



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统继电保护

黄少锋 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统继电保护

黄少锋 编著
尹项根 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分为8章,分别为概述、电流保护、输电线路距离保护、输电线路纵联保护、自动重合闸、变压器保护、发电机保护和母线保护。书中附有“*”的章节以及“顺便指出”的段落均为拓展内容,供读者和工程技术人员了解与参考。考虑到继电保护原理与微机保护内容的衔接关系,本书在附录A中简要地介绍了微机保护常用的傅里叶算法,通过一个工频周期的采样值来获取继电保护最主要的工频电流、电压相量。

本书可作为高等院校电气类专业继电保护课程的本科教材,也可作为研究生、继电保护工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/黄少锋编著. —北京:中国电力出版社,2015.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-7193-4

I. ①电… II. ①黄… III. ①电力系统-继电保护-高等学校-教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第025274号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015年4月第一版 2015年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.25印张 441千字

定价 37.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

序

黄少锋老师是国内最早跟我一起从事微机距离保护、微机成套线路保护的研究成员之一。从那时开始，他就一直从事微机继电保护的教学与研究。今天，很高兴地看到，他将继电保护的基本原理、分析方法以及对策与微机保护的特点相结合，写成了这本《电力系统继电保护》教材。

继电保护主要的基本原理并没有发生重大的改变，但是，与微机相结合之后，可以针对各种影响因素及异常工况，提出新的方案和不同的对策。在这方面，这本教材作了比较充分的介绍，仅举如下几个例子：①基于电气量特征的线路光纤差动保护同步方法，可以有效地提高线路差动保护的可靠性；②在线路差动保护中，基于相同的输入电气量构成了三种差动方法，分别克服负荷电流的影响、过渡电阻的影响；③在距离保护的阻抗特性中，既介绍了常用的圆特性和多边形特性，又说明了被常规保护所舍弃的小矩形特性可应用于振荡期间的金属性短路；④将 $U \sin \varphi$ 方法应用于振荡中心位置的识别；⑤在发电机保护中，利用裂相和端部的测量电流，分别组合出完全差动保护、不完全差动保护、横差保护。此外，这本教材又以经典和熟悉的故障分析为基础，将复合序网图的方法应用于小电流接地系统的单相接地分析中，并解释了不同接地系统的短路点零序电压高低的问题；同时，详细分析了影响线路差动保护的主要因素与对策，并与各种元件的差动保护进行了比较。

这本教材的内容具有新颖性、完整性和全面性，兼顾了本科生、研究生及工程技术人员的不同需求。在继电保护基本内容的介绍中，采用深入浅出、循序渐进的阐述方法，引导读者参与分析和思考，并对前后的内容进行了适当的归纳与比较，便于读者理解与掌握，此外，新增内容还起到了拓展思路的作用。因此，我很高兴地向读者推荐这本教材！



2014年5月20日



前 言

经过 30 多年的研究、应用、推广与实践,现在,新研制和投入使用的高中压及以上电压等级的继电保护设备几乎均为微机保护产品,甚至在配电网系统中也较多地应用了微机保护,可以说电力系统的继电保护已经进入了微机保护时代,因此,本书以微机保护作为实现继电保护装置的基本条件,各种电气量的获取方法均由《微型机继电保护基础》(文献 7)来介绍。在此背景下,本书将重点介绍继电保护原理、影响因素分析及其对策的研究。考虑到配电网系统还有应用电磁型电流保护的实际情况,也为了初学者理解最简单的继电保护概念,仅在电流保护中介绍一种电磁型电流继电器。

在本书的编写过程中,既努力保持本科教学的基本内容,又尝试增加一些新思路、新方法。为了满足循序渐进、由浅入深、拓展学习与启发思考的需要,着重突出了如下的几个特点:以微机保护为基本前提,以特征差异为原理分析的基础,以渐进启发式为目标,以归纳与比较促进深入的理解,以新技术、新内容作为知识的拓展。

全书共分为 8 章,分别为概述、电流保护、输电线路距离保护、输电线路纵联保护、自动重合闸、变压器保护、发电机保护和母线保护。书中附有“*”的章节以及“顺便指出(仿宋体)”的段落均为拓展内容。

将微机保护的特点与新方法、新技术结合后,本书增加了如下的主要内容:

