



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

变配电所二次部分

供用电技术专业

主编 罗建华 副主编 张 蓉



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

变配电所二次部分

供用电技术专业

主 编 罗建华
副 主 编 张 蓉
责任主审 孙保民
审 稿 刘连光 骆 平



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为中等职业教育国家规划教材、全国中等职业教育教材审定委员会审定之一，全面讲述了变配电所二次部分电路的构成、作用及其工作原理。内容包括：二次回路基本知识；变配电所的操作电源及测量控制信号回路；继电保护基础知识；供配电线路保护；电力变压器保护；电动机保护；电力电容器保护；变配电所自动装置；微机继电保护；变配电所监控技术。

本书是电力中等职业学校供用电技术专业主干课程的教材，也可供从事变配电所电气运行和技术管理工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP) 数据

变配电所二次部分/罗建华主编. -北京: 中国电力出版社, 2001

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5083-0773-9

I. 变… II. 罗… III. 变电所-配电系统-电气回路-二次系统-专业学校-教材 IV. TM64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 068255 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

*

2002年1月第一版 2006年8月北京第四次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14.25印张 318千字

印数10001—13000册 定价 17.10 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)

电力中等职业教育国家规划教材

编委会

主任 张成杰

副主任 杨昌元 宗 健 朱良镠

秘书长 尚锦山 马家斌

委员 丁 雁 王玉清 王宝贵 李志丽 杨卫民

杨元峰 何定焕 宋文复 林 东 欧晓东

胡亚东 柏吉宽 侯林军 袁建文 涂建华

梁宏蕴

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划项目“中等职业学校重点建设专业—供用电技术专业的主干课程《变配电所二次部分》”教学大纲有关要求编写的。

变配电所二次部分是供用电技术专业的一门综合性课程，通过将继电保护、自动装置、二次接线、监控技术四门课程整合而成。本书以 35kV 及以下变配电所为主，全面介绍变配电所二次部分组成回路的基本构成及其工作原理，力求内容新颖、联系实际，概念准确清晰，文字通俗易懂。

本书采用新国家标准规定的图形符号和文字符号，通过大量的图例分析，希望对读者在变配电所二次回路图读图方面，以及回路工作原理的理解方面有较大的帮助。本书每单元有内容提要、小结和习题，每个课题有教学要求，有利于教和学。

本书第一、二、十单元由四川电力职业技术学院罗建华编写；第三、四、五、六、七单元由广东省电力工业学校张蓉编写；第八、九单元由四川电力职业技术学院杨礼编写。全书由罗建华任主编、张蓉任副主编，武汉电力学校李火元任主审。

由于编者水平有限，书中难免会出现疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 8 月



中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一单元 二次回路的基本知识	1
小结	10
习题	10
第二单元 变配电所的操作电源及测量控制信号回路	11
课题一 变配电所的操作电源	11
课题二 断路器的控制回路	18
课题三 电气测量	25
课题四 信号回路	29
小结	36
习题	37
第三单元 继电保护的基础知识	39
课题一 继电保护的基础知识	39
课题二 继电器	41
课题三 互感器	47
小结	50
习题	51
实验指导 电磁型电流继电器特性试验实验	51
第四单元 供配电线路保护	54
课题一 定时限过电流保护	54
课题二 电流速断保护	57
课题三 阶段式电流保护	60
课题四 反时限过电流保护	66
课题五 方向电流保护	69
课题六 小电流接地系统的接地保护	76
课题七 35kV 线路控制、信号、测量及保护回路接线图	87
小结	91
习题	92
实验指导一 阶段式电流保护实验	93

