

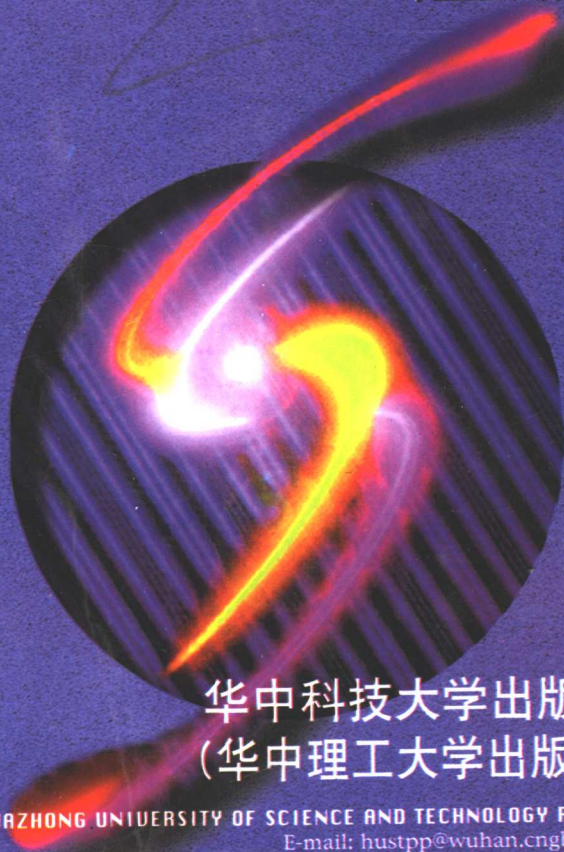


21世纪电气工程及其自动化系列教材

电力系统继电保护原理与应用

(上册)

尹项根 曾克娥 编著



华中科技大学出版社
(华中理工大学出版社)

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com

21 世纪电气工程及其自动化系列教材

电力系统继电 保护原理与应用

(上册)

尹项根 曾克娥 编著

华中科技大学出版社
(华中理工大学出版社)

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护原理与应用(上册)/尹项根 曾克娥 编著
武汉:华中科技大学出版社, 2001年5月
ISBN 7-5609-2419-0

I. 电…

II. ①尹… ②曾…

III. 电力系统-继电保护

IV. TM77

电力系统继电保护原理与应用(上册) 尹项根 曾克娥 编著

责任编辑:叶见欣

封面设计:潘 群

责任校对:蔡晓璐

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:核工业三〇九印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:19.75

字数:370 000

版次:2001年5月第1版

印次:2001年5月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2419-0/TM·88

定价:22.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

全书分上、下两册,本书为上册,主要内容包括绪论,继电保护基础知识,继电保护用电力互感器和输入变换器,继电保护装置的基本构成原理,继电保护中数字信号的计算方法,输配电线路的电流电压保护,输电线路的距离保护,输电线路的纵联保护,以及输电线路的自动重合闸等。

本书重点阐述电力系统继电保护的基本原理与运行特性分析的基本方法,对继电保护装置的构成原理以及继电保护技术的最新发展也作了必要的介绍。本书还在附录中介绍了线路保护的应用设计与举例,可作为学生课程设计的参考内容。

本书可作为高等学校“电气工程及其自动化”等专业以及“电力系统及其自动化”等专业方向的教材,还可供从事继电保护工作的专业技术人员和研究生作为参考书。

21 世纪电气工程及其自动化系列教材

编委会

主任委员	潘 垣	院 士	华中科技大学
副主任委员	尹项根	教 授	华中科技大学
委 员	顾国彪	院 士	中科院电工所
	梁维燕	院 士	哈尔滨动力设备 股份有限公司
	张勇传	院 士	华中科技大学
	杨奇逊	院 士	华北电力大学
	陈德树	教 授	华中科技大学
	何仰赞	教 授	华中科技大学
	陈 坚	教 授	华中科技大学
	王兆安	教 授	西安交通大学
	孙雨耕	教 授	天 津 大 学
	孙亲锡	副教授	华中科技大学
	姜新祺	副编审	华中科技大学
秘 书	李 德	副编审	华中科技大学

