



21st CENTURY

十一五规划教材

21世纪全国高等院校

自动化系列 实用规划教材



# 电力系统继电保护

主 编 马永翔 王世荣  
副主编 于 群 赵 栩  
主 审 李建忠

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

TM77  
26

21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

# 电力系统继电保护

主 编 马永翔 王世荣  
副主编 于 群 赵 栩  
主 审 李建忠

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》之一, 主要讲述了电力系统继电保护的工作原理, 分析了常用继电器的性能、实现方法并介绍了继电保护的新发展。

本书主要内容包括: 继电保护的基础知识、电网的电流保护、电网的距离保护、输电线路纵联保护、自动重合闸、电力变压器保护、发电机继电保护、母线保护以及微机继电保护。

本书可作为电气工程及其自动化专业的本科教材, 也可供电力系统工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/马永翔, 王世荣主编. —北京: 中国林业出版社; 北京大学出版社, 2006.8

(21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4405-1

I. 电… II. ①马… ②王… III. 电力系统—继电保护—高等学校—教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 084745 号

**书 名:** 电力系统继电保护

**著作责任者:** 马永翔 王世荣 主编

**策划编辑:** 李娉婷

**责任编辑:** 李 虎 曹 岚 张 敏

**标准书号:** ISBN 7-5038-4405-1

**出 版 者:** 中国林业出版社(地址: 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 总编室 66180373 营销中心: 66187711

北京大学出版社(地址: 北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup\_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

**印 刷 者:** 北京汇林印务有限公司

**发 行 者:** 北京大学出版社 中国林业出版社

**经 销 者:** 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 435 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

**定 价:** 27.00 元

《21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

专家编审委员会

主任委员 张德江

副主任委员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈 静          丁坚勇          侯媛彬

纪志成          任庆昌          吴 斌

秘书长 于微波

委 员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈志新          戴文进          段晨旭          樊立萍

范立南          公茂法          关根志          嵇启春

蒋 中          雷 霞          刘德辉          刘永信

刘 原          马永翔          孟祥萍          孟彦京

聂诗良          王忠庆          吴旭云          燕庆明

杨新华          尤 文          张桂青          张井岗

# 总 序

我们所处的时代被称为信息时代。信息科学与技术的迅速发展和广泛应用，深深地改变着人类生产、生活的各个方面。人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学与技术的发展。自动化科学与技术涉及到信息的检测、分析、处理、控制和应用等各个方面，是信息科学与技术领域的重要组成部分。在我国经济建设的进程中，工业化是不可逾越的发展阶段。面对全面建设小康社会的发展目标，党和国家提出走新型工业化道路的战略决策，这是一条我国当代工业化进程的必由之路。实现新型工业化，就是要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的可持续发展的科学发展之路。在这个过程中，自动化科学与技术起着不可替代的重要作用，高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命。

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35%~40%，其中自动化类的学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一。在我国高等教育已走进大众化阶段的今天，人才培养模式多样化已成为必然的趋势，其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求最多的一大类人才。为了促进自动化领域应用型人才培养，发挥院校之间相互合作的优势，北京大学出版社组织了这套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》。

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者，由此确定了教材的使用范围，也为“实用教材”的定位找到了落脚点。本系列教材具有如下特点：

(1) 注重实用性。地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型，对这一大类人才的培养要注重面向工程实践，培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。从这一教学原则出发，本系列教材注重实用性，注意引用工程中的实例，培养学生的工程意识和工程应用能力，因此将更适合地方工科院校的教学要求。

(2) 体现新颖性。更新教材内容，跟进时代，加入一些新的先进实用的知识，同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(3) 院校间合作交流的果。每一本教材都有几所院校的教师参加编写。北大出版社事先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会，来自各院校的教师比较充分地交流了情况，在相互借鉴、取长补短的基础上，形成了编写大纲，确定了编写原则。因此，这一系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和作法。

(4) 这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的各门课程，到目前为止，列入计划的已有 30 多门，教材门数多，参与的院校多，参加编写人员多。

地方工科院校是我国高等院校中比例最大的一部分。本系列教材面向地方工科院校自动化类专业教学之用，将拥有众多的读者。教材专家编审委员会深感教材的编写质量对教学质量的重要性，在审纲会上强调了“质量第一，明确责任，统筹兼顾，严格把关”的原则，要求各位主编加强协调，认真负责，努力保证和提高教材质量。各位主编和编者也将尽职尽责，密切合作，努力使自己的作品受到读者的认可和欢迎。尽管如此，由于院校之间、编者之间的差异性，教材中还是难免会出现一些问题和不足，欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议。

张德江

2006年1月

# 前 言

电力系统的飞速发展对继电保护不断提出新的要求，电子技术、计算机技术与通信技术的飞速发展又为继电保护技术的发展不断注入新的活力。未来继电保护的发展趋势是向计算机化，网络化及保护、控制、测量、数据通信一体化智能化发展。

