



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统 继电保护

李丽娇 齐云秋 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电力系统 继电保护

主 编 李丽娇 齐云秋
编 写 辛志杰 王海波
主 审 李火元 李 斌



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书分四篇。第一篇为继电保护基础,包括继电保护的基本知识和继电保护装置的基础元件。第二篇为输电线路保护,包括阶段式电流电压保护、方向电流保护、接地保护、距离保护和全线速动保护。第三篇为元件保护,包括电力变压器保护、同步发电机保护、母线保护、电动机保护、并联电抗器保护、并联电力电容器组保护和同步调相机保护。第四篇为微机保护,包括微机保护的特点及发展趋势、微机保护的硬件结构、微机保护的软件原理和微机保护装置的使用与检验。每章后均附有小结和一定数量的复习题。书末列出电气设备的常用文字符号说明、本书常用的物理量下角标文字符号说明及微机保护定值表等作为附录。

本书可作为职业教育电力技术类专业的教材,也可供从事电力系统继电保护及其相关工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统继电保护/李丽娇,齐云秋主编. —北京:中国电力出版社, 2005

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7 - 5083 - 3371 - 3

I. 电... II. ①李...②齐... III. 电力系统 - 继电保护 - 成人教育: 高等教育 - 教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 046540 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 7 月第一版 2006 年 6 月北京第二次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 23.5 印张 499 千字

印数 3001—6000 册 定价 29.90 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

电力系统继电保护是一门理论性、技术性、适用性及实践性均很强的电力专业主干课程，尤其是近年来，随着微机技术、信息技术及通信技术等的发展，新型原理和新型技术的保护不断涌现。作为高职高专教材，本书总结了福建电力职业技术学院、哈尔滨电力职业技术学院及其他兄弟院校自开设电气类专业以来，长期讲授本课程的教学经验，并按电力类三年制高职电气类专业对电力系统继电保护所需要的专业知识与技能进行编写，重点体现继电保护的技术性、适用性和实践性，突出基本知识、基本技能。同时，增加了新型保护的介绍，特别是微机保护和500kV变压器的保护配置等。本书的内容比较全面，基本涵盖了电力系统中电网及所有主设备的继电保护，各院校可根据实际情况安排教学内容。本书可供学生毕业后自学，也可供从事继电保护工作的工程技术人员和相关专业人员参考。

本书由福建电力职业技术学院李丽娇老师、哈尔滨电力职业技术学院齐云秋老师任主编，李丽娇负责全书统稿。书中第八、九、十一、十二章由福建电力职业技术学院李丽娇老师编写；第三、四、五、六、十章由哈尔滨电力职业技术学院齐云秋老师编写；第一、二、十三、十四、十五、十六章以及附录由福建电力职业技术学院辛志杰老师编写；哈尔滨电力职业技术学院王海波老师编写第七章。

书稿由武汉电力职业技术学院李火元老师、李斌老师主审，并提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。

由于编者的水平有限，书中如有错误及不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2004年11月

目 录

前言

第一篇 继电保护基础

第一章 继电保护的基本知识	1
第一节 电力系统的故障及异常运行状态	1
第二节 继电保护装置的任务及作用	2
第三节 继电保护的基本工作原理及分类	2
第四节 对继电保护的基本要求	5
第五节 继电保护发展简史	8
本章小结	9
复习思考题	9
第二章 继电保护装置的基础元件	10
第一节 互感器	10
第二节 继电器	15
第三节 测量变换器	18
本章小结	22
复习思考题	23

第二篇 输电线路保护

第三章 相间短路的阶段式电流电压保护	24
第一节 输电线路的故障、异常运行状态及保护方式	24
第二节 常用电磁型继电器	27
第三节 无时限电流速断保护	34
第四节 限时电流速断保护	36
第五节 定时限过电流保护	39
第六节 电流保护的接线方式	41
第七节 阶段式电流保护	44
第八节 电流电压连锁速断保护	48
本章小结	50
复习思考题	50
第四章 相间短路的方向电流保护	52
第一节 方向电流保护的工作原理	52
第二节 功率方向继电器	54
第三节 功率方向继电器的接线方式	59
第四节 非故障相电流的影响及按相启动接线	62
第五节 方向电流保护的整定计算	63