实验指导二 反时限电流保护实验	95
实验指导三 整流型功率方向继电器实验	97
第五单元 电力变压器保护	100
课题一 电力变压器运行状态及保护配置	100
课题二 变压器瓦斯保护	101
课题三 变压器纵差保护	103
课题四 变压器的电流电压保护	111
课题五 变压器的温度信号装置	113
课题六 35kV 双绕组变压器的控制、信号、测量及保护回路接线实例	113
小结	118
习题	118
实验指导 BCH-2 型差动继电器的检验	119
第六单元 电动机保护	122
课题一 电动机的故障种类及保护装置	122
课题二 电动机的相间短路保护	123
课题三 电动机的单相接地保护	127
课题四 电动机的过载保护	128
课题五 电动机的低电压保护	130
小结	133
习题	133
第七单元 电力电容器保护	134
课题一 电力电容器故障形式及保护的配置	134
课题二 熔断器保护	135
课题三 电容器组的电流保护	136
课题四 电容器组的横联差动保护	137
课题五 电容器组保护配置实例	140
小结	141
习题	141
第八单元 变配电所自动装置	142
课题一 备用电源自动投入装置 ATS	142
课题二 自动重合闸装置 ARC	148
课题三 按频率自动减负荷装置 AFL	160
小结	166
习题	167
实验指导 DH-2 型重合闸继电器	168

第九单元 微机型继电保护	171
课题一 微机型继电保护的基本知识	171
课题二 微机型继电保护装置	194
小结	205
习题	205
实验指导 WJS-11 型微机线路保护仿真教学装置实验	205
第十单元 变配电所监控技术	207
课题一 变配电所监控技术	207
课题二 配电网的通信技术	215
小结	217
习题	218

二次回路的基本知识

内容提要

本单元主要介绍变配电所二次设备、二次回路及二次回路图的基本知识,包括二次回路的内容、二次回路图的分类、二次设备的图形及文字符号,以及变配电所二次设备的布置。

教学要求

1. 了解一次设备和二次设备的基本概念。
2. 掌握二次回路的作用和分类,了解二次回路的工作任务和主要内容。
3. 掌握二次回路图的分类,了解二次回路原理接线图、展开接线图、安装接线图的作用和特点。
4. 掌握常用二次设备的图形符号和文字符号,以及元器件的常用表示方法。
5. 了解变配电所二次设备的布置情况。

一、二次回路内容

变配电所的二次部分对于实现变配电所安全、优质和经济的电能分配具有极为重要的作用。随着变配电所电压等级的提高,用电设备对供电可靠性要求的不断提高,以及电气控制和保护正向着自动化、弱电化、微机化和综合型方面发展,使变配电所的二次部分显得越来越重要。

变配电所的电气设备按其作用的不同可分为一次设备和二次设备,其控制保护接线回路又可分为一次回路和二次回路。

一次设备是指直接输送和分配电能的高电压、大电流设备,包括电力变压器、电力母线、电力电缆、电力线路、高压断路器、高压隔离开关、重合器、自动开关、刀开关、避雷器、电流互感器、电压互感器等。由变配电所一次设备组成的整体称为变配电所一次部分。

二次设备是指对一次设备进行监察、控制、测量、调节和保护的低电压、小电流设备,包括电气测量仪表、控制和信号器具、继电保护及安全自动装置、操作电源、控制电缆、熔断器等。由变配电所二次设备组成的整体称为变配电所二次部分。

一次回路又称一次接线(或主接线),是将一次设备相互连接而形成的电路。

二次回路又称二次接线,是将二次设备相互连接而形成的电路,包括电气设备的测量回路、控制操作回路、信号回路、保护回路等。

二次回路是变配电所安全、经济、稳定运行的重要保障,是变配电所的重要组成部分。二次回路的工作任务是:反映一次设备的工作状态及控制一次设备,即在一次设备发

生故障时，能迅速反应故障，并使故障设备退出工作，保证变配电所处于安全的运行状态。

二次回路是一个具有多功能的复杂网络，其主要内容有高压电气设备和电力线路的控制、测量、信号、继电保护、自动装置、操作电源以及计算机监控等系统。

(1) 操作电源系统为控制系统、信号回路、继电保护装置、自动装置和断路器操作等提供可靠的工作电源。操作电源系统是由电源设备和供电网络组成，在变配电所中电源设备主要采用整流型直流电源或交流电源，在发电厂或大型变电所中常采用蓄电池组。