## 1 计算机化

随着计算机硬件技术的迅猛发展，微机保护硬件也在不断发展。从初期的 8 位单 CPU 结构问世，不到 5 年时间就发展到多 CPU 结构，后又发展到总线不出模块的大规模结构。除了具备保护的基本功能外，还具有大容量故障信息和数据的长期存放空间，快速的数据处理功能，强大的通信能力，与其他保护、控制装置和调度联网以共享全系统数据、信息和网络资源的能力，高级语言编程等。这样就使得微机保护装置具有相当于一台 PC 的功能。在微机保护发展初期，曾设想过用一台小型计算机做成继电保护装置。由于当时小型机体积大、成本高、可靠性差，这一设想没能实现。现在，同微机保护装置大小相似的工控机的功能、速断、存储容量都大大超过当年的小型机，因此，用成套工控机做成继电保护的时机已经成熟，这将是微机保护的发展方向之一。

## 2 网络化

计算机网络作为信息和数据通信工具已成为信息时代的技术支柱，使人类生产和社会生活的面貌发生了根本变化。它深刻影响着各个工业领域，也为各个工业领域提供了强有力的通信手段。到目前为止，除了差动保护和纵联差动保护外，所有继电保护装置都只能反应保护安装处的电气量。继电保护的作用也只限于切除故障元件，缩小事故影响范围。这主要是由于缺乏强有力的通信手段。国外早已提出过系统保护的概念，这在当时主要指安全自动装置。因此保护的作用不只限于切除故障元件和限制事故影响范围(这是首要任务)，还要保证全系统的安全稳定运行。这就要求每个保护单元都能共享全系统运行和故障的数据，各个保护单元与重合闸装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作，确保系统的安全稳定运行。显然，实现这种系统保护的基本条件是将全系统各主要设备的保护装置用计算机网络连接起来，亦即实现微机保护装置的网络化。这在当前的技术条件下是完全可能的。

## 3 保护、控制、测量、数据通信一体化

在实现继电保护的计算机化和网络化的条件下，保护装置实际上就是一台高性能、多功能的计算机，是整个电力系统计算机网络上的一个智能终端。它可以从网络上获取电力系统运行和故障的任何信息和数据，也可将它所获得的被保护元件的任何信息和数据传送给网络控制中心或任一终端。因此，每个微机保护装置不但可完成继电保护功能，而且在无故障正常运行情况下还可完成测量、控制、数据通信功能，亦即实现保护、测量、数据通信一体化。

目前,为了测量、保护和控制的需要,室外变电站的所有设备,如变压器、线路等的二次电压、电流都必须用控制电缆引到主控室。所敷设的大量控制电缆不但需要大量投资,而且使二次回路非常复杂。若将上述的保护、控制、测量、数据通信一体化的计算机装置就地安装在室外变电站的被保护设备旁,将被保护设备的电压、电流量在此装置内转换成数字量后,通过计算机网络送到主控室,则可免除大量的控制电缆。如果用光纤作为网络的传输介质,还可免除电磁干扰。现在光电流互感器(OTA)和光电压互感器(OTV)已在研究试验阶段,今后必将在电力系统中得到广泛应用。在采用 OTA 和 OTV 的情况下,保护装置应放在距 OTA 和 OTV 最近的地方,亦即应放在被保护设备的附近。OTA 和 OTV 的光电信号输入到此一体化装置中并转换成电信号后,一方面用作保护的判断,另一方面作为测量量,通过网络送主控室。从主控室通过网络可将对被保护设备的操作控制命令送到此一体化装置,由此一体化装置执行断路器的操作。

#### 4 智能化

近年来,人工智能技术如神经网络、遗传算法、进化规划、模糊逻辑等在电力系统各领域的应用,在继电保护领域应用的研究也已开始。神经网络是一种非线性映射的方法,很多难以列出方程或难以求解的复杂的非线性问题,应用神经网络方法后则可迎刃而解。如在输电线路两侧系统电势角度摆开情况下,发生过渡电阻的短路就是一个非线性问题,距离保护很难正确做出故障位置的判断,从而造成误动或拒动。如果用神经网络方法,经过大量故障样本的训练,只要样本集中充分考虑了各种情况,则在发生任何故障时都可正确判断。其他如遗传算法、进化规划算法等也都有其独特的求解复杂问题的能力。将这些人工智能方法适当结合可使求解速度更快。

新中国成立以来,我国电力系统继电保护技术经历了4个时代。随着电力系统的高速发展和计算机技术、通信技术的进步,继电保护技术面临着进一步发展的趋势。国内继电保护技术的趋势为:计算机化,网络化,保护、控制、测量、数据通信一体化和人工智能化,这对继电保护工作者提出了艰巨的任务,也开辟了活动的广阔天地。