前 言

本书是根据面向 21 世纪教学改革的目标和教育部最新颁布的本科专业目录的要求,以及电气工程及其自动化专业宽口径培养计划编写的。本书阐述了电力系统继电保护的基本原理与运行特性分析的基本方法。对继电保护装置的构成原理以及继电保护技术的最新发展也作了必要的介绍。近年来,微机技术、信息技术和通信技术的发展,使继电保护的原理和技术均发生了深刻的变化,微机型继电保护正逐步占据了主导地位,因此,本书刻意加强了这方面的内容,以便读者能更好地了解继电保护的现状和发展趋势。

本书分为上、下两册。上册由第一篇电力系统继电保护概论和第二篇电力系统输电线路保护和自动重合闸组成。第一篇的主要内容包括,第一章绪论,第二章继电保护基础知识。重点介绍继电保护的基本概念和要求,保护用电力互感器和输入变换器,保护装置的构成原理,微机型保护中数字信号的计算方法等。第二篇的主要内容包括,第三章输配电线路的电流电压保护,第四章输电线路的距离保护,第五章输电线路的纵联保护,第六章输电线路的自动重合闸。系统介绍这些保护的基本原理,性能分析,整定计算和应用特点。本书第一章、第二章由尹项根编写,第三章、第四章、第五章、第六章、附录由曾克娥编写。

本书下册包括,第三篇电力系统主设备继电保护,第四篇大型复杂电力系统中继电保护的特殊问题等内容,由尹项根、张哲编写。

本书由尹项根担任主编。

本书由华中科技大学陈德树教授主审,在审阅过程中提

出了许多极有价值的见解和建议。编著者在此向陈德树教授表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,得到了华中科技大学电气与电子工程学院教学指导委员会以及其他教师提出的宝贵意见,还得到了许多高校和电力部门的同行的支持和帮助,并吸收了他们的研究成果和教学经验,编著者在此一并向他们深表谢意。

本书可作为高等学校本科“电气工程及其自动化”专业以及“电力系统及其自动化”专业方向的教材,也可作为相关专业研究生的教学参考书,还可供从事继电保护工作的专业技术人员作为参考书。为了便于本科教学组织和学时安排作者对其中可以不讲或略讲的内容标了*号,供授课教师参考。

限于编著者的水平,书中难免存在一些缺点和错误,欢迎广大读者给予指正。

编著者

2001.3

目 录

第一篇 电力系统继电保护概论

第一章 绪论	(2)
第一节 电力系统继电保护的概念与作用	(2)
一、继电保护的基本概念与作用	(2)
二、电力系统的故障状态和不正常运行状态	(2)
三、继电保护技术与继电保护装置	(3)
第二节 继电保护技术的发展简况	(4)
第三节 对继电保护的基本要求	(6)
一、选择性	(6)
二、速动性	(7)
三、灵敏性	(8)
四、可靠性	(8)
第四节 继电保护的基本原理、构成与分类	(9)
一、继电保护的基本原理	(9)
二、继电保护装置的构成	(11)
三、继电保护的分类	(11)
第五节 继电保护课程学习与技术工作的特点	(12)
一、电力系统继电保护技术工作的特点	(12)
二、电力系统继电保护课程学习的特点	(13)
思考题与习题	(14)
第二章 继电保护的基础知识	(16)
第一节 继电保护的系统配置与继电特性	(16)
一、继电保护的系统配置与保护范围	(16)
二、继电特性	(18)
三、继电保护的系统性	(19)
第二节 继电保护用电力互感器和输入变换器	(19)
一、电压互感器	(20)
二、电流互感器	(26)
* 三、继电保护装置内部的输入变换器	(31)
第三节 继电保护装置的基本构成原理	(33)

一、微机型继电保护装置的基本构成原理	(34)
二、数字信号采集的基本原理	(41)
三、微机型继电保护装置的特点	(42)
* 第四节 继电保护中离散数字信号的处理与计算方法	(43)
一、数字滤波器	(44)
二、正弦函数模型算法	(51)
三、傅氏算法	(55)
四、计算输电线路阻抗的微分方程算法	(57)
五、对称分量滤过器算法	(58)
六、移相算法	(61)
七、复数求模值的近似算法	(63)
八、微机型保护的启动算法	(64)
思考题与习题	(64)