(2) 控制系统是由控制开关、控制对象和控制网络组成。其主要作用是对变配电所的开关设备进行分合闸操作，以满足改变一次回路的运行方式及处理故障的要求。控制系统按自动化程度的不同可分为手动控制和自动控制；按控制距离的不同可分为就地控制和远方控制。

(3) 信号系统是由信号发送机构、接受显示元件及其网络组成。其作用是及时、准确地显示出相应一次设备的工作状态，为运行人员提供操作、调节和处理故障的可靠依据。信号系统按信号性质的不同主要分为事故信号、预告信号、位置信号、继电保护及自动装置动作信号等；按信号显示方式的不同可分为灯光信号和音响信号；按信号复归方式的不同可分为手动复归信号和自动复归信号。

(4) 测量系统是由电气测量仪表、切换开关及其网络组成。其作用是显示主要电气设备和电力线路的运行参数，作为运行人员掌握变配电所主设备的运行情况和进行经济分析、故障处理的主要依据。

(5) 继电保护系统是由互感器、测量系统、逻辑判断与执行元件及其网络组成。其作用是监视一次设备的运行状态，即一旦出现故障或异常便自动进行处理，并发出信号。继电保护根据组成元件的不同可分为电磁式、晶体管式、集成电路式和微机式等继电保护。

(6) 自动装置系统是由互感器、自动控制系统、选择开关及其网络组成。其作用是监视一次系统的运行状态，即一旦出现故障或异常便自动进行处理，保证变配电所运行的可靠性和稳定性。

(7) 计算机监控系统是由变换器、计算机及其网络组成。其作用是监视一次系统和设备的运行状态，并能自动操作和处理各种故障及异常状态，提高变配电所的自动化水平。

二、二次回路图分类

二次回路图是以国家标准规定的图形符号和文字符号来表示二次设备的相互连接关系。变配电所的二次回路图按作用和绘制方法的不同，一般分为原理接线图、展开接线图和安装接线图。

1. 原理接线图

原理接线图是用来表示二次回路各元件（如测量仪表、控制开关、继电器、信号设备、自动装置等）的电气联系及工作原理的电气回路图。

原理接线图的特点如下：

(1) 二次回路和一次回路中的相关部分画在一起，各元件以整体形式表示，能表示二次设备的构成及电气连接情况，图形直观，便于记忆。

(2) 按动作的顺序画出，便于分析动作原理，是绘制展开接线图的原始依据。

(3) 缺点是没有表明各元件的内部接线、端子标号及导线连接方法，不能作为施工图纸使用。

6~10kV 电力线路过电流保护的原理接线图，如图 1-1 所示。

2. 展开接线图

展开接线图是将二次设备的线圈和触点的接线回路展开分别画出，组成多个独立回路，作为制造、安装、调试、运行的重要技术图纸，也是绘制安装接线图的主要依据。

展开接线图的特点如下：

(1) 按回路性质的不同可划分为多个独立回路，如交流电流回路、交流电压回路、直流操作回路、保护回路、信号回路等。

(2) 回路的动作顺序是自上而下，自左至右。

(3) 回路右边有对应文字说明（如回路名称、用途等），便于分析和阅读。

6~10kV 电力线路过电流保护的展开接线图，如图 1-2 所示。

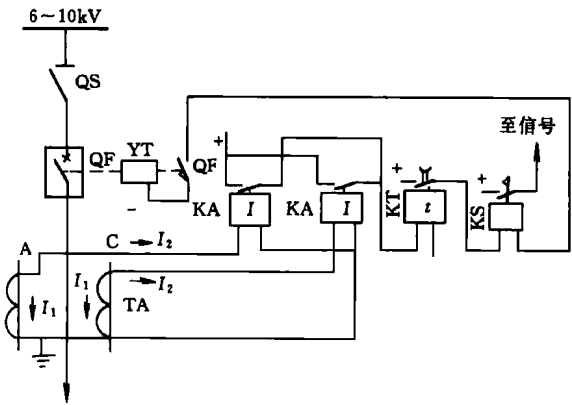


图 1-1 6~10kV 电力线路过电流保护原理接线图
KA—电流继电器；KT—时间继电器；KS—信号继电器；TA—电流互感器；QS—隔离开关；QF—断路器；YT—断路器的跳闸线圈

