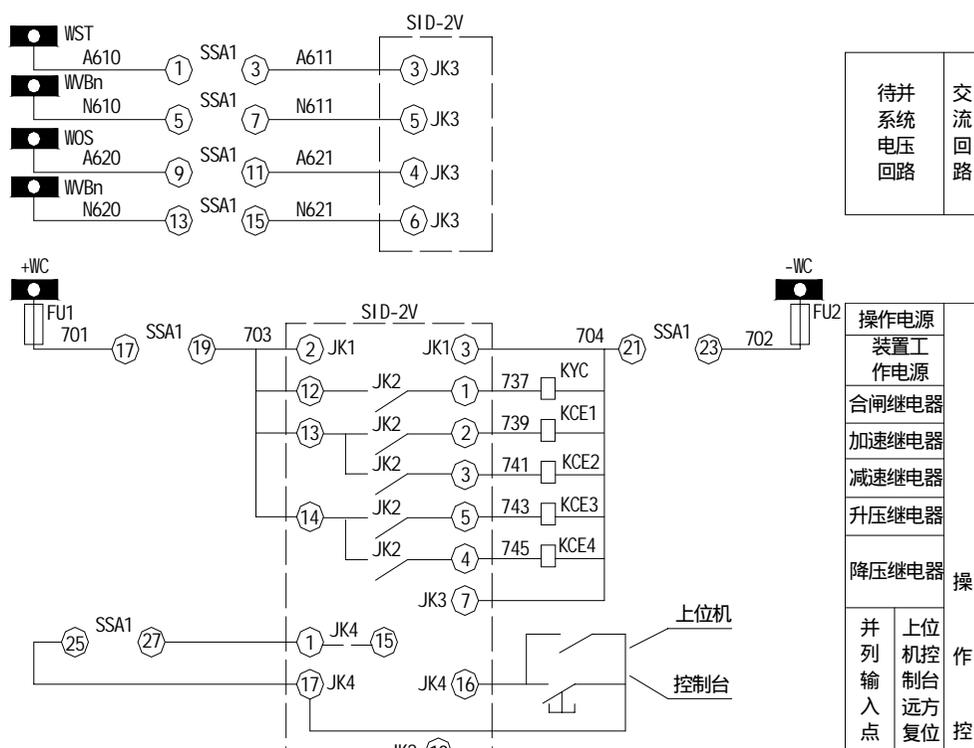


图9-9 SID-2V型自动准同步装置二次接线图

(1) 供电回路。装置可使用直流电源或交流电源供电,图9-9示例为直流电源供电。当用直流电源供电时要求JK1-2接正极,原因是装置内有为外接电磁中间继电器线圈用的续流二极管,要求JK1-3(或JK3-7)接负极性。如装置使用交流电源,且外接中间继电器也是交流的则不需续流二极管,也就没有极性要求,但在选用装置时需加以说明。同步装置一般采用不工作时不带电方式,需要进行自动并网时通过合上SSA同步开关,同步装置即带电,并立即执行程序。如采用经常带电方式,则启动装置工作应通过在面板上按一下“复位”按钮,或在远方由上位机经JK4-16和JK4-17进行远方复位操作,同步装置即投入工作,直至完成并网操作,此时装置一直停留在显示断路器实测合闸时间状态。

应该特别指出,不论同步装置是由“带电”启动或是由“复位”启动,都必须在TV二电压及并列点选择信号都已给上,且与“带电”或“复位”同时给上时同步装置才能正常工作。因此,在设计时务必做到“上电”或“复位”操作不能早于其它信号施加到同步装置上。

(2) 输出控制回路。同步装置是以小型中间继电器作为对外控制的接口,主要进行加速、减速、升压、降压、合闸等控制。小型中间继电器输出的是常开空触点,触点容量为220VAC,5A或者220VDC,0.5A,如触点容量许可直接驱动被控对象,则无需外接大容量电磁中间继电器。一般老式调速器和励磁调节器是通过驱动电动机进行均频、均压控制的,因此有外接中间继电器的必要。如图9-9中的KYC、KCE1、KCE2、KCE3、

KCE4，而微型调速器和励磁调节器则仅仅靠一对空触点的开、闭时间长短进行控制，这种情况就不需要外接中间继电器，可由同步装置直接驱动调速器和励磁调节器。但一般断路器合闸回路的驱动电流较大，因此，须外接大容量中间电磁继电器，或使用MOS固态继电器。

(3) 并列点选择回路及断路器辅助触点回路。由于SID-2V型同步装置可供多达15个并列点进行自动并网用，因此在选择多机共用一台同步装置时就存在并列点的选择问题。这种选择是通过同步小母线来实现的，在同步小母线接上了同步装置的输入TV二次电压信号、均频控制信号、均压控制信号、合闸控制信号，还有装置电源。各个并列点都有一个与之对应的同步开关SSA（或由上位机控制的继电器组），用来在该并列点实施并网操作时，将相应的TV二次电压、均频控制信号、均压控制信号、合闸控制信号及电源送上同步小母线，同时将并列点选择信号、断路器辅助触点信号直接送到同步装置的JK4-1（或JK4-2至JK4-15中的一个）、JK4-17及JK3-1、JK3-2。各并列点的同步开关SSA或继电器组在硬件及软件设计上确保在同一时刻只可能有一个接通，保证了同步装置在某时段服务对象的唯一性。不难看出，同步装置此时是分时服务的，而且同步接线设计复杂，切换触点很多。因此，这种集中同步方式只适用于小型发电厂，且机组数量不多的场合。

对于中、大型发电厂逐步在进行分布式控制系统（DCS）改造，或设计时就采用了DCS模式，根据DCS的权力下放、物理分散设计原则，采用每一同期点均设置自动准同步装置的分散同步方式，同步装置就成为每台发电机的专用智能终端。此时同步装置的并列点选择信号可固定连接，例如1号机的同步装置将JK4-1和JK4-17接通，2号机的同步装置将JK4-2和JK4-17接通，依次类推。同样其他信号诸如辅助触点、输出控制信号等都可以接死，需要并网操作时只需将TV二次电压送上，及同步装置上电即可。并网结束后断开工作电源及TV二次电压，TV二次电压不宜经常施加在装置上。

断路器辅助触点是作为测量断路器合闸时间用的，由同步装置的JK3-1的JK3-2端子输入。在使用集中同步方式时需要通过各并列点的同步开关将其辅助触点接入到同步装置去，如使用一台发电机专用一台同步装置时则可将辅助触点固定接到JK3-1和JK3-2上，这种测量合闸时间的方法因断路器主触头和辅助触点的不同步会带来测量误差，在SID-2C型自动准同步装置中则使用算法进行测量，彻底解决了测量精度问题。

(4) 信号回路。信号回路由报警继电器和失电继电器组成，它们分别由同步装置的JK2-10、JK2-17及JK2-11、JK2-19两个空触点输出。在装置软件或硬件出现故障或不正常情况时，除在装置面板上显示器有相应的提示外，都会引起报警继电器启动，以触发中央信号，同时切断同

步装置的合闸回路。当装置发出报警时就进入报警死循环程序，只有进行复位操作后装置才可能重新起动，如故障仍未消除，装置再次进入报警死循环程序，这是为避免在装置故障时引起误并网。

如果同步装置的其他信号都已施加到装置的相应端子上，而工作电源突然中断，此时失电继电器发出失电信号。同步装置在断电不工作时，应将失电信号输出回路切断，否则会持续报警。

(5) 上位机远方复位控制回路。其功能有二，一是在同步装置发出报警后，重新复位一次，检验装置是发生永久性故障，或是受短暂突发性干扰所致。另一功能是在同步装置按长期带电方式工作时，由上位机通过一个按键型开关量对装置进行复位，启动装置投入工作。复位信号由JK4-16、JK4-17输入，信号形式是常开触点短暂闭合1-2s后释放。

需要指出，采用分布式计算机监控系统（DCS）的发电厂，往往采用一个同期点设一套微机自动准同期装置（同期板），同步装置成为DCS的一个智能终端接入网络总线，由DCS发出指令完成开机并网的全过程。

第十章 水轮发电机组自动控制接线

水力机组自动控制及其接线,与机组的型式、辅助设备的设置以及机组的运行方式有

密切的关系。当前,计算机监控系统是水电厂综合自动化的发展方向,水力机组自动控制装置成为监控系统的智能终端。但是,了解由“有形”设备组成的常规控制系统,是掌握计算机控制的基础,现以机组自动化程度较完善的立轴机组为例,选择比较典型的水力机组常规自动控制接线进行介绍。图 10-2 ~ 图 10-7 所示为水力机组自动控制接线图,为便于叙述和读图,在控制接线图的每个回路后(即图的右侧)加上回路号

第一节 水轮发电机组开机操作

一、开机条件

水轮发电机组在开机前应具备下列条件:

(1) 发电机断路器在跳闸位置,断路器常开辅助触头 QF 在断开位置(见图 10-3 回路 28 所示),断路器位置重复继电器 1KC 的常闭触点在闭合位置(见图 10-2 回路 3 所示)。

(2) 发电机制动闸内无压力,制动闸在落下位置,制动闸位置开关 1SRV ~ 4SRV 在闭合位置(见图 10-3 回路 34 所示),制动闸位置重复继电器 3KC 的常开触点在闭合位置(见图 10-2 回路 3 所示)。

(3) 水轮发电机组无事故,机组事故停机继电器 1KOU 未动作,开机回路中的常闭触点 1KOU 闭合(见图 10-2 回路 3 所示)。

(4) 水轮机进水阀已打开,进水阀全开位置重复继电器 11KC 的常开触点闭合,(见图 10-2 开机准备回路 3 虚线框内触点)。

当上述开机准备条件具备后,机组开机准备灯(白色信号灯)HW 点亮(见图 10-2 回路

2 所示)。允许机组运行人员进行开机操作。

机组开机程序如图 10-1 所示。

二、机组开机操作

在中控室将机组开停机控制开关 1SAC 扳向开机方向,其触头 1、2 接通(见图 10-2 回路 5 所示),或在机旁屏上将机组开机按钮 SBST 按下,SBST

常开触头闭合(见图 10-2 回路 4 所示) ,发出开机命令 机组开机继电器 1KST、2KST 动作并自保持(见图 10-2 回路 3、4 所示),完成以下操作 :

1KST 常开触点闭合,使 1YV 电磁阀线圈通电,开启冷却水投入电磁阀 1YV(见图 10-2

回路 15 所示),投入机组冷却水,同时示流信号器 1SF 常开触点闭合(见图 10-2 回路 17);由于此时开机继电器 1KST 的常开触点已闭合,行程开关常闭位置触头 1SP 和 2SP 闭合,接通开度限制开启控制回路,电动机 1M 正转,将开度限制开至空载开度,行程开关位置触头 1SP 断开,切断开度限制开启回路电动机 1M 的电源,使电动机 1M 停转(见图 10-2 回路 17 所示);由于开机继电器 1KST 常开触点闭合,而行程开关常闭位置触头 4SP、7SP 处于闭合状态,接通功率(频率)给定增加控制回路电动机 2M 的电源,电动机 2M 正转,将功率给定调至空载位置后,由行程开关常闭位置触头 7SP 断开,切断功率给定增加回路

