

技工学校試用教科书

继电保护及自动装置

河南省电业局技工学校等四校合編

学校内部使用



中国工业出版社



目 录

第一章 继电保护的一般概念	1
第一节 继电保护的功用	1
第二节 对继电保护的要求	4
第三节 继电保护作用于电力开关的方法	7
第四节 继电保护的操作系统	9
第五节 电流互感器与继电器的接线方式	14
第二章 继电器	22
第一节 继电器的分类	22
第二节 电磁型继电器的工作原理	22
第三节 电流继电器	23
第四节 电压继电器	27
第五节 中间继电器及电码继电器	28
第六节 信号继电器	30
第七节 时间继电器	32
第八节 感应型继电器的工作原理	36
第九节 感应型电流继电器	37
第十节 继电器的代表符号	43
第三章 线路的过流保护	44
第一节 保护相间短路的定时限过流保护	44
第二节 带低电压启动的过流保护	51
第三节 有限反时限的过流保护	54
第四节 保护接地故障的过流保护	55
第五节 电流速断保护	58
第四章 线路的方向过流保护	61
第一节 保护相间短路的方向过流保护	61
第二节 保护接地的方向过流保护	69
第三节 方向过流速断保护	70
第四节 方向过流保护的优缺点和接线	71

第五章 线路的差动保护	73
第一节 线路的纵差动保护	73
第二节 平行线路的横差动保护	76
第六章 线路的距离保护	86
第一节 距离保护的用途和工作原理	86
第二节 时限特性	89
第三节 距离保护的基本机构	91
第四节 距离保护的原理結綫图	94
第七章 线路的高频保护	96
第一节 高频保护的功用和类型	96
第二节 具有高频閉鎖的方向保护	97
第三节 相差动高频保护	101
第八章 变压器保护	102
第一节 概述	102
第二节 过流保护	105
第三节 电流速断保护	110
第四节 差动保护	111
第五节 瓦斯保护	103
第六节 变压器二次电压低于500伏的保护装置	129
第七节 变压器保护的总结綫图	132
第九章 发电机保护	133
第一节 概述	133
第二节 自动灭磁装置	138
第三节 过流保护	141
第四节 纵差动保护	144
第五节 横差动保护	146
第六节 靜子綫圈的单相接地保护	148
第七节 轉子回路的两点接地保护	152
第八节 水輪发电机的过电压保护	156
第九节 发电机保护的总结綫图	157
第十节 发电机电压低于1000伏的保护装置	159

第十一节	同期调相机的保护	162
第十章	发电机-变压器组保护	165
第一节	概述	165
第二节	发电机-变压器组的过流保护	165
第三节	发电机-变压器组的纵差动保护	167
第四节	发电机-变压器组的接地保护	168
第十一章	电动机保护	169
第一节	概述	169
第二节	过流保护	171
第三节	低电压保护	172
第四节	单相接地保护	174
第十二章	母线保护	175
第一节	概述	175
第二节	发电机电压母线的过流保护	175
第三节	单母线的完全差动保护	177
第四节	双母线的完全差动保护	178
第五节	发电机母线的不完全差动保护	182
第十三章	线路的自动重合闸装置	185
第一节	概述	185
第二节	一次动作的电气自动重合闸装置	187
第三节	重力式自动重合闸	191
第四节	自动重合闸装置与电流速断保护的配合	192
第十四章	备用电源的自动投入	194
第一节	概述	194
第二节	厂用变压器的自动投入	195
第三节	事故照明电源的自动投入	206
第十五章	厂用电电动机的联动回路	208
第一节	概述	208
第二节	运煤系统电动机的联动	209
第三节	吸风机、送风机、排粉机和给粉机的联动	218
第四节	磨煤机、原煤给煤机和冷风闸门电动机的联动	221