第二篇 电力系统输电线路保护和自动重合闸

第三章 电力系统输电线路的电流电压保护	(70)
第一节 相间短路的电流电压保护	(70)
一、无时限电流速断保护(电流保护第Ⅰ段)	(70)
二、带时限电流速断保护(电流保护第Ⅱ段)	(76)
三、定时限过电流保护(电流保护第Ⅲ段)	(79)
四、电流保护的接线方式	(82)
五、三段式电流保护的原理图及延时特性	(84)
六、电流电压保护的性能分析	(87)
第二节 相间短路的方向电流电压保护	(88)
一、方向电流电压保护的产生	(88)
二、方向电流保护的构成	(89)
三、功率方向测量元件	(90)
四、三段式方向电流保护的特点	(101)
* 五、相间短路的反时限过电流保护	(103)
六、相间短路电流电压保护整定计算举例	(106)
第三节 接地短路的电流电压保护	(111)
一、大接地电流系统中的多段式零序电流保护	(111)
二、大接地电流系统中的方向零序电流保护	(122)
三、小接地电流系统中单相接地的零序电压、电流及功率方向保护	(126)
* 四、零序反时限过电流保护	(131)
思考题与习题	(132)

第四章 输电线路的距离保护	(136)
第一节 距离保护的作用原理与构成	(136)
一、距离保护的作用原理	(136)
二、距离保护的构成	(138)
三、三段式距离保护的延时特性	(139)
第二节 阻抗元件的动作特性和动作方程	(140)
一、什么是阻抗元件的动作特性和动作方程	(140)
二、圆特性阻抗继电器的动作方程	(142)
三、直线特性阻抗元件及其动作方程	(147)
四、四边形特性阻抗元件	(149)
第三节 阻抗元件的接线方式及精工电流、精工电压	(151)
一、相间短路单相式阻抗元件的 0° 接线方式	(151)
二、接地短路阻抗元件的接线方式	(154)
三、阻抗继电器的精工电流和精工电压	(155)
* 第四节 多相补偿阻抗元件	(157)
一、采用相补偿电压的多相补偿阻抗元件	(157)
二、采用相间补偿电压的多相补偿阻抗元件	(165)
第五节 阻抗元件电路构成方法及方向阻抗元件举例	(166)
一、阻抗元件整定值的模拟和调整	(166)
二、阻抗元件电路的构成方法	(167)
三、方向阻抗元件举例	(169)
四、极化电压对比较相位方向阻抗元件的影响	(174)
第六节 影响阻抗元件测量阻抗精度的因素	(177)
一、短路点过渡电阻对测量阻抗的影响	(178)
二、电力系统振荡对测量阻抗的影响	(180)
三、保护与故障点间分支电路对测量阻抗的影响	(186)
四、电压互感器二次断线的影响	(187)
五、线路串联电容补偿的影响	(189)
六、非全相运行的影响	(190)
第七节 相间距离保护的整定计算及对距离保护的评价	(191)
一、相间距离保护的整定计算	(191)
二、对距离保护的评价	(195)
三、关于全线相继速动距离保护 *	(195)
四、相间距离保护整定计算举例	(196)
* 第八节 接地距离保护的应用与选相元件	(200)
一、接地距离保护应用的特点	(200)

二、接地距离保护整定值的配合	(201)
三、阻抗选相元件	(204)
* 第九节 阻抗元件静态运行特性的分析方法	(206)
一、测量阻抗动作特性分析法	(206)
二、电压相量图动作特性分析法	(207)
三、支接阻抗动作特性分析法	(211)
思考题与习题	(211)
第五章 输电线路的纵联保护	(216)
第一节 纵联保护的基本原理和纵差保护	(216)
一、纵联保护的基本原理	(216)
二、输电线路的纵差保护	(216)
三、平行双回线的横联差动保护	(222)
第二节 高频保护概述	(227)
一、高频通道及工作方式	(227)
二、高频讯号的应用	(229)
三、高频保护的类型	(230)
第三节 高频闭锁方向保护	(230)
一、高频闭锁方向保护的基本原理	(230)
二、电流启动的高频闭锁方向保护	(231)
三、远方启动的高频闭锁方向保护	(233)
四、功率方向元件启动的高频闭锁方向保护	(234)
五、方向高频保护的功率方向元件	(234)
第四节 高频闭锁距离保护	(238)
一、高频闭锁距离保护的原理框图	(238)
二、高频闭锁距离保护与高频闭锁方向保护的主要差别	(239)
三、高频闭锁距离保护躲振荡问题	(239)
* 第五节 相差高频保护	(241)
一、相差高频保护的基本原理	(241)
二、相差高频保护的基本构成	(242)
* 第六节 其他纵联保护简介	(243)
一、高频远方跳闸保护	(243)
二、微波保护	(245)
三、方向行波保护	(246)
思考题与习题	(248)
第六章 输电线路的自动重合闸	(249)
第一节 概述	(249)