本书由陕西理工学院马永翔编写第1、3、6、7章,长春工业大学王世荣编写第2、8章,山东科技大学于群编写第4、5章,长春工程学院赵栩编写第9章。全书由马永翔统稿。

本书由李建忠教授主审,在审阅过程中提出了许多宝贵意见和建议,在此表示深切感谢。

在编写过程中,还得到了电力系统有关部门的帮助,在此一并表示感谢。

限于编者水平和实践经验有限,编写时间仓促,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006年5月



# 目 录

第 1 章 绪论.....	1	2.3.6 对零序电流保护的评价.....	59
1.1 电力系统继电保护的任务和作用.....	1	2.4 小电流接地系统的零序电流保护.....	60
1.2 继电保护的基本原理.....	2	2.4.1 中性点不接地系统中 单相接地故障的特点.....	61
1.3 继电保护的组成及分类.....	3	2.4.2 中性点不接地系统的接地 保护.....	63
1.4 对继电保护装置的要求.....	6	2.4.3 中性点经消弧线圈接地 系统的特点.....	66
1.4.1 可靠性.....	6	2.4.4 中性点经消弧线圈接地 系统的接地保护.....	68
1.4.2 选择性.....	7	思考题与习题.....	69
1.4.3 速动性.....	8	第 3 章 电网的距离保护.....	74
1.4.4 灵敏性.....	8	3.1 距离保护的基本原理.....	74
1.5 继电保护的发展简史.....	9	3.1.1 距离保护的基本原理.....	74
思考题与习题.....	11	3.1.2 三相系统中测量电压和 测量电流的选取.....	75
第 2 章 电网的电流保护.....	12	3.1.3 距离保护的时限特性.....	79
2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护.....	12	3.1.4 距离保护的组成.....	80
2.1.1 反应单一电气量的继电器.....	12	3.2 阻抗继电器及其动作特性.....	81
2.1.2 电流速断保护.....	14	3.2.1 用复数阻抗平面分析阻抗 继电器的特性.....	81
2.1.3 限时电流速断保护.....	16	3.2.2 比幅原理和比相原理.....	82
2.1.4 定时限过电流保护.....	19	3.2.3 阻抗继电器的动作特性和 动作方程.....	85
2.1.5 阶段式电流保护的应用及 评价.....	22	3.3 阻抗继电器的实现方法.....	90
2.1.6 电流保护的接线方式.....	25	3.3.1 幅值比较原理的实现.....	90
2.2 电网相间短路的方向性电流保护.....	28	3.3.2 相位比较原理的实现.....	93
2.2.1 方向性电流保护的工作原理.....	28	3.3.3 阻抗继电器的精确工作电流 和精确工作电压.....	96
2.2.2 功率方向继电器.....	30	3.4 影响距离保护正确工作的因素.....	98
2.2.3 相间短路功率方向继电器的 接线方式.....	35	3.4.1 概述.....	98
2.2.4 方向性电流保护的整定计算.....	41	3.4.2 过渡电阻对距离保护的 影响.....	99
2.2.5 对方向性电流保护的评价.....	42		
2.3 大电流接地系统的零序电流保护.....	43		
2.3.1 接地时零序分量的特点.....	43		
2.3.2 零序分量过滤器.....	45		
2.3.3 三段式零序电流保护.....	46		
2.3.4 方向性零序电流保护.....	50		
2.3.5 零序电流保护整定计算举例.....	53		