本章小结	64
复习思考题	64
第五章 接地短路的零序保护	66
第一节 大接地电流系统接地故障分析	66
第二节 中性点直接接地电网的零序电流保护	67
第三节 零序电流方向保护	73
第四节 小接地电流系统接地故障的分析	76
第五节 小接地电流系统的接地保护	80
本章小结	82
复习思考题	83
第六章 阶段式距离保护	84
第一节 距离保护的基本原理	84
第二节 阻抗继电器	85
第三节 实用的阻抗继电器	89
第四节 阻抗继电器的接线方式	93
第五节 影响距离保护正确动作的因素	98
第六节 距离保护的整定计算	109
第七节 距离保护装置实例	111
本章小结	115
复习思考题	116
第七章 全线速动保护	117
第一节 线路的纵差动保护	117
第二节 平行线路的差动保护	119
第三节 高频保护的基本原理	124
第四节 闭锁式高频方向保护	130
第五节 远方跳闸方式的应用	135
第六节 相差高频保护	136
本章小结	138
复习思考题	139

第三篇 元 件 保 护

第八章 电力变压器保护	140
第一节 电力变压器的故障类型、异常运行状态和保护方式	140
第二节 变压器的气体保护	142
第三节 变压器的纵差动保护	144
第四节 变压器的电流速断保护	161
第五节 变压器相间短路的后备保护和过负荷保护	162
第六节 变压器的接地保护	166
第七节 变压器的过励磁保护	169
第八节 变压器的其他保护	171
第九节 三绕组变压器保护的特点	173
第十节 自耦变压器保护的特点	175

第十一节 变压器保护配置实例	177
本章小结	182
复习思考题	183
第九章 同步发电机保护	185
第一节 发电机的故障类型、异常运行状态和保护方式	185
第二节 发电机的纵差动保护	188
第三节 发电机的定子绕组匝间短路保护	192
第四节 发电机的后备保护和负序电流保护	196
第五节 发电机的定子绕组单相接地保护	201
第六节 发电机的励磁回路接地保护	208
第七节 发电机的失磁保护	213
第八节 发电机的其他保护	223
第九节 发电机—变压器组保护的特点和接线举例	228
本章小结	233
复习思考题	233
第十章 母线保护	235
第一节 母线故障及相应的保护方式	235
第二节 母线差动保护	236
第三节 双母线同时运行时的母线保护	239
第四节 比率制动式母线差动保护	243
第五节 断路器失灵保护	245
本章小结	246
复习思考题	247
第十一章 电动机保护	248
第一节 电动机的故障、异常运行状态及保护方式	248
第二节 电动机的相间短路保护	249
第三节 电动机的单相接地保护	251
第四节 电动机的低电压保护	252
第四节 同步电动机的失步保护	254
本章小结	255
复习思考题	256
第十二章 其他元件保护	257
第一节 并联电抗器保护	257
第二节 并联电力电容器组保护	260
第三节 同步调相机保护	266
本章小结	268
复习思考题	269
第四篇 微机保护	
第十三章 微机保护的特点及发展趋势	270
第一节 微机保护的特点	270
第二节 微机继电保护技术的未来发展趋势	273

本章小结	275
复习思考题	275
第十四章 微机保护的硬件结构	276
第一节 数据处理单元	276
第二节 数据采集单元	277
第三节 数字量输入/输出单元	283
第四节 人机接口回路	285
本章小结	287
复习思考题	288
第十五章 微机保护的软件原理	289
第一节 微机保护的软件系统配置	289
第二节 微机保护算法	291
第三节 微机保护主程序原理	292
第四节 采样中断服务程序原理	294
第五节 故障处理程序原理	297
本章小结	303
复习思考题	304
第十六章 微机保护装置的使用与检验	305
第一节 微机保护装置实例	305
第二节 微机保护装置的人机界面及其操作	309
第三节 微机保护装置的检验与运行管理	311
本章小结	314
复习思考题	314
附录	315
参考文献	319

继电保护的基本知识

第一节 电力系统的故障及异常运行状态

电力系统由很多设备组成,在电力系统运行过程中,由于各种因素的存在,如自然条件(雷击、鸟兽害等)、设备质量、运行维护及人为误操作等,可能出现各种形式的故障和异常运行(工作)状态,而一旦设备出现故障或异常运行状态,即将对设备及设备所在系统产生种种不良后果甚至是严重的后果。因此,为了保护设备及系统的安全,有关《规程》规定:电力系统中所有投入运行的设备,都必需配置有相应的继电保护装置。

一、电力系统的故障

电力系统故障的种类有很多,根据其归类方法的不同,有各种不同形式,如瞬时性故障和永久性故障、横向故障和纵向故障、短路故障、断线故障及复故障、金属性短路故障和经过渡电阻短路故障等。其中,最常见及最危险的故障是各种类型的短路故障,本书中若无特别指出,则所提的故障都默认为金属性短路故障。