(1) 将复合序网图应用于各种接地系统的单相接地分析中,并介绍了近似、等效方法的合理应用。

(2) 详细分析了振荡、过负荷的特征与主要对策,并将 $U \sin \varphi$ 应用于识别振荡中心。

(3) 完善了串补电容、双回线运行对距离保护的影响分析与对策。

(4) 归纳、比较了线路差动保护和各种设备差动保护的影响因素及主要对策,包括波传延时对线路差动保护的影响;介绍了基于电气量特征的线路差动保护同步确认方法。

(5) 初步讨论了电流幅值差动保护原理。

(6) 采用熟悉的电路方法,简要地阐述了和应涌流的机理和主要特征。

(7) 编制了距离保护逻辑框图、三相一次重合闸原理框图、保护与重合闸配合的示意图。

承蒙华中科技大学尹项根教授审阅了全稿,并提出了许多宝贵的意见和建议,谨此致谢!感谢华北电力大学王增平、毕天姝教授参与了初稿的审核!

衷心地感谢杨奇逊院士引领作者步入了微机保护的殿堂,并为本书作序!

由于作者水平所限,书中难免有不当或疏漏之处,恳请读者批评指正!

作 者

2014 年 12 月于华北电力大学

常用符号说明

1. 设备、元件

G	发电机	KZ	阻抗元件
KA	电流继电器、电流元件	M	电动机
KD	电流差动元件	QF	断路器
KM	中间继电器	QS	隔离开关
KS	信号继电器	T	变压器
KT	时间继电器、时间元件	TA	电流互感器
KV	电压元件	TV	电压互感器

2. 符号及角标

2.1 符号

C	电容、分配系数	U	电压
E	系统等效电动势	X	电抗
I	电流	Z	阻抗
L	电感	φ	阻抗角
l	长度	δ	功角
K	可靠系数、灵敏度	$\arg(\dot{X})$	取 \dot{X} 相量的角度
P	功率或方向元件	α	百分比
R	电阻	Φ	磁通

2.2 下角标

1、2		一次侧、二次侧
1、2、0		正序、负序、零序
A、B、C		三相（一次侧）
a、b、c		三相（二次侧）
b	branch	分支
d	differential	差动
er	error	误差
ex	excitation	励磁
g	ground	接地
k		故障特征量
L	load	负荷
m	measurement	测量
max	maximum	最大
min	minimum	最小

N	nominal	额定
np	non - periodic	非周期分量
op	operation	动作
os	oscillation	振荡 (中心)
re	return	返回
rel	reliability	可靠
s、S	system	系统 (也用 R、W 等)
sen	sensitivity	灵敏度
set	setting	整定
ss	self - starting	自启动
st	same type	同型
tr	transient	暂态
unb	unbalanced	不平衡
μ		励磁
Σ		总和
(1)、(2)		基波、二次谐波

说明：①下标为数字时，也应用于代表保护、断路器的位置；②下标还包含设备和元件符号。

2.3 上角标

(1)	单相接地	$ 0^- $	短路前
(1, 1)	两相接地	Y	变压器星形侧
(2)	两相相间短路	d	变压器三角形侧
(3)	三相短路	'	通常表示二次侧
I、II、III	一、二、三段保护		

说明：上角标“'”还有其他的含义，参见具体的图、文注释。

目 录

序	
前言	
常用符号说明	
第 1 章 概述	1
1.1 电力系统继电保护的作用	1
1.2 继电保护的基本要求	3
1.3 继电保护的基本原理与分类	5
1.4 继电保护发展概况	10
练习与思考	11
第 2 章 电流保护	12
2.1 单电源线路相间短路的电流保护	12
2.2 双电源线路相间短路的方向电流保护	34
2.3 零序电流保护	47
*2.4 小电流接地系统的单相接地特征及其保护	60
练习与思考	64
第 3 章 输电线路距离保护	67
3.1 距离保护的原理与动作特性	67
3.2 距离保护的接线方式	74
3.3 距离保护的整定计算及对距离保护的评价	78
3.4 系统振荡和过负荷对距离保护的影响及对策	88
3.5 影响距离保护正确工作的其他因素及对策	102
3.6 选相方法	119
3.7 故障分量阻抗元件	122
*3.8 距离保护逻辑框图	128
练习与思考	132
第 4 章 输电线路纵联保护	136
4.1 输电线路纵联保护概述	136
4.2 继电保护信息传输方式	138
4.3 输电线路高频保护	144
4.4 输电线路光纤差动保护	149
练习与思考	169
第 5 章 自动重合闸	171
5.1 自动重合闸的作用及其基本要求	171
5.2 三相一次重合闸	173