3.4.3 分支电路对距离保护的 影响.....	103	4.3.2 高频通道的工作方式 .....	145
3.4.4 电力系统振荡对距离保护的 影响.....	106	4.3.3 高频保护的类型 .....	146
3.4.5 距离保护的振荡闭锁.....	112	4.4 方向高频保护 .....	146
3.5 距离保护的整定计算和方法 .....	115	4.4.1 方向高频保护的 基本原理 .....	146
3.5.1 距离保护的整定原则.....	115	4.4.2 电流启动方式的高频闭锁 方向保护 .....	147
3.5.2 距离保护的整定计算.....	115	4.4.3 方向元件启动方式的 高频闭锁方向保护 .....	148
3.5.3 整定计算举例.....	122	4.4.4 远方启动方式的高频 闭锁方向保护 .....	149
3.6 对距离保护的评价及应用范围 .....	125	思考题与习题 .....	150
3.7 继电保护与变电站综合自动化 .....	126	<b>第 5 章 自动重合闸</b> .....	151
3.7.1 变电站综合自动化的 基本原理和发展过程.....	126	5.1 自动重合闸的作用及基本要求 .....	151
3.7.2 变电站综合自动化发展 过程.....	127	5.1.1 自动重合闸的作用 .....	151
3.7.3 分散与集中相结合的分布式 变电站综合自动化系统结构 框图.....	128	5.1.2 采用自动重合闸的 不利影响 .....	152
3.7.4 变电站综合自动化的 计算机局域网.....	129	5.1.3 装设重合闸的规定 .....	152
思考题与习题 .....	132	5.1.4 对自动重合闸的基本要求 .....	152
<b>第 4 章 输电线路纵联保护</b> .....	135	5.1.5 自动重合闸的类型 .....	153
4.1 输电线路纵联保护的基本原理与 类型.....	135	5.2 单侧电源输电线路的 三相一次自动重合闸 .....	154
4.1.1 输电线路纵联保护的 基本原理.....	135	5.3 双侧电源线路的三相一次 自动重合闸.....	155
4.1.2 输电线路纵联保护的 基本类型.....	136	5.3.1 双侧电源线路自动重合闸的 特点 .....	155
4.2 导引线纵联保护 .....	136	5.3.2 双侧电源线路自动重合闸的 主要方式 .....	156
4.2.1 导引线纵联保护的 基本原理.....	136	5.4 具有同步检定和无电压检定的 重合闸 .....	158
4.2.2 导引线纵联保护的 整定计算.....	139	5.5 重合闸动作时限的选择原则 .....	159
4.2.3 导引线纵联保护的 动作特性.....	140	5.5.1 单侧电源线路的三相 重合闸 .....	160
4.2.4 带制动特性的纵联保护.....	141	5.5.2 双侧电源线路的三相 重合闸 .....	160
4.3 输电线高频保护基本概念 .....	143	5.6 自动重合闸装置与继电保护 的配合 .....	161
4.3.1 高频通道的构成原理.....	143	5.6.1 自动重合闸前加速保护 .....	161

5.6.2 重合闸后加速保护.....	162	零序电流保护 .....	189
5.7 单相自动重合闸 .....	163	6.5.2 中性点可能接地或不接地 运行时变压器的零序电流 电压保护 .....	190
5.7.1 单相自动重合闸与保护的 配合关系.....	163	思考题与习题 .....	191
5.7.2 单相自动重合闸的特点.....	164	<b>第 7 章 发电机继电保护</b> .....	193
5.8 综合重合闸简介 .....	166	7.1 发电机的故障类型、 不正常运行状态及其保护方式.....	193
5.9 750kV 及以上特高压输电线上 重合闸的应用 .....	167	7.1.1 发电机的故障和异常 运行状态 .....	193
5.9.1 三相重合闸在特高压输电 线上的应用问题.....	167	7.1.2 大型发电机组的特点及 对继电保护的要求 .....	194
5.9.2 单相重合闸在特高压输电线 上的应用问题.....	167	7.1.3 发电机保护装设的原则 .....	194
思考题与习题 .....	168	7.2 发电机的纵差动保护 .....	196
<b>第 6 章 电力变压器保护</b> .....	169	7.2.1 工作原理 .....	196
6.1 电力变压器的故障、异常工作 状态及其保护方式.....	169	7.2.2 整定原则 .....	197
6.2 变压器的纵差保护 .....	171	7.3 发电机定子绕组匝间短路保护 .....	199
6.2.1 变压器纵差保护的 基本原理.....	171	7.3.1 装设匝间短路保护的 必要性 .....	199
6.2.2 不平衡电流产生的原因.....	172	7.3.2 单继电器横差保护 .....	200
6.2.3 变压器的励磁涌流.....	174	7.3.3 定子绕组零序电压原理的 匝间短路保护 .....	202
6.2.4 减小不平衡电流的措施.....	175	7.4 发电机定子绕组单相接地保护 .....	203
6.2.5 纵差保护的整定计算.....	178	7.4.1 发电机定子绕组单相接地的 特点 .....	203
6.2.6 二次谐波制动的差动 继电器.....	179	7.4.2 利用零序电流构成的 定子接地保护 .....	205
6.3 变压器的瓦斯保护 .....	181	7.4.3 利用零序电压构成的 定子接地保护(用于发 电机变压器组) .....	206
6.3.1 瓦斯继电器的工作原理.....	181	7.4.4 利用三次谐波电压构成 100%的定子绕组单相接 地保护 .....	208
6.3.2 瓦斯保护接线.....	183	7.5 发电机的失磁保护 .....	211
6.4 变压器相间短路的后备保护及 过负荷保护 .....	183	7.5.1 发电机失磁运行的后果 .....	211
6.4.1 过电流保护.....	184	7.5.2 发电机失磁后的机端测量 阻抗 .....	212
6.4.2 低电压启动的过电流保护.....	185	7.5.3 发电机失磁保护的	
6.4.3 复合电压启动的过 电流保护.....	185		
6.4.4 负序过电流保护.....	187		
6.4.5 过负荷保护.....	188		
6.5 变压器接地短路的后备保护 .....	188		
6.5.1 中性点直接接地变压器的			