1. 短路故障的形式

短路故障分为三相短路 $K^{(3)}$ 、两相短路 $K^{(2)}$ 、两相接地短路 $K^{(1,1)}$ 、单相接地短路 $K^{(1)}$ 以及电机、变压器绕组的匝间短路等几种。其中三相短路、两相短路又称相间短路,两相接地短路、单相接地短路又称接地短路,并以三相短路最为危险,以单相接地短路最为常见。

2. 短路故障的危害

如图1-1所示,在系统正常运行时,流过各个设备的电流为负荷电流 I_{Loa} ,其数值比较小,设备的工作电压为额定电压 U_N ,其数值比较高;当设备如线路L2发生故障时,则将由电源向故障点提供一个比正常运行时大得多的短路电流 I_K ,因此可能造成以下后果。

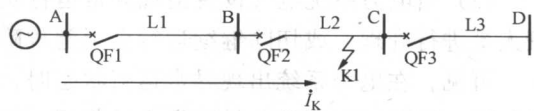


图1-1 短路电流分布图

(1) 故障点的电弧将故障设备烧坏。

(2) 短路电流的热效应和电动力效应使故障回路的设备受到损伤,降低使用寿命。

(3) 系统电压损失增大使设备工作电压下降,离故障点越近,所受影响越大,用户的正常工作条件遭到破坏。

(4) 破坏电力系统运行的稳定性,严重时引起系统振荡甚至使整个电力系统瓦解,导致大面积停电。

3. 短路故障时对继电保护装置的要求

短路故障时对继电保护装置的要求是快速、自动且有选择地借助断路器跳闸,以切断短路电流回路切除故障。

二、电力系统的异常运行状态（又称不正常运行状态）

1. 定义

电力系统的正常工作遭到破坏但还未形成故障，可继续运行一段时间的这种情况，称之为异常运行状态。

2. 形式

电力系统异常运行状态的形式也有很多，常见的有过负荷、中性点非直接接地系统的单相接地、发电机突然甩负荷引起的过电压、电力系统振荡等。

3. 异常运行状态的影响

以过负荷为例，所谓的电气设备过负荷指的是设备工作电流超过其额定电流的这种情况。长时间的过负荷运行将引起设备过热，加速绝缘老化，轻者降低设备使用寿命，严重时绝缘击穿引发短路。而当发电机突然甩负荷造成过电压时，将直接威胁电气绝缘安全；电力系统振荡时，电流、电压周期性摆动，则严重影响系统的正常运行。电力系统其他异常运行状态的影响也与此有相似特征，即允许短时间运行，长时间运行将产生不良影响。

4. 异常运行状态时对继电保护装置的要求

通常情况下，要求保护带一定延时自动发信号通知运行值班人员，以便及时处理，消除不正常工作状态，严重时也可直接自动跳闸。

三、故障、异常运行状态与事故的关系

所谓事故是指出现人员伤亡、设备损坏、电能质量下降到不能允许的程度、对用户少供电或停止供电的这些情况。故障和异常工作情况若不能及时处理，将引起事故。因此，继电保护是电力系统一种很重要的反事故措施。

第二节 继电保护装置的任务及作用

电力系统继电保护是继电保护技术和继电保护装置的统称，由上述介绍可知，它的基本任务有以下两个：

(1) 在电力系统电气设备出现故障时，自动、快速且有选择地借助断路器跳闸将故障设备从系统中切除，以避免故障设备继续遭到破坏，保证系统其余非故障部分能继续运行。

(2) 当电力系统电气设备出现异常运行状态时，自动、及时、有选择地发出信号，让值班人员进行处理，或切除继续运行会引起故障的设备。

可见，在电力系统出现异常运行状态时，继电保护装置就能预先发信号通知值班人员进行处理，因而可起到预防故障发生的作用；而一旦故障发生，继电保护装置通过快速跳闸，又可以起到把故障影响限制在最小范围的作用。因此，继电保护对保证系统安全运行和电能质量、防止故障扩大和事故发生，起着极其重要的作用，是电力系统必不可少的组成部分。

