



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

电力系统继电保护 及自动化

梁国艳 杨捷 主编
廖青华 王丽君 马临超 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

电力系统继电保护 及自动化

主 编	梁国艳	杨 捷	
副主编	廖青华	王丽君	马临超
编 写	万留杰		
主 审	沈诗佳		



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（高职高专教育）。

本书内容以突出基本原理、强化应用为原则，侧重对物理概念和基本原理的叙述，在讲解基本原理的基础上附加应用实例，增强理论与实际的联系。尤其在相应章节中对微机保护基础知识和微机保护装置也进行了不同程度的介绍。同时每章后面附有本章小结和思考题，有利于读者全面了解电力系统继电保护与自动化的基础知识及其应用，便于读者自学。

本书可作为高职高专院校电力系统继电保护与自动化课程教材，也可作为现场继电保护管理人员、技术人员以及调度和运行人员的岗位培训教材，同时可供其他电气工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电力系统继电保护及自动化/梁国艳，杨捷主编. —北京：中国电力出版社，2012.9

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-3525-7

I. ①电… II. ①梁…②杨… III. ①电力系统—继电保护—高等职业教育—教材 ②电力系统—自动化—高等职业教育—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 225715 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>）

同江印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 505 千字

定价 38.00 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

前 言

为了体现高职高专教育对应用型人才的培养目标，适应电力系统继电保护与自动化技术的发展，使在校电力系统自动化专业及相关专业学生全面了解和掌握电力系统继电保护与自动化技术，编者根据多年的教学经验编写了此书。

本书共分 10 章。第 1 章简要介绍了电力系统继电保护的任務、继电保护的基本原理，对继电保护装置的基本要求以及继电保护技术发展概况；第 2 章主要介绍了低压线路的相间短路保护和接地保护；第 3 章介绍了输电线路的距离保护，尤其对各种阻抗继电器动作特性做了较详尽的介绍；第 4 章介绍了输电线路的差动保护和高频保护；第 5 章介绍了线路保护配置原则与应用实例；第 6 章结合现场的实际应用介绍了电力主设备继电保护，包括变压器保护、发电机保护、发电机—变压器组保护和母线保护；第 7 章介绍了微机保护的基础知识及在输电线路的应用；第 8 章介绍了变电站自动装置；第 9 章介绍了同步发电机的励磁调节与自动并列装置；第 10 章介绍了电力系统调度自动化和安全控制相关内容。

本书第 1、5、6 章由沈阳工程学院梁国艳编写，第 2、7 章由沈阳工程学院王丽君编写，第 3、4 章由河南机电高等专科学校杨捷编写，第 8 章由河南机电高等专科学校廖青华和马临超共同编写，第 9 章由马临超编写，第 10 章由廖青华编写。梁国艳进行全书的修改及定稿。河南机电高等专科学校万留杰参与了部分稿件的整理工作。本书由安徽电气工程职业技术学院沈诗佳主审，提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于新技术的不断发展，加之作者水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请专家和读者批评指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

前言

第1章 电力系统继电保护概述	1
1.1 电力系统继电保护的任務	1
1.2 继电保护的基本原理、组成及分类	1
1.3 电力系统对继电保护的基本要求	4
1.4 继电保护工作特点	6
1.5 继电保护技术的发展	7
本章小结	10
思考题	10
第2章 电网的电流保护	11
2.1 单侧电源线路相间短路的电流保护	11
2.2 电网相间短路的方向电流保护	24
2.3 电网的接地保护	30
本章小结	41
思考题	41
第3章 电网的距离保护	44
3.1 距离保护基本原理	44
3.2 阻抗继电器分类与特性	46
3.3 阻抗继电器的接线方式	53
3.4 距离保护的振荡闭锁	57
3.5 距离保护的电压回路断线闭锁	65
3.6 影响距离保护正确工作的因素	68
3.7 距离保护的整定计算	75
3.8 对距离保护的评价及应用范围	79
本章小结	80
思考题	81
第4章 输电线路的全线速动保护	86
4.1 输电线路的纵联保护	86
4.2 输电线路的纵联差动保护	87
4.3 平行线路的横联差动保护	90
4.4 输电线路的高频保护	93
本章小结	100
思考题	101
第5章 线路保护配置原则与实例	102
5.1 线路保护配置原则	102