辅助判据.....	218	9.1.1 计算机在继电保护领域中的	
7.5.4 失磁保护的构成方式.....	218	应用和发展概况 .....	245
7.6 发电机的其他保护 .....	219	9.1.2 微机继电保护装置特点 .....	245
7.6.1 发电机逆功率保护.....	219	9.2 微机保护的硬件构成原理 .....	246
7.6.2 发电机低频保护.....	220	9.2.1 微机保护的硬件组成 .....	246
7.6.3 过电压保护.....	220	9.2.2 数据采集系统 .....	247
7.6.4 失步保护.....	221	9.2.3 CPU 主系统.....	253
思考题与习题 .....	221	9.2.4 开关量输入输出电路 .....	253
<b>第 8 章 母线保护</b> .....	223	9.3 微机保护的表征量算法 .....	255
8.1 母线的故障及装设保护的原则 .....	223	9.3.1 数字滤波 .....	255
8.2 母线差动保护的基本原理 .....	225	9.3.2 正弦函数的算法 .....	256
8.2.1 完全电流差动母线保护.....	226	9.3.3 傅里叶算法 .....	259
8.2.2 高阻抗母线差动保护		9.3.4 解微分方程算法 .....	261
(也称电压差动母线保护).....	227	9.3.5 与信号频率无关的算法 .....	263
8.2.3 具有比率制动特性的电流		9.3.6 滤序算法和频率算法 .....	264
差动母线保护.....	228	9.3.7 复数求模值方法 .....	267
8.2.4 电流比相式母线保护.....	230	9.4 微机保护装置的软件构成 .....	269
8.3 双母线的差动保护 .....	234	9.5 提高微机保护可靠性的措施 .....	271
8.3.1 元件固定连接的双母线		9.5.1 干扰和干扰源 .....	271
电流差动保护.....	234	9.5.2 微机保护装置的硬件	
8.3.2 母联电流比相式母线		抗干扰措施 .....	275
差动保护.....	236	9.5.3 微机保护装置的软件	
8.3.3 双母线保护的其他方法.....	237	抗干扰措施 .....	277
8.4 一个半断路器接线的母线保护 .....	238	9.6 微机保护技术发展趋势 .....	280
8.5 断路器失灵保护简介 .....	239	9.6.1 高速数据处理芯片的应用 .....	280
8.6 母线保护的特殊问题及其对策 .....	241	9.6.2 微机保护的网络化 .....	281
8.6.1 母线运行方式的切换及		9.6.3 保护、控制、测量、信号、数据	
保护的自适应.....	241	通信一体化 .....	281
8.6.2 电流互感器的饱和问题及		9.6.4 继电保护的智能化 .....	282
母线保护常用的对策.....	242	思考题与习题 .....	284
思考题与习题 .....	243	<b>附录 1 常用文字符号</b> .....	285
<b>第 9 章 微机继电保护</b> .....	245	<b>附录 2 短路保护的最小灵敏系数</b> .....	288
9.1 概述 .....	245	<b>参考文献</b> .....	290

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 电力系统继电保护的任务和作用

电力系统在运行中可能发生各种故障和不正常运行状态，最常见同时也是最危险的故障是各种类型的短路。发生短路时可能产生以下后果：

(1) 数值较大的短路电流通过故障点时，产生电弧，使故障设备损坏或烧毁。

(2) 短路电流通过非故障元件时，使电气设备的载流部分和绝缘材料的温度超过散热条件的允许值而不断升高，造成载流导体熔断或加速绝缘老化和损坏，从而可能发展成为故障；

(3) 电力系统中部分地区的电压大大下降，破坏用户工作的稳定性或影响产品的质量。

(4) 破坏电力系统中各发电厂并列运行的稳定性，引起系统振荡，从而使事故扩大，甚至导致整个系统瓦解。

各种类型的短路包括三相短路、两相短路、两相短路接地和单相接地短路。不同类型短路发生的概率是不同的，不同类型短路电流的大小也不同，一般为额定电流的几倍到几十倍。大量的现场统计数据表明，在高压电网中，单相接地短路次数占有所有短路次数的 85% 以上，2002 年我国 220kV 电网共有输电线路 3884 条，线路总长 150026km，共发生故障 1487 次，故障率为 0.99 次/(100 km·年)。表 1-1 给出 2002 年我国 220kV 电网输电线路各种类型故障发生的次数和百分比。