电动机 2M 的电源,使电动机 2M 停机(见图 10-2 回路 23 所示);开机继电器 1KST 常开触

点闭合,使开停机监视时间继电器 2KT 线圈通电而起动(见图 10-3 回路 37 所示)。

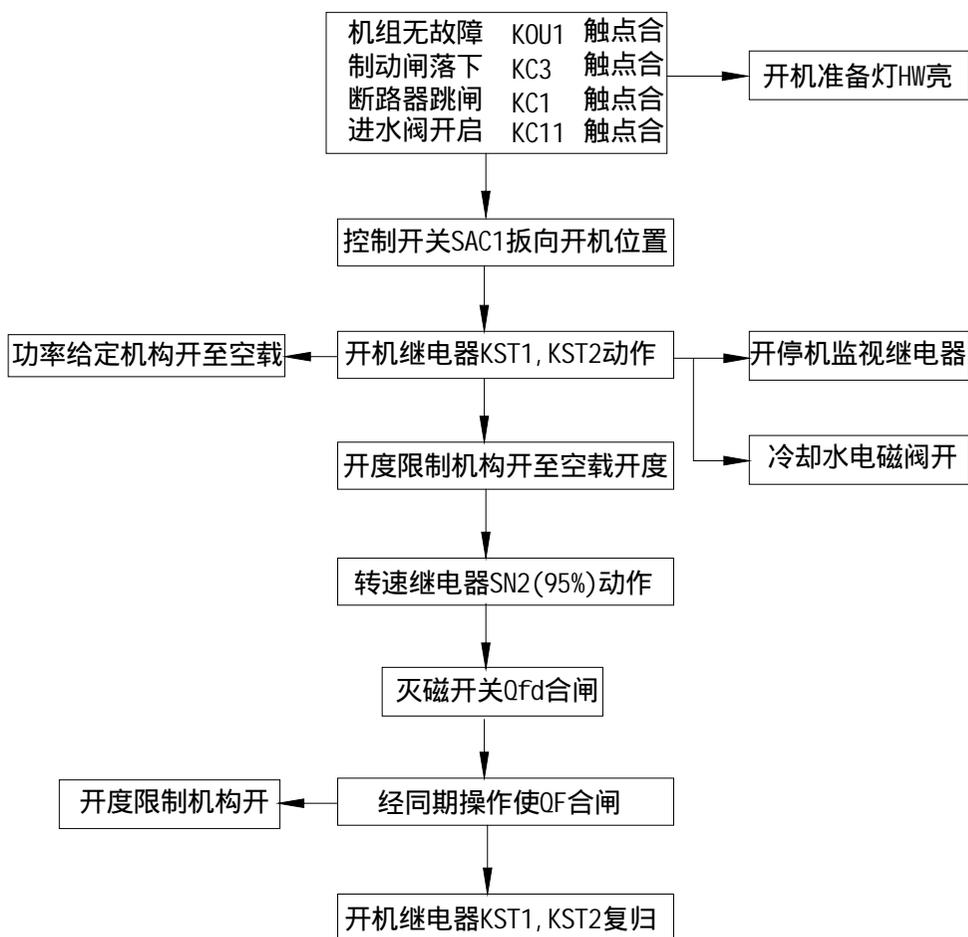
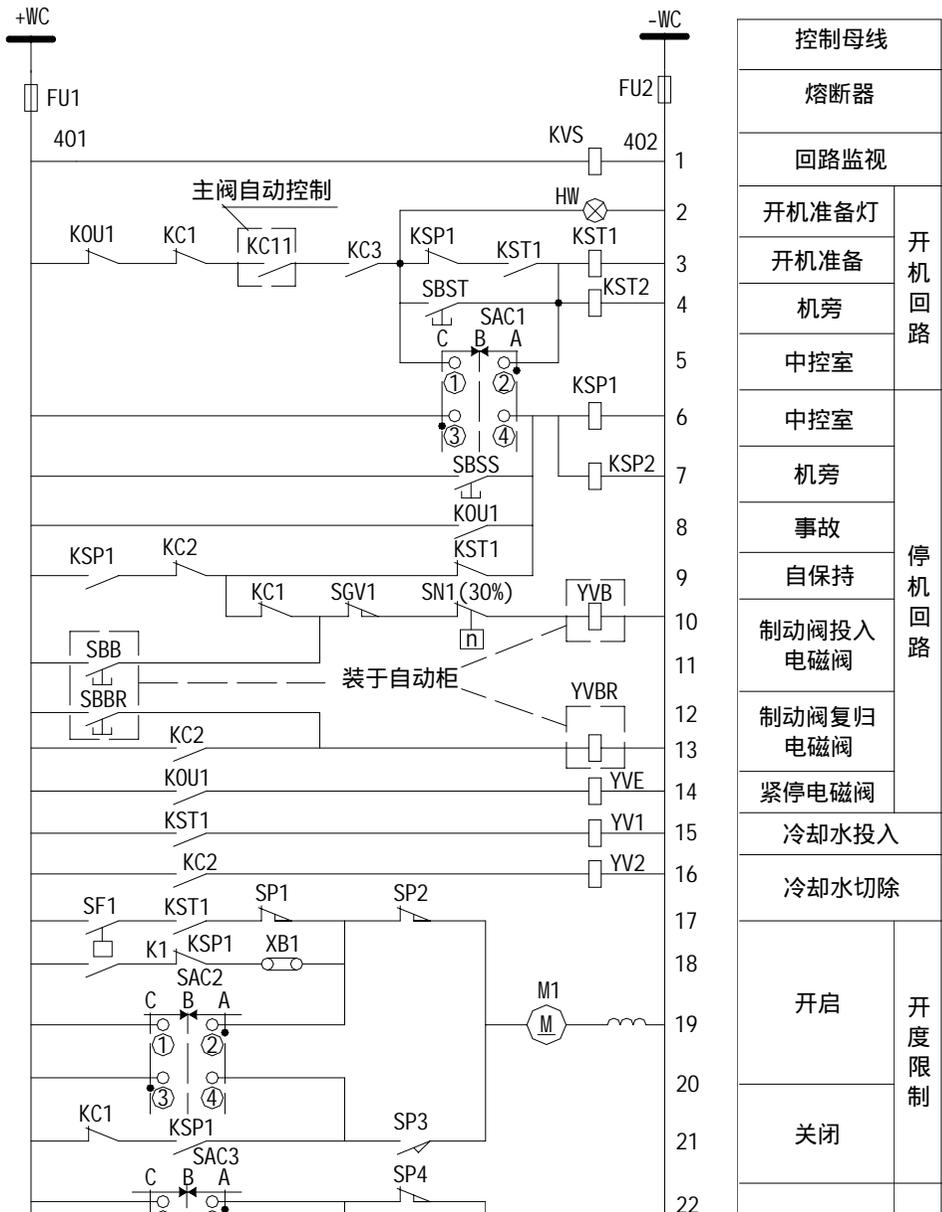


图 10-1 机组开机程序图

在水轮机导叶打开后,机组起动,转速增加,当机组转速达到 95%N_n(额定转速)时,转速继电器 2SN 触点闭合,发出合闸脉冲将灭磁开关 Q_{fd} 合闸,使发电机激励建压。然后将同期开关手柄插入同期开关 SAS 并扳到投入位置,此时同期开关 SAS 的触头 — 接通(见图 10-2 回路 24 所示),接通自动准同期装置的增、减速回路,根据机组转速的高低,自动准同期装置发出机组增速或减速命令,自



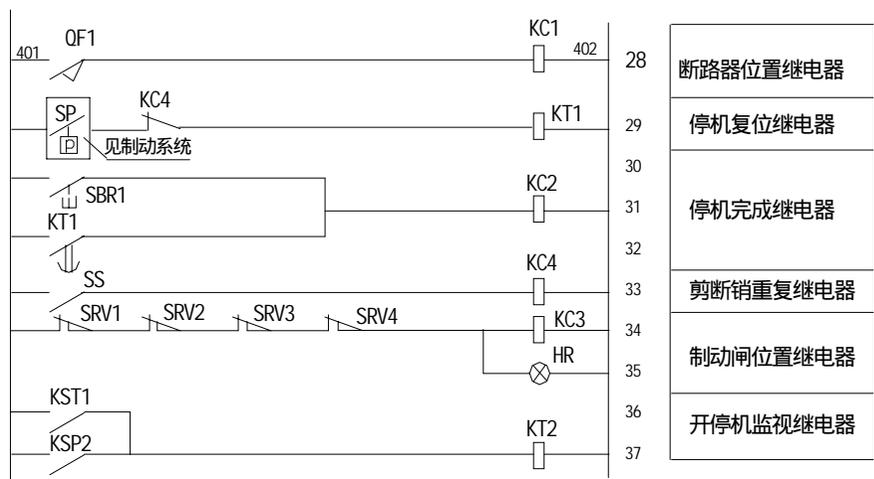
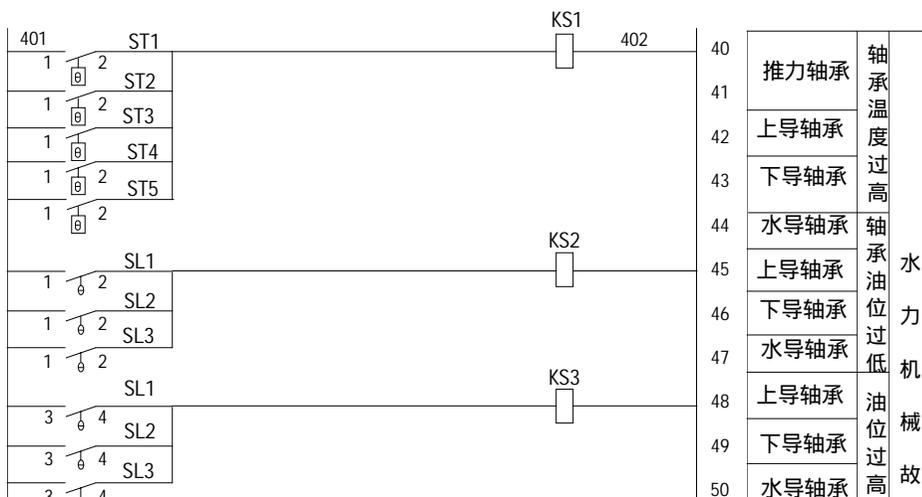


图10-3 水力机组自动控制接线（2）



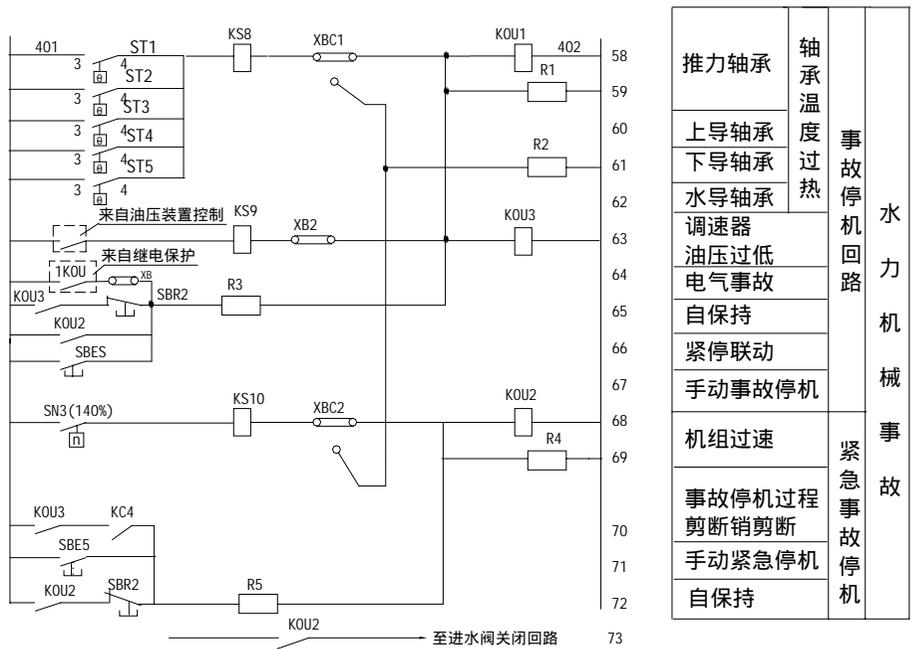
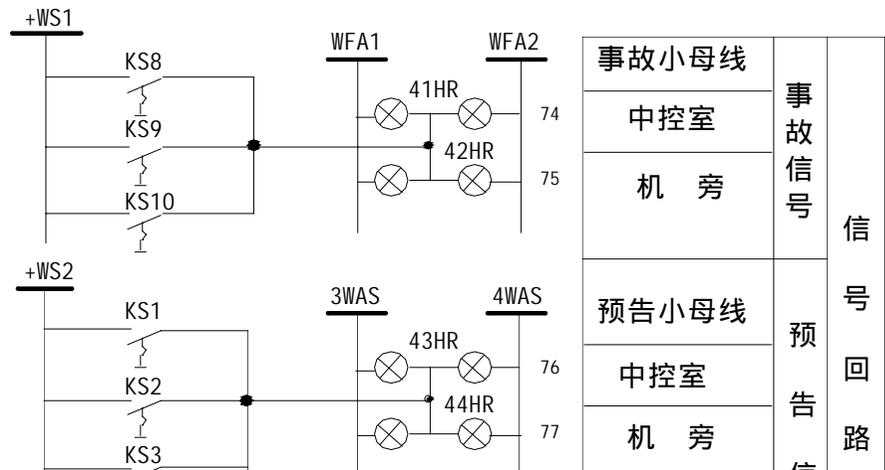


图10-5 水力机组自动控制接线（4）



控制开关SAC1 SAC2和SAC3

位置	端子的互连接			
	1	2	3	4
A	X	X		
B				
C			X	X

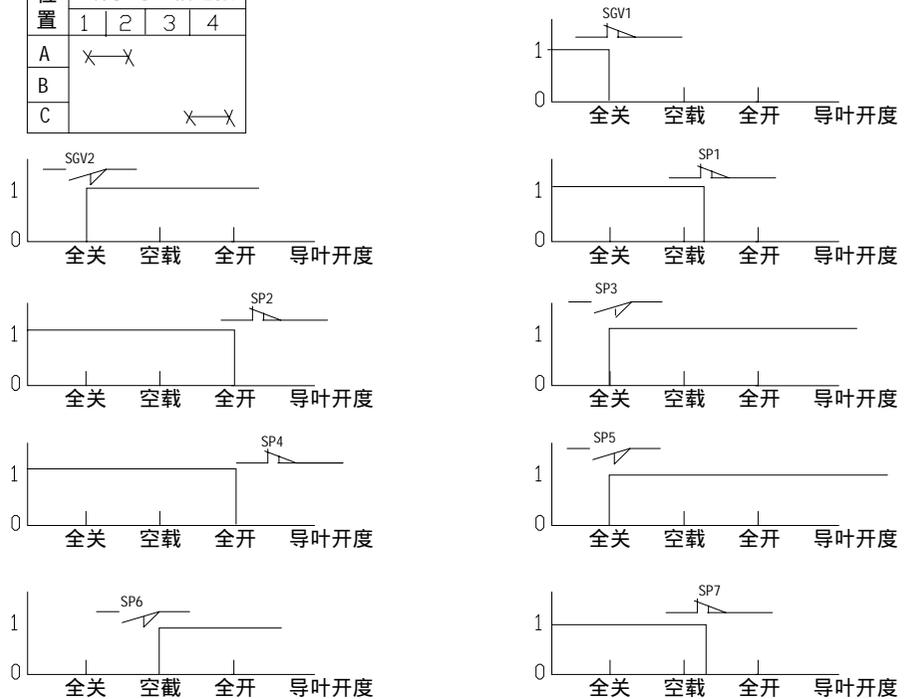


图10-7 开关及导叶位置触头图

断路器 QF 合闸。断路器合闸后，断路器的常开辅助触头 QF 闭合(见图 10-3 回路 28 所示)，

断路器位置重复继电器 1KC 通电动作，1KC 常开触点闭合(见图 10-2 回路 18 所示)，接通开度限制开启回路，将开度限制开至全开位置后，由行程开

关常闭位置触头 2SP 断开开度限制开启回路(见图 10-2 回路 18 所示)。同时,断路器位置重复继电器 1KC 的常闭触点断开(见图 10-2 回路 3 所示),使机组开机继电器 1KST、2KST 复归(见图 10-2 回路 3、4 所示)。并使开停机监视时间继电器 2KT 线圈回路中的机组开机继电器 1KST 的常开触点断开,使时间继电器 2KT 断电复归(见图 10-3 回路 37 所示)。

在开机过程中,若机组未能在开停机监视时间继电器 2KT 整定的延时间内完成开机

(见图 10-3 回路 37 所示),机组开机继电器没有复归,时间继电器 2KT 延时闭合的常开触点闭合,使信号继电器 6KS 动作(见图 10-4 回路 56 所示),发出机组开停机未完成信号。