5.2 线路保护实例	109
本章小结	114
思考题	114
第 6 章 电力主设备继电保护	115
6.1 电力变压器保护	115
6.2 发电机保护	138
6.3 发电机—变压器组保护	166
6.4 母线保护	169
本章小结	180
思考题	181
第 7 章 微机继电保护	183
7.1 微机继电保护概述	183
7.2 微机继电保护的硬件系统	184
7.3 微机继电保护软件系统	197
7.4 220kV 输电线路微机保护举例	209
本章小结	217
思考题	218
第 8 章 变电站自动装置	219
8.1 输电线路的自动重合闸	219
8.2 备用电源自动投入装置(AAT)	236
8.3 按频率自动减负荷装置	242
8.4 变电站综合自动化的概述	249
本章小结	260
思考题	261
第 9 章 同步发电机的励磁调节系统与自动并列装置	263
9.1 同步发电机励磁调节系统概述	263
9.2 同步发电机励磁调节装置	270
9.3 励磁调节器静特性调整	280
9.4 同步发电机微机励磁调节装置的构成及特点	287
9.5 自动并列基本原理	293
9.6 自动准同步装置基本工作原理	299
本章小结	308
思考题	309
第 10 章 电力系统调度自动化和安全控制	311
10.1 电力系统调度自动化概述	311
10.2 电力系统的安全控制	314
本章小结	321
思考题	322
参考文献	323

第1章 电力系统继电保护概述

1.1 电力系统继电保护的任務

电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统，由发电机、变压器、输电线路以及负荷组成的总体构成。电力系统在运行中由于自然界雷击、倒塔、内部过电压或运行人员误操作等原因会造成故障和不正常运行状态。不正常运行状态是指电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但没有发生故障的运行状态，如过负荷、过电压、频率降低、系统振荡等。故障主要包括各种类型的短路和断线，短路包括三相短路、两相短路、单相接地短路、两相接地短路、发电机和电动机以及变压器绕组间的匝间短路等；断线包括单相断线和两相断线等。其中最常见且最危险的是各种类型的短路，电力系统中的短路故障会产生如下后果。

(1) 故障点的电弧使故障设备损坏。

(2) 比正常工作电流大许多的短路电流产生热效应和电动力效应，使故障回路中的设备遭到损坏。

(3) 部分电力系统的电压大幅度下降，使用户的正常工.作遭到破坏，影响产品质量。

(4) 破坏电力系统运行的稳定性，引起系统振荡，甚至使电力系统瓦解，造成大面积停电的恶性事故。

故障或不正常运行状态若不及时正确处理，都可能引发事故。事故是指对用户少送电或停止送电，电能质量降低到不能允许的程度，造成人身伤亡及电气设备损坏。

当发生故障时应采取措施尽快地将故障设备切除，以保证无故障部分继续运行，缩小事故范围和保证系统稳定运行。为了完成这个任务，就必须借助继电保护装置。而当电力系统出现不正常运行状态时，例如在有人值班的变电站的设备上发生过负荷，保护动作后仅发出信号即可。

继电保护装置就是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。它的基本任务如下。

(1) 当电力系统中某电气元件发生故障时，能自动、迅速、有选择地将故障元件从电力系统中切除，避免故障元件继续遭到破坏，使非故障元件迅速恢复正常运行。

(2) 当系统中电气元件出现不正常运行状态时，能及时反应并根据运行维护的条件发出信号或跳闸。

1.2 继电保护的基本原理、组成及分类

1.2.1 继电保护装置的基本原理

为了完成继电保护的任務，继电保护首先必须能够区分正常运行、不正常运行和故障三种运行状态，找出发生故障和出现异常运行的电气元件。这需要根据电气元件在运行过程

中参数的变化来区别这些状态，也就是要找出这些参数在正常运行状态和不正常运行状态与故障时参数的差别，根据这些差别构成各种继电保护装置的原理。

图 1-1 所示为一单侧电源辐射网络在正常运行时，各变电站母线上的电压 \dot{U}_M 、 \dot{U}_N 、 \dot{U}_P 都在额定电压 $\pm(5\% \sim 10\%)$ 范围内变化，且靠近电源端母线上的电压略高；每条线路上都流过由它供电的负荷电流 I_L ，越靠近电源端，负荷电流越大。而电压与电流的比值 $Z_{L.M} = \dot{U}_M / \dot{I}_L$ 和 $Z_{L.N} = \dot{U}_N / \dot{I}_L$ 所反映的测量阻抗即为负荷阻抗。它是包括线路阻抗在内的负荷阻抗，其阻抗角一般为 20° 左右。当在 NP 线路发生三相短路（如图 1-2 所示），流过 MN、NP 上的电流由负荷电流上升为短路电流，母线 M、N 上的电压由额定电压降低为残压，而电压与电流的比值由负荷阻抗降低为由母线到短路点的线路阻抗。