表 1-1 2002 年我国 220kV 电网输电线路故障统计表

故障类型	三相短路	两相短路	两相短路接地	单相接地短路	其他故障
故障次数	17	28	91	1319	32
故障百分比	1.14%	1.88%	6.12%	88.7%	2.16%

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏时，但没有发生故障，这种情况属于不正常工作状态。如因负荷超过供电设备的额定值引起的电流升高，称过负荷，就是一种常见的不正常工作状态。在过负荷时，电气设备的载流部分和绝缘材料过度发热，从而使绝缘加速老化，甚至损坏，引起故障。此外，系统中出现功率缺额而引起的频率降低，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。

电力系统中发生不正常运行状态和故障时，都可能引起系统事故。事故是指系统全部或部分正常运行遭到破坏，电能质量变到不能容许的程度，以致造成对用户的停止供电或少供电，甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏。

系统事故的发生，除了自然条件的因素(如雷击、架空线路倒杆等)外，一般都是由于设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当而引起的。因此，

只有充分发挥人的主观能动性，正确地掌握客观规律，加强对设备的维护和检修，就可以大大减少事故发生的几率。

在电力系统中，除应采取各项积极措施消除或减少事故发生的可能性外，还应能做到设备或输电线路一旦发生故障时，应尽快地将故障设备或线路从系统中切除，保证非故障部分继续安全运行，缩小事故影响范围。

由于电力系统是一个整体，电能的生产、传输、分配和使用是同时完成，各设备之间都有电或磁的联系，因此，当某一设备或线路发生短路故障时，在很短的时间就影响到整个电力系统的其他部分，为此要求切除故障设备或输电线路的时间必须很短，通常切除故障的时间小到十分之几秒到百分之几秒。显然要在这样短的时间内由运行人员及时发现并手动将故障切除是绝对不可能的。因此，只有借助于装设在每个电气设备或线路上的自动装置，即继电保护装置才能实现。这种装置到目前为止，有一部分仍然由单个继电器或继电器与其附属设备的组合构成，故称为继电保护装置。

在电子式静态保护装置和数字式保护装置出现以后，虽然继电器多已被电子元件或计算机取代，但仍沿用此名称。在电业部门常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。

继电保护装置就是指能反应电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。它的基本任务是：

(1) 自动、迅速、有选择性地将被故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到破坏，保证其他无故障部分迅速恢复正常运行。

(2) 反应电气元件的不正常运行状态，并根据运行维护的条件(如有无经常值班人员)而动作于信号，以便值班员及时处理，或由装置自动进行调整，或将那些继续运行就会引起损坏或发展成为事故的电气设备予以切除。此时一般不要求保护迅速动作，而是根据对电力系统及其元件的危害程度规定一定的延时，以免暂短地运行波动造成不必要的动作和干扰而引起的误动。

(3) 继电保护装置还可以与电力系统中的其他自动化装置配合，在条件允许时，采取预定措施，缩短事故停电时间，尽快恢复供电，从而提高电力系统运行的可靠性。

由此可见，继电保护在电力系统中的主要作用是通过预防事故或缩小事故范围来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。因此，继电保护是电力系统的重要组成部分，是保证电力系统安全可靠运行的必不可少的技术措施之一。在现代的电力系统中，如果没有专门的继电保护装置，要想维持系统的正常运行是根本不可能的。

## 1.2 继电保护的基本原理

为了完成上述第一个任务，继电保护装置必须具有正确区分被保护元件是处于正常运行状态还是发生了故障，是保护区内故障还是区外故障的功能。保护装置要实现这一功能，需要根据电力系统发生故障前后电气物理量变化的特征为基础来构成。

电力系统发生故障后，工频电气量变化的主要特征是：

(1) 电流增大。短路时故障点与电源之间的电气设备和输电线路上的电流将由负荷电

流增大至大大超过负荷电流。

(2) 电压降低。当发生相间短路和接地短路故障时，系统各点的相间电压或相电压值下降，且越靠近短路点，电压越低。

(3) 电流与电压之间的相位角改变。正常运行时电流与电压间的相位角是负荷的功率因数角，一般约为  $20^\circ$ ，三相短路时，电流与电压之间的相位角是由线路的阻抗角决定的，一般为  $60^\circ \sim 85^\circ$ ，而在保护反方向三相短路时，电流与电压之间的相位角则是  $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(4) 测量阻抗发生变化。测量阻抗即测量点(保护安装处)电压与电流之比值。正常运行时，测量阻抗为负荷阻抗；金属性短路时，测量阻抗转变为线路阻抗，故障后测量阻抗显著减小，而阻抗角增大。