机组并网后,可以操作控制开关 3SAC 来增减机组负荷(见图 10-2 回路 22、26 所示)。

第二节 机组停机操作

一、机组正常停机操作

机组正常停机程序如图 10-8 所示。

在中控室将机组开停机控制开关 1SAC 扳向停机方向,其触头 — 接通(见图 10-2 回路 6 所示),或在机旁屏上将机组开机按钮 SBSS 按下,SBSS 常开触头闭合(见图 10-2

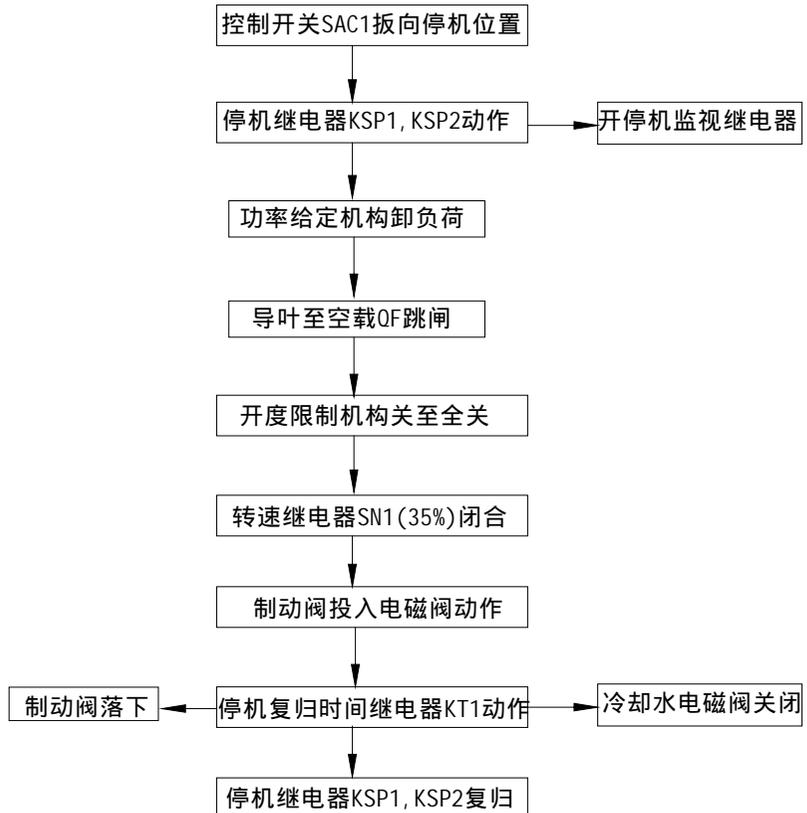


图 10-8 机组正常停机程序图

回路 7)，发出停机命令，机组停机继电器 1KSP、2KSP 动作并自保持(见图 10-2 回路 6、7、9 所示)。

机组停机继电器 1KSP、2KSP 动作后，2KSP 常开触点闭合，接通功率(频率)给定减少回路，电动机 2M 反转(见图 10-2 回路 27 所示)，使机组卸负荷至空载开度时，由行程开关位置触头 6SP 断开，切断功率(频率)给定减少回路；起动开停机监视时间继电器 2KT(见图 10-3 回路 37)；并由导叶空载位置触头接通使发电机断路器跳闸。

发电机断路器跳闸后，断路器的常开辅助触点 QF 断开(见图 10-3 回路 28 所示)，使断路器位置重复继电器 1KC 复归，1KC 常闭触点和机组停机继电器 1KSP 的常开触点接通开度限制关闭回路(见图 10-2 回路 21 所示)，使电动机 1M 反转，把开度限制关闭到全关位置，由行程开关位置触头 3SP 断开，切断开度限制关闭回路；开度限制关至全关，使水轮机导叶也随之关至全关位置，导叶位置触头 1SGV 闭合(见图 10-2 回路 10 所示)，当水轮发电机组转速下降至 35% 额定转速(可整定)时，转速继电器 1SN 的触点闭合，接通制动闸投入电磁阀 YVB 回路(见图 10-2 回路 10 所示)，使机组加闸制动。

当制动闸投入电磁阀 YVB 动作后，制动闸中通入压缩空气使制动闸顶起，压力信号器 SP 的常开触点闭合(见图 10-3 回路 29 所示)，接通停机复归时间继电器 1KT 经过延时后 时间继电器 1KT 的常开触点闭合(见图 10-3 回路 32 所示)，使停机完成继电器 2KC 动作：2KC 的一对常闭触点断开，切断机组停机继电器自保持回路(见图 10-2 回路 9 所示)，使机组停机继电器 1KSP、2KSP 复归；2KC 的一对常开触点闭合，使制动闸复归电磁阀 YVBR 动作(见图 10-2 回路 13 所示)，排除制动闸中的压缩空气，制动解除；2KC 的另一对常开触点闭合，接通冷却水切除电磁阀 2YV 回路(见图 10-2 回路 16 所示)，将冷却水切除。制动闸落下后，压力信号器 SP 的常开触点断开(见图 10-3 回路 29 所示)，切断停机复归时间继电器 1KT 回路，时间继电器的常开触点断开(见图 10-3 回路 32 所示)，使停机完成继电器 2KC 复归；2KC 复归后，其一副常开触点 2KC 断开，切断制动闸复归电磁阀 YVBR 回路(见图 10-2 回路 13 所示)，另一副常开触点 2KC 断开，切断冷却水切除电磁阀 2YV 回路(见图 10-2 回路 16 所示)。

在机组停机过程中，当开停机监视时间继电器 2KT 到达整定的时间(见图 10-2 回路 37 所示)，机组还未能完成停机，机组停机继电器 2KSP 没有复归，时间继电

器 2KT 的常开触点闭合,使信号继电器 6KS 动作(见图 10-3 回路 56 所示),发出机组开停机未完成信号。

二、机组事故停机

当水轮发电机组出现事故时,将使事故停机继电器 1KOU、3KOU 动作(见图 10-5 回路 58、63 所示)。3KOU 动作后,其常开触点闭合(见图 10-2 回路 8 所示),接通机组停机继电器 1KSP、2KSP,使动作于机组停机;事故停机继电器 1KOU 动作后,其常开触点闭合,接通调速器紧急停机电磁阀 YVE(见图 10-2 回路 14 所示),使水轮机导叶迅速关闭至全关位置,不经过先卸负荷后停机的程序,以加快机组停机的速度,避免机组事故扩大。

三、机组紧急事故停机

当机组超速达到 $140\%N_n$ (额定转速)时,转速信号器 3SN 的常开触点闭合(见图 10-5 回路 68 所示),使紧急事故停机继电器 2KOU 动作,2KOU 有三对常开触点:一对自保持(见图 10-5 回路 72 所示);另一对使事故停机继电器 1KOU、3KOU 动作停机(见图 10-5 回路 58、63 所示)再一对使进水阀关闭(见图 10-5 回路 73 所示)。当机组事故停机过程中,导叶剪断销剪断,剪断销信号器 SS 的常开触点闭合(见图 10-3 回路 33 所示),使剪断销重复继电器 4KC 动作,4KC 常开触点闭合(见图 10-5 回路 70 所示),使紧急事故停机继电器 2KOU 动作(见图 10-5 回路 68 所示),紧急停机并关闭进水阀。当机组出现重大事故而水力机械保护不动作关机时,可按下手动紧急停机按钮 2SBE,使 KOU2 动作紧急停机(见图 10-5 回路 71 所示)。

第三节 水力机械保护

水轮发电机组的水力机械保护分为三类: 作用于机组故障信号的保护; 作用于机组事故停机的保护; 作用于机组紧急事故停机的保护。

一、作用于机组事故停机的保护

作用于机组事故停机的保护有:

1. 轴承温度过热

水轮发电机组的轴承有推力轴承、上导轴承、下导轴承、水导轴承等,在机组运行过程中,若轴承温度超过 65°C (有的机组定为 70°C),温度信号器 1ST ~ 5ST 中的一个或几个常开触点闭合,使事故停机继电器 1KOU 动作(见图 10-5 回路 58 ~ 62 所示),作用于机组事故停机,防止烧毁轴承的轴瓦。

2. 调速器油压过低

当调速器出现油压过低情况时,调速器对水轮机导叶就会失去控制,机组必须立即事故停机。调速器油压过低,调速器油泵控制回路中的继电器常开触点闭合,

使事故停机继电器 1KOU、3KOU 动作(见图 10-5 回路 63 所示), 作用于机组事故停机。

3. 电气事故

电气事故有两种情况。一种是机组内部事故, 这时差动保护动作, 继电器保护出口继电器 1KOU 的常开触点闭合(见图 8-8 的 1KOU 回路), 除跳开出口断路器和灭磁开关外, 还使机组停机继电器 1KOU 动作(见图 10-5 回路 64 所示), 作用于机组事故停机; 另一种是机组外部事故, 这时过电流保护或过电压保护等动作, 为了使事故后机组能更快重新投入系统, 保护只跳断路器和灭磁开关(见图 8-8 的 2KOU 回路), 机组只卸负荷至空载而不停机。

4. 水润滑水导轴承润滑水中断

有的机组的水轮机导轴承采用水润滑, 在轴承润滑水中断时, 示流信号器起动作, 投入备用水, 若经过一定时间, 轴承润滑水仍没有, 则作用于机组事故停机(同中未画出)。

当水力机械出现事故时, 机组事故停机继电器 1KOU、3KOU 的触点作用于开度限制机构减少回路和紧急停机电磁阀 YVE 回路, 加快停机过程。当导叶关至空载开度时, 联动跳发电机出口断路器, 以防止机组在事故停机过程中甩负荷引起机组超速。

在机组事故停机过程中, 也使得相应的信号继电器 8KS、9KS、10KS 动作掉牌(见图 10-5 回路 58、63 所示), 作用于发出事故音响和点亮光字牌 1HR、2HR(见图 10-6 回路 74、75 所示), 并指出事故性质和事故原因。

作用于机组紧急停机的保护已在上一节介绍。

二、作用于机组故障信号的保护

1. 机组轴承温度过高

在机组运行过程中, 若轴承温度超过 60°C(有的机组定为 65°C), 温度信号器 1ST ~

5ST 中的一个或几个常开触点闭合, 起动信号继电器 1KS(见图 10-4 回路 40 ~ 44 所示), 作用于发出故障音响和点亮光字牌 3HR、4HR(见图 10-6 回路 76、77 所示), 并指出故障性质和故障原因。

2. 轴承油位过高或过低

水轮发电机组的轴承油位过高或过低时, 油位信号器 1SL、2SL、3SL 中的一个或几个常开触点闭合, 起动信号继电器 2KS 或 3KS(见图 10-3 回路 45 ~ 50 所示), 作用于发出故障音响和光字信号, 并指出故障性质和故障原因。

3. 冷却水中断

机组运行过程中, 机组轴承或发电机空气冷却器中的冷却水中断, 示流

信号器 1SF ~

4SF 中的一个或几个常开触点闭合, 起动信号继电器 4KS(见图 10-4 回路 51 ~ 54 所示), 作用于发出故障音响和光字信号, 并指出故障性质和故障原因。

4. 调速器油压偏低

调速器油压偏低, 调速器油泵控制回路中的继电器的常开触点闭合, 给机组控制回路发出调速器油压过低信号, 起动信号继电器 5KS(见图 10-4 回路 55 所示), 作用于发出故障音响和光字信号, 并指出故障性质和故障原因。

5. 机组开停机未完成

在机组开停机过程中, 经过一定的时间延时, 机组未完成开停机, 机组开停机监视时

间继电器 2KT 的常开触点闭合, 起动信号继电器 6KS(见图 10-4 回路 56 所示), 作用于发

出故障音响和光字信号, 并指出故障性质和故障原因。

6. 剪断销剪断

在机组正常运行过程中, 若导叶剪断销剪断, 剪断销信号器 SS 的常开触点闭合(见图

10-3 回路 33), 剪断销重复继电器 4KC 动作, 常开触点闭合, 起动信号继电器 7KS(见图 10-4 回路 57 所示), 作用于发出故障音响和光字信号, 并指出故障性质和故障原因。

7. 水润滑水导轴承备用润滑油投入

有的机组的水轮机导轴承采用水润滑, 在轴承润滑油中断时, 示流信号器起动投入备

用水, 当备用水投入后, 须发出故障音响和光字信号, 并指出故障性质和故障原因。

上面阐述的水力机组自动控制系统是较典型的控制系统, 对于不同的水轮发电机组和

不同的附属设备, 其自动控制系统接线会有某些变化。如水轮发电机组为卧轴机组, 自动控制系统就较为简单; 再如调速器若采用电气液压调速器或微机调速器, 则在自动控制接线上也有所不同。

这里只介绍了水力机械的自动控制接线。在水电厂中, 还有机组辅助设备和全厂公用设备的自动控制系统。如压缩空气系统自动控制、油压系统自动控制、供水系统自动控制、进水阀自动控制、闸门自动控制等等。只要掌握了机组自动控制接线, 这些自动控制系统接线就不难掌握, 需要时读者可参考有关的资料。

第四节 可编程序控制器在水电厂的应用

在水电厂中，机组及其辅助设备的自动控制基本上是一种顺序逻辑控制，使用可编程序控制器是非常合适的，正在逐步得到推广应用。

一、可编程序控制器的功能和特点

可编程序控制器简称为 PLC。PLC 是可编程序控制器的缩写，即 Programmable Controller，为了与个人计算机 PC 区分，人为的增加了 L，即

Logical。1982 年国际电工委员会(IEC)在颁布可编程序控制器标准草案中所用的定义是：可编程序控制器是一种专为在工业环境下应用与设计的数字运算操作的电子系统。它采用一种可编程序的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。

1. PLC 的特点

(1) 通用性好，功能强。在自动控制领域中，传统的控制器，无论是采用电磁继电器或者电子电路，都是一种硬接线的控制器，一旦制造出来，其性能和操作就固定下来。可编程序控制器采用了计算机控制技术中突出软件控制的思路。在其一定的硬件支持下，实现微型化和智能化，功能更强大，控制更灵活。