5.3	单相一次重合闸	183
*5.4	综合重合闸简介	187
	练习与思考	187
第 6 章	变压器保护	189
6.1	变压器的故障类型和不正常工作状态	189
6.2	变压器的差动保护	189
6.3	变压器的后备保护	209
6.4	变压器保护的配置原则	215
	练习与思考	217
第 7 章	发电机保护	219
7.1	发电机故障、异常运行及其保护方式	219
7.2	发电机定子绕组短路故障的保护	220
7.3	发电机的定子单相接地保护	228
7.4	发电机的负序电流保护	237
7.5	发电机的失磁保护	241
7.6	发电机的失步保护	249
7.7	发电机励磁回路的接地保护	251
	练习与思考	255
第 8 章	母线保护	257
8.1	母线故障和装设母线保护的基本原则	257
8.2	母线差动保护基本原理	258
8.3	母线保护的特殊问题及其对策	267
8.4	断路器失灵保护	272
	练习与思考	274
附录 A	傅里叶级数算法简介	275
附录 B	线路保护常用的可靠系数与灵敏系数参考表	278
参考文献	279



第1章 概述

1.1 电力系统继电保护的作用

电力系统就是电能生产、变换、输送、分配和使用的各种电气设备按照一定的技术与经济要求有机组成的一种能量传输网络。一般将电能通过的设备称为电力系统的一次设备,如发电机、变压器、断路器、母线、输电线路、补偿电容器、并联电抗器、电动机和其他用电设备等。对一次设备的运行状态进行监视、测量、控制和保护等的设备称为电力系统的二次设备。通常经过电压、电流互感器将一次设备的高电压、大电流信号按比例地转换为低电压、小电流信号,供二次设备使用。

电力系统的运行状态,一般可由运行参量来描述,主要的运行参量包括有功功率、无功功率、电压、电流、频率以及各电动势相量间的角度等。

根据电力系统不同的运行工况,可以将电力系统的运行状态分为正常状态、不正常状态和故障状态。

在电力系统正常运行时,各种一次设备和主要的运行参量均处于允许的偏差范围以内,电力系统及其所有设备可以长期运行,从而提供合格的电能。然而,这种运行状态并不是绝对不变的,当电力系统受到某种干扰时,主要运行参量的平衡将被打破,运行状态也将随之而变。

由于实际中的干扰总是有大有小,因此电力系统在受到干扰以后,其过渡的结果便有两种可能性:一种情况是,系统从原来的稳定状态过渡到另一种新的稳定状态后,运行参量相对于正常值的偏差能够保持在一定的允许范围内,系统仍能继续正常工作,例如负荷的增减、原动机的调整等。正常运行中的电力系统,实际上就是经常处于这种较小的变动过程中。另一种情况是,当电力系统发生各种故障的时候,系统的运行将发生剧烈变化,导致电力系统、电气设备、用户的正常供电遭到局部破坏,甚至全部破坏。

对于故障状态,如果不采取特别措施,那么系统就很难恢复正常运行,将给工农业生产、国防建设以及人们的生活带来严重的恶果,这就是电力系统运行的故障状态。

电力系统可能发生的故障类型比较多,包括短路、断相及多种故障的相继发生(简称复杂故障)等。最常见和最危险的故障是各种型式的短路,包括三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路,以及电机、变压器绕组的匝间短路等。此外,还可能发生一相或两相断线,以及上述几种故障相继发生的复杂故障。应当说明的是,大部分的继电保护原理主要讨论的是如何识别短路故障及其发生的区域,因此,一般情况下,不再详细区分短路与故障的区别。

电力系统发生短路时,可能引起以下的严重后果:

- (1) 很大的短路电流在短路点将燃起电弧,烧坏故障设备。
- (2) 短路电流通过故障设备和非故障设备时,产生发热和电动力的作用,致使绝缘遭到损坏,或缩短设备的使用寿命。

(3) 部分或大部分地区的电压下降, 破坏电力用户的正常工作, 影响工业产品质量。

(4) 破坏电力系统并列运行的稳定性, 引起系统振荡, 扩大事故范围, 甚至造成电力系统瘫痪、大停电。

引起一次设备短路的原因很多, 如雷击、台风、地震、绝缘老化、脏污、冰雪灾害等自然因素, 也有误操作、设计和维护不良、风筝等人为因素。基于这些原因, 导致电力系统发生短路故障是很难避免的。据 2001~2005 年的统计数据表明, 220~500kV 输电线路的年故障率为 0.31~1.25 次/(百公里·年)。当然, 只要正确地设计、制造、安装和维护, 并采取状态监测等手段, 就可以大大降低故障发生的几率。