一、自动重合闸的作用	(249)
二、对自动重合闸的基本要求	(250)
三、自动重合闸的类型	(251)
四、自动重合闸的配置原则	(252)
第二节 三相自动重合闸	(252)
一、单侧电源线路的三相一次自动重合闸	(252)
二、双侧电源线路的三相一次自动重合闸与同期问题	(257)
第三节 单相自动重合闸	(261)
一、单相自动重合闸的特点	(261)
二、潜供电流和恢复电压对单相自动重合闸动作时间的影响	(262)
三、选相元件	(263)
第四节 综合自动重合闸	(267)
一、综合自动重合闸的构成原则	(268)
* 二、综合自动重合闸的跳闸回路框图及其工作情况	(269)
* 三、综合自动重合闸的合闸回路框图及其工作情况	(271)
四、自动重合闸与继电保护的配合	(273)
思考题与习题	(275)
附录	(277)
附录 A 线路保护应用设计与举例	(277)
一、继电保护整定计算的主要内容	(277)
二、继电保护整定计算的基本步骤	(277)
三、电网继电保护的设计原则	(278)
四、电网继电保护整定计算举例	(278)
附录 B 短路保护的最小灵敏系数	(294)
附录 C 常用符号	(295)
参考文献	(301)

第一篇 电力系统继电保护概论

从科学技术的角度,电力系统继电保护隶属于电力系统及其自动化专业领域;从工业生产的角度,电力系统继电保护是电力工业的一个必不可少的组成部分,担负着保障电力系统安全运行的重要职责;从学习的角度,电力系统继电保护课程是学习电力系统相关专业的一门重要课程。本篇是学习电力系统继电保护的入门篇,重点在于帮助初学者建立起继电保护的基本概念和掌握继电保护的基础知识,以便为深入学习后续内容做好必要的准备。

本篇包括两章。在第一章绪论中,介绍继电保护的概念与作用,继电保护技术的发展简况,对继电保护的基本技术要求,继电保护的基本原理、构成与分类,以及继电保护课程学习与技术工作的特点。在第二章继电保护基础知识中,介绍继电保护的系统配置与继电特性,继电保护用电力互感器和输入变换器,微机型继电保护装置的基本构成原理,以及微机型继电保护中离散数字信号的处理与计算方法。

第一章 绪 论

第一节 电力系统继电保护的概念与作用

一、继电保护的基本概念与作用

电力是当今世界使用最为广泛、地位最为重要的能源,电力系统的安全稳定运行对国民经济、人民生活乃至社会稳定都有着极为重大的影响。电力系统由各种电气元件组成。这里电气元件是一个常用术语,它泛指电力系统中的各种在电气上可独立看待的电气设备、线路、器具等。由于自然环境、制造质量、运行维护水平等诸多方面的原因,电力系统的各种元件在运行中不可能一直保持正常状态。因此,需要有专门的技术为电力系统建立一个安全保障体系,其中最重要的专门技术之一就是继电保护技术。电力系统继电保护的基本作用是,在全系统范围内,按指定分区实时地检测各种故障和不正常运行状态,快速及时地采取故障隔离或告警等措施,以求最大限度地维持系统的稳定、保持供电的连续性、保障人身的安全、防止或减轻设备的损坏。

二、电力系统的故障状态和不正常运行状态

电力系统在运行中,所有元件均可能出现各种故障状态和不正常运行状态,这时若处理不当,将引起电力系统事故。

1. 故障状态

电气元件发生短路、断线时的状态均为故障状态。最常见且最危险的故障状态是各种类型的短路。在发生短路时可能会产生下列严重后果:

- ①强大的短路电流流过故障点,引燃电弧,使故障设备损坏甚至烧毁;
- ②短路电流通过非故障元件时,引起元件的发热和电动力的作用,会使它们损坏或缩短使用寿命;
- ③造成电力系统中部分地区的电能质量严重恶化(如电压值大幅度下降等),破坏电力用户的正常生产,影响产品质量;
- ④破坏电力系统并列运行的稳定性,引发系统振荡,甚至使整个系统瓦解。

2. 不正常运行状态

电气元件超出正常允许的工作范围,但没有发生故障的运行状态,属于不正常

运行状态。例如,因负荷超过供电设备的额定值而引起的电流升高(一般又称为过负荷)的状态,就是一种常见的不正常运行状态;又如,因短路故障引起邻近健全设备处于电流严重升高的状态,对于健全设备而言,也是一种不正常运行状态。上述两种情况的电流均超过额定值,会使电气元件载流部分和绝缘材料的温度不断升高,加速绝缘的老化和损坏,并有可能发展成故障。此外,系统中出现因功率缺额而引起的频率降低,因发电机突然甩负荷而产生的过电压,以及电力系统发生振荡等,都属于不正常运行状态。

3. 电力系统的事故及事故的防治对策

发生故障和不正常运行状态时,若处理不当,则将引起电力系统的事故。事故,是指电力系统整体或部分的正常工作遭到破坏,并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的地步,甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏等严重后果的事件。电力系统事故的发生,除了自然条件的因素(如遭受雷击等)以外,一般都是设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当引起的。因此,首先应在上述各环节严把质量关,建立完善的管理和培训机制,严格执行各项规章制度,加强对设备的维护和检修,这样就有可能大大减少事故发生的几率,力争把事故消灭在发生之前。

尽管如此,由于自然的、设备的和人为的原因,诱发事故的各种电力系统故障和不正常运行状态是不可能完全避免的。电力系统各设备之间是电和磁的联系,故障一旦发生,故障量将以近似光速的速度影响其他非故障设备,甚至引起新的故障。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,以及维持电力系统运行的稳定性,要求电力系统能在几十毫秒内准确迅速地识别并切除故障。这是无法由运行人员做到的,必须借助于继电保护装置。同时,电力系统的运行状态也应受到不间断的实时监视,一旦发生不正常运行状态,能及时告警(通知运行人员采取措施)或启动自动控制装置(恢复正常运行),这些也必须借助于继电保护装置。

三、继电保护技术与继电保护装置

继电保护技术是一个完整的体系,它主要由电力系统故障分析、继电保护原理及实现、继电保护配置设计、继电保护运行与维护等技术构成,而完成继电保护功能的核心是继电保护装置。

继电保护装置,是指装设于整个电力系统的各个元件上,能在指定区域快速准确地对电气元件发生的各种故障或不正常运行状态作出反应,并按规定时限内动作,使断路器跳闸或发出信号的一种反事故自动装置。继电保护装置又称为保护继电器。

继电保护装置的基本任务是:

- ① 自动、迅速、有选择性地将故障元件从电力系统中切除,并最大限度地保证

其他无故障部分迅速恢复正常运行;

②能对电气元件的不正常运行状态作出反应,并根据运行维护规范和设备承受能力动作,发出告警信号,或减负荷,或延时跳闸;

③条件许可时,可采取预定措施,尽快地恢复供电和设备运行。

由于最初的继电保护装置是由机电式继电器为主构成的,故称为继电保护装置。尽管现代继电保护装置已发展成为由电子元件或微型计算机为主构成的,但仍沿用此名称。目前常用继电保护一词泛指继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统。继电保护装置一词则指各种具体的装置。

综上所述,继电保护是一种电力系统安全保障技术,继电保护装置是一种电力系统的反事故自动装置。平时,即在电力系统正常运行时,继电保护装置并不产生操作行为,而只是严密实时地监视电力系统及其元件的运行状态;一旦发生故障或不正常运行状态,继电保护装置就将迅速动作,实现故障隔离和告警,保障电力系统安全。因此,继电保护装置又被形象化地称为“静静的哨兵”。总之,继电保护技术是电力系统必不可少的组成部分,对保障系统安全运行,保证电能质量,防止故障扩大和事故发生,都有极其重要的作用。