(2) 环境适应性好，抗干扰能力强，可靠性高。工业生产一般要求控制设备具有很强的抗干扰能力，能在恶劣环境下可靠地工作。平均无故障间隔时间长和修复时间短。PLC 内部处理过程不依赖于机械触点，软件上还有故障诊断和处理功能，平均无故障工作时间高达 10 万小时以上。这对于存在雷电干扰、电磁干扰、电场干扰、操作过电压干扰等复杂电磁环境的发电厂尤为适合。

(3) PLC 采用面向生产过程的“梯形图”语言编程方法。这种电气控制直观易懂，与人们习惯的电磁控制接线图十分相似。且使用灵活，当调整控制方案时，只须改变用户程序即可，而且编程简单，易于掌握。

(4) PLC 的接口简单，使用、维护方便。PLC 的接口电路一般为模块式，输出接口有较强的带负载能力，一般可以直接驱动执行部件的线圈。输入、输出接口都可直接与现场强电相接。当控制端口不够用时，还可增加只含有输入输出的扩展箱来扩充点数。

(5) 性能较强的 PLC 还具有定时、计数、步进、数据处理等功能，以及 A/D、D/A 转换功能以完成对模拟量的控制和调节。

2. PLC 的主要功能

PLC 的种类较多，功能也不尽相同。但一般都具有下列基本功能。

- (1) 能对开关量实现顺序控制，而且顺序扫描速度很快。
- (2) 能实现多路定时、计数和移位控制。
- (3) 具有数据处理、算术运算、模拟量控制、高速计数及通信联网等功能。

(4) 具有断电记忆功能和故障自诊断功能。

(5) 编程显示采用梯形图，有的 PLC 机可采用软件在计算机上离线编程，并在计算机上进行模拟调试。对于一些大型、高档的 PLC，还具有如中断控制，过程控制等复杂的高级功能，即具有一定的计算机控制系统的功能。

3. PLC 的编程

在 PLC 的编程中，梯形图和指令语句表联合使用是最常用的方法。图 10-9 (a)、(b)表示了电器控制电路、PLC 的梯形图以及两者的对照关系。

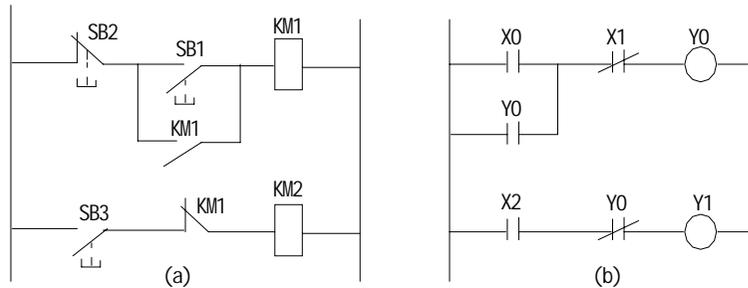


图 10-9 电器控制电路与 PLC 梯形图对照

(a) 电器控制电路 ; (b) PLC 梯形图

图 10-9(b)所示的梯形图除了在接点排列的顺序上稍有不同外，与图 10-9(a)所示的电器控制图基本相同，而且它们的操作控制功能也是相同的，所不同的只是接点和线圈的表示符号不同而已。

图 10-9(b)中的各符号所代表的意义是：



图 10-9(a)所示的电器控制电路的控制过程是：当按下常开按钮 SB1 时，接触器线圈

KM1 通电动作，KM1 的常开触点闭合使接触器 KM1 自保持，其常闭触点断开，使 KM2 线圈不会得电。按下停止按钮 SB2 时，线圈 KM1 断电，KM1 的常开触点断开，自保持作用消失，而 KM1 的常闭触点闭合，为 KM2 线圈通电作准备。当按下常开按钮 SB3 时，线圈 KM2 通电，为断续控制作准备。在 KM2 断续控制期间，若按下 SB1，则 KM1 线圈通电并自保持。这时 KM1 常闭触点断开，KM2 线圈立即断电。

图 10-9(b)所示的 PC 的控制过程是：当 PC 的输入接点 X0 接通时，则

输出继电器的线圈 Y0 通电,并且 Y0 接点自保持。同时,Y0 的常闭接点断开,互锁输出继电器线圈 Y0 不通电。当 PLC 内的输入接点 X1 断开时,输出继电器线圈 Y0 断电,Y0 的自保持作用去掉,Y0 常闭接点接通,为 Y1 线圈通电作准备。当 PLC 内的输入接点 X2 闭合时,输出继电器线圈 Y1 通电。若这时输入接点 X0 闭合,输出继电器线圈 Y0 通电并自保持。由于 Y0 的常闭触点被断开,则输出继电器线圈 Y1 立即断电。可见图 10-9(a)、(b)两者的控制功能是相同的。

PLC 的指令系统和编程方法读者可参阅有关资料。

二、PLC 在水电厂的应用

随着计算机在工业控制领域的不断应用,PLC 被公认为是真正的工业控制计算机,20 世纪 90 年代末期水电厂开始进行无人值班少人值守的设计要求,同时也掀起了常规大中水电厂的自动化改造热潮。PLC 在水电厂的应用也日渐广泛,已经由初期的用于逻辑控制场合代替继电器控制盘而进入到包括过程控制、位置控制等场合的所有控制领域。是一种集逻辑过程控制、数据采集、图形工作站等功能;既经济合算、又小巧玲珑、设计调试方便等诸多优点于一身。已经成为新电站设计和已有电站常规控制改造中得到越来越广泛的应用。

1. 顺序控制

PLC 的顺序控制应用主要体现在对水轮发电机组的自动控制上。如上所述,传统的水轮发电机组的自动控制是用中间继电器和时间继电器等硬件构成的,控制系统比较复杂,维护检修不便,需要改动很困难。而 PLC 具有逻辑功能强,控制灵活方便,可靠性高的特点,特别适合取代传统的继电器控制方式。PLC 还可以与水电厂的计算机监控系统通讯,只要上位机给一个开机或停机命令,PLC 就可以根据指令逐条结算,按照预先设计好的梯形图把要做的工作一项一项自动做完。而且完全按照顺序,不会落项更不会丢项直至达到机组运行要求。顺序控制不仅涉及开关量信号,还存在一些模拟量信号参与控制。同时具有水机保护功能,即温度、压力、液位等机械保护信号进行处理,当越限时进行报警或自动停机。采用 PLC 进行流程控制体现了自动化程度及高可靠性。

从接线上来说,采用 PLC 的水轮发电机组自动控制接线,只要将上述采用常规控制的水轮发电机组自动控制接线的继电器线圈和触点改为相应的梯形图语言即可。

2. 逻辑控制

PLC 还广泛的应用于机组辅助设备和全厂公用设备逻辑控制,如全厂的压油泵、水泵、气泵等电机控制。原常规水电厂这部分控制从设计上均由各种继电器形成逻辑判断回路并分散安装于各自现地,逻辑继电器量大,动作频繁的电机逻辑继电器的维护量特别大,且经常出现接点粘连等情况,有些盘柜现地环境较差维护更不方便,故障率高。采用 PLC 改造后,一个 PLC

C 代替了构成逻辑判断的几屏继电器, 仅从现地接来压力、液位等信号即可, 其它工作如起动停止, 主备用轮换及检修设置等所有工作都由 P L C 通过事先编好的逻辑梯形图来实现。辅机电机少的还可集中在一柜控制, 不但减少继电器又节约空间, 机组多的也可分散控制。逻辑控制还可应用于其它单一设备的分合操作如阀门、闸门、高压开关等的控制。

3. 数据采集

P L C 具有丰富的模拟量模块, 可接受传感器传来的 4-20mA 或 0-5 V 模拟量, 同时具有 R T D 等温度模块, 可直接将 P T 100 或 C u 50 热电阻接入, 监控部分重要温度量, 全厂各处所需监视的电气或非电气模拟量如: 水位、油位、压力等均可通过 P L C 进行采集并送到计算机处理。

4. P I D 算法控制

P I D 算法控制属于 P L C 的高级应用。主要用于发电机组调速器及励磁调节器的控制, 采用模拟电路来实现 P I D 调节, 运行中容易出现电子元件的老化、漂移等不稳定因素, 即使采用一般单片微机构成的数字调速器和励磁调节器, 也存在抗干扰能力低、外围元件多等缺点, 降低了工作可靠性。采用 P L C 作为调节控制核心, 根据被控设备性能由开发人员设计出调节算法, 根据几个重要开关量点进行配合使用, 如: 机组出口开关位置接点或导叶空载开度位置接点等进行调用不同的 P I D 算法模块, 形成自动调节机组频率, 自动跟踪电网电压并能在甩负荷等异常情况下将机组频率或电压控制在允许范围内, 使机组恢复稳定状态。P L C 的这一功能的发掘并实现在很大程度上取代了原工控机的部分功能。电厂这方面的应用主要在调速器和励磁调节器, 使得机电合二为一。

第五节 调速器

一、调速器的作用和组成

调速器是水轮发电机组重要的控制部件, 它作用于水轮机的导水机构以调节进水量。频率是电能质量的重要指标, 当电力系统机组的输入功率与负载功率失去平衡时, 系统的频率就会偏移额定值。这时必须调节机组的出力, 以维持系统频率在允许范围内(一般偏差不超过 $\pm 0.2\text{Hz}$)。水轮发电机调节快速方便, 一般都由水电厂担任系统的调频调峰任务, 依靠调速器进行调节。此外, 机组的启动、停机、并网、加减负荷、成组调节、经济运行控制等等也都是调速器的功能。图 10-10 表示了调速器的组成框图。

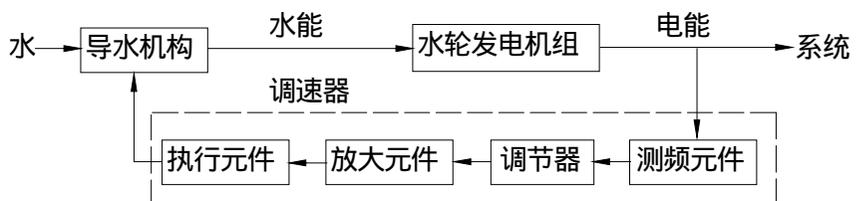


图 10-10 调速器的组成框图

1. 测频元件

调速器是根据机组的频率进行调节的,首先它必须准确测量机组的频率或转速,频率或转速信号可以取自永磁测速发电机、机端电压互感器(当发电机未建压时利用残压测频)、磁性传感器、光电传感器等。测频元件将频率信号与额定值进行比较,得到偏差信号送入调节器。

2. 调节器

调节器是调速器实现各种调节规律(PI、PID、自适应等)的核心部件,它直接影响调节系统的动态性能和静态性能。调节器将测频元件送来的频率偏差信号,采用一定的调节规律进行运算,然后输出调节信号。

3. 放大元件

水轮机调节的工质是大量的水流,需要很大的调节功率,必须采用外部能源进行放大。调速器的放大元件就是将调节信号进行液压放大。放大元件由主配压阀为核心组成。

4. 执行元件

执行元件直接推动水轮机的导水机构,采用液压放大作用的主接力器。

二、调速器的类型

各种类型调速器的机械液压部分是基本相同的,它们的主要区别在于采用不同的调节器。目前,调速器有以下几种类型:

1. 机械液压调速器

机械液压调速器的测速元件由机械式的菱形离心飞摆构成,当机组频率偏离给定值时,离心飞摆促使调速器进行调节。调节器则由一套机械杠杆传动系统构成。这种调速器在一些投产较早的中小电站仍在采用。

2. 电气液压调速器

电气液压调速器的特点是,测频元件和调节器都采用电子元件组成的模拟电路,如 LC 测频电路、综合放大电路、软硬反馈电路、给定电路、调差电路等。调节器输出的是电气信号,因比要通过电液转换器转换成相应的机械位移信号。

3. 微机调速器

微机调速器中的调节器以计算机为核心,它在其本硬件构成的基础上,调节器的功能是由软件来实现的。由于微机具有丰高的运算和逻辑判断功能和强大的记忆能力,使调速器不仅具有传统调速器的基本调节功能,还扩充了一些新的功能,如故障诊断和处理、事故追忆和记录、通信功能、试验功能等。因此,微机调速器已成为当今调速器发展的主流。微机调速器本身也随着计算机技术的发展而不断发展,最初是采用一些单片微机芯片,后来发

展到采用工控机或可编程序控制器。由于微机工作可靠性的提高,电气部分的故障率已较低,但是调速器中的电液转换器仍然是故障率较高的部件。为了提高调速器整体的可靠性和抗油污能力,近年来又采用了由电机(步进电机、伺服电机)构成的电气/位移机构的新型微机调速器,取消了电液转换器。

第六节 水电厂计算机监控系统简介

水电厂计算机监控系统是一个多功能的复杂的控制系统,这里只作简要的介绍。

一、水电厂计算机监控系统的发展

早在 70 年代,计算机已开始应用于水电厂,起先用于各项离线计算和工况的监测,后来,逐渐进入到控制领域。它经历了一段从低级到高级,从顺序控制到闭环调节控制,从局部控制到全厂控制,从电能生产领域扩展到水情测报、水工建筑物的监控、航运管理控制等各个方面,从监控到实现经济运行,从个别电厂监控到整个梯级和流域监控的发展过程。出现了一批用微机构成的调速器、励磁调节器、同步并列装置、继电保护装置。多媒体技术应用使电厂中控室的设计发生了巨大的变化。巨大的模拟显示屏正在逐渐被计算机显示器所代替;常规操作盘基本上已被计算机监控系统的值班员控制台所取代;运行人员的操作已从过去的扭把手、按开关转为计算机键盘和鼠标操作。运行人员的工作性质也发生了质的变化,从过去的日常监盘和频繁操作转变为巡视,经常的监测和调节控制都由计算机系统去完成。运行人员的劳动强度大大减轻,人数也大大减少,甚至出现了无人值班或“无人值班”,(少人值守)的电厂。国内新建的大中型水电厂已基本采用计算机监控系统,一些小型水电厂也有应用,原来已有的采用常规控制的水电厂也在逐步进行改造。采用计算机监控已成了水电厂自动化的发展方向。