电气设备的正常工作条件遭到破坏, 但没有发生故障, 这种情况属于不正常运行状态。电力系统最常见的不正常运行状态是过负荷。长时间过负荷会使载流设备和绝缘的温度升高, 从而加速绝缘老化或设备损坏, 甚至引起故障。此外, 有功功率缺额引起的频率降低、过电压等情况也都是不正常的运行状态。

电力系统各设备之间都是电和磁的联系, 当某一设备发生故障时, 在极短的时间内就会影响到同一电力系统的非故障设备。为了防止电力系统事故的扩大, 保证非故障部分仍能可靠地供电, 并维护电力系统运行的稳定性, 就必须尽快地切除故障, 切除故障的时间甚至要求小于 0.1s (约为“一眨眼”的时间)。在这样短的时间内, 由运行人员来发现故障并将故障设备切除是不可能的。这样的任务只能由自动装置来完成, 即继电保护装置。考虑到尽可能将故障限定在最小的范围, 因此, 通常在每一个电气设备上都设置了继电保护装置。正由于继电保护的特殊性和重要性, 故将其从自动装置中分离出来, 进行专门的研究与分析。

电力系统建立初期, 采用熔断器作为电气设备的保护装置。现在, 家庭中经常使用的空气开关就是最简单的继电保护器件。家用空气开关只可切断很小电流, 故可以将电流保护与开关的功能合并在一起。随着电气设备容量的增大、电压等级的增高以及电力系统越来越复杂, 熔断器和一般的空气开关根本无法满足切断大电流和快速切除的要求。

继电保护装置就是指能反应电力系统任何故障或不正常运行, 并向断路器发出跳闸命令的一种自动装置。“继电保护”则泛指继电保护技术以及由各种继电保护装置构成的继电保护系统, 包括继电保护原理、设计、配置、整定、调试等技术及相关设备。继电保护装置属于二次设备, 其输出的触点容量无法直接切除高电压等级的短路电流, 必须通过断路器才能切断数值较大的短路电流, 也就是说, 继电保护装置动作后通常只是给断路器发出跳闸命令, 最终还要依靠断路器来切断短路电流。综上所述, 将电力系统继电保护的作用(或称为任务)归纳为:

(1) 电力设备发生短路时, 由继电保护装置向断路器发出跳闸命令(也称为动作), 实现切除故障设备的目的, 并将被切除的设备限定在最小的范围, 保证无故障设备能够迅速地恢复正常运行。

(2) 反应电气设备的不正常状态, 发出信号, 通知值班员进行处理, 或进行自动调整, 甚至跳闸。反应不正常状态的继电保护装置容许带一定的延时动作。

可以将继电保护的主要作用简述为故障发跳令, 异常发信号。当然, 电气设备正常运行时, 继电保护不应当错误地发出跳闸命令。实际上, 继电保护通常不仅要识别是否发生了故障, 还要判定故障的位置或区域, 以便确定由谁来切除故障。另外, 在一定条件下, 继电保护装置还可以完成自动恢复供电的功能(参见第 5 章)。

继电保护装置是电力系统自动化的重要组成部分，是保证电力系统安全、可靠和稳定运行的主要措施之一。在现代电力系统中，如果没有专门的继电保护装置，那么要想维持电力系统正常工作是不可能的。虽然电力系统出现故障的几率较低，但继电保护必须时刻保护着电力系统，在没有继电保护情况下，电力设备通常是不能直接投入使用的。继电保护对于电力系统的职能类似于军队对于国家的职能。

从定义上说，短路是指电力系统正常运行情况以外的一切相与相之间、相与地之间的短接。但应当指出的是，从工程可操作性和短路危害性的角度来说，短路与非短路的一般性界定条件为：对于 110kV 及以上系统的输电线路，当短路点的电流达到 1kA 时，就认为是短路故障，必须予以切除。此界定条件的另一层含义是：对于 110kV 及以上系统的输电线路，当短路点的电流小于 1kA 时，可以按照异常状态来处理。

1.2 继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护，在技术上应满足“可靠性、选择性、速动性、灵敏性”的四项基本要求（简称四性）。四性是分析、评价和研究继电保护的重要标准，下面分别予以讨论。

1. 可靠性

可靠性是指保护该动作时应动作，不该动作时应不动作。继电保护满足这个基本要求时称为正确工作，或正确动作。

可靠性包含了两方面的含义：①在设定的保护范围内发生故障时，保护应当可靠动作，不出现拒绝动作的情况，简称不拒动（也称为信赖性）。这正是继电保护的 task 之一。②正常运行或故障发生在保护区域以外时，应当不出现错误的动作，以免扩大停电范围，简称不误动（也称为安全性）。