第二节 继电保护技术的发展简况

继电保护技术是随着电力系统的发展和科学技术的进步而不断发展起来的。

根据短路通常会伴随着电流显著增大的特征,首先出现了电流超过预定值即动作的过电流保护。最早出现的过电流保护是熔断器,时至今日它仍被广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是集保护装置与断电装置于一体,因而简单可靠。熔断器的主要缺点是,动作精度差,配合难度大,断流能力有限,恢复供电麻烦。随着电力系统的发展,对继电保护的性能要求不断提高,于是出现了作用于断路器的过电流继电器。19世纪90年代出现了装于断路器上并直接反映一次短路电流的电磁型过电流继电器。进而,继电器开始采用电流互感器和电压互感器的二次侧电量作为输入测量量,以避免与高电压、大电流直接相连。这样便形成了结构上独立于一次系统(传感器和断路器)的现代继电保护装置的雏形。

20世纪初,继电器开始广泛应用于电力系统的保护。1901年出现了感应型过电流继电器。1908年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动保护原理。1910年方向性电流保护原理得到应用。1920年输电线路距离保护装置诞生。1927年前后,随着电力系统载波通信的发展,出现了利用高压输电线上高频载波电流传送和比较输电线两端功率方向或电流相位的高频保护装置。在20世纪50年代,微波中继通信开始应用于电力系统,从而出现了利用微波传送和比较输电线两端故障电气量的微波保护。早在20世纪50年代就出现了利用故障点产生的行波来实现快速继电保护的设想,经过20余年的研究,终于诞生了行波保护装置。目前,随着光

纤通信在电力系统中的大量采用,利用光纤通道的继电保护正得到迅速的发展和广泛的应用。

从 20 世纪初至今,继电保护装置使用的元器件、材料、制造工艺以及结构型式发生了巨大的变化,促使继电保护装置经历了机电型、电子型和微机型几代变革,使得继电保护装置的实现技术不断进步,性能不断提高,功能不断完善。

20 世纪 50 年代以前的继电保护装置都是由电磁型、感应型或电动型继电器组成的。它们都具有机械转动部件,统称为机电型继电器。由这些继电器组成的保护装置称为机电型继电保护装置。机电型继电保护装置体积大,消耗功率大,动作速度慢,机械转动部分和触点容易磨损或粘连,调试维护比较复杂,不能满足超高压、大容量电力系统的要求。

20 世纪 50 年代,由于半导体技术的发展,先后出现了采用整流器件制作的整流型继电保护装置和采用晶体管制作的晶体管型继电保护装置。这类保护装置体积小,功率消耗小,动作速度快,无机械转动部分,通称为电子型静态保护装置。20 世纪 70 年代是晶体管型继电保护装置在我国大量应用的时期,基本满足了当时电力系统向超高压、大容量方向发展的需要。紧接着,由于集成电路技术的发展,出现了体积更小,功耗更低,工作更可靠的集成电路元器件(如运算放大器)。这促使静态继电保护装置向集成电路化的方向发展。20 世纪 80 年代后期,集成电路型继电保护装置逐步取代了晶体管型继电保护装置,成为电子型静态继电保护装置的主要型式。

20 世纪 60 年代末,有人提出了用小型计算机实现继电保护装置的设想,因当时小型计算机在价格、体积、性能方面的种种原因而未能投入实用。但却由此开始了对继电保护计算机算法的大量研究,为后来微型计算机型继电保护装置(简称微机型保护)的发展奠定了理论基础。20 世纪 70 年代后半期,出现了比较完善的微机型保护样机,并投入到电力系统中试运行。20 世纪 80 年代微机型保护在硬件结构和软件技术方面已趋成熟,在一些国家得到推广应用。进入 20 世纪 90 年代以来,微机型保护在我国已得到大量应用,成为了继电保护装置的主要型式。微机型保护具有强大的计算、分析和逻辑判断能力,具有优良的存储记忆功能,因而可以实现性能完善且复杂的保护原理;微机型保护可连续不断地对本身的工作情况进行自检,其工作可靠性很高。此外,微机型保护可用同一硬件实现不同的保护原理,这使保护装置的制造大为简化,也容易实行保护装置的标准化。微机型保护除了具有保护功能外,还可兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录以及网络通信等辅助功能,这对简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。由于微机型保护装置的巨大优越性和潜力,因而受到了运行人员的广泛欢迎。可以说微机型保护代表着电力系统继电保护的未來。