

发电厂和变电所运行高级工培训教材

火电厂继电保护及 自动装置

河南省电力工业局 编



43

中国电力出版社



178175

电所运行高级工培训教材

火电厂继电保护及自动装置

河南省电力工业局 编

中 国

内 容 提 要

本书主要讲述火电厂中常用的继电保护和自动装置的工作原理、电气接线、运行分析、使用方法及基本的整定计算,并结合现场情况,着重介绍了一些新型的继电保护原理。全书共两篇。第一篇为继电保护,分为六章,分别讲述了电网相间短路的电流保护、线路的纵差动保护、电力变压器保护、同步发电机保护、母线保护和电动机保护。第二篇为自动装置,分为三章,分别讲述了备用电源自动投入装置、同步发电机自动调节励磁装置和同步发电机自动并列装置。为了便于教学和读者自学,每章都附有复习题。

本书主要作为火电厂电气技术高级工培训教材,为火电厂运行、检修、试验工人介绍申报技师所必备的专业理论知识,也可供从事有关专业的工程技术人员及在职成人教育师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂继电保护及自动装置/河南省电力工业局编. -北京:
中国电力出版社,1995

发电厂和变电所运行高级工培训教材

ISBN 7-80125-022-2

I. 火… II. 河… III. ①火电厂-电力系统-继电保护-技
术培训-教材②继电自动装置-火电厂-技术培训-教材 IV. ①
TM621.6②TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第11536号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1995年8月第一版 1995年8月北京第一次印刷

787×1092毫米 32开本 12.625印张 280千字

印数00001—10070册 定价18.30元

版 权 专 有 翻 印 必 究

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨
丁巳年春

前 言

为了适应电力生产建设迅速发展的需要,提高工人队伍技术业务素质,并对技术工人晋升进行严格考核,原能源部颁发了《电力工人技术等级标准》。在贯彻执行该标准时,全国电力系统均积极开展了技术工人培训工作。为了使从事发电厂、变电所电气运行的高级技术工人能按等级标准进行正规化和系统化的培训,特组织编写了发电厂和变电所电气运行高级工培训教材,共包括《火电厂电气设备及运行》、《火电厂继电保护及自动装置》、《变电所电气设备及运行》、《变电所继电保护及自动装置》、《电力系统运行及过电压保护(火电厂、水电厂和变电所共用)》五本书,除作为发电厂、变电所电气运行高级工的培训教材,也可供发电厂、变电所电气试验及检修高级工培训时参考。

这五种教材由河南电力工业局组织郑州电力高等专科学校的高级讲师、讲师分工编写。在编写过程中,考虑了发电厂、变电所电气运行高级工的专业需要,并力求在保证教材完整性、系统性的同时,注重职工培训的特点,深入浅出,密切联系、生产实际,反映现场新技术。

本书主要阐述了火电厂继电保护及自动装置的基本原理、工作特性,对典型接线及操作方法进行分析,并介绍基本的整定计算原则及计算实例,指出了使用中应注意事项并结合现场实际介绍了一些新型继电保护和自动装置。为了便于教学和学员复习,每章后都附有复习题。

本书共分继电保护、自动装置两篇。绪论、第一篇的第4、

5、6 章由王秀英编写；第一篇的第 1、2、3 章由杨晓敏编写；第二篇由丁书文编写。王艳丽对本书有关内容进行了实验校核并绘制部分图纸。

由于编写时间仓促，教材中有不足之处，敬请读者指正。

编 者

1995 年 6 月

符 号 说 明

一、设备、元件名词符号

G	发电机	JJ	极化继电器
T	变压器	LJ	电流继电器
QF	断路器	YJ	电压继电器
TA	电流互感器、电流变换器	SJ	时间继电器
TV	电压互感器、电压变换器	XJ	信号继电器
TL	电抗变压器	ZJ	中间继电器
QS	隔离开关	ZKJ	阻抗继电器
M	电动机	CKJ	出口继电器
L	输电线路、电感线圈、励磁机	GJ	功率方向继电器
BG	晶体三极管	HD	红色信号灯
D	二极管	LD	绿色信号灯
WD	稳压管	ZCH	自动重合闸装置
ZL	整流桥	BZT	备用电源自动投入装置
YT	跳闸线圈	ZPJH	按频率自动减负荷装置
YC	合闸线圈	KK	控制开关
KM	合闸接触器	$d_1, d_2 \dots$	短路点
WSJ	瓦斯继电器	Y	与门电路
J	继电器	H	或门电路
		RW	电位器

二、电压、电流、阻抗符号

E_A, E_B, E_C	电源的三相电势	U_A, U_B, U_C	母线或保护安装处的三相电压
-----------------	---------	-----------------	---------------