二、水电厂实现计算机监控的目的

1. 提高安全运行水平

安全运行是水电厂最重要的任务。为保证水电厂的安全运行,必须对水电厂的运行工

况和设备进行经常的严密监测。水电厂需要经常监测的信息量与水电厂容量和机组台数有关,大型水电厂的信息量可以多达数千甚至数万。如葛洲坝水电厂约有 2027 个模拟量、3132 个开关量和 134 个脉冲量。因人的反应能力有限,靠人工监视不能及时发现视问题,结果可能导致事故的发生。计算机能迅速采集和处理大量信息,弥补了人的能力局限性,因而能迅速发现异常以便及时采取措施,防止事故的发生,大大提高了水电厂安全运行的水平。

2. 提高经济效益

水电厂实现自动发电控制以后,可以使水电厂经常处于优化工况下运

行,达到多发电、少耗水的目的。梯级水电厂实现全梯级优化运行后,可以进一步节约宝贵的水电资源,提高经济效益。我国一些水电厂运行实践表明,平均效益约为1%。具体效益的大小随水电厂的类型而异,具有调节性能强的水库和负荷曲线变化大的水电厂的经济效益尤为显著。梯级水电厂实现经济运行后的效益更大,可达百分之几。

3. 减少运行值班人员

水电厂采用计算机监控以后,监测和操作大多由计算机系统进行,运行值班人员只是在旁进行监视以及进行少量的键盘和鼠标操作,工作量大大减少,劳动强度大大减弱。因

此,可以大大减少运行值班人员,有的水电厂甚至可以实现无人值班。主厂房一般可不设

人值班,中控室只留一、两人值班。大型水电厂完全没有人值班在现阶段还是不合适的。

控制后,每次值班只需1人。我国沙田水电厂,总容量54MW,原来职工总数为300人,

实现计算机控制后,减为40人,其中运行人员不到20人。运行值班人员减少后,相应的生活建筑和社会文化设施也可减少,从而大大节约投

三、全开放分层分布式计算机监控系统

水电厂计算机监控系统经历了一个演变过程。从模式上看,由以常规控制装置为主,计算机为辅,到计算机监控为主,常规控制装置为辅,再到取消常规控制设备的全计算机监控系统。从结构类型看,由集中式计算机监控系统,到功能分散式系统,再到全开放的分层分布式系统。现对目前水电厂最通用的全开放的分层分布式计算机监控系统作一介绍。

1. 开放系统的特点

全开放的计算机系统有几个特点:

(1) 应用软件的可移植性:更换计算机平台时,应用软件可移植到新的计算机平台上;

(2) 同系统之间的相互操作性:在多个厂家的计算机组成的网络中,用户可以共享硬件、软件、信息等各种网络资源;

(3) 模块接口标准化:应用软件接口,用户操作接口,网络通信接口的标准化。

2. 分层控制

(1) 驱动层:监视与控制机组的各种驱动,如油泵、水泵、阀、高低压开关等;

(2) 功能组控制层:介于机组控制层和驱动层之间的自动控制子系统,实现某一特定的功能,如调速器、励磁装置、同期并列、制动停机等;

(3) 机组控制层(现地控制单元LCU):按被控对象设置,如每台机组、

公用设备、开关站、闸门等。机组的 LCU 具有数据采集和处理、开停机控制、同期控制、转速和有功功率的调节、电压及无功功率的调节等功能，并与上一个控制层进行信息交换；

(4) 电厂控制层：是控制系统的最高层，用于控制全厂的运行。如对各 LCU 发出有关开停或运行方式转换命令；调节机组的有功功率和无功功率；采集和处理各 LCU 的实时数据；与调度进行通信，发送有关信息和接受上一级的指令等等。

现地控制单元与电站控制级之间的信息交换采用星形网络或总线网络结构。

3. 主要功能

(1) 数据采集：模拟量、数字量（开关量）、脉冲量、非电量等；

(2) 数据处理和实时报警：模拟量数据处理，状态数据处理，事件顺序记录，参数趋势分析，事故追忆处理，历史数据处理等；

(3) 生产过程的控制：机组的开停，线路的停送电，变压器的投切，辅助设备的投

等。操作方法可由电站级计算机远方发出命令或由 LCU 现地发令。

(4) 负荷调节：按给定值进行机组有功功率和无功率的调节；

(5) 制表打印与记录：运行日志、操作记录、事故和故障记录、越限记录、报表打印等；

(6) 人机联系：包括电站级工作站的 CRT、鼠标、键盘、打印机和 LCU 的 CRT、键盘。可以下达操作控制命令；对各种画面、报表、曲线等的显示；参数设置和修改；报警显示处理等；

(6) 自动发电控制 (AGC)：在满足各项限制条件的前提下，以迅速、经济的方式控制整个电站的有功功率来满足系统的需要；

(7) 自动电压控制 (AVC)：控制发电机励磁和有载调压变压器分接头，使高压母线电压不超过容许值，并使机组间的无功合理分配；

(8) 通信功能：与上级调度部门通信，与梯级调度中心通信，与综合自动化其它子系统通信；

(9) 在线自诊断和自恢复；

(10) 仿真与培训。

以上只是可能实现的功能，具体需要的功能要根据容量、台数、重要性而定。

四、水电厂计算机监控系统的实施

对于新建的水电厂，计算机监控系统的实施应该一步到位。而对于已投产采用常规控制的水电厂进行改造要注意以下几点：

(1) 做好规划：实施水电厂自动化既要积极，又要慎重稳妥。要根据电厂的实际情况和条件做好深入的可行性分析和规划，认真选定系统的结构和功能，要注意监控系统的实用性、简单性、可扩性、阶段性。

(2) 基础自动化设备的更新改造：基础自动化设备的可靠性和稳定性是实现计算机监控系统的基础和先决条件，主要有：

调速器更换为具有通信功能的微型调速器；

励磁装置更换为具有通信功能的自并励微机励磁装置；

温度、压力、液位、流量、转速变送器或传感器的更换；

油、风、水系统的改造。

根据情况也可以先进行基础自动化设备的更新改造，再上计算机监控系统。

(3) 原有常规控制系统的考虑：必要时近期可保留，以便在安装调试和计算机监控系统试运行期间保证电厂正常发电。

第十一章 电气测量接线

在发电厂变电所中,为了监视和掌握电气设备运行情况,需要有大量的测量表计,其中大多数是电工仪表。本章论述电气测量有关问题。

第一节 电工仪表的分类、标志和型号

一、电工仪表分类

电工仪表种类很多,按所用测量方法用途及结构特性等,常可分以下几类。

1. 指示仪表

这类仪表的特点是把被测的量转换为仪表可动部分的机械偏转角,然后通过指示器(指针)直接在标尺刻度上示出被测的量的大小,为此又称为电气机械式或直读式仪表。

指示仪表应用极广,规格品种繁多,通常分类的方法有:

(1) 按仪表的工作原理分。有磁电系仪表、电磁系仪表、电动系和铁磁电动系仪表、感应系仪表、整流系仪表与静电系仪表等。

(2) 按被测量名称分。有电流表、电压表、功率表、电能表、功率因数表、电阻表

(表)、绝缘电阻表(兆欧表)以及多种测量用途的万用表等。

(3) 按被测电流的种类分。有直流表、交流表及交直流两用表等。

(4) 按使用方法分。有安装式和可携式两种。安装式仪表是固定安装在开关板或电气

设备的面板上使用的仪表,广泛用于发电厂、变电所的运行监视和测量,但准确度较低。可携式仪表是可以携带和移动的仪表,广泛应用于电气试验、精密测量及仪表检定中,准确度较高;通常在0.5级以上。

(5) 按使用条件分。有A、B、C三组。A组仪表宜在较温暖的室内使用;B组可在不温暖的室内使用;C组可在不固定地区的室内和室外使用。具体工作条件可从有关标准或规程中查得。

(6) 按准确度等级分。国产电工仪表可分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0七级。

2. 比较仪器

比较仪器用于比较法测量,即将被测件的量与标准量比较后确定被测件量的大小,包

括直流比较仪器和交流比较仪器两种。

直流比较仪器有直流电桥、电位差计以及标准电阻等；交流比较仪器有交流电桥、标准电感和标准电容等。

3. 数字仪表和巡回检测装置

数字仪表是一种以逻辑控制实现自动测量、并以数码形式直接显示测量结果的仪表，如数字频率表、数字电压表等。数字仪表加上遥测控制系统构成巡回检测装置，可以实现对多种对象的远距离测量。这类仪表在近年来得到了迅速的发展和应

4. 记录仪表

将被测量(电量或将非电量转换成电量)转换成位移量，经指示机构自动记录下信号随时间变化情况的仪表称为记录仪表。记录方式有笔录式和打点式。发电厂中常用的自动记录电压表、频率表以及自动记录功率表都属于这类仪表。

当被测量变化很快、来不及笔录时，常用示波器观测。

5. 扩大量程装置和变换器

用以实现同一电量的变换，并能扩大仪表量程的装置称为扩大量程装置，如分流器、附加电阻、电流互感器、电压互感器等。用以实现不同电量之间的变换，或将非电量转换为电量的装置称为变换器。在各种非电量的电测量和变换器式仪表中，变换器都是必不可少的。

6. 积算仪表

反映一段时间内电能量累积值的表计，如记录功率对时间的积算值的有功与无功电能

表(电度表)。积算值一般以数字显示。

二、电工仪表的标志

为便于选择和使用电工仪表，通常把技术特性用不同的符号标示在仪表的刻度盘和面

板上，称做仪表的标志。根据国家标准，每个仪表应有测量对象的单位、准确度等级、电

流种类和相数、工作原理系别、使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压的大小、仪

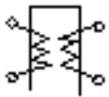
表型号以及各种额定值的标志。有关标志的各种符号见表 11-1 所示。

表 11-1 电工测量仪表的标志

1. 测量单位符号					
名称	符号	名称	符号	名称	符号
千安	kA	瓦特	W	毫欧	m

安培	A	兆伏安	MVA	微欧	μ
毫安	mA	千伏安	kVA	相位角	φ
微安	μ A	伏安	VA	功率因数	$\cos \varphi$
千伏	kV	兆赫	MHz	无功功率因数	$\sin \varphi$
伏特	V	千赫	kHz	微法	μ F
毫伏	mV	赫兹	Hz	微微法	pF
微伏	μ V	兆欧	M	亨	H
兆伏	MV	千欧	k	毫亨	mH
千瓦	kW	欧姆		微亨	μ H

2. 仪表工作原理图形符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
磁电系仪表		电动系仪表		感应系仪表	
磁电系比率表		电动系比率表		静电系仪表	
电磁系仪表		铁磁电动系仪表		整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	
电磁系比率表		铁磁电动系比率表		整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	

3. 电流种类符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号
直流		交流(单相)	~	直流和交流		具有单元件的三相平衡负载交流	3~

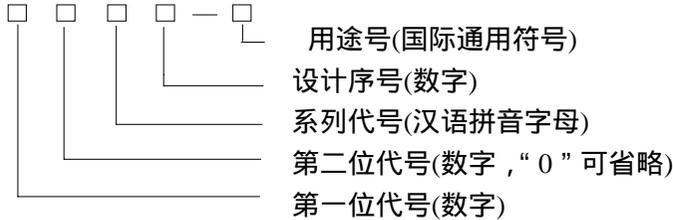
4. 准确度等级符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
以标度尺量限百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级	1.5	以标度尺长度百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级		以指示值百分数表示的准确度等级, 例如 1.5 级	

三、电工仪表型号

电工仪表产品型号按规定的标准编制。对安装式和可携式指示仪表的型号各有不同的编制规则。

安装式仪表型号的基本编制规则如下：



图内第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编号；第二位代号按仪表外壳形状尺寸特征编号。系列代号表示仪表的不同系列，如磁电系用 C，电磁系用 T，电动系用 D，感应系用 G，整流系用 L，静电系用 Q 表示等。例如：44C2 — A 型直流电流表，“44”为第一、二位代号，按此代号可从有关标准中查出仪表的外形和尺寸；“C”表示磁电系仪表，“2”为设计序号，“A”表示用以测量电流，即安培表。

可携式仪表的第一位代号为组别号，表示仪表的不同系列，以下部分序号的组成形式和安装式仪表相同。例如，T19 — V 型交流电压表，“T”表示电磁系；“19”为设计序号；“V”表示用以测量电压，即伏特表。

除了指示类仪表外，其他各类仪表的型号，还应在组别号前面再加一个类别号，也以汉语拼音字母表示，如电能表用 D，电桥用 Q，数字电表用 P 等。这些仪表的组别号所代表的意义也和指示仪表不同。

第二节 电流和电压的测量

一、电流测量

测量电流用的仪表，称为电流表。为测量电路中的电流，电流表必须串联接入被测电

路。如图 11-1(a)所示，图(a)电路只适用于低电压小电流电路的电流测量。为使电流表的接入不影响电路的原始状态，电流表本身的内阻抗要尽量小，或者说与负载阻抗相比要足够小。测量直流电流时必须注意极性，使仪表的极性与电路极性相一致，让电流从“+”端流入，“-”端流出。如果极性接反，指针会反偏，严重时会将指针打弯。测量交流电流时，无极性要求，其读数为交流电流的有效值。

仪表的测量范围通常称为量程。仪表不能在超量程情况下工作，否则，会造成仪表的

烧毁或损坏。为保证测量准确度，又不致超量程，一般用指针指示满量程的 2/3 为宜。欲测量更大的电流，必须扩大仪表量程。



图 11-1 电流测量基本电路

(a) 直接串联接入；(b)与分流器并联后串联接入；(c)串联接入电流互感器二次侧

直流电流表通常采用分流器扩大量程。分流器实际上是一个和电流表并联的低值电阻，用 R_w 表示，如图 11-1(b)所示。使电流表中只通过和被测量电流成一定比例的较小电流，让大部分电流从分流器通过，以达到扩大电流表量程的目的。发电机的励磁电流一般都是接入分流器进行测量，分流器二次端头的额定电压为 75mv。