第三节 继电保护的基本工作原理及分类

一、基本原理

继电保护有两个基本任务，显然，继电保护装置要能正确工作，首先必须具备有区分被保护设备正常运行与发生故障或异常运行状态的能力，这种能力即为继电保护装置工作的基

本原理，它可以根据上述三种状态下被保护设备参数的变化来实现。

首先，可以利用电气量的显著变化来区分。短路故障的明显特征之一就是电流剧增，根据这一特征，可以识别被保护设备是正常运行还是发生故障，从而可构成设备故障时的保护，且由于所构成的保护是根据电流参数来区分设备的工作状态，因而称之为电流保护，又由于保护是反应故障时电流的增大而动作的，因此还有过电流保护之称。由此可见，保护的名称中可能就含有保护装置的基本工作原理。短路故障的另一特征是电压剧减，因此，相应的还有低电压保护。再则，还可以同时反应故障时电压降低和电流增加的特征，即反应电压与电流比值的阻抗变化来区分设备的工作状态，且由于故障时所测得的阻抗是变小的，故所构成的保护当然称之为低阻抗保护。在输电线路中，由于保护安装处所测得阻抗 Z 的大小反应了故障点与保护安装处的距离远近，因此输电线路的阻抗保护常称为距离保护。同理，如果同时反应电压与电流之间相位角的变化，则可以判断故障点的方向是处于保护安装处的正方向还是反方向，这就是实现方向保护的原理。

为了更确切地区分设备的正常运行与故障或异常状态，还可利用正常运行时没有或很小的电气量，而故障时却很大的电气量，如电压、电流的某一对称分量（负序或零序）或谐波分量来构成保护。电力系统中，除三相短路是对称故障外，其余类型的短路都属于不对称故障，且运行统计资料表明，大多数的故障是不对称故障。由叠加原理可知，任何一组不对称的三相电流或三相电压，都可以分解为三个对称的序分量，即正序分量、负序分量和零序分量。以电流为例：不对称相间短路时，其短路电流可以分解为正序电流分量和负序电流分量；大接地电流系统接地短路时，其短路电流也可以分解为正序电流分量、负序电流分量和零序电流分量；而在系统正常时，基本上不存在负序电流分量和零序电流分量。因此，检测负序电流分量就可以判断系统是否发生不对称故障，由此得到的保护称之为负序电流保护；而检测零序电流分量则可以判断系统是否发生接地故障，所得到的保护称为零序电流保护。

近年来，随着电子、计算机技术的快速发展，保护装置构成原理也由原来反应系统稳态量的变化发展到反应暂态量的变化，从而使继电保护装置的性能更能满足电力系统的快速性要求，前者通常称为常规保护，后者则称为新原理保护。目前，大部分新原理保护装置由反应工频变化量而构成，其理论依据仍是叠加原理，即故障后的电气量由故障前的分量和故障时的故障分量（又称突变量）叠加而成。常规保护反应的是故障前的工频分量和故障时故障分量中的工频成分之和，而反应工频变化量的保护仅反应故障时故障分量中的工频成分，目前用得比较多的有工频变化量电流保护、方向保护、阻抗保护等。此外，还有一种反应故障时的故障分量而构成的保护，在电力系统发生故障时，存在有暂态波过程，相应的波电压、波电流将由故障点以接近光速的速度向着母线传播，通过采集和记录母线处测量到的故障行波波形而构成的保护，称之为行波保护，行波保护主要用在输电线路的故障测距。

除利用上述电气量外，还可利用其他物理量，如气体、温度等非电量来构成保护。当变压器油箱内部故障时，油被分解成大量气体，根据此特点可构成变压器油箱内部故障时的保护，称之为气体（瓦斯）保护。除此之外，在变压器过负荷时，将伴随有变压器油温的升高等特征，据此也可以构成变压器温度保护。

总之，无论是反应哪种物理量而构成的保护装置，当其测量值达到一定数值（即整定值）时，继电保护就将选择地切除故障或显示电气设备的异常情况。

现代电网，电压等级越来越高，单机容量越来越大，系统的安全与稳定越显重要，而继电

保护作为电力系统中最重要、最关键的保安措施，目前只能在设备发生故障后才能动作，因而不可避免地要使电力设备及系统遭受故障过程的危害，有时这种危害甚至非常严重，因此，作为电力系统的保护装置，不应仅局限在故障时怎么做，还应考虑到如何防止严重故障的发生，为此，引入了故障预测装置。如，发电机的内部故障主要是绝缘损坏引起，但在绝缘损坏之前，一般会有一个逐渐劣化的过程，并伴随有局部过热现象，通过及时检测出这些过热现象，如检测绝缘材料过热产生的冷凝核数量，或在不同的部位涂上适当的涂料，然后利用涂料的热分解物判断故障的性质与位置等，即可以防止发电机发生严重的相间短路或匝间短路，这是发电机内部故障预测装置的基本原理。变压器局部放电的检测装置也是故障预测装置的一种，变压器的内部故障主要由内部绝缘局部放电和局部过热引起，局部放电检测装置可随时检测运行中变压器内部的局部放电情况，从而能更好地保证变压器的安全运行。也许有一天，故障预测装置将成为电力系统主要的保护手段，而现有的保护装置却退居于次要地位。