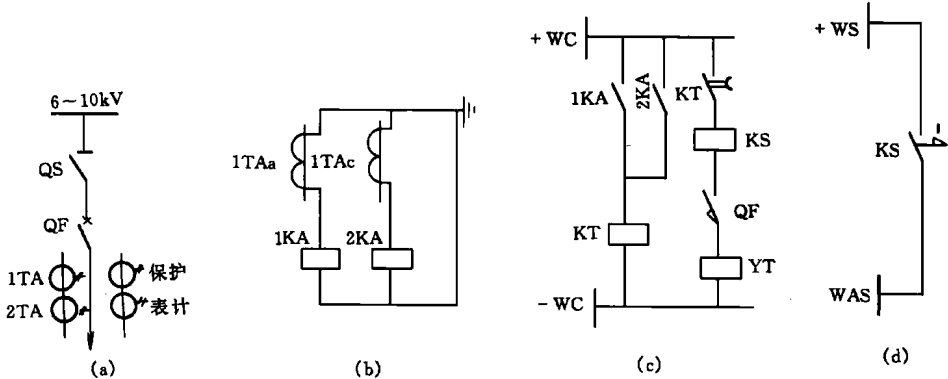


图 1-2 6~10kV 电力线路过电流保护展开接线图
(a) 一次回路；(b) 交流电流回路；(c) 保护回路；(d) 信号回路

比较图 1-1 和图 1-2 可见，展开接线图接线清晰，层次分明，便于阅读。在工程上一般只采用展开接线图，而不采用原理接线图。

3. 安装接线图

安装接线图是控制屏和保护屏制造厂生产加工和现场安装施工用的图纸，也是用户检修、试验等用的主要参考图纸，是根据展开接线图绘制而成的。安装接线图包括屏面布置

图、屏背面接线图和端子排图。

(1) 屏面布置图(从屏的正面看)是将各安装于屏面上的设备和仪表按比例画出其实际位置和大小,便于设备安装,也是绘制屏背面接线图的依据。35kV 线路控制屏屏面布置图如图 1-3 (a) 所示,继电保护屏屏面布置图如图 1-3 (b) 所示。