第五节	給水泵的联动	225
第十六章	自动调节励磁装置	230
第一节	概述	230
第二节	强行励磁装置	232
第三节	复式励磁装置	233
第四节	电压校整器	235
第五节	振动式自动电压调整器	239
第六节	变阻器式自动电压调整器	245
第十七章	自动同期装置	249
第一节	概述	249
第二节	自动准同期装置	253
第三节	半自动自同期装置	263
第十八章	按周率自动减负荷装置	268
第一节	概述	268
第二节	按周率自动减负荷装置結綫图	269
第十九章	远动化概念	276
第一节	概述	276
第二节	遙远控制和遙远信号	279
第三节	遙远测量和遙远調整	285
附录:	保护继电器型号編制办法	

第一章 继电保护的一般概念

第一节 继电保护的功用

一、电力系统的故障 电力系统中最常见的故障是相间短路和单相接地，在电机或变压器中有时也发生线卷的单相匝间短路。由于短路的相数不同，相间短路又可分为三相短路和二相短路(图1-1)。

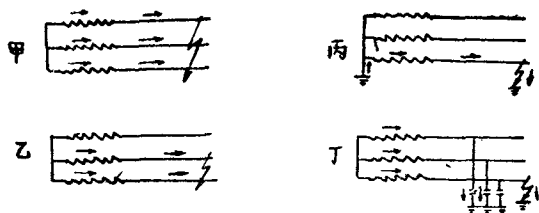


图 1-1 电力系统的故障种类

甲—三相短路；乙—两相短路；丙—单相接地短路；丁—小电流接地电网的单相接地。

发生故障的原因通常是：

(1) 由于设备的绝缘强度和机械强度不良，且在预防性试验与经常性的检查中都没有被发现；

(2) 由于运行人员的误操作，如带负荷拉刀闸、带接地线合开关等；

(3) 由于检修人员工作疏忽，没有严格遵守电业工作安全规程；

(4) 由于继电保护的错误动作；

(5) 由于大气过电压以及其它一些外界因素的影响(如刮风、鸟巢或放风筝等造成架空线路的故障)。

由上述原因可见, 所有故障的发生, 大部分是人为造成的。因此只要各方面的工作人员积极参加反事故斗争, 严格遵守电业工作安全规程, 事故是可以避免的。历年来, 我国不少长期安全运行单位的事迹充分证明了这一点。

短路是电力系统中最危险的故障形式, 我们知道: 短路时在短路回路中将产生较大的短路电流和电压的急剧降低, 在发生短路的地点及接近短路点的线路上, 电压降低得更多。

由于短路而产生的电流增加和电压降低, 会给电力系统带来一系列的严重后果:

(1) 在短路点往往产生电弧, 使短路点附近的设备受到破坏, 短路电流愈大, 通过的时间愈长, 设备破坏的程度就愈严重;

(2) 短路电流通过无故障设备时, 它所产生的热效应和电动效应可能引起这些设备的损坏, 特别是绝缘的损坏;

(3) 短路所引起的电压降低, 可能使用户的正常工工作遭到破坏。我们知道: 各工矿企业的用电设备绝大多数是异步电动机, 它的转矩 M_g 与其端电压的平方成正比 ($M_g = KU^2$), 当电压突然降低时, M_g 急剧减小。当电压降到额定电压的 60~70% 时, M_g 可能小于被拖动机械的反抗转矩, 而使电动机停止旋转。此外, 电压的降低对照明设备也会产生不良的影响;

(4) 电压降低可能破坏发电机间的同步运行, 即破坏并列运行的稳定性, 因而引起事故严重扩大甚至使整个动力系统停止工作。

我們以图 1-2 的系統作为例子进行討論。

在正常工作状态下，汽輪机的旋轉力矩与发电机的有功負載是均衡的，因此每一汽輪机的轉速都是恆定的，并等于同步轉速。

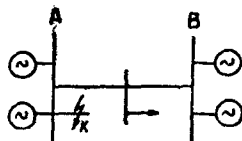


图 1-2 动力系統图

当接近发电厂的母綫 A 的 K 点发生短路时，在电厂母綫上的电压即等于零，此时发电机的有功負荷也变成零。

原来进入汽輪机的蒸汽量和它的轉矩在此时并未改变。因此，汽輪机的轉速开始很快地增加，因为汽輪机調速器的作用比較緩慢，所以发电厂 A 的汽輪发电机将加快轉速。

电厂 B 的发电机距 K 点很远，所以它母綫上的电压具有相当大的数值。但因发电厂 A 的发电机已經失去負荷，系統的所有負荷都要由发电厂 B 的发电机来負担，这时电厂 B 的发电机即可能因过負荷而减低轉速。