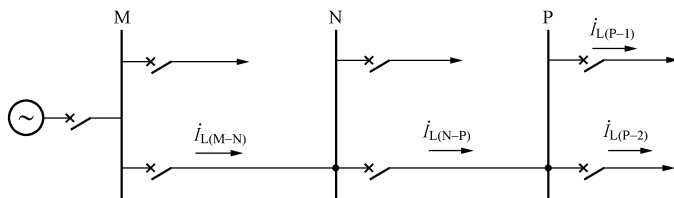


图 1-1 单侧电源辐射网正常运行

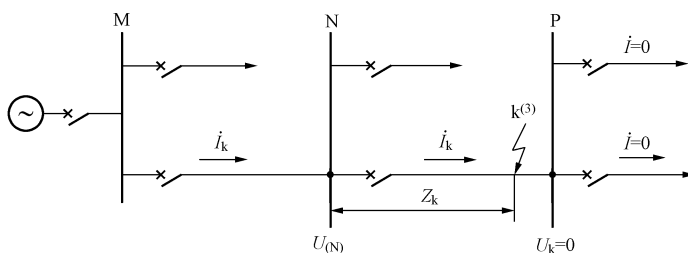


图 1-2 单侧电源辐射网发生三相短路时

由以上分析可知当线路发生故障时，电压、电流和阻抗等都要发生变化，根据参数的这些不同的变化即可构成各种继电保护的原理。如利用流过被保护元件中电流幅值的增大，可以构成过电流保护；利用短路时母线电压幅值的降低，可以构成低电压保护；利用短路时线路始端测量阻抗降低可构成距离保护；利用电压与电流之间的相位差的改变可构成方向保护。除此之外，根据线路内部和外部故障时，被保护元件两端电流相位或功率方向的差别，分别构成差动保护、相差高频保护和方向高频保护。当然还可以根据非电气量的变化来构成某些保护，如反应变压器油在故障时分解产生的气体而构成的气体保护等；原则上说，只要找出正常运行与故障时系统中电气量或非电气量的变化特征（差别），即可形成某种判据，从而构成某种原理的保护，且差别越明显，保护性能越好。

1.2.2 继电保护装置的组成

继电保护装置一般由测量元件、逻辑元件和执行元件三部分组成，如图 1-3 所示。

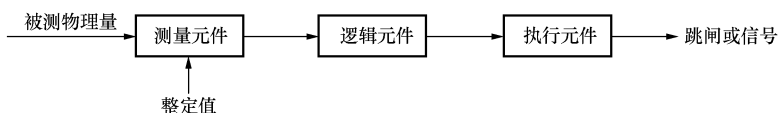


图 1-3 继电保护装置基本组成框图

1. 测量元件

测量元件的作用是，测量从被保护对象输入的有关物理量（如电流、电压、阻抗、功率方向等），并与已给定的整定值进行比较，根据比较结果给出“是”、“非”、“大于”、“不大于”等具有“0”或“1”性质的一组逻辑信号，从而判断保护是否应该起动。根据需要继电保护装置往往有一个或多个测量元件，如构成过电流保护中的测量元件为电流继电器，构成低电压保护中的测量元件为低电压继电器，构成方向保护中的测量元件为电流继电器和功率方向继电器等。

2. 逻辑元件

逻辑元件的作用是，根据测量部分输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合，使保护装置按一定逻辑关系工作，最后确定是否应跳闸或发信号，并将有关命令传给执行元件。

3. 执行元件

执行元件的作用是，根据逻辑元件传送的信号，最后完成保护装置所担负的任务。例如，故障时跳闸，不正常运行时发信号，正常运行时不动作。

现以图 1-4 所示的过电流保护原理示意图为例，说明保护装置的组成及其工作过程，用以建立保护的初步概念。当线路上 k 点发生短路时，线路中电流由负荷电流突然增大到短路电流，通过电流互感器 TA 反应到二次侧并流过继电器 KA，当流入继电器的电流大于其整定值时，继电器动合触点闭合，起动时间继电器 KT，经预定的延时，时间继电器的触点闭合起动中间继电器 KM，中间继电器触点瞬时闭合接通断路器的跳闸线圈 YR 回路，在电磁力的作用下使脱扣机构释放，由断路器操作机构将断路器 QF 跳开。