U_{d1}, U_{d2}, U_{d0}	短路点正、负、零序电压	Z_{xt}	系统阻抗
U_e	额定电压	$Z_{xt \cdot \max}$	系统最大运行方式下的阻抗
U_{bp}	不平衡电压	$Z_{xt \cdot \min}$	系统最小运行方式下的阻抗
U_{dA}, U_{dB}, U_{dC}	短路点三相电压	$Z_{fh \cdot \min}$	最小负荷阻抗
I_A, I_B, I_C	三相电流	$I_{d \cdot \text{nor}}$	系统正常运行方式下的短路电流
$I_{d \cdot \max}$	最大短路电流	$I_d^{(3)}$	三相短路电流
$I_{fh \cdot \max}$	最大负荷电流	$I_d^{(2)}$	两相短路电流
I_e	额定电流	$I_d^{(1)}$	单相短路电流
I_1, I_2, I_0	正、负、零序电流	$I_d^{(1,1)}$	两相接地短路电流
I_{bp}	不平衡电流	I_{fg}	非故障相电流
R	电阻		
X	电抗		

三、保护及继电器的有关参数

I_{dx}	保护的動作电流	$U_{dx \cdot j}$	继电器的動作电压
I_h	保护的返回电流	$U_{h \cdot j}$	继电器的返回电压
U_{dx}	保护的動作电压	$Z_{dx \cdot j}$	继电器的動作阻抗
U_h	保护的返回电压	$Z_{h \cdot j}$	继电器的返回阻抗
Z_{dx}	保护的動作阻抗	Z_{zd}	继电器的整定阻抗
Z_h	保护的返回阻抗	U_j	加入继电器的电压
$I_{dx \cdot j}$	继电器的動作电流	I_j	加入继电器的电流
$I_{h \cdot j}$	继电器的返回电流	Z_j	继电器的測量阻抗

四、常用的系数

K_k	可靠系数	K_{fx}	分支系数
K_h	返回系数	K_{fzq}	非周期分量系数
K_l	灵敏系数	K_{ix}	同型系数
K_{jx}	接线系数	K_{ph}	配合系数
K_{zq}	电动机自启动系数		

目 录

出版说明	
前 言	
符号说明	
绪论	1

第一篇 继 电 保 护

第一章 电网相间短路的电流保护	8
第一节 无时限电流速断保护	8
第二节 带时限电流速断保护	11
第三节 定时限过电流保护	14
第四节 电流保护的接线方式	17
第五节 三段式电流保护装置	21
第六节 集成电路型过流速断保护	26
复习题	31
第二章 线路的纵差动保护	37
第一节 线路纵差动保护的基本原理	37
第二节 光纤纵差动保护装置的原理	42
复习题	63
第三章 电力变压器保护	65
第一节 变压器的故障及不正常运行情况	65
第二节 变压器的瓦斯保护	66
第三节 变压器的纵差动保护	70
第四节 变压器的过电流保护和过负荷保护	97
第五节 变压器的接地保护	103

第六节 变压器的过励磁保护	112
第七节 厂用变压器保护配置举例	114
复习题	115
第四章 同步发电机保护	118
第一节 同步发电机的故障、不正常运行状态 及其保护方式	118
第二节 发电机的纵差动保护	121
第三节 发电机的匝间短路保护	129
第四节 发电机定子绕组单相接地保护	135
第五节 励磁回路接地保护	147
第六节 发电机负序反时限电流保护	157
第七节 发电机的失磁保护	162
第八节 发电机-变压器组保护的特点	165
复习题	169
第五章 母线保护	174
第一节 母线的故障及母线保护的装设原则	174
第二节 母线完全差动保护装置	177
第三节 元件固定连接的母线完全差动保护	183
第四节 电流相位比较式母线差动保护	187
第五节 母线不完全差动保护	203
第六节 断路器失灵保护	209
复习题	216
第六章 电动机保护	218
第一节 电动机的故障及不正常运行状态	218
第二节 电动机的相间短路保护	219
第三节 电动机的单相接地保护	223
第四节 电动机的低电压保护	224
复习题	228

第二篇 自 动 装 置

第一章 备用电源备用设备自动投入装置	230
第一节 概述	230
第二节 对 BZT 装置的基本要求	233
第三节 BZT 装置的典型接线图	235
复习题	240
第二章 同步发电机自动调节励磁装置	242
第一节 概述	242
第二节 同步发电机的励磁方式和励磁调节方式	248
第三节 同步发电机的继电强行励磁	252
第四节 同步发电机灭磁	257
第五节 复式励磁和相位复式励磁	262
第六节 KFD-3 型相复励自动调节励磁装置	268
第七节 可控硅自动调节励磁装置	288
复习题	322
第三章 同步发电机自动并列装置	326
第一节 概述	326
第二节 准同步	328
第三节 ZZQ-5 型自动准同步装置	338
第四节 自同步装置简介	382
复习题	390
参考文献	394