由此可見短路的后果使两电厂发电机的轉速变得不同，可能使它們的并联运行遭受破坏。

試驗指出，发电机失步以后还可能拉入同步（在短路切除后），但是在这种同步恢复的过程中会产生对用户工作有害的电压摆动。

上述短路所引起的后果証明了短路是严重的和危险的故障形式。

为了减少短路点的破坏程度，防止短路电流通过設備时造成的破坏，保証用户正常工作和系統并列运行的稳定性，在发生短路时必须迅速地将故障部分从电网中切除。

二、电力系統的異常工作状态 除上述故障外，电力系統中也可能产生其它种类的異常工作状态。这些異常工作状

态的主要形式之一是过负荷。这种过负荷可了解为该元件并无故障，而电流却超过了额定值。电气设备短时间的过负荷对设备的影响不大，但如果长时间的过负荷，会引起导电部分的过度发热，因而加速绝缘材料的衰老，甚至损坏。

在小电流接地电网中的单相接地也是一种异常工作状态。在这种情况下，接地电流虽然不大，但是其他两相的电压将升高（最大可达原来每相电压的 $\sqrt{3}$ 倍），可能使非故障相对地绝缘遭到破坏，有发展成为相间短路的危险。

三、继电保护的功用 继电保护的主要功用就是迅速地将故障部分从电网中自动切除，以保证电力系统的正常工作并缩小故障的范围，避免事故扩大。

继电保护的第二个功用是当电力系统的设备发生异常运行状态时（例如过负荷），向运行人员发出警告信号或经过一定的时限以后断开设备。

在这种异常工作状态下，没有必要迅速地断开设备，继电保护可以动作于信号，以便使运行人员采取必要的措施（例如转移发电机的负荷等）。但在经常无值班人员的变电所中，可以经过一定的时限以后作用于跳闸。

第二节 对继电保护的要求

对继电保护的基本要求如下：

一、选择性 继电保护能正确地断开离故障点最近的电力开关的性能，称为继电保护具有选择性。

图 1-3 所示是说明有选择性断开线路的一个例子，在 K 点短路时，线路 $II-1$ 的保护装置应使开关 3 跳闸，也就是使靠近故障点的开关断开，而电力系统中所有其他未故障线路则仍旧继续运行。

假如由于线路 $II-1$ 的继电保护或其开关拒绝动作，以致使靠近故障地点的开关未断开时，则向电源侧的另一个开关 S 应断开。

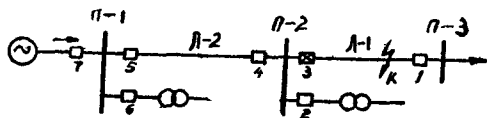


图 1-3 继电保护动作选择性的原理

二、动作迅速 为了减轻故障所造成的不良影响，继电保护必须尽可能快地将故障元件从电网中切除。从这一角度出发，电力系统必须装设快速动作的继电保护与电力开关。因为故障切除的时间，等于保护装置的动作时间与电力开关动作时间之和。

近年来我国最快速动作的保护装置的动作时间可达 $0.02 \sim 0.04$ 秒，压缩空气开关已能制造出具有 $0.05 \sim 0.08$ 秒的动作时间。

在某些情况下，动作迅速的要求与选择性的要求是具有矛盾的，当不能同时满足这两个要求时，按照对用户损坏最小的原则容许只满足其中的一个要求。例如：当必须加速切除短路时，允许无选择性地动作，但应尽可能利用自动重合闸或备用电源自动投入装置来补救保护装置的无选择性动作。