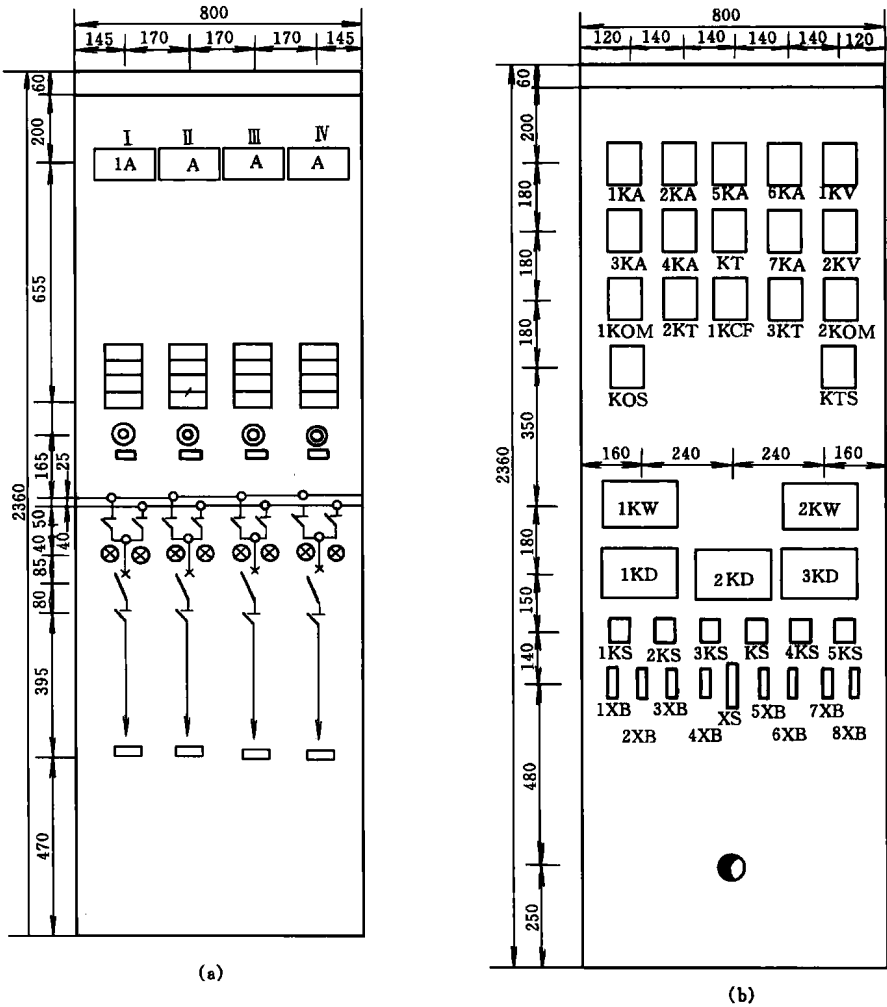


图 1-3 屏面布置图

(a) 35kV 线路控制屏屏面布置图; (b) 继电保护屏屏面布置图

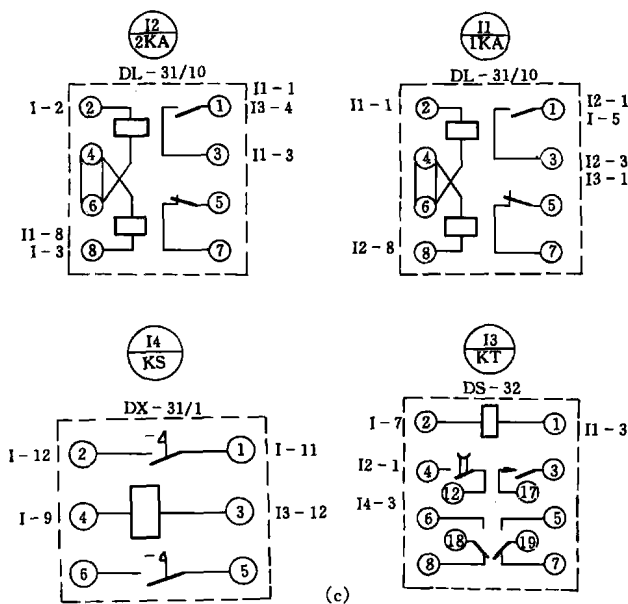
(2) 端子排图(从屏背后看)是表明屏内设备与屏外设备之间的连接情况,以及屏上需要装设的端子类型、数目以及排列顺序的图纸。10kV 线路保护的端子排图如图 1-4 (b) 所示。

(3) 屏背面接线图(从屏背后看)是表明屏内设备在屏背面的引出端子之间的连接情况,以及引出端子与端子排间的连接关系的图纸。10kV 线路保护的背面接线图如图 1-4 (c) 所示。

安装接线图是最具体的施工图,制造厂根据订货单位提供的展开接线图 [见图 1-4

(a) Main circuit diagram: The diagram shows a 10kV busbar connected to two feeders. The left feeder is protected by a fuse (1TAa) and a circuit breaker (1KA). The right feeder is protected by a fuse (1TAc) and a circuit breaker (2KA). The busbar is connected to a 10kV busbar. The protection relays (KT, KS, QF, YT) are connected to the busbar and the circuit breakers.

(b) Connection diagram: The diagram shows the busbar connections to the 10kV busbar and the control circuit. The busbar is connected to the 10kV busbar through a circuit breaker (1KA) and a fuse (1TAa). The control circuit is connected to the busbar through a circuit breaker (2KA) and a fuse (1TAc). The control circuit includes a 10kV busbar, a circuit breaker (1KA), a fuse (1TAa), a circuit breaker (2KA), a fuse (1TAc), and a circuit breaker (1KA).