可靠性是继电保护的最基本要求。可靠性主要取决于设计、制造和运行维护水平。为保证可靠性，宜选用性能满足要求、原理尽可能简单的保护方案，应采用可靠的、具备抗干扰能力的硬件和软件构成的装置，应具有必要的自动检测、闭锁、告警等措施，并能够方便地进行整定、调试和运行维护。

评价继电保护可靠性的一项重要指标是继电保护正确动作率，计算方法如下

$$\text{继电保护正确动作率} = \frac{\text{继电保护正确动作次数}}{\text{继电保护总动作次数}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中：继电保护总动作次数包括继电保护正确动作次数、误动次数和拒动次数。

2. 选择性

选择性是指应当由故障设备本身所配置的保护来切除故障，仅当故障设备本身的保护或断路器拒动时，才允许由相邻设备的保护或断路器失灵保护来切除故障。

有选择性可以归纳为：

(1) 最靠近短路点的保护动作。当然，背后无电源时，不产生短路电流，也可以不动作。

(2) 对于应当动作的保护或应当跳闸的断路器，如果出现拒动，那么相当于该断路器和保护不存在，仍然采用“最靠近短路点的保护动作”来判定应当由谁来动作。

任何的拒动、误动都属于不满足选择性的要求。

以图 1-1 为例,当 K 处发生短路时,保护 1 处不流过短路电流,可以不动作,但保护 2 必须动作于跳闸,其余的保护均不动作,此时,图中的所有保护均满足可靠性和选择性的要求,称为正确动作。如果保护 2 (或断路器 2) 出现了拒动,就应当由保护 3 动作于切除短路,此时,保护 2 的拒动属于不正确动作,而保护 3 就属于正确动作。

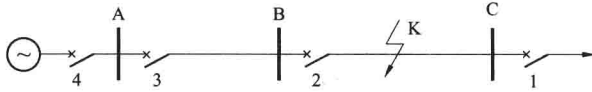


图 1-1 短路示意图

在某些条件下必须加速切除短路时,可使保护无选择动作,但必须采取补救措施,例如采用自动重合闸或备用电源自动投入等措施来补救。

3. 速动性

速动性是指尽快地切除故障。其目的是提高系统的稳定性,降低设备的损坏程度,缩小故障波及范围,提高恢复供电的效果。

要求快速切除故障的主要原因如下:

(1) 由电力系统暂态稳定分析的等面积准则可以知道,当“加速面积”等于“减速面积”时,可以确定出故障的极限切除时间 $t_{c.lim}$ (参见文献 9)。于是,当故障切除的时间小于 $t_{c.lim}$ 时,对应的加速面积越小,越有利于并列运行的电力系统稳定性。

(2) 影响设备损坏程度的热和电动力都与故障切除时间 t 成正比,切除时间越短就越有利于降低损坏的程度。

(3) 短路点燃弧的时间越长,就越有可能扩大故障。如单相接地短路可能会发展成相间短路,甚至发展为对系统稳定性危害更严重的三相短路;可恢复供电的瞬时性短路演变为不可恢复供电的永久性短路。

(4) 有利于提高自动重合闸、备用电源投入等自动装置的恢复供电效果,有利于电动机的自启动和恢复正常运行。

速动性的要求应根据电力系统稳定性、接线方式和被保护设备的具体情况来确定。动作速度的提高必须以可靠性为前提,在满足动作速度要求的情况下,稍微减缓一点动作速度意味着能够获得更多的电气量信息,也更有利于提高继电保护的可靠性。

故障切除时间等于保护动作时间、断路器跳闸时间、断路器灭弧时间之和。目前,对于 110kV 及以上电压等级的系统,故障切除时间要求不大于 90~110ms,为了配合这个总体的要求,对于瞬时(无延时)动作的继电保护,国家标准是动作时间不大于 30ms。

4. 灵敏性

灵敏性是指在设备或线路的被保护范围内发生故障时,保护装置具有的正确动作能力的裕度。一般以灵敏系数来描述。

(1) 反应电气量增大而动作的保护,灵敏系数为

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护区内金属性短路的最小短路参数计算值}}{\text{保护的動作参数}} \quad (1-2)$$

式中:保护的動作参数是可设定的,称为整定值。

(2) 反应电气量减小而动作的保护,灵敏系数为

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护的動作参数}}{\text{保护区內金属性短路的最大短路参数计算值}} \quad (1-3)$$