对于反应异常工作状态的保护装置，其动作时间决定于这异常工作状态所引起的后果，如果一律要求其动作迅速就没有必要，可能还有害。

三、可靠性 继电保护应力求简单可靠，对于各种运行

方式下所产生的故障和异常工作状态，应能可靠地动作，不应有误动作或拒绝动作的现象。

继电保护的误动作或拒绝动作都将使系统停电范围扩大，甚至造成其它更不良的后果。以图 1-4 为例，在 K 点发生短路时，由于线路 $I-1$ 的继电保护或开关 3 拒绝动作，线路 $I-4$ 的继电保护就会动作使开关 4 跳闸，结果使系统无故障的线路 $I-2$ 及 $I-3$ 全部失去电源。

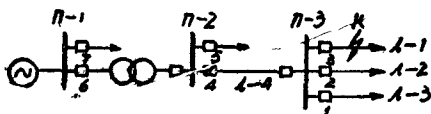


图 1-4 单电源的电力系统图

如果由于变压器的继电保护不正确动作，而使开关 6 跳闸，其结果将使变电所 $II-2$ 和 $II-3$ 全部失去电源。

为了使继电保护装置具有足够的可靠性，必须正确地对继电保护进行安装、调整、运行与维护。健全继电保护的技术管理制度，并且坚决贯彻反事故技术组织措施。

此外在设计继电保护时，不应考虑可能性很小的故障及运行方式，应使继电器及其接点的数量尽可能减少，结线图尽可能简单，便于运行。

四、灵敏性 继电保护对于故障和异常工作状态的反应能力称为继电保护的灵敏性。所谓灵敏性高，就是说在被保护设备上发生任何微小故障和异常工作状态的最初瞬间，继电保护就能反应动作。所以继电保护的灵敏性愈高，对电力系统的不良影响就愈小。但是要求继电保护的灵敏性很高，往往会使保护装置复杂化，降低其可靠性，而且价格很贵。

因此，可以根据被保护设备的重要性及具体要求，采用灵敏性不同的继电保护。

继电保护的灵敏性可用灵敏系数 K_u 来表示，它的定义如下：

(1) 对于反应数值上升的保护装置，其灵敏系数等于保护区内发生金属性短路时故障参数的计算值与保护装置的动作参数之比。

例如过流保护，其灵敏系数为：

$$K_u = \frac{I_k}{I_{cs}} \quad (1-1)$$

其中 I_k ——被保护区内末端直接短路时的一次短路电流(千安)；

I_{cs} ——保护装置的一次侧启动电流(千安)。

K_u 愈大，意味着 I_k 比 I_{cs} 大得愈多，保护装置就愈易启动，因此灵敏性高。

(2) 对于反应数值下降的保护装置，其灵敏系数 K_u 等于保护装置的动作参数与保护区内发生金属性短路时故障参数的计算值之比。

例如低电压保护，其灵敏系数为：

$$K_u = \frac{U_{cs}}{U_k} \quad (1-2)$$

其中 U_{cs} ——保护装置一次侧的启动电压(伏或千伏)；

U_k ——当被保护区末端直接短路时，保护装置所在母线的电压(伏或千伏)。

第三节 继电保护作用于电力开关的方法

继电保护作用于开关的方法有两种：直接的和间接的。直接作用的二次式继电保护如图1-5,甲所示。当保护装置的

继电器启动时，继电器的可动系统2直接作用于电力开关的脱扣杆3，然后在弹簧4的作用下使电力开关跳闸。

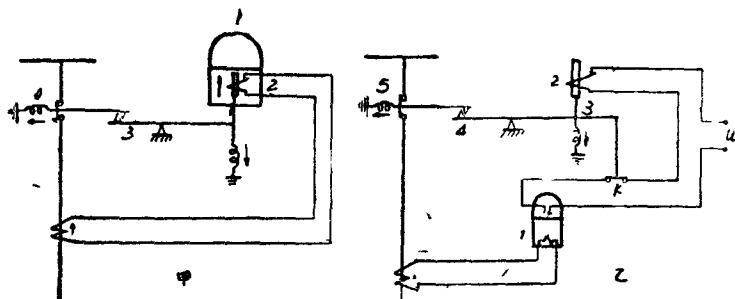


图1-5 继电保护作用于开关的方法

甲—直接作用的二次式继电保护；乙—间接作用的二次式继电保护。

图1-5,乙表示间接作用的二次式继电保护。我们采用带接点的继电器来实现这种保护。当继电器1启动时，它的接点闭合，接通了电力开关的跳闸线圈(电磁铁2的线圈)回路，在引到该回路端子上的专门电源电压 U 的作用下，跳闸线圈通电，使跳闸线圈的铁心3被吸住，并释放锁扣4，在弹簧5的作用下使电力开关跳闸。