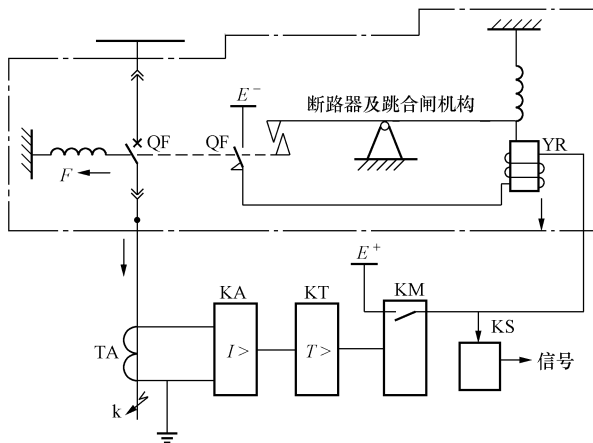


图 1-4 过电流保护原理示意图

1.2.3 继电保护装置的分类

继电保护装置按其被保护对象、保护原理、反应故障的类型、保护所起的作用，有不同的分类方法。

(1) 按被保护的對象分类：输电线路保护、发电机保护、变压器保护、母线保护等。

(2) 按保护原理分类：电流保护、电压保护、距离保护、差动保护、方向保护、零序保护等。

(3) 按保护所反应故障类型分类：相间短路保护、接地故障保护、匝间短路保护、断线保护、失步保护、失磁保护及过励磁保护等。

(4) 按继电保护装置的实现技术分类：机电型保护（如电磁型保护和感应型保护）、整流型保护、晶体管型保护、集成电路型保护及微机型保护等。

(5) 按保护所起的作用分类：主保护、后备保护、辅助保护等。

主保护是指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元件故障的保护。

后备保护是指当主保护或断路器拒动时用来切除故障的保护。后备保护又分为远后备保护和近后备保护两种。远后备保护是指当主保护或断路器拒动时，由相邻电力设备或线路的保护来实现的后备保护。近后备保护是指当主保护拒动时，由本电力设备或线路的另一套保护来实现后备的保护。

辅助保护是为补充主保护和后备保护的性能或当主保护和后备保护退出运行而增设的简单保护。

主保护及后备保护之间的配合关系如图 1-5 所示。

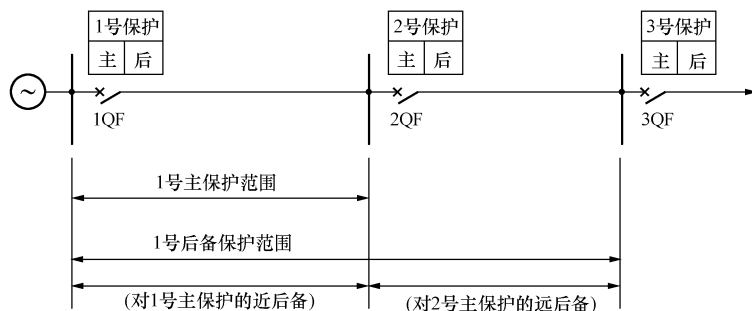


图 1-5 主保护、后备保护之间的配合关系图

1.3 电力系统对继电保护的基本要求

电网对继电保护的基本要求是满足可靠性、选择性、快速性、灵敏性，即通常所说的“四性”，这些要求之间，有的相辅相成，有的相互制约，需要对不同的使用条件分别进行协调。

1.3.1 可靠性

可靠性是对继电保护最基本的性能要求，它又可分为可信赖性和安全性两个方面。可信赖性要求继电保护在异常或故障情况下，能准确地完成设计所要求的动作，即在保护范围内发生了应该动作的故障时可靠动作，不发生拒动；安全性要求继电保护在非设计所要求动作的所有情况下，能够可靠地不动作，即不发生误动作。

安全性和可信赖性主要取决于继电保护装置的设计、制造、安装、运行和维护水平。一般来说保护装置组成元件质量越高、回路越简单，保护的工作就越可靠。同时正确的安装、调试、良好的运行维护和丰富的运行经验，对提高保护的可靠性具有非常重要的作用。