在后续的整定计算中，再涉及灵敏系数的具体计算方法。

应当注意的是，四性是分析、评价和研究继电保护的基础。对四性中的每一项要求都应当“有度”，应以满足电力系统的安全运行为准则，不应片面强调某一项而忽视另一项，否则会带来不良的影响。一般情况下，选择性与速动性是一对矛盾，灵敏性与可靠性是一对矛盾，防误动与防拒动是一对矛盾，因此，需要根据电力系统的实际运行情况及被保护设备的作用等，使四性要求在所配置的保护中得到辩证的统一。通常，在保证可靠性和选择性的前提下，强调灵敏性，力争速动性。

在满足要求的情况下，不要片面地提高灵敏度。灵敏度还应当按照所配置的保护功能来综合考虑，例如：高阻接地故障时，电流比较小，危害并不是很大，可以由带延时的零序过电流保护来切除。另外，对于一些发生几率较低的多重或复杂故障，在保证切除故障情况下，允许部分失去选择性，以避免因保护回路和逻辑过分复杂，反而导致保护装置的综合性能、安全性能下降。

在实际的每套继电保护装置中，一般都配置了多种的继电保护功能，表1-1列出了高压线路保护的两种典型配置。在每套保护中，各种继电保护功能相互配合、取长补短、共同作用，可以分别发出跳闸命令，从而克服了拒动的风险。但是，对于每个功能的设计与整定，就应当以不误动为基本原则。简单地说：“每个功能需要防误动，多个功能配合防拒动”。对于重要的电力设备和线路，为了提高防拒动的能力，一般可配备两套保护，并在二次电气回路上相互独立，包括两套保护的跳闸命令应当分别连接到断路器的两个跳闸线圈。

表 1-1 高压线路保护的两种典型配置

保护装置	主要的继电保护功能配置		
A套保护装置	光纤分相电流差动	3段式相间距离、 3段式接地距离	3~4段式零序保护
B套保护装置	高频距离保护、 高频零序保护		

1.3 继电保护的基本原理与分类

1. 继电保护的基本原理

为完成继电保护的基本任务，必须正确区分正常运行、不正常运行和故障状态，以便对应地完成不动作、发信号和发跳令三种逻辑。于是，寻找这三种运行状态下的可测参量（电气量和非电气量）的“差异”，就可以构成不同原理的继电保护。本书主要介绍10kV及以上电压等级电气设备的工频电气量继电保护原理，重点是介绍如何切除短路故障。

下面简单归纳一下电力系统短路故障时的主要特征，以及应用该特征所构成的继电保护方式：

- (1) 电流增大。利用此特征构成了电流保护。
- (2) 电压降低。利用此特征构成了电压保护。
- (3) 电流增大、电压降低的特征相结合，导致测量阻抗降低。利用此特征构成了距离

保护。

(4) 不对称短路时会出现零序、负序分量。利用此特征构成了零序电流保护、负序电流保护。

(5) 两侧电流大小和相位的差别。利用此特征构成了纵联保护。

具体的继电保护原理以及其他特征的应用,将在后续内容中分别予以分析与讨论。在微机保护时代,只要找出正常运行与故障的特征差异,在理论上都可以构成继电保护的原理。

对于发电机、变压器等电气设备,除了利用电气量的特征构成继电保护之外,还可以利用非电气量的特征实现保护的目,如瓦斯保护、过热保护等,简称非电量保护。非电量保护通常属于被保护电气设备的一个部件,可以直接动作于跳闸或发信号。目前,非电量保护的动作用息一般经过电气量的微机保护进行记录。

2. 继电保护分类

继电保护分类的方法有多种,按原理可分为电流保护、方向电流保护、零序电流保护、距离保护、纵联保护、差动保护、行波保护等;按装置的结构可分为电磁式、感应式、整流式、晶体管式、集成电路式、微机式等;按被保护的象可分为发电机保护、变压器保护、母线保护、输电线路保护、电动机保护等;还有按动作特性、信号传输方式分类等。

继电保护按作用可分为以下四种。

(1) 主保护。满足系统稳定和设备安全要求,能以最快速度、有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。