二、种类

继电保护的种类有很多，以下是几种常用归类方法：

(1) 按保护对象不同归类：有发电机保护、变压器保护、输电线路保护、母线保护、电动机保护、电容器保护等。

(2) 按动作结果不同归类：有动作于断路器跳闸的短路故障保护和动作于发信号的异常运行保护两大类。其中，短路保护的种类又有以下几种：

1) 按反应故障类型的不同，有相间短路保护、接地短路保护及匝间短路保护等。

2) 按其功能的不同，有主保护、后备保护及辅助保护，且后备保护又有远后备保护与近后备保护之分。

主保护是指当被保护设备故障时，用于快速切除故障的保护。

后备保护是指当同一设备上主保护拒动，或另一设备上保护或断路器拒动时，用于切除故障的保护。其中，在主保护拒动时，同一设备上实现切除故障的另一套保护，称之为近后备保护；而当保护或断路器拒动时，相邻设备上用来实现切除故障的保护，则称之为远后备保护。

辅助保护是指为克服主保护某些性能不足而增设的简单保护。有关《规程》规定，作用于断路器跳闸的短路保护，应配置有主保护和后备保护，必要时再增设辅助保护。

(3) 按保护基本工作原理不同归类：有反应稳态量的常规保护和反应暂态量的新原理保护两大类。其中：根据所反应参数不同，常规保护有过电流保护、低电压保护、方向电流保护、零序保护、阻抗保护、差动保护、高频保护及气体保护等；新原理保护有工频变化量保护和行波保护等。

(4) 按保护动作原理不同归类：有机电型保护、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。实际上，继电保护的動作原理也表明了继电保护技术发展的进程，目前通常把微机保护之前的保护称之为传统保护或模拟保护，与此相对应，微机保护还可称之为数字保护。

(5) 按保护反应参数增大或减小动作归类：有过量保护和欠量保护两大类。

三、基本组成

继电保护的種類虽然很多，但就其基本组成而言，一般可看成由测量部分、逻辑部分和

执行部分三部分组成,其框图如图 1-2 所示。

其中,测量部分的作用是测量一个或几个能反应被保护设备的参数,然后与保护的给定值(又称之计算值或整定值)进行比较,以判断被保护设备的工作状态,决定保护是否启动;逻辑部分的作用是根据测量部分的

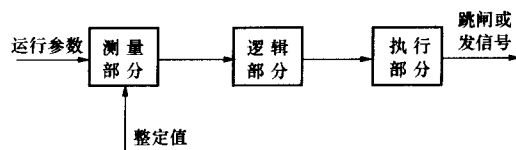


图 1-2 继电保护装置基本组成框图

输出结果,进行一系列的逻辑判断,以决定保护是否应动作;执行部分的作用是执行保护的功能,即设备正常运行时保护不动,设备故障时保护动作于跳闸,而设备异常时保护动作于发信号。把以上保护各组成部分的作用串接在一起,就是一套保护装置的工作过程。当今,由于继电保护技术的日新月异,尤其是微机保护的应用,使保护的動作速度可以达到很快,最快的保护从设备参数变化到保护发出动作命令仅需 4~10ms。

第四节 对继电保护的基本要求

为了保证继电保护能确实完成其在电力系统中所承担的任务及作用,有必要对继电保护装置提出一定的要求,但当保护的動作结果不同时,所提出的要求也不相同。对动作于跳闸的继电保护装置,有以下四个基本要求。

一、选择性

选择性要求的内容是:在系统发生故障时,首先由故障设备(或线路)的保护切除故障,当其保护或断路器拒动时,才允许由相邻设备(或线路)的保护或断路器失灵保护切除故障。换句话说,保护装置的動作应只切除故障设备,或使故障的影响范围限制在最小。