由图1-5,乙可以看出，继电器启动时其接点闭合，是用供给跳闸线圈以电流的方法使电力开关跳闸的。因此间接作用的保护装置必须有操作电源(辅助电源)。直接作用的保护装置，因为不要附加的操作电源，所以比较经济和简单。但这种保护具有以下的缺点：因为直接作用的继电器的可动系统必须具有较大的撞击力，才能解脱电力开关的跳闸机构。这样就不容易使继电器做得很精确，同时消耗的功率也很大。间接作用的继电保护中所用的继电器则没有上述缺点。

因此这种保护获得了广泛的应用。

从图 1-5 中可以发现这样一个特点：继电器的电流都是取用电流互感器的二次电流，所以这种保护装置称为二次式保护装置（取用电压互感器二次电压的继电保护也可称为二次式继电保护）。在某些小容量的设备中，为简单起见，可以直接取用被保护设备的一次电流来作成一次式保护装置（图 1-6）。由于一次式保护装置的继电器线卷需要通过较大的一次电流，因而继电器不能作得很精确，同时消耗功率也相当大，因此没有获得广泛的应用。

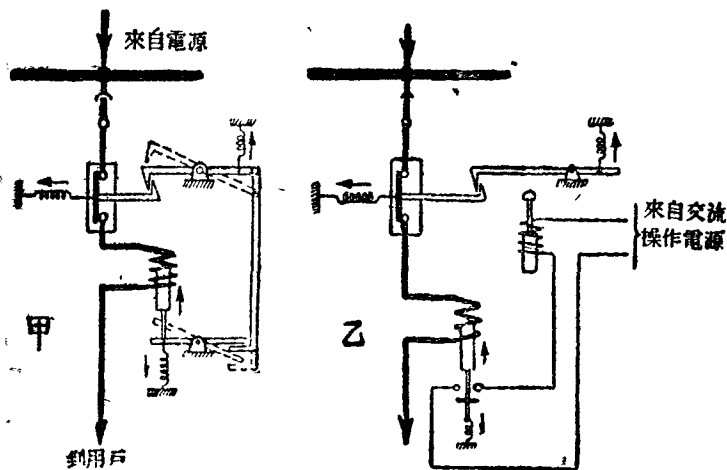


图 1-6 一次式保护装置

甲—直接作用的一次式保护装置；乙—间接作用的一次式保护装置。

第四节 继电保护的操作电源

一、操作电源的功用和一般要求 操作电源所供给的操作电流，是为了使电力开关能够通过继电保护及自动装置或

远方控制装置进行跳閘与合閘用的(参考图1-6)。操作电源应当可靠地供电給保护回路,保証保护装置能够将故障元件从电网中断开。因此对操作电源的要求是:当电力系统短路时,操作电源的电压应維持不变,并且要有足够大的容量,保証电力开关能可靠地合閘或跳閘。

操作电源共分两种:直流操作电源与交流操作电源。

二、直流操作电源 目前在发电厂和变电所中,普遍用蓄电池来作为直流操作电源。蓄电池是一种可靠的操作电源。因为它是独立的电源,設备的交流回路发生任何故障时,均不会影响蓄电池的正常工作。

在大容量的发电厂和变电所中,蓄电池除了供給继电保护的电源以外,还用来供給远距离控制、自动重合閘、备用电源自动投入、信号回路和事故照明等。

但是,采用蓄电池来作为直流操作电源存在下列缺点:

(1)由于蓄电池需要装設在单独的房間內,同时,为了要供給各种回路的操作电流,就需要一些分支的小母綫和較多的控制电綫,这样就使得設备的投資費大大增加;