电气图中的电气设备、装置、元器件的一种图形符号，如表 1-1 所示。文字符号是表示电气图中的电气设备、装置、元器件的一种文字代码。文字符号的字母应采用大写的拉丁字母表示，如表 1-2 所示。

表 1-1 二次回路图常用的图形符号

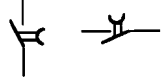
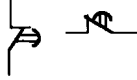
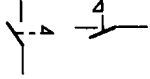
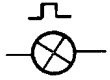
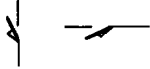
序号	名 称	图形符号	序号	名 称	图形符号
1	电流继电器		15	继电器及接触器线圈	
2	电压继电器		16	热继电器	
3	功率方向继电器		17	动合触点	 
4	阻抗继电器		18	动断触点	 
5	差动继电器		19	延时闭合的动合触点	
6	时间继电器		20	延时闭合的动断触点	
7	信号继电器		21	信号继电器动合触点	
8	中间继电器		22	热继电器动断触点	
9	反时限电流继电器		23	信号灯	
10	气体继电器		24	闪光型信号灯	
11	断路器		25	电铃	
12	隔离开关		26	电喇叭	
13	熔断器		27	蜂鸣器	
14	位置开关（动合）		28	按钮开关（动合）	

表 1-2

二次回路图常用的文字符号

序号	文字符号	名 称	序号	文字符号	名 称
设备、元件符号 (括号内为旧符号)					
1	T (B)	变压器	14	TVS (YB)	电压变换器
2	G (F)	发电机	15	TX (DKB)	电抗变压器
3	QF (DL)	断路器	16	PWJ (Wh)	有功电度表
4	QS (G)	隔离开关	17	PVJ (varh)	无功电度表
5	QL (GF)	负荷开关	18	V (T)	晶体三极管
6	QK (K)	闸刀开关	19	V (D)	二极管
7	SA (KK)	控制开关	20	V (WY)	稳压管
8	SC (CK)	远控开关	21	k1、k2… (d)	故障点
9	FU (RD)	熔断器	22	C	电容器
10	TA (LH)	电流互感器	23	U (ZB)	整流器
11	TV (YH)	电压互感器	24	L	输电线路、电感线圈
12	TAS (LB)	电流变换器	25	Z (XLG)	滤波器 (正、负序, 零序)
13	TP (YX)	移相器			

电流、电压、电抗符号 (括号内为旧符号)

1	$E_A、E_B、E_C$	电源的三相电势	12	$I_{k\cdot\max} (I_{d\cdot\max})$	最大短路电流
2	$U_A、U_B、U_C$	母线或保护安装处三相电压	13	$I_{k\cdot\min} (I_{d\cdot\min})$	最小短路电流
3	$U_{k1}、U_{k2}、U_{k0}$	短路点正、负、零序电压	14	$I_1、I_2、I_0$	正、负、零序电流
4	U_N	额定电压	15	$I_{unb} (I_{bp})$	不平衡电流
5	I_N	额定电流	16	$I_{L\cdot\max} (I_{fh\cdot\max})$	最大负荷电流
6	$U_{unb} (U_{bp})$	不平衡电压	17	R	电阻
7	$U_{kA}、U_{kB}、U_{kC}$	短路点三相电压	18	X	电抗
8	$U_{ph} (U_x)$	相电压	19	Z_{Σ}	总阻抗
9	$U_{pp} (U_{x-x})$	相间电压	20	$Z_{st} (Z_{xt})$	系统阻抗
10	$U_{rem} (U_{cy})$	母线残压	21	$Z_{L\cdot\min}$	最小负荷阻抗
11	$I_A、I_B、I_C$	三相电流			

保护及继电器的有关符号 (括号内为旧符号)