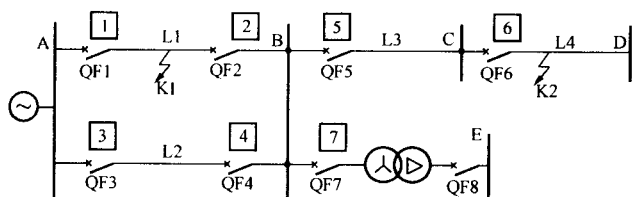


图 1-3 电网保护选择性动作说明图

在图 1-3 所示的网络中,假设各设备上都装设有电流保护。当 K1 点短路时,由于短路电流总是由电源流向故障点,因此保护 1、2、3、4 均有短路电流流过,均可能动作,但根据选择性的要求,应该是由保护 1、2 分别动作于跳开断路器 QF1

和 QF2,将故障切除。同理,当 K2 点短路时,根据短路电流的分布情况,保护 1、2、3、4、5、6 均有短路电流流过均可能动作,但只有保护 6 动作于断路器 QF6 跳闸才认为是有选择性的。

必须指出,由于保护和断路器都存在有拒动的可能性,而短路故障又是电力系统最危险的故障,因此有关《规程》规定,对于短路保护,还应配置有相应的后备保护。在 K2 点短路时,如果保护 6 或断路器 QF6 拒动,则保护 5 动作于断路器 QF5 跳闸也认为是有选择性的动作。因为在这种情况下,保护 5 的動作虽然扩大了停电范围,但仍起到了使故障的影响范围限制在最小的作用,而如果保护 5 不动作于断路器 QF5 跳闸,则故障将一直持续着,其影响范围将更广。保护 5 的这种作用,就是前面介绍的远后备保护的作用。

顺便指出,在发电机、变压器及电压等级较高的输电线路中,其后备保护一般采用近后备的形式,此时应根据具体情况,考虑配置断路器失灵保护。

对于保护装置的选择性要求,可通过选择合理的保护方案、正确地进行整定计算以及精确的调整试验来保证。

二、速动性

速动性又称迅速性、快速性。顾名思义,速动性要求的内容是:保护装置应尽可能快地切除短路故障。有关保护的速动性要求应注意以下两个问题:

(1) 切除故障的时间为继电保护的动作时间和断路器的跳闸时间之和。因此,要缩短故障切除时间,不仅要求保护动作速度要快,与之配套使用的断路器跳闸时间也应尽可能短。

(2) 保护的速动性要求是相对的,不同电压等级的电网,要求不同。如,同样的保护动作时间 $t_{act} = 0.5s$,在 110kV 及以下电压等级电网中被认为是迅速的,而在 220kV 及以上电压等级电网中则被认为是不够迅速的。

继电保护的速动性应根据被保护设备和系统运行的要求确定,并非越快越好,否则,势必带来保护装置其他性能的降低,或者增加保护的复杂性,而且经济上也不合理。例如:对 220kV 及以上电压等级的输电线路,要求保护的動作时间在 0.02 ~ 0.04s;而对于某些低压线路,则允许 1 ~ 2s,甚至更长;对大容量发电机和变压器,要求保护的動作时间约 0.03 ~ 0.05s;对于后备保护的動作时间,则应大于主保护的動作时间。

显然,满足保护装置速动性不仅能减轻故障设备的损坏程度,还可以使系统电压快速恢复,从而减小对用户的影响,提高自动重合闸和备用电源的投入效果,更重要的是提高了 220kV 及以上电压等级电网运行的稳定性。目前,保护最快的動作速度只需 4 ~ 10ms,一般约为 0.02s,即工频一个周波。故障切除时间(包括灭弧)最快可以不超过 0.1s。

为了满足对保护装置速动性的要求,可通过选择合理的保护方案及实现保护的技术手段来保证。

三、灵敏性

灵敏性要求的内容是指:保护装置对于其保护范围内所发生的各种金属性短路故障,应具有足够的反应能力。保护装置的灵敏性要求与选择性要求关系密切,在电力系统故障时,故障设备的保护必须先能够灵敏地反应故障,才可能有选择性地切除故障,因此能有选择切除故障的保护,必须同时具有灵敏性。

保护装置的灵敏性通常用灵敏系数 K_{sen} (又称灵敏度)的大小来衡量。灵敏系数越高,表示保护装置对故障的反应能力越强,反之,则越弱。因此,过量保护和欠量保护对于灵敏系数的定义是不同的。对于过量保护,其灵敏系数的定义为

$$K_{sen} = \frac{\text{短路时故障参数的计算值}}{\text{保护装置的动作参数}} \quad (1-1)$$

而对于欠量保护,其灵敏系数的定义则为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护装置的动作参数}}{\text{短路时故障参数的计算值}} \quad (1-2)$$