不对称短路时，出现相序分量，如两相及单相接地短路时，出现负序电流和负序电压分量；单相接地时，出现负序和零序电流和电压分量。这些分量在正常运行时是不出现的。

利用短路故障时电气量的变化，便可构成各种原理的继电保护。例如，据短路故障时电流的增大，可构成过电流保护；据短路故障时电压的降低，可构成电压保护；据短路故障时电流与电压之间相角的变化，可构成功率方向保护；据电压与电流比值的变化，可构成距离保护；据故障时被保护元件两端电流相位和大小的变化，可构成差动保护；据不对称短路故障时出现的电流、电压的相序分量，可构成零序电流保护、负序电流保护和负序功率方向保护；高频保护则是利用高频通道来传递线路两端电流相位、大小和短路功率方向信号的一种保护。

此外，除了上述反应工频电气量的保护外，还有反应非工频电气量的保护，如超高压输电线路的行波保护、电力变压器的瓦斯保护及反应电动机绕组温度升高的过负荷或过热保护等。

### 1.3 继电保护的组成及分类

继电保护实际上是一种自动控制装置。以控制过程信号的不同，可分为模拟型和数字型两大类。多年来应用的常规继电保护装置都属于模拟型的，而 20 世纪 70 年代以来发展的计算机保护则属于数字型的。这两类继电保护的基本原理是相同的，但其实现方法和构成却大不相同。

模拟型继电保护又可分为机电型继电保护和静态型继电保护两类。

机电型继电保护是由若干个不同功能的继电器组成。继电器是一种能自动动作的电器，只有加入某种物理量(如电流或电压等)，或者加入的物理量达到一定数值时，它就会动作，其常开触点闭合，常闭触点断开，输出信号。

每个继电器都由感受元件、比较元件和执行元件三个主要部分组成。感受元件用来测量控制量的变化，并以某种形式传送到比较元件；比较元件将接收的控制量与整定值进行比较，并将比较结果的信号输入执行元件；执行元件执行继电器动作输出信号的任务。

继电器按动作原理的不同分为：电磁型、感应型和整流型等；按反应物理量的不同可分为：电流、电压、功率方向和阻抗继电器等；按继电器在保护装置中的作用不同可分为：

主继电器(如电流、电压和阻抗继电器等)和辅助继电器(如中间、时间和信号继电器等)。由于这些继电器都具有机械的可动部分和接点,故称为机电型继电器。由这类继电器组成的继电保护装置称为机电型继电保护。

静态继电保护装置是应用晶体管或集成电路等电子元件来实现的,它由若干个不同功能的回路,如测量、比较或比相触发、延时、逻辑和输出等回路组成。具有体积小、重量轻、功耗小、灵敏度高、动作快和不怕震动、可以实现无触点等一系列的优点。

模拟型继电保护装置的种类很多,一般而言,它们都由测量回路、逻辑回路和执行回路三个主要部分组成,其原理框图如图 1.1 所示。

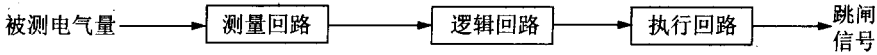


图 1.1 模拟型继电保护装置原理框图

测量回路的作用是测量与被保护电气设备或线路工作状态有关的物理量的变化,如电流、电压等的变化,以确定电力系统是否发生了短路故障或出现不正常运行情况;逻辑回路的作用是当电力系统发生故障时,根据测量回路的输出信号,进行逻辑判断,以确定保护是否应该动作,并向执行元件发出相应的信号;执行回路的作用是执行逻辑回路的判断,发出切除故障的跳闸脉冲或指示不正常运行情况的信号。

现以最简单的过电流保护装置为例,来说明继电保护的组成和基本工作原理。

在图 1.2 所示线路过电流保护装置的原理接线图中,电流继电器 KA 的线圈接于被保护线路电流互感器 TA 的二次回路,这就是保护的测量回路,它监视被保护线路的运行状态,用以测量线路中电流的大小。在正常运行情况下,线路中通过最大负荷电流时,继电器不动作;当被保护线路发生短路故障时,流入继电器 KA 线圈回路的电流大于继电器的动作电流时,电流继电器立即动作,触点闭合,接通逻辑回路中时间继电器 KT 的线圈回路,时间继电器启动并经延时后触点闭合,接通执行回路中的信号继电器 KS 和断路器 QF 跳闸线圈 YR 回路,使断路器 QF 跳闸,切除故障。

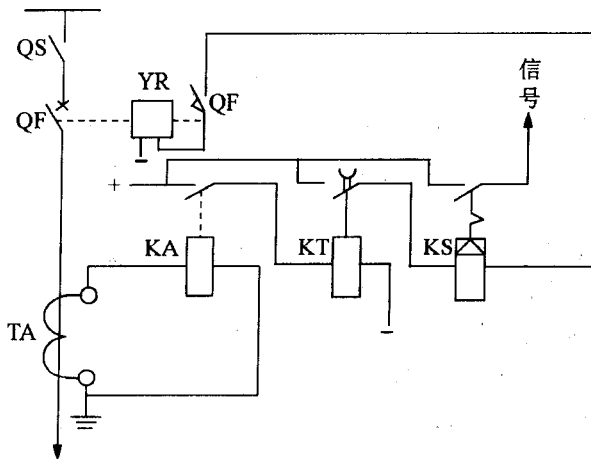


图 1.2 线路过电流保护装置单相原理接线图

数字型的计算机继电器保护是把被保护设备和线路输入的模拟电气量经模数 (A/D)