1	$I_{op} (I_{dz})$	保护的動作电流	9	$U_{K\cdot op} (U_{dz\cdot j})$	继电器的動作电压
2	$I_r (I_h)$	保护的返回电流	10	$U_{K\cdot r} (U_{h\cdot j})$	继电器的返回电压
3	$U_{op} (U_{dz})$	保护的動作电压	11	$Z_{K\cdot op} (Z_{dz\cdot j})$	继电器的動作阻抗
4	$U_r (U_h)$	保护的返回电压	12	$Z_{K\cdot r} (Z_{h\cdot j})$	继电器的返回阻抗
5	$Z_{op} (Z_{dz})$	保护的動作阻抗	13	$Z_{set} (Z_{zd})$	继电器的整定阻抗
6	$Z_r (Z_h)$	保护的返回阻抗	14	$I_K (I_j)$	加入继电器的电流
7	$I_{K\cdot op} (I_{dz\cdot j})$	继电器的動作电流	15	$U_K (U_j)$	加入继电器的电压
8	$I_{K\cdot r} (I_{h\cdot j})$	继电器的返回电流	16	$Z_K (Z_j)$	继电器的测量阻抗

续表

序号	文字符号	名 称	序号	文字符号	名 称
17	φ_D	线路阻抗角	33	KAT (JSJ)	加速时间继电器
18	$\varphi_{sen} (\varphi_{lm})$	最大灵敏角	34	KW (GJ)	功率方向继电器
19	$\varphi_L (\varphi_{fh})$	负荷阻抗角	35	KR (ZJ)	阻抗继电器
20	K (J)	继电器	36	KRC (ZCH)	重合闸继电器
21	KS (XJ)	信号继电器	37	KCF (TBJ)	防跳闭锁继电器
22	KG (WSJ)	气体继电器	38	KSY (TJJ)	同步检查继电器
23	KD (CJ)	差动继电器	39	KMC (HC)	合闸接触器
24	KM (ZJ)	中间继电器	40	YC (HQ)	合闸线圈
25	KOM (CKJ)	保护出口继电器	41	YT (TQ)	跳闸线圈
26	KV (YJ)	电压继电器	42	XB (LP)	连接片
27	KA (LJ)	电流继电器	43	XS (QP)	切换片
28	KP (JJ)	极化继电器	44	ST (SA)	试验按钮
29	KST (QDJ)	启动继电器	45	KOS (HWJ)	合闸位置继电器
30	KT (SJ)	时间继电器	46	KTS (TWJ)	跳闸位置继电器
31	KHC (SHJ)	手动合闸继电器	47	KVI	断线监察继电器
32	KHT (STJ)	手动跳闸继电器	48	HL (D)	光字牌、显示灯

常用系数符号 (括号内为旧符号)

1	$K_{rel} (k_k)$	可靠系数	6	$K_{co} (k_{ph})$	配合系数
2	$K_{re} (k_h)$	返回系数	7	$K_{est} (k_{zg})$	电动机自启动系数
3	$K_{sen} (k_{lm})$	灵敏系数	8	$K_{ss} (k_{tx})$	同型系数
4	$K_c (k_{jk})$	接线系数	9	$K_{TA} (n_L)$	电流互感器变比
5	$K_{br} (k_{tz})$	分支系数	10	$K_{TV} (n_Y)$	电压互感器变比

直流电源母线符号 (括号内为旧符号)

1	+ WC - WC	控制电源小母线	6	+ WO - WO	合闸电源小母线
2	+ WS - WS	信号电源小母线	7	WAS	事故音响小母线
3	+ WF	闪光电源小母线	8	WSD WFS	预告信号小母线
4	WA WHL	掉牌未复归信号电源	9	WCO	控制回路断线监察电源
5	WV _{abc}	三相电压小母线			

(二) 元器件表示方法

1. 具有可动部分的元器件表示方法

二次回路中的继电器、断路器、隔离开关等设备具有可动部分，在二次回路图中通常按以下状态或位置表示：①继电器、接触器等单稳态的元件在不带电（即非激励）状态；②隔离开关和断路器在断开位置。

具有可动部分元器件的动作方向，在水平布置的电路中，元件可动部分的动作方向一律向上；在垂直布置的电路中，元件可动部分的动作方向一律向右。