简单说就是该动则动，不该动则不动，即不拒动也不误动。

1.3.2 选择性

选择性是指电力系统发生故障时, 保护装置仅将故障元件切除, 而使非故障元件仍能正常运行, 以尽量缩小停电范围的一种性能。

下面以图 1-6 为例, 来说明选择性的概念。

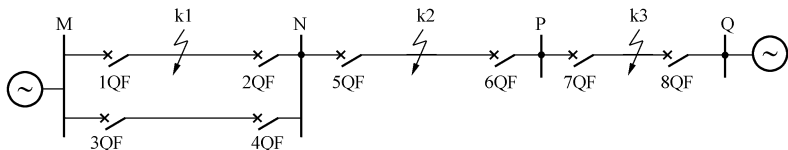


图 1-6 保护动作选择性的说明

在图 1-6 所示的网络中, 当 k_1 短路时, 应该由距故障点最近的保护 1、2 动作, 跳开 1QF、2QF, 这样既切除了故障线路, 又使停电范围最小, 因此说此时保护 1、2 动作是有选择性的动作, 也就是满足了选择性的要求。

同理当 k_2 短路时, 保护 5、6 动作跳开 5QF、6QF; 当 k_3 短路时, 保护 7、8 动作跳开 7QF、8QF, 都是有选择性的动作。若当 k_3 短路时, 7QF 拒动, 保护 5 动作跳开 5QF 将故障切除, 那么此时停电范围扩大了。但是如果保护 5 不动作跳闸, 那么故障线路就无法切除, 因此, 此时保护 5 的动作也是有选择性动作, 只不过是保护 5 作了保护 7 的远后备保护而已。若保护 7 和 7QF 正确动作于跳闸同时, 保护 5 也动作跳开 5QF, 则保护 5 的动作就是非选择性动作, 也习惯称为越级跳闸。

1.3.3 速动性

速动性是指保护快速切除故障的性能, 即继电保护应以允许的可能最快的速度动作于断路器跳闸, 以断开故障或终止异常状态的发展。继电保护快速动作可以减轻故障元件的损坏程度, 提高线路故障后自动重合闸的成功率, 并特别有利于故障后的电力系统同步运行的稳定性。快速切除线路和母线的短路故障, 是提高电力系统暂态稳定的最重要手段。

继电保护在满足选择性的条件下, 应尽量加快动作时间和缩短时间级差。可以针对不同的保护配合关系和选用的时间元件性能, 选取不同的时间级差。

故障切除时间包括继电保护动作时间和断路器的跳闸时间。一般的快速保护动作时间为 0.06~0.12s, 最快的可达 0.01~0.04s; 一般的断路器的动作时间为 0.06~0.15s, 最快的可达 0.02~0.06s。所以最快的故障切除时间大约为 0.03~0.10s。

1.3.4 灵敏性

灵敏性是指在规定的保护范围内, 保护对故障情况的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应在区内故障时, 不论短路点的位置与短路的类型如何, 都能灵敏地、正确地反应出来。

通常, 灵敏性用灵敏系数来衡量, 并表示为 K_{sen} , 也称为灵敏度。任何继电保护装置对规定的保护区内短路故障, 都必须具有一定的灵敏度, 以保证在考虑了短路电流计算、保护动作值整定实验等误差后, 在最不利于保护动作的条件下仍能可靠动作。

在计算保护的灵敏系数时, 可按如下原则考虑。

- (1) 在可能的运行方式下, 选择最不利于保护动作的运行方式。
- (2) 在所保护的短路类型中, 选择最不利于保护动作的短路类型。
- (3) 在保护区内选择最不利于保护动作的那点作为灵敏度校验点 (计算 K_{sen} 所选的短

路点)。

在进行继电保护整定计算和灵敏度校验时,常用到最大运行方式和最小运行方式。所谓最大运行方式是指流过保护装置的短路电流为最大的运行方式;所谓最小运行方式是指流过保护装置的短路电流为最小的运行方式。

反应故障参数上升的保护装置,其灵敏系数校验公式为

$$K_{\text{sen}} = \frac{I_{\text{k}\cdot\text{min}}}{I_{\text{op}}} \quad (1-1)$$

式中 $I_{\text{k}\cdot\text{min}}$ ——保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值;

I_{op} ——保护装置的动作参数。

反应故障参数降低的保护装置,其灵敏系数校验公式为

$$K_{\text{sen}} = \frac{U_{\text{op}}}{U_{\text{k}\cdot\text{max}}} \quad (1-2)$$

式中 $U_{\text{k}\cdot\text{max}}$ ——保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值;

U_{op} ——保护装置的动作参数。

在 GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》中,对各类保护的灵敏系数 K_{sen} 的要求都作了具体规定,在具体装置的灵敏度校验时可按照规程规定的灵敏系数来校验。