转换器变换为数字量，利用计算机进行处理和判断。计算机由硬件部分和软件部分组成，硬件部分主要采用微型计算机或微处理器来实现，计算机保护硬件部分的原理框图如图 1.3 所示。

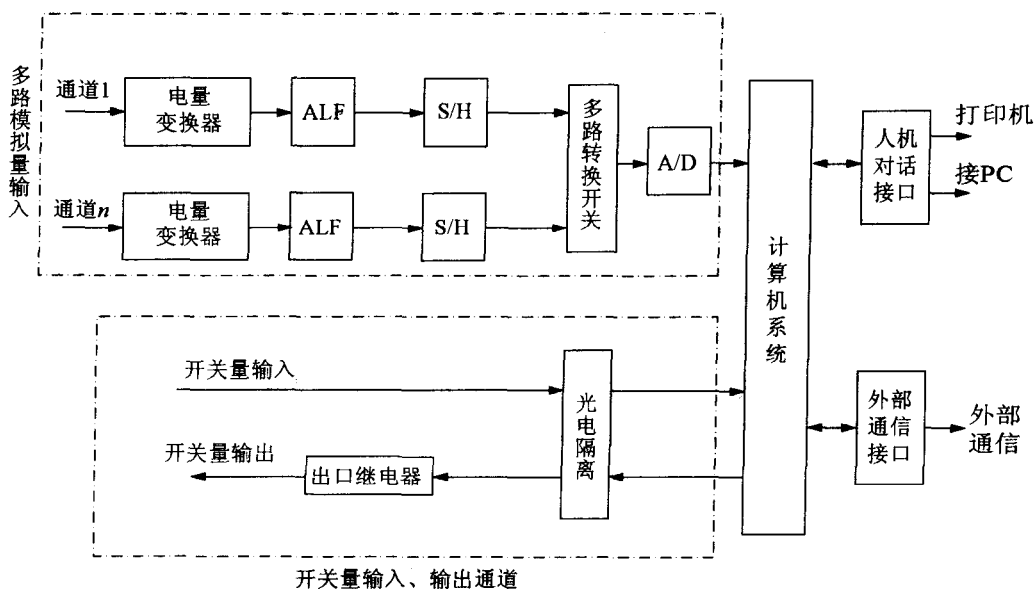


图 1.3 微机继电保护硬件部分原理框图

被保护设备或线路的交流电流、电压经电流互感器和电压互感器输入到计算机保护的输入通道。由于需要同时输入多路电压和电流(如三相电压和三相电流),因此需要配置多路输入通道。在输入通道中,首先经变换器将电流和电压变换为适于微机保护用的低电压量( $\pm 5\text{V}\sim\pm 10\text{V}$ ),再由模拟低通滤波器滤除直流分量、低频分量和高频及各种干扰波后,进入采样保持(S/H)电路,将一个在时间上连续变化的模拟量转换为时间上的离散量,完成对输入模拟量的采样。通过多路转换开关(MPX)将多个输入电气量按输入时间前后分开,依次送到 A/D 转换器,将模拟量转换为数字量进入计算机系统运算处理,判断是否发生故障,通过开关量输出通道输出,经光电隔离电路送到出口继电器,从而接通跳闸线圈,启动调整回路。

人机接口部分的作用是建立起微机保护与使用者之间的信息联系,以便对装置进行人工操作、调试和信息反馈。外部通信接口的作用是提供计算机局域通信网络以及远程通信网络的信息通道。

软件部分是根据保护的工作原理和动作要求编制的计算程序,不同原理的保护计算程序不同。微机保护的计算程序是根据保护工作原理的数学模型即数学表达式来编制的。这种数学模型称为计算机继电保护的算法。通过不同的算法便可以实现各种保护功能。各种类型保护的计算机硬件和外围设备可以是通用的,只要计算程序不同,就可以得到不同原理的保护,而且计算机可以根据系统运行方式的改变自动改变动作的整定值,使保护具有更大的灵活性。保护用计算机有自诊断能力,不断地检查和诊断保护本身的故障,并及时进行处理,大大地提高了保护装置的可靠性,并能实现快速动作的要求。

电力系统的继电保护根据被保护对象不同,分为发电厂、变电所电气设备的继电保护