绪 论

一、继电保护和自动装置的任务

电力系统由发电机、升压变压器、母线、高压输电线路、降压变压器、低压输电线路、配电系统及用电设备等元件组成。由于电能不便于储存，发电、供电、用电在同一时间进行，因此电力系统的运行具有连续性，这就要求电力系统有较高的自动化程度和管理水平。

运行中的电力系统，由于电气设备的绝缘老化或损坏、雷击、鸟害、设备缺陷或误操作等原因，可能出现各种故障和不正常运行状态。最常见的而且也是最危险的故障是各种类型的短路。此外，输电线路还可能发生断线故障。在短路故障中，接地故障的比例最高，而三相短路的后果最为严重。

电力系统中电气设备的正常工作遭到破坏，但未发展成故障的运行状态，称为不正常运行状态。例如过负荷就是最常出现的不正常运行状态。长时间过负荷会导致载流部分和绝缘材料温升过高，使绝缘老化甚至损坏，严重时就可能发展成为故障。另外，频率过低、电压过高也属于不正常运行状态。

电气设备的故障和不正常运行状态都可能引起系统的事，使系统全部或部分的正常工作遭到破坏，以致产生对用户停止送电或减少送电、电能质量不能保证、毁坏电气设备等严重后果。但是，只要提高设备的制造质量、提高设计水平、加强设备的维护检修、提高运行管理的质量，严格遵守

和执行电业规章制度，事故就可以大大减少。

除应采取积极措施尽可能消除系统中设备发生故障的因素外，设备一旦发生故障，还应尽快将故障设备切除，保证无故障设备继续供电，以减小对用户的影响。当电力系统出现不正常运行状态时，要及时发现并进行处理，以免引起设备故障。这个任务就依赖于装在每个电气设备上的继电保护装置来完成。

因此，继电保护装置的任务是：当电力系统发生故障时，自动地、迅速地、有选择性地切除故障设备，保证无故障设备继续供电；当电力系统出现不正常运行状态时，发出信号，通知值班人员，以便及时处理。

可见，继电保护装置是电力系统中一种重要的安全自动装置，它对提高系统运行的可靠性，最大限度地保证向用户安全连续供电起着极为重要的作用。因此，它是保证电力系统安全运行不可缺少的重要组成部分。

另外，为了保证对用户的连续供电，必须保证电力系统正常运行，因此电力系统自动化技术也是必不可少的手段。电力系统自动化一般包括两方面内容：一是常规自动装置；二是电力系统调度自动化，也就是电力系统的实时调度。在发电厂中，自动重合闸、备用电源自动投入装置等，可提高供电的可靠性；同步发电机的自动调节励磁装置可以加速故障切除后电压的恢复过程，提高电力系统的稳定性；同步发电机的自动并列可保证并列操作的安全可靠、加速并列操作过程，并减轻运行人员的劳动强度；按频率自动减负荷装置则可保证重要负荷的正常工作及电力系统的稳定性，因此常规的自动装置在电力系统中一直发挥着极其重要的作用。

在大电力系统中，为保证电网安全经济运行，电网调度

自动化显得越来越重要了，而电子计算机的应用，加快了电网调度自动化的实现和发展，越来越显示出它的重要性。

先进的电力系统自动控制系统的應用，在提高供电的可靠性，保证供电的连续性，提高电能质量和系统运行水平，提高电能生产和分配的经济性、以及减轻运行人员的劳动强度等方面将发挥巨大的作用。近阶段，世界上已有许多电力系统应用了先进的自动控制系统，我国也已着手电力系统调度控制自动化的研究和实践，并且发展迅速。但就目前来说，一些单项操作的自动装置在处理事故方面仍发挥着重大作用。所以，在学习应用新技术、新设备的时候，首先应学好、用好、管好这些常规自动装置，使它们能在电力系统中发挥它们的最大作用，为最终实现电力系统综合自动化打下良好基础。

本课程主要讲述发电厂的继电保护及有关的常规自动装置。

二、电力系统对继电保护的基本要求

为了完成继电保护所担负的任务，它必须满足以下四个基本要求。

1. 选择性

当电力系统发生故障时，只切除离故障点最近的断路器，使停电范围尽量缩小，这时称保护为有选择性动作。

如图 1-0-1 所示，当 d_1 点发生故障时，继电保护 3 动作使断路器 3QF 最先跳开，切除故障，系统恢复正常。又如，当 d_2 点发生故障时，继电保护 4 动作使断路器 4QF 最先跳开，切除故障。称保护为有选择性动作。若 d_1 点故障时，继电保护 2 动作，使断路器 2QF 最先跳开，就会造成变电所 C 全部停电，扩大了停电范围，称保护为无选择性动作。但是，若

d_1 点故障时, 保护 3 或断路器 3QF 拒绝动作, 则由保护 2 动作, 跳开断路器 2QF, 也可以将故障切除。此时虽然变电所 C 全部停电, 仍认为保护的動作是有选择性的, 在这种情况下, 保护 2 对保护 3 起到了后备作用。