上述四项基本要求是评价、选用、研制保护的主要依据。在处理实际问题时,往往满足了选择性就会牺牲速动性。在另外一些情况下,满足了选择性的要求,又往往需要适当地降低灵敏性。总之,这四项基本要求是互相联系而又互相矛盾的,故在选用、设计保护装置时,应从全局出发,统一考虑,在保证选择性的前提下要尽量缩短动作时间。而在有些情况下,若要保证选择性要求,可能使切除故障时间延长,影响整个系统并列运行的稳定性,这时就要牺牲部分选择性以确保系统稳定运行,然后再采用重合闸等措施来予以补救。

从一个保护设计与运行的角度上看,很难同时很好地满足这四项基本要求。因此在实际中,对一套继电保护的设计和评价往往是结合具体情况,协调处理各个性能之间的关系,取得合理统一,达到保证电力系统安全运行的目的。

1.4 继电保护工作特点

继电保护在电力系统中的作用极其重要,其任务完成的好坏,除装置本身性能之外,还依赖于继电保护工作者的水平和工作能力以及工作责任心,因此继电保护工作者要充分了解继电保护工作特点。

(1) 电力系统是由很多复杂的一次主设备和二次保护,控制、调节、信号等辅助设备组成的一个有机的整体。因为每个设备都有其特有的运行特性,因此,任一设备的故障都将立即引起系统正常运行状态的改变或破坏,给其他设备以及整个系统造成不同程度的影响。因此,继电保护的工作牵涉到每个电气主设备和二次辅助设备。这就要求继电保护工作者对所有这些设备的工作原理、性能、参数计算和故障状态的分析等有深刻的理解,还要有广泛的生产运行知识。此外对于整个电力系统的规划设计原则、运行方式制订的依据、电压及频率调节的理论、潮流及稳定计算的方法以及经济调度、安全控制原理和方法等都要有清楚的概

念。对于初学这门课程的学生，要求首先熟悉掌握电工原理、电机学及相关课程讲授的主要内容。

(2) 电力系统继电保护是一门综合性的科学，它奠基于理论电工、电机学和电力系统分析等基础理论，还与电子技术、通信技术、计算机技术和信息科学等新理论、新技术有着密切的关系。纵观继电保护技术的发展史，可以看到电力系统通信技术上的每一个重大进展都导致了一种新保护原理的出现（例如高频保护和微波保护等），每一种新电子元件的出现也都引起了继电保护装置的革命。由机电式继电器发展到晶体管保护装置、集成电路式保护装置、微机保护装置。由此可见，继电保护工作者应密切注意相邻学科中新理论、新技术、新材料的发展情况，积极而慎重地运用各种新技术成果，不断发展继电保护的理論，提高其技术水平和可靠性指标，改善保护装置的性能，以保证电力系统的安全运行。

(3) 继电保护是一门理论和实践并重的学科。为掌握继电保护装置的性能及其在电力系统故障时的动作行为，既需运用所学课程的理论知识对系统故障情况和保护装置动作行为进行分析，还需对继电保护装置进行实验室试验、在电力系统动态模型上试验、现场人工故障试验以及在现场条件下的试运行。仅有理论分析不能认为对保护性能的了解是充分的，只有经过各种严格的试验，试验结果和理论分析基本一致，并满足预定的要求，才能在实践中采用。因此，要搞好继电保护工作不仅要善于对复杂的系统运行和保护性能问题进行理论分析，还必须掌握科学的实验技术，尤其是在现场条件下进行调试和实验的技术。

(4) 继电保护的工作稍有差错，就可能对电力系统的运行造成严重的影响，给国民经济和人民生活带来不可估量的损失。这就要求继电保护工作者具有高度的责任感，严谨细致的工作作风和较强的技术能力。此外，还要求他们有合作精神，主动配合各规划、设计和运行部门分析研究电力系统发展和运行情况，了解对继电保护的要求，以便及时采取应有的措施，确保继电保护满足电力系统安全运行的要求。

1.5 继电保护技术的发展

1.5.1 继电保护发展现状

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地注入了新的活力，因此，继电保护技术得天独厚，在 40 余年的时间里完成了发展的四个历史阶段。