交流电流表扩大量程的方法，通常采用电流互感器，如图 11-1(c)所示。将电流互感器 TA 一次侧线圈串联接入被测电路，将电流表串联接入 TA 二次侧。由于电流互感器二次侧额定电流一般都为 5A（也有用 1A 的），故与电流互感器配套的电流表，其量程也均为 5A，其表面的刻度均以电流互感器的一次电流标定，因此，可直接读出被测电流的大小。

使用钳形电流表，可在不断开电路的情况下，测量电路电流。

电流表按量程不同，分为安培表、毫安表、微安表等。

二、电压测量

用以测量电压的仪表称为电压表。电压表应跨接在被测电压的两端，即和被测电压的电路或负载并联，如图 11-2(a)所示。

为不影响电路的工作状态，电压表本身的内阻抗要很大，或者说与负载的阻抗相比要

足够大，以免由于电压表的接入而使被测电路的电压发生变化，形成不能允许的误差。

串联一个高阻值的附加电阻 R_a ，以及在交流电路中采用电压互感器 TV，都可以使较高的被测电压，按一定比例变换成电压表所能承受的较低电压，从而扩大电压表的量程如图 11-2 (b) (c)所示。

图 11-2 (a) 中，电压表直接并联接入被测电路，适用于交直流低压电路的电压测量。电压表读数即为被测电路两点间的电压大小。测量直流电压时，同样必须注意极性，应使

电压表“+”端接被测电路的高电位端，“-”端接被测电路的低电位端。测量交流电压时，

无极性要求，其读数为交流电压的有效值。同时，还应注意仪表量程必须与

被测量相适应，不能在超量程情况下工作。

图 5—28 (b) 所示电路用于直流电压的测量，电压表与分压器（即附加电阻 R_a ）串联后再并联接入被测电路。这时若电压表的读数为 C ，且 $C = U/n$ ，则：

$$U = nC$$

式中 U ——被测电路两点间电压；

n ——分压比。

分压器的阻值为：

$$R_a = R_v (n-1)$$

式中 R_v ——电压表的内阻。

图 11-2 (c) 所示电路，适用于交流高压电路的电压测量。若电压表读数为 C ，且

$$C = U/K_{TV}，则：$$

$$U = K_{TV}C$$

式中 U ——被测电路两点间电压；

K_{TV} ——电压互感器的变压比。

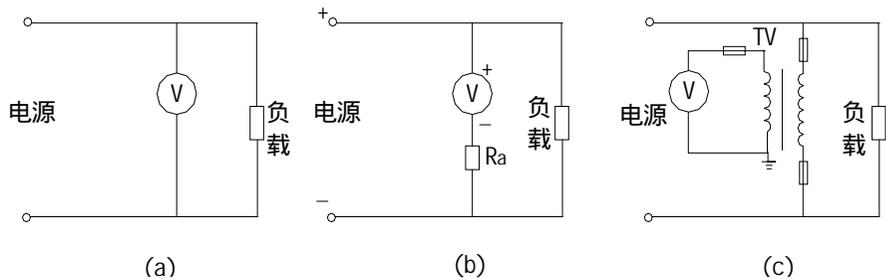


图 11-2 电压测量基本电路

(a) 电压表直接并联接入；(b) 直流电压表经附加电阻接入；(c) 交流电压表通过电压互感器接入

由于电压互感器二次侧额定电压都为 100V，故与电压互感器配套的电压表量程均为 100V，电压表的表面刻度时以电压互感器的一次电压标定，测量时可以直接读出被测电压的大小。

按电压表量程的不同，有仟伏表、伏特表、毫伏表等。

在电力系统中，三相电压的测量一般采用一只电压表而通过转换开关进行切换，但测量三相电流时一般采用三只电流表而不用转换开关，以防电流互感器开路。

三、仪表的选用

在直流电流和电压的测量中，由于磁电系机构具有准确、灵敏、功耗小和标尺均匀等

显著的优点，所以都采用磁电系仪表。磁电系电流表和电压表在接入电路时，

要注意端子的极性。

在交流电流和电压的测量中, 安装式仪表通常采用电磁系测量机构。至于交流可携式电流表和电压表, 目前主要采用电动系测量机构, 以适应精密测量的要求。

第三节 功率测量

用以测量电路功率的仪表称为功率表。按所测电路功率性质不同, 可分为有功功率表与无功功率表; 按电流性质不同, 可分为直流和交流两类; 按交流电路相数不同, 可分为单相和三相两种。

一、单相电路有功功率测量

测量单相电路有功功率的功率表接线原理图如图 11-3 所示。图 11-3(a) 为直接接入法, 功率表 PW 圆圈内的水平粗实线表示电流线圈, 垂直细实线表示电压线圈。功率表指针的偏转方向由两组线圈里电流的相位关系所决定。改变任一个线圈的电流流入方向, 表针都将向相反的方向偏转。为防止接线错误, 通常在仪表的引出端钮上将电流线圈与电压线圈指定接电源同一极的一端标有“*”或“+”等极性标志, 称为发电机端。正确的接线是将电流线圈标有极性标志的一端接至电源侧, 另一端接负载侧。电压线圈带有极性标志的一端与电流线圈带有极性标志的一端接于电源的同一极, 另一端则跨接到负载的另一端。

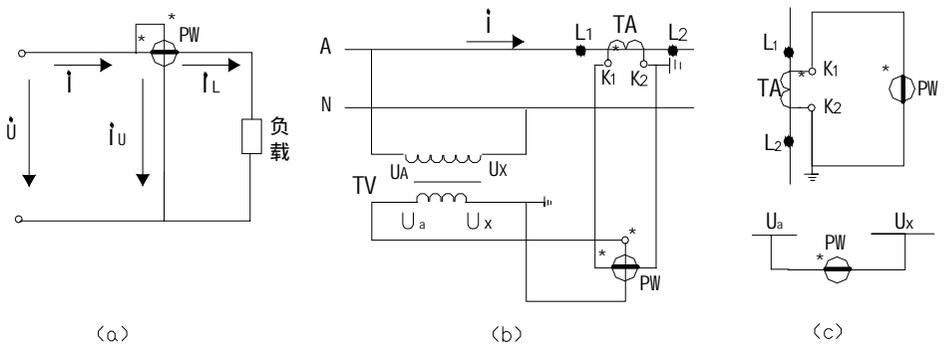


图 11-3 单相功率测量电路

(a) 直接接入; (b)、(c) 经互感器接入

图11-3(b)是电压线圈和电流线圈分别经电压互感器TV和电流互感器TA接入被测电路的集中式表示原理图，图11-3(c)则是展开式表示原理图。功率表经互感器接入时，必须正确地标出互感器的极性和功率表的极性。

二、三相电路有功功率测量

1. 三相四线制电路有功功率的测量。

图11-4所示为采用三只单相功率表测量三相四线制电路中的有功功率接线。

因为三相总功率为：

$$P = P_A + P_B + P_C$$

所以总功率为三只功率表PW1、PW2、PW3读数之和。

这种接线方式不管三相负载是否平衡，测量结果都是正确的。经互感器的接线

参考图11-3(b)。

在电力系统中，多采用三元件的三相四线制的功率表测量有功功率。

2. 三相三线制电路有功功率的测量。

三相三线制电路的有功功率可以用两只单相功率表进行测量。常见的接线如图11-5所示。由图可知，PW1功率表上的电流线圈串联在A相；电压线圈带星号的端钮也接于A相，另一端接B相。这样，PW1指示的有功功率为：

$$P_1 = \dot{U}_{AB} \dot{I}_A = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{I}_A$$

同理，PW2指示的有功功率为：

量三相四

$$P_2 = \dot{U}_{CB} \dot{I}_C = (\dot{U}_C - \dot{U}_B) \dot{I}_C$$

接线

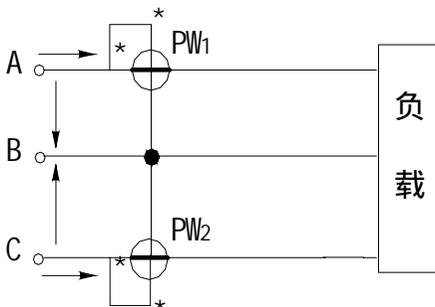


图11-5 三相三线制电路有功功率测量接线

11-5的矢量图

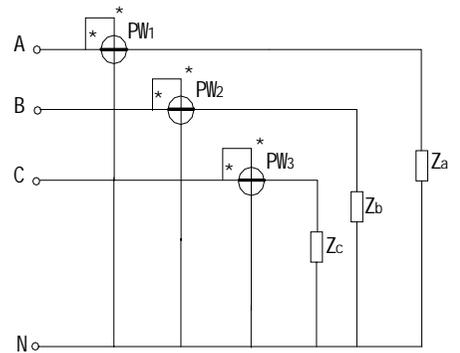


图11-4 三只功率表测

线制电路有功功率的

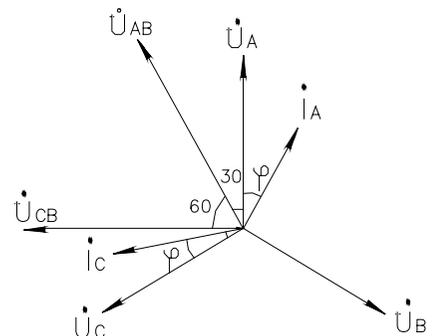


图11-6 图

$$P = P_1 + P_2 = \dot{U}_A \dot{I}_{A+} + \dot{U}_C \dot{I}_{C-} - \dot{U}_B (\dot{I}_{A+} + \dot{I}_{C-})$$

由于： $\dot{I}_{A+} + \dot{I}_{B+} + \dot{I}_{C-} = 0$ ，可得： $\dot{I}_{A+} + \dot{I}_{C-} = -\dot{I}_{B+}$

代入上式得：

$$P = P_1 + P_2 = \dot{U}_A \dot{I}_{A+} + \dot{U}_B \dot{I}_{B+} + \dot{U}_C \dot{I}_{C-}$$

以上说明，不管三相电压是否对称，三相负载是否平衡，以两只功率表按图 11-5 的方式接线所测得的有功功率为三相有功功率的总和（即电路的总有功功率为功率表 PW1 和 PW2 两表读数之和），这就是用两表法测量三相电路有功功率的原理。

实际上，功率表刻度盘上的读数是平均功率，而不是瞬时功率，其相量图如图 11-6 所示。

用两表法测量三相电路有功功率时，如果电路的功率因数角 $> 60^\circ$ ，则第一只功率表 PW1 的读数为负值，指针将向反方向偏转。如遇此情况，可将表计的电压（或电流）线圈中的一个反接，功率表的指针就向正向偏转。再将其读数记作负值即可。

应当指出，用两只单相功率表测量三相电路有功功率时，每只功率表 PW1（或 PW2）的读数并不代表任一相的有功功率。但两只功率表读数的代数和却代表三相电路的总有功功率。

实际上，测量三相电路有功功率时常采用三相功率表，按上述原理，将两只功率表组合起来，使其动圈在机械上连接在一起，带动同一个指针，用以直接指示三相功率，这是常见的三相两元件功率表。图 11-7 所示为 42L2-W、380/100V、5A 型仪表通过电流和电压互感器三相功率的接线。

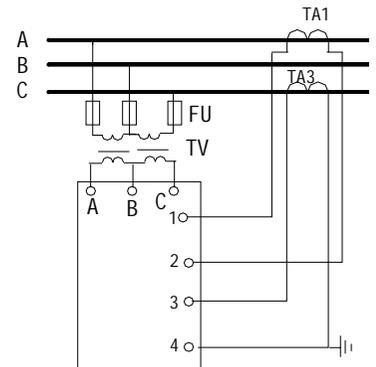


图 11-7 通过互感

三角形联结负载的电路可采用如图 11-8 所示的器时功率表的接入人工中性点办法进行三相电路有功功率的测量。即用两只与功率表内阻等值的电阻及功率表本身内阻分别接入三相，形成人工中性点 N。功率表 PW 读数的三倍即为三相电路总功率。

三、三相电路无功功率的测量

三相电路无功功率的测量是用有功功率表（或者说用测量有功功率的方法）来测量无功功率的。测量三相电路无功功率的方法很多。下面介绍两种常用接线时功率的测量的接线方式。

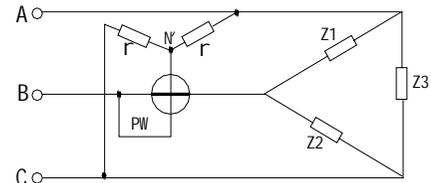


图 11-8 三角形负载

(1) 跨相 90° 的接线方式。如图 11-9(a)所示, 将 PW1 的电流线圈串联在 A 相, 电压线圈接于 U_{BC} 上; 将 PW2 的电流线圈串联在 B 相, 电压线圈接于 U_{CA} 上; 将 PW3 的电流线圈串联在 C 相, 电压接于 U_{AB} 上。三只单相功率表读数之和为 $\sqrt{3}$ 倍的三相无功功率。内部接线采用跨相 90° 的接线方式三相无功功率表(如 16D3-VAR), 表盘刻度时已考虑了必要的系数, 可直接读出被测三相电路的无功功率。

如果三相电压是对称的(负载可以不对称), 则三个线电压数值相等(标为 U_L), 相位互差 120° 。从图 11-(b)的矢量图可见, 接入三只单相功率表的电流和电压的夹角为 90° 减去 φ_A (φ_B 、 φ_C), 由此可得功率表的测值为:

$$\begin{aligned}
 P &= P_1 + P_2 + P_3 = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) + U_{CA} I_B \cos(90^\circ - \varphi_B) + U_{AB} I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) \\
 &= U_L I_A (\cos 90^\circ \cos \varphi_A + \sin 90^\circ \sin \varphi_A) + U_L I_B (\cos 90^\circ \cos \varphi_B + \sin 90^\circ \sin \varphi_B) \\
 &\quad + U_L I_C (\cos 90^\circ \cos \varphi_C + \sin 90^\circ \sin \varphi_C) \\
 &= U_L I_A \sin \varphi_A + U_L I_B \sin \varphi_B + U_L I_C \sin \varphi_C \\
 &= \sqrt{3} (Q_A + Q_B + Q_C) = \sqrt{3} Q
 \end{aligned}$$