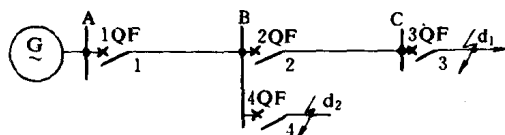


图 1-0-1 继电保护选择性动作例图

2. 快速性

为了防止扩大事故, 减轻故障的危害程度, 提高电力系统运行的稳定性, 当电力系统故障时, 继电保护装置应尽快动作, 切除故障。切除故障所需时间取决于继电保护的動作时间和断路器的分闸时间。要保证快速切除故障, 就必须减小保护的動作时间和断路器的分闸时间, 例如采用快速分闸的断路器和速动保护等。成套继电保护装置的動作时间与所在输电线路的电压等级有关, 一般要求如表 1-0-1 所示。对于过负荷等不正常运行状态, 通常给予一定延时。在此延期内, 不正常运行状态仍不能消除, 保护将发出信号。

表 1-0-1 各电压等级下对线路保护動作时间的要求

输电线路电压等级 (kV)	110	220~330	500~750
保护装置速动时间 (s)	0.1~0.5	0.04~0.1	0.02~0.06

3. 灵敏性

灵敏性系指保护对故障的反应能力。继电保护应能反应

保护范围内的故障，灵敏性通常用灵敏系数 K_l 表示。

对于反应故障时参数增加的保护装置，其灵敏系数为

$$K_l = \frac{\text{保护范围末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置动作参数的整定值}}$$

对于反应故障时参数降低的保护装置，其灵敏系数为

$$K_l = \frac{\text{保护装置的动作参数的整定值}}{\text{保护范围末端金属性短路时故障参数的最大计算值}}$$

对不同作用的保护装置和被保护设备所要求的灵敏系数不同，应满足部颁规程的规定。

4. 可靠性

继电保护装置应经常处于完善的准备动作状态，其本身应具有高度的可靠性，否则继电保护拒动或误动就是发生故障的根源。继电保护在其保护范围内发生故障时，应该可靠动作而不拒动；在其保护范围外发生故障时，应该可靠地不动作而不误动。保护装置的可靠程度与接线方案、元件质量、安装调试以及运行维护质量等因素有关。为了提高继电保护的可靠性，运行人员要加强责任感，提高技术水平，确保安装、检修和维护的质量。

继电保护的可靠性可用正确动作率来衡量，即

$$\text{正确动作率} = \frac{\text{正确动作次数}}{\text{总动作次数}} \times 100\%$$

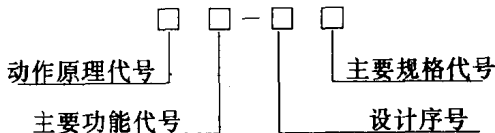
其值应尽可能接近于 100%。

任何一种继电保护装置都应尽可能地同时满足以上四个基本要求，但是，四个基本要求有时会互相矛盾，那就要从实践出发，处理好这些矛盾。总之，四个基本要求是评价继电保护装置的基本出发点。

三、继电器的种类、表示符号及型号

继电器是构成继电保护的基本元件。按照用途，可分为测量继电器和辅助继电器。测量继电器按其反应的物理量不同，又可分为电流继电器、电压继电器、功率方向继电器等。辅助继电器按其作用的不同，有时间继电器、中间继电器和信号继电器等。按照结构原理，继电器又可分为电磁型、感应型、整流型、晶体管型、集成电路型、微机型等。继电器在工程图纸上用一定的图形符号和文字符号表示，图形符号和文字符号须遵照国家规定的统一标准。

继电器的型号表示了继电器的功能及规格。国产继电器的型号由一组代号组成，其中动作原理代号和主要功能代号以汉语拼音字母表示；设计序号和主要规格代号用阿拉伯数字表示，而主要规格代号通常表示触点的型式及数量。各代号依次排列如下：



复 习 题

一、判断题（在题末括号内作记号：“√”表示对，“×”表示错）

在图 1-0-2 所示网络中，设在 d 点发生短路，试判断：

(1) 保护 1 按整定时间先动作跳开 1QF，保护 2 起动并在故障后返回，这满足选择性要求。 ()

(2) 保护 1 和 2 同时用保护 1 整定时间动作，并跳开 1QF 和 2QF，也满足了选择性的要求。 ()