(2) 后备保护。在主保护或断路器拒动时,用以切除故障的保护。

后备保护分为两种方式:①近后备保护。当主保护拒动时,由就地的另一个保护实现跳闸的后备保护;当断路器拒动时,由断路器失灵保护实现跳闸的后备保护。如图 1-1 中,如果保护 2 处安装了 A、B 两套保护(称为双重化配置),那么保护 A、B 互为近后备。当保护 A 拒动时,保护 B 仍然能够起到保护的作用(两套保护同时拒动的几率是很小的)。②远后备保护。当主保护、近后备保护或断路器拒动时,由上一级的远处保护实现跳闸的后备保护。如图 1-1 中,K 处短路时,如果保护 2 或断路器 2 出现了拒动,则由更靠近电源的保护 3 动作于切除短路,此时,保护 3 起到了保护 2 的远后备作用。远后备基本上属于异地的保护。

(3) 辅助保护。作为主保护和后备保护的性补充,或当主保护和后备保护临时退出运行而增设的简单保护。

(4) 异常运行保护。反应被保护电力设备或线路异常运行状态的保护。

3. 继电保护的工作回路

在设备发生故障时,除了需要继电保护装置正确动作之外,还必须通过可靠的继电保护工作回路以及断路器的正确工作,才能完成切除故障的任务;或在系统异常时才能可靠地发出报警信号。因此,继电保护工作回路的正确性和完好性也直接影响着继电保护的可靠性,也应当予以充分地注意。

继电保护的工作回路一般包括:将一次电力设备的电流、电压线性地转变为适合继电保护等二次设备使用的电流、电压,并使一次与二次之间实现电气隔离的设备,如电流、电压互感器及其与保护装置连接的电缆;断路器跳闸线圈与保护装置的连接电缆;指示保护装置动作情况的信号设备;保护装置及跳闸、信号回路设备的工作电源等。图 1-2 以过电流保

护为例，展示了一个简单的继电保护及其工作回路的连接示意图。图中，在断路器合闸的情况下，断路器辅助触点将图中的 a、b 两点接通，准备好跳闸回路的一个条件；另外，电流元件 KA 和时间元件 KT 的动作值均为可预先设定的数值，称为整定值。后续内容中会看到，在 KA 和 KT 的联合作用下，能够应用于识别短路的区域。

电流互感器 TA 将一次侧电流传变为二次侧电流，并经过交流电缆接入到保护装置的测量元件 KA 中。在被保护设备正常运行时，由于负荷电流小于电流元件 KA 设定的动作值，则电流元件不动作，从而整套保护装置不动作。

当输入的短路电流大于 KA 预定的动作值时，KA 动作，随即启动时间元件 KT。如果 KT 满足设定的时间，则驱动起执行作用的中间继电器 KM，使 KM 触点闭合，经跳闸回路电缆接通断路器跳闸线圈 YR 的电源，于是，在跳闸线圈电磁力 F_e 的作用下，使脱扣机构释放 (F_e 大于弹簧力 F_{M2})，断路器在跳闸弹簧力 F_{M1} 的作用下跳开，使故障设备被切除，短路电流消失。在 KM 动作的同时，还需要使信号继电器 KS 发出动作信号，便于运行人员记录继电保护的動作情况。当短路电流消失后，电流小于 KA 预定的动作值，使 KA、KT 均返回，恢复成不动作的状态（称为装置复归），做好下一次再动作的准备。

由上述的动作过程可见，为了安全、可靠地完成继电保护的工作任务，就要求继电保护、断路器及其回路中的每一个元件、连线都必须时时刻刻地处于正确的工作状况。换句话说，任一个元件、连线一旦出现不正确的工作状况，都会造成无法切除故障。

应当说，图 1-2 仅仅是一个最简化的示意图。在实际的继电保护工作回路中，还包括其他的辅助设备和电路（参见文献 13）。

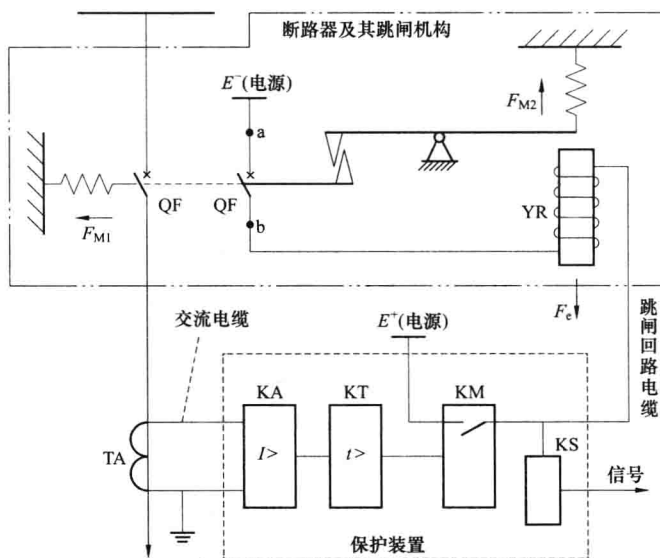


图 1-2 过电流保护及其连接示意图

4. 不同保护装置的主要保护范围

每一套继电保护装置的保护范围必须相互重叠，不允许存在无保护区域的情况，保证任何位置的故障都能被可靠地切除。图 1-3 (a) 给出了每一套保护装置至少应当保护的区域划分示意图，图中的每个虚线框均表示一套保护装置的主要保护范围。