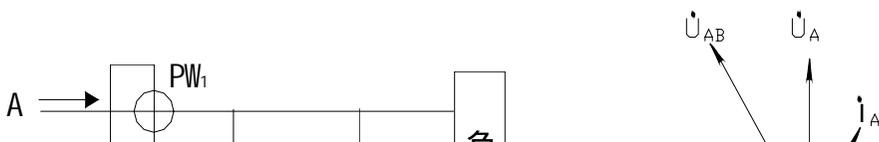
由此可见, 三只功率表读数之和除以 $\sqrt{3}$, 就是三相电路总的无功功率。

在三相电压和负载都对称的电路中, 可用两只单相功率表 PW1 和 PW2 测量三相电路无功功率时, 则有:

$$P_1 + P_2 = \frac{2}{3} \sqrt{3} Q \quad \text{故} \quad Q = \frac{\sqrt{3}}{2} (P_1 + P_2)$$

由以上公式可知, 只要将两只单相功率表按 90° 跨相接线原则, 接入任意两相中, 将

PW1 和 PW2 的读数之和再乘 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 后, 就是三相电路的总无功功率。同理,



也可以用一只单相功率表按 90° 跨相接入，读数乘以 $\sqrt{3}$ 即为三相电路的总无功功率。

图 11-9 用跨接 90° 接线测量三相无功功率
(a) 接线图 ; (b) 矢量图

所谓跨相 90° 接线方式，是指利用有功功率表进行无功功率测量时，应将其电流线圈分别接入 I_A 、 I_B 、 I_C 三相电流回路中，而电压线圈的两端则应接在比 U_A 、 U_B 、 U_C 相电压滞后 90° 的电压（即线电压 U_{BC} 、 U_{CA} 、 U_{AB} ）上。例如，将 PW_1 的电流线圈串联在 I_A 电流回路中，而电压线圈的两端接在比 U_A 滞后 90° 相位的 U_{BC} 上。

(2) 利用人工中性点接线方式。从跨相 90° 的接线方式测量三相无功功率的方法中可

知，如果能找到一个滞后于原来电压 90° 的相应电压，用这个电压代替原来测量有功功率时接入表计的电压，则所得的结果是

电路的总无功功率。因此，在图 11-6 的三相三线两元件有功功率测量接线的矢量图中，如能找到符合上述要求的电压去代替原来的 U_{AB} 和 U_{CB} ，就可以测得其三相无功功率。从图 11-9 (b) 的矢量图中可以看出， U_C 超前 U_{AB} 90°，则 $-U_C$ 正好滞后于 U_{AB} 90°，同理， U_A 正好滞后于 U_{CB} 90°。如果用 $-U_C$ 代替 U_{AB} ， U_A 代替 U_{CB} ，那么将会怎样呢？这里 U_A 、 U_C 是相电压无功功率的接线

，在 三相 三线制 电路中，没有 中性点，所以得 不到 相电压。若 选取 一个 附加 电阻 R_0 ，使其 电阻 值 正好 等于 每个 功率 表电

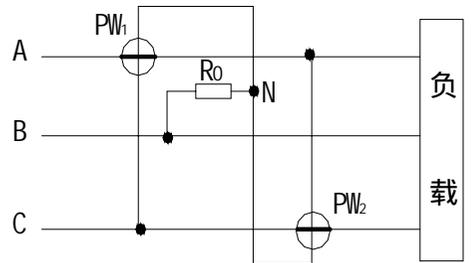


图 11-10 人工中性点测

压线圈的内阻，并将 R_0 与两只功率表的电压线圈接成如图 11-10 所示的星形接线，则就制造了一个人工中性点 N 。PW1 接人的电流为 I_A ，电压为 U_C ；PW 接人的电流为 I_C ，电压为 U_A 。国产 1D1 — VAR 型三相无功功率表内部接线中就是带人工中性点的。

第四节 电能测量

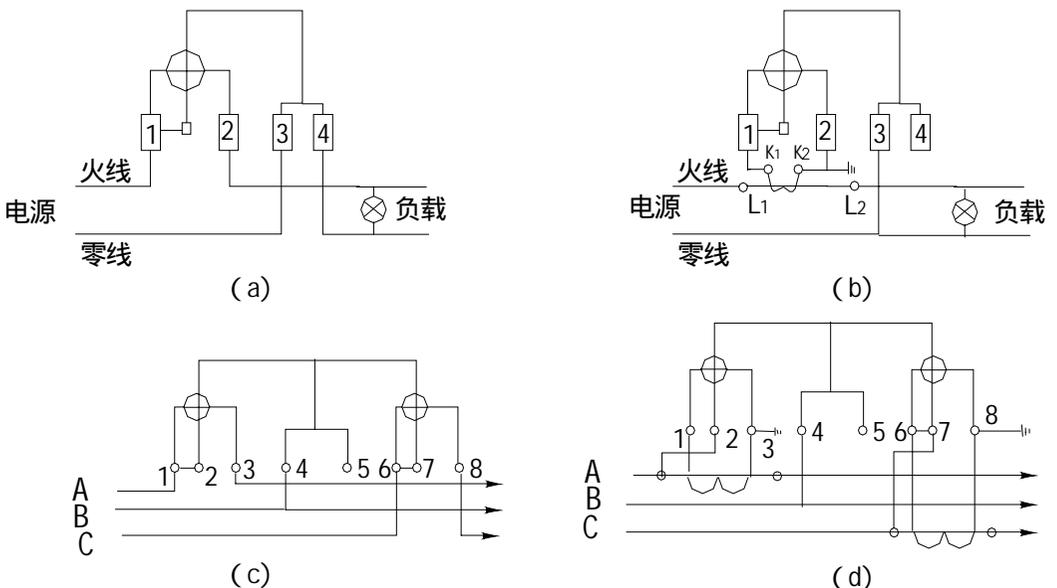
电能测量不仅要反映负载功率大小，还应反映功率的使用时间。因此，测量电能的仪表，除了必须具有测量功率的机构之外，还应能计算负载的用电时间，并通过积算机构把

电能自动累计出来。为带动积算机构工作，仪表必须克服传动机构各个环节的摩擦，因此要求测量机构有较大的转矩。测量电能的仪表称为电度表，又称电能表或千瓦时表。电动系测量机构构成的电动系电度表，由于结构、工艺复杂，成本很高，所以只在直流电路中使用。交流电能的测量则都采用感应系测量机构的电度表，特点是转矩大、成本低，因此，应用十分广泛。交流电度表按所测量的功率不同，分为有功电度表和无功电度表；按相数不同，可分为单相电度表和三相电度表。

一、有功电能测量

测量有功电能的接线原理与测量有功功率时相同，接线方法一样，必须遵守“发电机端”原则。电度表用 PJ(kW·h 或 kVA·h) 表示。电度表具体接线可参照电度表所附的接线图进行连接。图 11-11 所示为常用的几种电度表接线图。其中：

- 图 (a) 单相电度表直接接入；
- 图 (b) 单相电度表经电流互感器接入；
- 图 (c) 三相三线制电度表直接接入；
- 图 (d) 三相三线制电度表经电流互感器接入；



图(e) 三只单相电度表直接接入测三相四线制电能；

图(f) 三相四线制电度表直接接入；

图(g) 三相四线制电度表经电流互感器接入接入。

必须指出，在 3KV 及以上电压上测量电能，电度表的电压回路必须从电压互感器的二次侧接入。

直接接入式电度表电能(发电量或用电量)计算是：本次抄表读数减去上次抄表读数得出的结果，即是两次抄表期间产生或消耗的电能。若电度表经互感器接入，则上述得到的数字还要再乘上互感器的变流比及变压比，才是实际产生或消耗的电能。若电度表表盘上注有倍率，且使用配套的互感器时，则应改乘倍率，才是实际产生或消耗的电能。

二、三相电路无功电能测量

无功电能测量与无功功率测量原理是相同的，无功电能的测量也可按跨相 90° 的接线方式进行测量。在三相电路中普遍采用的是三相无功电度表，常见的有两种类型：

1. 带有附加电流线圈的(DX1 型)，接线如图 11-12 (a) 所示；
2. 电压线圈接线带 60° 相角差的(DX2 型)，接线如图 11-12 (b) 所示。

这两种都是三相两元件的无功电度表，都采用跨相 90° 的接线方式。前者既可用在三相三线制电路中，也可用在三相四线制电路中。后者通常只用在三相三线制电路中。

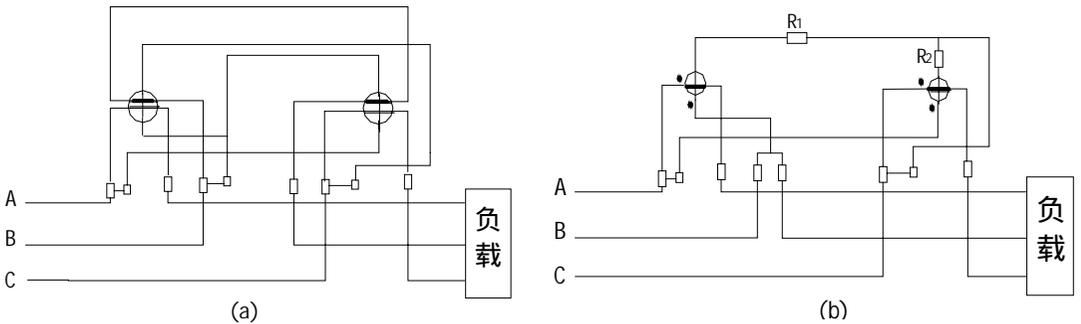


图 11-12 三相无功电度表的接线

(a)带有附加电流线圈的无功电度表；(b)电压线圈接线带 60° 相角差的无功电度表

第五节 功率和电能测量接线的故障分析

电能和功率测量接线在运行中的故障是各式各样的，这里只对三相两元件电度表或功率表的典型故障进行分析，只要掌握了故障分析的方法，就可以正确分析具体的故障。

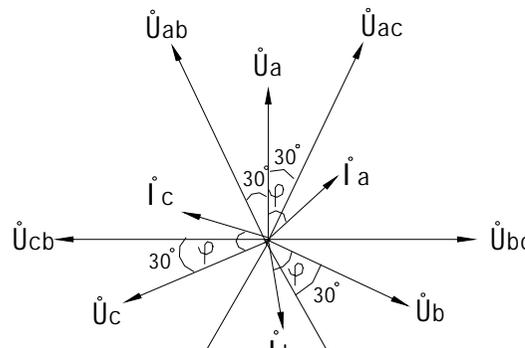
一、正确接线的分析

为了进行故障分析，我们先来看正确的接线时其电压、电流关系的矢量图，如图 11-13 所示，三相两元件有功功率表（电度表的测量原理和功率表完全相同，这里只分析功率表）中，一个元件接线电压 U_{ab} 和 a 相电流 I_a ；另一个元件接线电压 U_{cb} 和 c 相电流 I_c 。每一元件测得的功率等于加于该元件的电压、

电流及其之间夹角余弦的乘积（ $UI \cos \varphi$ ）

由此测得的功率 P 为：

$$P = P_1 + P_2$$



$$\begin{aligned}
&= U_{ab} I_a \cos(\varphi + 30^\circ) + U_{cb} I_c \cos(\varphi - 30^\circ) \\
&= U_L I_L (\cos\varphi \cos 30^\circ - \sin\varphi \sin 30^\circ \\
&\quad + \cos\varphi \cos 30^\circ + \sin\varphi \sin 30^\circ) \\
&= 2 U_L I_L \cos\varphi \cos 30^\circ \\
&= \sqrt{3} U_L I_L \cos\varphi \\
&= 3 U_0 I_0 \cos\varphi
\end{aligned}$$

图 11-13 正确接

线时的矢量图

式中： U_L 、 U_0 ——线电压、相电压

I_L 、 I_0 ——线电流、相电流

为了简使，以后用 U 、 I 表示线电压、线电流，不再使用下标。

由此可见，三相两元件功率表每一元件的测值是没有意义的，但两个元件测值之和即是三相有功功率。

二、电压回路断线

电压回路断线主要原因是电压互感器保险熔断；电压互感器端钮和端子箱、端子排及仪表的接线螺钉未加紧固或松动；电缆芯线断裂；仪表内部断线等。

现以测量电压互感器保险熔断为例加以分析。

1. 二次侧 b 相保险熔断

由图 11-14 (a) 可见，2FU 熔断后，线电压 U_{ca} 的数值和相位保持不变，而接于功率表元件一的电压 $U_{ab} = 0.5U_{ac}$ ，元件二的电压 $U_{cb} = 0.5U_{ca}$ ，它们与电流的相位关系如图 11-14 (b) 所示，功率表的测值为：

$$\begin{aligned}
P &= P_1 + P_2 \\
&= \frac{1}{2} UI \cos(30^\circ - \varphi) + \frac{1}{2} UI \cos(30^\circ + \varphi) \\
&= \frac{1}{2} UI (\cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \sin \varphi + \cos 30^\circ \cos \varphi - \sin 30^\circ \\
&\quad \sin \varphi) \\
&= \frac{1}{2} UI (2 \cos 30^\circ \cos \varphi) \\
&= \frac{\sqrt{3}}{2} UI \cos \varphi
\end{aligned}$$