对保护装置的灵敏性要求,通常是通过对其最不利情况下的灵敏度即灵敏系数进行校验来保证的。为了保证保护装置对其保护范围内所发生的各种金属性短路故障都能够反应,可按最不利的工作情况进行校验,因为若在最不利情况下保护装置都能够满足灵敏性要求,则在其他情况下保护装置就更能满足灵敏性要求。过量保护灵敏系数的校验公式一般为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置的动作参数}} \quad (1-3)$$

欠量保护灵敏系数的校验公式一般则为

$$K_{\text{sen}} = \frac{\text{保护装置的动作参数}}{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值}} \quad (1-4)$$

相关《规程》规定，在最不利情况下保护装置的灵敏系数应大于1，一般为1.2~2.0。各类保护灵敏系数的详细要求可参照部颁DL400—1991《继电保护和安全自动装置技术规程》中的规定，而对于各种保护灵敏系数的校验方法，则在以后有关章节中加以详细讨论。

四、可靠性

可靠性要求的内容是指：保护装置应处在良好的工作状态下，在保护装置不该动作时应可靠地不动作，而在保护装置该动作时应可靠地动作。前者在一些书中也称为“安全性”，因为如果保护装置在不该动作时却误动了，误发了信号或者误将某运行中的设备切除，则保护装置非但未起到保护的作用，反而由于其误动作而造成了电力系统的不安全；后者也有“可信性”或者“可依赖性”之称，因为如果在保护装置应该动作时却拒动了，保护装置就没有起到保护作用，即该保护装置是不可信赖的。保护装置的误动或拒动是电力系统发生事故的根源之一，因此，保护装置必须满足可靠性的要求。

可靠性与保护装置本身的制造、安装质量有关，同时也与运行维护水平有关。一般说来，保护装置组成元件的质量好、接线简单、元器件的数量和触点少并有必要的抗干扰措施，保护装置的可靠性就高。除此之外，正确的整定计算、安装、调整试验及良好的运行维护、严谨的工作作风，对提高保护可靠性都起着重要作用。但必须说明的是，虽然继电保护装置的拒动或误动都将给电力系统造成严重后果，但在实现提高保护装置可靠性的措施上，防止保护误动与防止保护拒动往往是相互矛盾的，需要权衡利弊。如，采用两套保护以“或”方式作用于同一出口跳闸回路，有利于防止保护拒动，但增加了误动的可能性；而若以“与”方式，则有利于防止误动，却不利于防止拒动。又如，对于单母线或双母线接线的母线保护，通常把安全性放在重要的位置，因为一旦母线保护误动作，母线上所有连接元件都得停电，影响范围很大。而对于 $1\frac{1}{2}$ 断路器母线，如果母线保护误动作，只是改变了母线上各连接元件的潮流分布，并不影响它们的继续运行，而如果母线发生故障而其保护拒动，则故障只能由各连接元件对侧的后备保护来切除，这将严重影响到电力系统的稳定运行。因此，对于 $1\frac{1}{2}$ 断路器母线保护，其可信性与安全性相比，更重要。

以上分析的是对于动作于断路器跳闸保护的四个基本要求，它们应同时满足，但是这种满足只能是相对的。因为在这四个基本要求之间，既有相互紧密联系的一面，也有互相矛盾的一面。例如：为保证选择性，有时就要求保护动作带上延时；为保证灵敏性，有时就允许保护非选择性动作，再由自动重合闸装置来纠正；而为保证速动性和选择性，有时需采用较复杂的保护装置，因而降低了可靠性。因此，在确定继电保护方案时，须从电力系统的实际情况出发，分清主次，以求得最优情况下的统一。这种辩证统一关系和分析处理问题的方法，在学习时都应注意吸取和运用。

此外，在选用继电保护装置时，尚须注意保护的经济性和简单性。在保证电力系统安全运行的前提下，尽量采用投资少、维护费用较低和简单的保护装置。同时，对于那些次要的而又数量很多的电气设备如电动机，也不应装设昂贵而复杂的继电保护装置。

对于动作于信号的保护装置，其基本要求只有三个，即选择性、灵敏性及可靠性。对继

电保护的基本要求将一直贯穿于本课程中的每一套保护，评价一套继电保护装置性能的优劣，即以其对基本要求的满足情况而定。

第五节 继电保护发展简史

电力工业的发展，对继电保护不断提出新的、更高的要求，而电工理论、微机技术、信息技术和通信技术的发展，又使继电保护的原理和技术都发生深刻的变化。19世纪末的熔断器是最早出现的过电流保护。1901年感应型过电流继电器问世，1908年出现差动继电器，1910年方向电流保护开始应用，1920年初有了距离保护，1927年左右开始高频保护的研究与应用，20世纪50年代出现微波保护，经过20余年后又诞生了行波保护。随着光纤通信在电力系统的应用，光纤保护开始得到了广泛应用。