新中国成立后，我国继电保护学科、继电保护设计、继电器制造工业和继电保护技术队伍从无到有，在大约 10 年的时间里走过了先进国家半个世纪走过的道路。20 世纪 50 年代，我国工程技术人员创造性地吸收、消化、掌握了国外先进的继电保护设备性能和运行技术，建成了一支具有深厚继电保护理论造诣和丰富运行经验的继电保护技术队伍，对全国继电保护技术队伍的建立和成长起了指导作用。阿城继电器厂引进消化了当时国外先进的继电器制造技术，建立了我国自己的继电器制造业。因而在 20 世纪 60 年代我国已建成了继电保护研究、设计、制造、运行和教学的完整体系。这是机电式继电保护繁荣的时代，为我国继电保护技术的发展奠定了坚实基础。

自 20 世纪 50 年代末，晶体管继电保护已开始研究。60 年代到 80 年代是晶体管继电保护蓬勃发展和广泛采用的时代。其中天津大学与南京电力自动化设备厂合作研究的 500kV

晶体管方向高频保护和南京电力自动化研究院研制的晶体管高频闭锁距离保护，运行于葛洲坝 500kV 线路上，结束了 500kV 线路保护完全依靠从国外进口的时代。

在此期间，从 20 世纪 70 年代中期，基于集成运算放大器的集成电路保护已开始研究；到 80 年代末集成电路保护已形成完整系列，逐渐取代晶体管保护；到 90 年代初集成电路保护的研制、生产、应用仍处于主导地位，这是集成电路保护时代。

我国从 20 世纪 70 年代末即已开始了计算机继电保护的研究，高等院校和科研院所起着先导的作用，相继研制了不同原理、不同型式的微机保护装置。1984 年原华北电力学院研制的输电线路微机保护装置首先通过鉴定，并在系统中获得应用，揭开了我国继电保护发展史上新的一页，为微机保护的推广开辟了道路。在主设备保护方面，东南大学和华中理工大学研制的发电机失磁保护、发电机保护和发电机变压器组保护也相继于 1989、1994 年通过鉴定，投入运行。至此，不同原理、不同机型的微机线路和主设备保护各具特色，为电力系统提供了一批新一代性能优良、功能齐全、工作可靠的继电保护装置。随着微机保护装置的研究，在微机保护软件、算法等方面也取得了很多理论成果。可以说从 20 世纪 90 年代开始我国继电保护技术已进入了微机保护的时代。

1.5.2 继电保护的未来发展

继电保护技术未来趋势是向计算机化，网络化，智能化，保护、控制、测量和数据通信一体化发展。

1. 计算机化

随着计算机硬件的迅猛发展，微机保护硬件也在不断发展。原华北电力学院研制的微机线路保护硬件已经历了三个发展阶段，即从 8 位单 CPU 结构的微机保护问世，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模块结构，性能大大提高，得到了广泛应用。

电力系统对微机保护的要求不断提高，除了保护的基本功能外，还应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。这就要求微机保护装置具有相当于一台 PC 机的功能。在计算机保护发展初期，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，这个设想是不现实的。现在，同微机保护装置大小相似的工控机的功能、速度、存储容量大大超过了当年的小型机，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。这种装置的优点有：①具有 486 PC 机的全部功能，能满足对当前和未来微机保护的各种功能要求；②尺寸和结构与目前的微机保护装置相似，工艺精良、防震、防过热、防电磁干扰能力强，可运行于非常恶劣的工作环境，成本可接受；③采用 STD 总线或 PC 总线，硬件模块化，对于不同的保护可任意选用不同模块，配置灵活、容易扩展。

继电保护装置的微机化、计算机化是不可逆转的发展趋势。但对如何更好地满足电力系统要求，如何进一步提高继电保护的可靠性，如何取得更大的经济效益和社会效益，尚须进行具体深入的研究。

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数据通信手段。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。因继电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的运行和故障信息的数据,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,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。

对于一般的非系统保护,实现保护装置的计算机联网也有很大的好处。继电保护装置能够得到的系统故障信息越多,则对故障性质、故障位置的判断和故障距离的检测越准确。对自适应保护原理的研究已经过了很长的时间,也取得了一定的成果,但要真正实现保护对系统运行方式和故障状态的自适应,必须获得更多的系统运行和故障信息,只有实现保护的计算机网络化,才能做到这一点。

由上述内容可知,微机保护装置网络化可大大提高保护性能和可靠性,这是微机保护发展的必然趋势。

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。它可从网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,即实现保护、控制、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要大量投资,而且使二次回路非常复杂。但是如果将上述的保护、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,将来必然在电力系统中得到应用。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,即应放在被保护设备附近。OTA 和 OTV 的光信号输入到此一体化装置中并转换成电信号后,一方面用作保护的计算判断;另一方面作为测量量,通过网络送到主控室。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。1992 年天津大学提出了保护、控制、测量、通信一体化问题,并研制了以 TMS320C25 数字信号处理器(DSP)为基础的一个保护、控制、测量、数据通信一体化装置。