由此可见，二次侧 b 相保险熔断时功率表的测值是未熔断前的二分之

一。如果能知到保险熔断后的运行时间，可以据此追回电度表少计的电量。

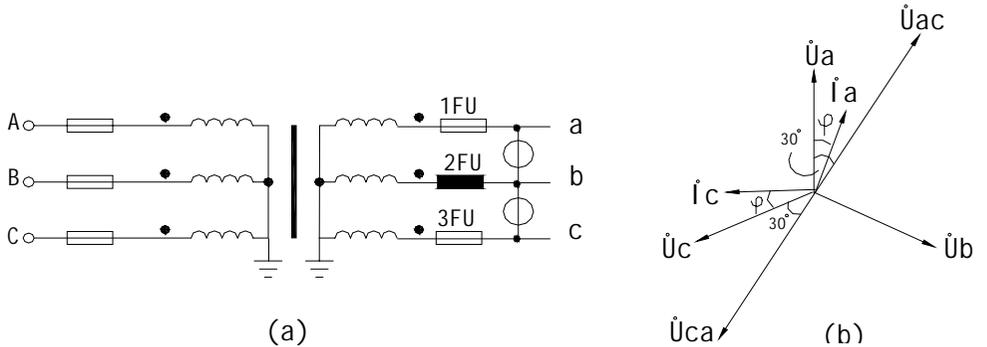


图 11-14 电压互感器二次侧 b 相保险熔断时的情况
(a) 接线图 ;(b) 矢量图

2. 二次侧 a 相保险 1FU 熔断

二次侧 a 相保险 1FU 熔断后，线电压 $U_{ab}=0$ 而 U_{cb} 保持不变，故只有一个元件工作，由上面的分析可知，测值既包含有功成分，也包含有无功成分，因此是无意义的。

3. 一次侧 B 相保险熔断

一次侧 B 相保险熔断，二次侧 b 相没有感应电势，但它与完好相 A、C 互成回路，如果忽略二次内阻抗不计， U_{ab} 即为 a 相电压； U_{cb} 即为 C 相电压，这时有功表的测值为：

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 \\ &= U_{a0} I_a \cos \varphi + U_{c0} I_c \cos \varphi \\ &= 2 \frac{1}{\sqrt{3}} U I \cos \varphi \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{3} U I \cos \varphi \end{aligned}$$

由此可见，一次侧 B 相保险熔断后有功表的测值是三相功率的三分之二。

4. 一次侧 A 相保险熔断

请读者自行分析有功表的测值是多少。

三、相别和极性错误

1. 相别错误

1) 电流错相

假定电压接线正确，而 a 相和 c 相电流对调，功率表的一个元件接 U_{ab} 和 I_c ，另一元件接 U_{cb} 和 I_a ，从图 11-13 的矢量图可以看出，前者的夹角是 $(90^\circ - \varphi)$ ；后者的夹角是

($90^\circ + \varphi$)。有功功率表的测值为：

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 \\ &= U_{ab} I_c \cos(90^\circ - \varphi) + U_{cb} I_a \cos(90^\circ + \varphi) \\ &= U I (\cos 90^\circ \cos \varphi + \sin 90^\circ \sin \varphi + \cos 90^\circ \cos \varphi - \sin 90^\circ \sin \varphi) \\ &= 0 \end{aligned}$$

这时，有功功率表指示为零，如为电度表错相，则转盘停转。

2) 电压错相

假定 a、b 相的电压调错，功率表的一个元件按 U_{ba} 和 I_a ，另一元件接 U_{ca} 和 I_c ，从图 11-13 的矢量图可以看出，前者的夹角是 ($90^\circ - \varphi$)；后者的夹角是 ($90^\circ + \varphi$)。有功功率表的测值为：

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 \\ &= U_{ba} I_a \cos(90^\circ - \varphi) + U_{ca} I_c \cos(90^\circ + \varphi) \\ &= U I (\cos 90^\circ \cos \varphi + \sin 90^\circ \sin \varphi + \cos 90^\circ \cos \varphi - \sin 90^\circ \sin \varphi) \\ &= 0 \end{aligned}$$

这时，有功功率表指示为零，如为电度表错相，则转盘停转。

3) a、c 相的电压调错

请读者自行分析有功表的测值是多少。

2. 极性错误

极性错误可能是电流互感器或电压互感器接错极性，也可能是在电表的端钮处接错，这都会引起功率表的测值错误。

1) 两相电流接反

如果通入功率表的 a 相和 c 相电流都反向，显然功率表指针反向，电度表反转，但数值上与电流正向是相同的。

2) a 相电流反向，c 相电流正向

时的矢量图

这时 $-I_a$ 与 U_{ab} 的夹角为 ($180^\circ - 30^\circ - \varphi$)，如图 11-15 的矢量图所示。这时有功功率表的测值为：

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 \\ &= U_{ab} I_a \cos(150^\circ - \varphi) + U_{cb} I_c \cos(\varphi - 30^\circ) \\ &= U I (\cos 150^\circ \cos \varphi + \sin 150^\circ \sin \varphi + \cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \sin \varphi) \end{aligned}$$

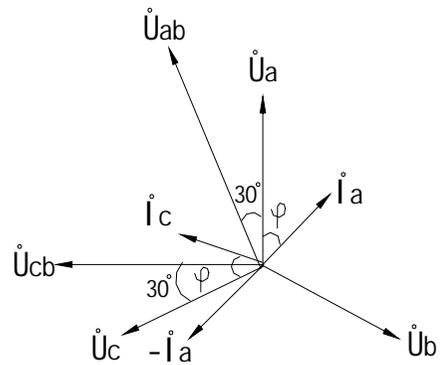


图 11-15 a 相电流反向

$$\begin{aligned}
 & \circ \sin \varphi) \\
 & = U I \sin \varphi \\
 & = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{3} U I \sin \varphi
 \end{aligned}$$

由比可见，在一相电流反向的情况下，有功功率表测得的是无功功率，其测值为实际三相无功功率的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍。

功率和电能测量的错误接线很多种，例如，经电压和电流互感器接入的三相三线制有功功率表或电度表，总计就有 84 种可能的接线，其中只有两种是正确的。以上只是分析了几个典型故障，目的是使读者掌握故障分析的方法，提高分析解决工程实际问题的能力，这样对具体的故障就能进行正确的分析。

第五节 发电厂电气测量仪表的配置

一、测量仪表选用的基本要求

(1) 用于发电机上的交流仪表的准确级不应低于 1.5 级，用于其它设备和线路上的交流仪表不应低于 2.5 级。计量用的有功电度表的准确级一般为 1 级，无功电度表为 2 级。

直流仪表不应低于 1.5 级。

(2) 测量频率的仪表一般采用测量范围为 45 ~ 55 赫的频率表，其基本误差不应大于

± 0.25 赫，并在 49 ~ 51 赫范围内，其实际误差不应大于 ± 0.15 赫。监视电力系统频率的发电厂宜采用测量范围为 45—55 赫的频率表，在 49 ~ 51 赫的范围内，其基本误差不应大于 ± 0.02 赫。

(3) 与仪表连接的分流器、附加电阻和互感器的准确度等级不应低于 0.5 级，对发电机计量电能用的电流互感器其实际准确度应尽可能不低于 0.2 级。但仅作电流或电压测量用时，1.5 级和 2.5 级的仪表可使用 1.0 级互感器，非重要回路的 2.5 级电流表，可使用 3.0 级电流互感器。

(4) 互感器和仪表测量范围的选择，应尽量保证发电机、变压器等电力设备在正常运行时，仪表指示在标度尺工作部分上量限的 $2/3$ 以上，并应考虑过负荷运行时，能有适当的指示。

(5) 如果测量仪表的装设地点离电流互感器很远，可以采用二次电流为 1A 的电流互感器和仪表。

(6) 一般电气测量仪表与继电保护装置共用电流互感器时，应将仪表和继电保护装置分别接在不同的二次线圈上。若受条件限制而共用电流互感器

的一个二次线圈时,仪表应经中间互感器接入。

二、各电气回路仪表的配置

这里介绍的电气测量仪表的配置适用于单机容量为 6000 千瓦及以上的水轮发电机组,对于小容量机组,可以结合具体情况适当简化。

1. 水轮发电机的电气测量

在中央控制室装设的电气测量仪表有:

(1)定子电流表,一般仅测一相电流,但对所连接的线路有可能非全相运行或长期三相不平衡时,应测三相电流;

(2)有功功率表,如机组有作调相机的运行方式,则本表应带有负刻度,负刻度量程约为 10~20%的额定功率值;

(3)无功功率表;

(4)定子电压表一只,并附切换开关以便测量三个相电压和一个线电压;

(5)励磁电流表;

(6)励磁电压表;

(7)有功电度表;

(8)有功电度表;

第(7)、(8)两项如果中央控制室无电度表屏时,亦可装在机房屏上。

在机房屏装设的电气测量仪表有:

(1)频率表;

(2)有功功率表;

(3)三相电流表。用于满足大容量机组递升加压监视的需要,装设的三相电流表应接在中性点侧电流互感器上;

(4)励磁电流表;

(5)励磁电压表。如果在中央控制室不能测量发电机励磁回路的对地绝缘时,此电压表还须附有能切换测量励磁正、负极对地电压的切换开关。

如发电机机旁励磁屏已装有励磁电流和电压表,(4)(5)项可以不装。

2. 主变压器的电气测量

与发电机接成单元或扩大单元接线的双线圈变压器,不单独装设测量仪表,因为测量

了发电机的电气参数即能了解主变压器的运行情况。

连接在发电机电压母线上的双线圈主变压器的低压侧应装设下列电气测量仪表:

(1)有功功率表;

(2)无功功率表;

(3)交流电流表(测一相),

(4)有功电度表,如变压器有可能双方向送、受电时,应装设两只具有止逆机构的

电度表,以分别计算由变压器送出和输入的电能。

连接在发电机电压母线上的三线圈变压器(或自耦变)应装设下列电气测量仪表：

- (1)高、中、低压侧各装一只电流表；
- (2)中、低压侧每侧装有功功率表；
- (3)中、低压侧每侧装无功功率表；
- (4)高(或中)、低压侧装有功电度表。如变压器有可能双方向送，受电时，应装设

两个具有止逆机构的电度表；

- (5)自耦变压器中性点引出线侧装电流表，用以监视过负荷。

上述仪表均装在中央控制室内。

3. 送电线路的电气测量

- (1) 110 千伏及以上线路装设下列电气测量仪表：

交流电流表三只；
有功功率表；
无功功率表；
有功电度表；
无功电度表。

如线路功率有可能双方向输送时，则 、 项应选用双方向刻度的功率表， 、 项应各装两只具有止逆机构的电度表。

上述 至 项仪表通常均装在中央控制室内，但第 、 项电度表也可装在开关站的保护屏室内。

- (2) 35 千伏线路装设下列电气测量仪表：

电流表一只，但对供给工业用电炉负荷的线路应装设三只电流表；
有功功率表；
有功电度表。

上述仪表均装设在中央控制室内。

- (3) 6—10 千伏线路装设的电气测量仪表：

6~10 千伏线路一般装设一只电流表和一只无功电度表，必要时也可装设有功功率表。仪表应装设在操作开关附近。

4. 高压母线的电气测量

水电站的各段 110—220 千伏高压母线上一般都装设电压表和频率表。电压表应带有切换开关，以便测量三个线电压。大、中型水电站的主要高压母线通常加装一只数字频率表。

对调频电厂或装机容量在 200000 千瓦及以上的电厂应装设记录型频率表。大容量电厂如有作为电力系统电压监视点的高压或中压母线还应装设记录型电压表。

在中性点非直接接地的电力网中，根据接线情况，需要时应在母线上装设同时测量三

个相对地电压的绝缘监视装置。

5. 旁路和母联断路器的电气测量

旁路断路器的电气测量仪表应与所代替的线路仪表相同。

110 千伏及以上母线分段断路器和母联断路器在一般情况下仅装设三只电流表。但当

母联断路器兼作旁路断路器用时，应按旁路断路器的仪表设置。

35 千伏及以下的母联(分段)断路器一般只装一只电流表。

6. 厂用变压器的电气测量

厂用变压器应装设下列电气仪表：

- (1) 电流表一只；
- (2) 有功功率表；
- (3) 有功电度表；
- (4) 400V 侧电流表三只；
- (5) 400V 母线段电压表一只。

7. 功率总加器和电度总加器

大、中型水电站一般均需装设全厂总有功功率表。对担任调频或带尖峰负荷的水电站，还应装设记录型总有功功率表。

此外，对于单机容量较大、机组台数较多的水电站为了能直接读出全厂总有功电度，无功电度，可装设三相三线脉冲电度表，配合多路电度积算器对多路有功、无功电能进行积算总加。

参 考 文 献

- 1 虞 放编. 怎样读新标准水电站电气图. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- 2 卓乐友等编著. 微机型自动准同步装置的设计和应用. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- 3 阎晓霞 苏小林合编. 变配电所二次系统. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- 4 王定一等编著. 水电厂计算机监视与控制. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- 5 水电站机电设计手册. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- 6 王辑祥编. 电力系统运行操作和调度管理. 长沙: 湖南科技出版社, 1991.
- 7 全国电气文件编制和图形符号标准化技术委员会编. 电气简图用图形符号标准汇编. 北京: 中国电力出版社, 中国标准出版社, 2001.
- 8 广西大学自动化研究所. PLC 微机励磁装置技术资料. 2004.



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

CEPP

- | | |
|------------------|--------|
| 电工学 | 郑宏键主编 |
| 实用电工 | 温明会主编 |
| 电力电子技术与MATLAB仿真 | 周润深主编 |
| 单片机原理及应用 | 王建元主编 |
| 单片机原理及应用习题与实验指导书 | 王义军主编 |
| 自动控制原理 | 杨平等编著 |
| 自动控制原理学习辅导 | 杨平等编著 |
| 自动控制原理实验与实践 | 杨平等编著 |
| 电力拖动自动控制系统 | 宋宏主编 |
| 供用电系统 | 王锐文主编 |
| 电气接线原理及运行 | 王辑祥等合编 |
| 配电线路基础 | 吴志宏主编 |
| 现代高压电网继电保护原理 | 李晓明著 |

ISBN 7-308-3019-6



9 787508 330198 >

定价：16.80 元

CHINA ELECTRIC POWER PRESS