(2)必須对直流系統的絕緣状况、可熔保險器及跳閘回路的完整性进行經常性的監視;

✓(3)对蓄电池及其回路需进行維護;

(4)当直流系統发生两点接地时,可能会引起继电保护装置的动作;

(5)需装設防止直流系統过电压的保护装置;

(6)由于直流系統复杂,因此当其回路发生接地时,寻找比較困难。

三、交流操作电源 交流操作电源的电流可用电流互感器或电压互感器来获得。

图 1-7 所示是用电流互感器作为保护装置交流操作电源的原理結綫图。它的操作电流是由联接在电流互感器的二次回路內的中間飽和变流器 2 供給的。当被保护电路內发生短路时，继电器 3 綫圈內出現較大的电流，則继电器接点閉合，傳动机构的跳閘綫圈 4 內有电流并使开关跳閘。

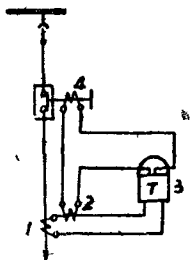


图 1-7 用中間飽和变流器作为操作电源的原理結綫图

1—电流互感器；2—中間飽和变流器；3—电流继电器；4—跳閘綫圈。

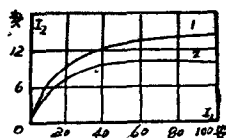


图 1-8 中間飽和变流器的特性曲綫

1—二次綫卷 2 欧的負荷时；
2—二次綫卷 3 欧的負荷时。

中間飽和变流器的特性如图 1-8 所示。从中間飽和变流器的特性曲綫中可以明显地看出，当一次电流为 40~50 安培时，二次綫圈的电流約为 8~13 安，而当一次綫圈的电流繼續增大到 100 安培时，二次綫圈的电流几乎不变。

由于装設了中間飽和变流器，使二次电流被限制在 8~13 安培的範圍內，改善了继电器接点的工作条件，因此在这种保护装置的結綫图中的电流继电器可以使用普通类型的继电器(例如 GL-11 型)。

图 1-9 所示为直接經电流互感器供电給跳閘綫圈的原理图。继电器 2 采用感应式电流继电器，在正常情况下，继电器 2 的上接点是打开的，因而跳閘綫圈內沒有电流流过。当

被保护电路内发生短路时，继电器 2 的上接点首先闭合，然后将其下接点打开，因而接通跳闸线圈的电路，使电力开关跳闸。

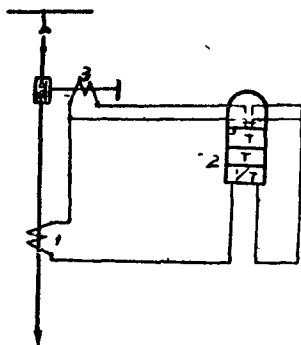


图 1-9 直接由电流互感器取得操作电源的原理图

1—电流互感器；2—电流继电器；3—跳闸线圈。

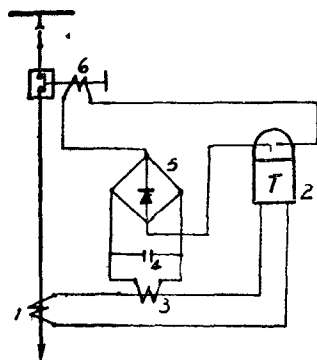


图 1-10 用整流器将交流整流后作为操作电源的原理接线图

1—电流互感器；2—电流继电器；3—中间饱和变流器；4—电容器；5—整流器；6—跳闸线圈。

图1-10所示是用交流电流经整流后，用来作为操作电源的原理图。

在此接线图中，除继电器 2 及中间饱和变流器 3 以外，接入了一个半导体的整流器 5，以便将交流电流经过整流后供给电力开关传动机构的跳闸线圈。电容器 4 的用途是平滑整流电流，同时当中间饱和变流器二次线圈内产生过电压时可避免整流器的损坏。

在图1-11的接线图中，是由中间饱和变流器 3 及中间变压器 4、电容器 5 及整流器 6 组成。中间饱和变流器 3 的一次线圈接在电流互感器的二次线圈两相电流差的回路上；中