在继电保护技术发展的同时，构成继电保护装置的材料、元器件、结构型式和制造工艺也都发生了巨大的变化。20世纪50年代以前的继电保护装置都由电磁型、感应型和电动型继电器组成，由于上述继电器都带有机械转动部件，故统称为机电型继电器。20世纪50年代初，由于半导体器件的发展，20世纪60年代整流型继电器得以问世。由于晶体管技术的出现，带动了晶体管型继电器及晶体管型成套保护装置的研制，因晶体管型继电器无机械转动部分，故称之为静态型继电器，在20世纪70年代获得了广泛的应用。随着微电子学的发展，大规模集成电路的生产，使分立元件的晶体管保护逐渐为集成电路保护所取代，集成电路保护成为第二代静态型保护。

如今，随着微型计算机和软件技术的迅猛发展，为继电保护数字化开辟了美好的前景。由于微机保护装置的巨大优越性和发展潜力，进入20世纪90年代以来已开始在全世界获得了广泛的应用。可以预见，在新的世纪中它将成为继电保护装置的主要型式，即微机保护将成为电力系统保护、监控、通信、调度综合自动化系统的重要组成部分。

我国继电保护技术的发展得天独厚，自建国以来，我国的继电保护学科、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骨干队伍，对全国继电保护技术人才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。因此，在60年代中期我国建成了继电保护研究、设计、制造、运行和教学的完整体系。此时正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。50年代末，晶体管继电保护在国内开始研究。60年代中期到80年代中期，是国内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70年代中期起，基于集成运算放大器的集成电路保护也开始研究，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。在这方面，南京电力自动化研究院研制的集成电路工频变化量方向高频保护起了重要作用，天津大学与南京电力自动化设备厂合作研制的集

成电路相电压补偿式方向高频保护也在多条 220kV 和 500kV 线路上运行。70 年代末,我国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。华中理工大学、东南大学、华北电力学院、西安交通大学、天津大学、上海交通大学、重庆大学和南京电力自动化研究院都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了鉴定,并在系统中获得应用,揭开了国内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。南京电力自动化研究院研制的微机线路保护装置也于 1991 年通过鉴定。天津大学与南京电力自动化设备厂合作研制的微机相电压补偿式方向高频保护,西安交通大学与许昌继电器厂合作研制的正序故障分量方向高频保护也相继于 1993、1996 年通过鉴定。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性能优良、功能齐全、工作可靠的新型继电保护装置。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。所以可以认为,从 90 年代开始我国继电保护技术进入了微机保护的时期。

本章小结

电力系统中所有投入运行的设备,都配置有相应的继电保护装置。由继电保护的两大任务可知,所谓的继电保护装置,是一种能在被保护设备发生故障或异常运行时动作于断路器跳闸或发信号的自动装置。显然,保护装置要能正确工作,首先必须具备有识别被保护设备工作状态的能力,而这正是保护装置的基本工作原理,它通过三种状态下参数的不同实现。根据保护对象、基本原理及实现手段的不同,继电保护装置有机电型、整流型、晶体管型、集成型、微机型等多种,但无论是哪一种保护装置,都可以看成由测量、逻辑及执行三部分组成。为了确保保护装置能圆满完成所承担的任务,对其有四个基本要求,即选择性、速动性、灵敏性及可靠性,它是本章的重点。

复习思考题

- 1-1 何谓电力系统的故障、异常运行状态?分别有哪些类型?将产生哪些后果?
- 1-2 继电保护的基本任务及作用是什么?
- 1-3 继电保护如何区分电力系统正常运行与故障或异常运行情况?
- 1-4 继电保护的种类有哪些?
- 1-5 何谓主保护、后备保护与辅助保护?远后备保护与近后备保护的作用有何不同?
- 1-6 继电保护装置一般由哪几部分组成?各部分的作用如何?
- 1-7 对继电保护有哪些基本要求?为什么说有时它们是互相矛盾的?又应如何求得统一?
- 1-8 在图 1-3 中, K1 点短路时,线路保护 3 动作跳开断路器 QF3,是否可称有选择性动作?它又如何起到远后备作用?