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个领域都得到了应用,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,很多难以列出方程式或难以求解的复杂的非线性问题,应用神经网络方法则可迎刃而

解。例如在输电线两侧系统电动势角度摆开情况下发生经过渡电阻的短路就是一非线性问题，距离保护很难正确作出故障位置的判别，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别。其他如遗传算法、进化规划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。天津大学从 1996 年起进行神经网络式继电保护的研究，已取得初步成果。可以预见，人工智能技术在继电保护领域必会得到应用，以解决用常规方法难以解决的问题。

本章小结

继电保护的任务是在系统发生故障时能够将故障元件的断路器跳开，在系统出现不正常运行时能够发出信号；为了完成继电保护的任务就必须装设继电保护装置，同时为了更好地完成继电保护的任务，电力系统对继电保护提出了四个基本要求即可靠性、选择性、速动性和灵敏性，也是评价、选用、研制保护的主要依据。

思考题

- 1-1 何谓电力系统故障、不正常运行状态与事故？它们之间有何关系？
- 1-2 什么是继电保护装置？其任务是什么？
- 1-3 举例说明继电保护选择性的概念。
- 1-4 继电保护装置一般由哪几部分组成？其作用是什么？
- 1-5 后备保护的作用是什么？何谓近后备和远后备？

第2章 电网的电流保护

2.1 单侧电源线路相间短路的电流保护

2.1.1 继电器

1. 继电器的分类和要求

继电器是一种能自动执行断续控制的部件，当其输入量达到一定值时，能使其输出的被控制量发生预计的状态变化，如触点打开、闭合或电平由高变低、由低变高等，具有对被控电路实现“通”、“断”控制的作用。

继电器是保护的测量元件，继电器中有过量继电器和欠量继电器。过量继电器，如过电流继电器、过电压继电器；欠量继电器，如低电压继电器、阻抗继电器等。

对继电器的基本要求是工作可靠，动作过程具有“继电特性”。其次要求继电器动作值误差小、功率损耗小、动作迅速、抗干扰能力强。

2. 过电流继电器

过电流继电器是反应被保护元件电流升高而动作的一种继电器，是反应一个电气量而动作的简单的过量继电器的典型。通过对电磁型过电流继电器的构成原理分析来说明一般继电器的构成原理。

电磁式过电流继电器在继电保护中作为测量元件，它的作用是测量被保护元件所流过的电流大小并与其整定值比较，决定其是否动作。电磁型继电器基本结构如图2-1所示，它是采用转动舌片式结构，主要构成元件有电磁铁1、可动衔铁2、线圈3、触点4、反作用弹簧5和止挡6。

它具有一对动合触点。所谓动合触点是指继电器线圈没带电时打开的触点；相对应的还有一种触点叫动断触点，一般在电磁式低电压继电器中用的较多，所谓动断触点是指继电器线圈没带电时闭合的触点。

动作电流（ $I_{g, oper}$ ）：使电流继电器动合触点闭合的最小电流称为电流继电器的动作电流。

返回电流（ $I_{g, res}$ ）：使电流继电器动合触点打开的最大电流称为电流继电器的返回电流。

返回系数（ K_{res} ）：定义为继电器返回电流与动作电流的比值，即

$$K_{res} = I_{g, res} / I_{g, oper} \quad (2-1)$$

电磁型过电流继电器动作条件为 $I_g \geq I_{g, oper}$ ；返回条件为 $I_g \leq I_{g, res}$ 。

3. 电磁式电压继电器

电磁式电压继电器分为低电压继电器和过电压继电器，过电压继电器的工作情况及参数与过电流继电器类似，所以在此不进行具体介绍，这里着重介绍低电压继电器。

电磁式低电压继电器是反应被保护元件电压降低而动作的一种继电器。它也是采用转动舌片式结构，它一般具有一对动合触点和一对动断触点。

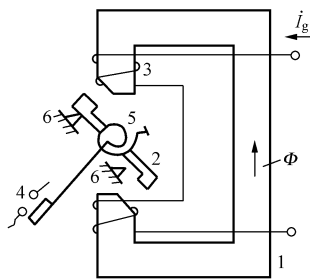


图 2-1 电磁型继电器基本结构