实际上, 继电保护的主要保护范围还与电流互感器 (TA)、电压互感器 (TV) 的位置有密切关系。图 1-3 (b) 所示为母线保护、线路保护与 TA 典型配置的关系示意图。图中, TA1 接入线路保护, TA2 接入母线保护, 两组 TA 的位置相当靠近, 形成了最小的重叠区域。在后续课程中将分别介绍每种保护的具体保护范围。

每一套保护装置通常都包含了若干个保护的功能, 而每一个保护功能也有预先划分的保护范围 (也称保护区), 只有在被保护的范围内发生故障时, 该保护才允许动作, 从而保证停电范围最小。在讨论、分析某一个具体的保护装置及其保护的功能时, 在其保护范围之内发生的短路, 称为区内短路, 或内部短路; 在其保护范围之外发生的短路, 称为区外短路, 或外部短路。

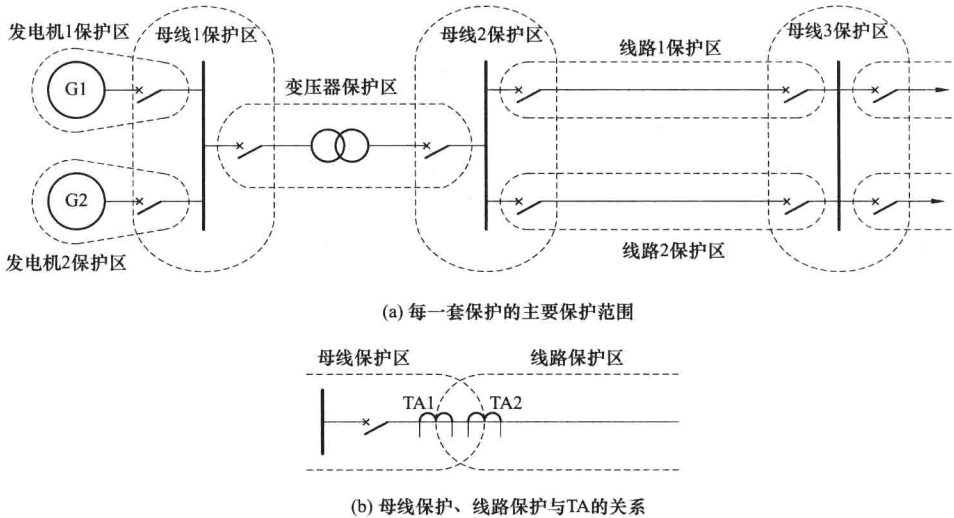


图 1-3 不同保护装置的主要保护范围示意图

5. 继电保护研究与应用的—般步骤

作用于跳闸的继电保护, 研究与应用的—般步骤为:

- (1) 研究内部短路与其他工况的特征差异。其中, 其他工况包括正常运行、正方向外部短路、反方向短路等。
- (2) 通过特征差异的界定, 构成继电保护原理或工况的识别。
- (3) 分析影响该保护原理的不利因素, 包括假设所带来的影响。
- (4) 研究消除影响因素的对策。当然, 是否应用该对策, 还需要权衡利弊, 因为如果对策倾向于防止误动, 则很可能增大了拒动的概率, 反之亦然。
- (5) 构成继电保护装置, 并经过实践的检验。如实验室验证、动模实验、试运行, 甚至现场人工短路试验, 还需要长期的工程实践与积累, 不断地修改与完善。

在特征和影响因素的分析过程中, 为了获得具有理论指导意义的公式和方法, 可以在满足工程要求的前提下, 采取一些合理的假设, 以便略去次要因素, 突出主要矛盾, 简化计算分析, 得出有指导意义的理论方案。当然, 最后还需要经过实际验证来证明假设的合理性, 或证明误差较小, 并在设置区分特征差异的门槛时, 考虑足够的误差和假设所带来的影响。

在参数变化范围很大的情况下, 可以设法确定极端边界的影响。例如, 以—条线路为分