

技工学校交流讲义

水电站电气设备

下册

水利水电建设总局杭州水力发电安装技工学校编

学校内部使用



中国工业出版社

技工学校交流讲义

水电站电气设备

下册

水利水电建设总局杭州水力发电安装技工学校编

中国工业出版社

本书分上下两册，下册内容为继电保护与自动化装置。

继电保护部分：首先介绍基本概念及常用继电器，然后叙述电网的保护以及水轮发电机和变压器的保护。自动装置部分包括：水力机械的自动化、自动调整励磁、自动重合闸、备用电源自动投入、远动化装置的基本知识等。

本书内容结合现场实际，除可作为水电技工学校教材外，并可供现场培训用，对水电站的电气安装和运行工人及一般技术人员也有参考价值。

本书由水利水电建设总局杭州水力发电安装技工学校楼永仁编写，并经水利水电建设总局王冰、李宗廷、顾景芳等审阅。

水电站电气设备

下册

水利水电建设总局杭州水力发电安装技工学校编

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南街甲4号）

中国工业出版社出版（北京各前门内大街110号）

（北京市书刊出版事业许可出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

开本787×1092毫米·印张7¹⁵/₁₆·插页4·字数176,000

1963年3月北京第一版·1963年3月北京第一次印刷

印数001—890·定价(8-3)0.80元

统一书号：K15165·1534(水电-270)

目 录

| | |
|----------------------|-----|
| 第八章 继电保护的一般概念及继电器 | 1 |
| 第一节 继电保护装置的功用 | 1 |
| 第二节 继电保护应满足的要求 | 2 |
| 第三节 继电器作用于开关跳闸的方式 | 5 |
| 第四节 继电保护装置的操作电源 | 7 |
| 第五节 各类继电器的工作原理和结构 | 13 |
| 第六节 电流互感器的接线法 | 38 |
| 第九章 各种继电保护装置的接线方式 | 46 |
| 第一节 电力系统的过电流保护装置 | 46 |
| 第二节 电力系统的电流速断装置 | 54 |
| 第三节 电力系统的接地保护装置 | 58 |
| 第四节 电力系统的电流方向保护装置 | 62 |
| 第五节 电力系统的差动保护装置 | 67 |
| 第六节 电力系统的距离保护装置 | 73 |
| 第七节 高频保护 | 78 |
| 第八节 水轮发电机的继电保护装置 | 86 |
| 第九节 电力变压器的继电保护 | 100 |
| 第十节 母线继电保护装置 | 119 |
| 第十章 水力机械的自动化 | 123 |
| 第一节 水电站自动化的内容与意义 | 123 |
| 第二节 蝴蝶阀自动操作 | 126 |
| 第三节 水轮发电机组自动控制水力机械系统 | 134 |
| 第四节 水轮发电机自动控制的电气接线 | 151 |
| 第五节 机组辅助机械电动机控制 | 163 |
| 第六节 全厂共用设备自动操作 | 165 |

| | | |
|------|--------------------------|-----|
| 第十一章 | 水輪发电机励磁系統、自动調整 | |
| | 励磁裝置 | 169 |
| 第一节 | 概述 | 169 |
| 第二节 | 自动灭磁裝置 | 171 |
| 第三节 | 继电强行励磁裝置 | 173 |
| 第四节 | 复式励磁裝置 | 175 |
| 第五节 | 电磁式电压校正器 | 180 |
| 第六节 | 励磁系統的直流操作回路 | 192 |
| 第七节 | 炭阻式电压調整器 | 193 |
| 第十二章 | 綫路的自动重合閘和 | |
| | 厂用电备用电源自动投入 | 198 |
| 第一节 | 綫路的自动重合閘(AIIB) | 198 |
| 第二节 | 水电站厂用电备用电源自动投入 | 211 |
| 第十三章 | 水电站运动化的基本知識 | 216 |
| 第一节 | 动力系統运动化概述 | 216 |
| 第二节 | 远距控制和远距信号 | 219 |
| 第三节 | 远距测量的概念 | 224 |
| 附录: | 繼电器型号編制原則、繼电器的技术数据 | 227 |

第八章 继电保护的一般 概念及继电器

第一节 继电保护装置的功用

在电力系统中，电机与电器、电缆线路与架空输电线路，以及电气装置的其他部分，可能发生故障和不正常的工作状态。发生故障和不正常的工作状态会在系统中引起事故，而这样的事故，就是指全部系统或部分系统的正常运行被迫破坏，以至造成停电或对用户少送电，电能质量变坏到不能允许的程度或使设备损坏。

发生事故的最初原因各有不同，但在大多数情况下是由于没有及时发现和没有及时消除设备中的缺陷，设计、安装或运行不良而引起的。因此，事故的发生大部分是由人们在工作中的缺点所造成，过去认为在运行中事故是不能避免的观点是错误的。目前电力系统是可能达到无事故安全运行的。而无事故运行是掌握在设计、安装和运行人员的手中。历年来，我国不少长期安全运行单位的事迹充分说明了这一点。

各种形式的短路是电力系统中最危险的故障，由于短路而引起的严重后果已在第二章中讲过了。当短路时，巨大短路电流，经过无故障的载流部分流入故障处，一方面持续着对故障电气设备的破坏作用，同时无故障载流部分通过巨大的短路电流产生的过热会引起其他故障，也就是说，要使事故扩大。现代电力系统中，当发生故障时，主要是借助继电保护装置作用于开关的跳闸，迅速地断开电气装置的故障部分，避免或防止事故的发展。

由此可見，继电保护装置的主要用途在于迅速地、自动地、正确地将电气装置的故障部分与其余部分断开，这样可以保証无故障部分的正常工作，縮小故障的范围，甚至完全避免故障元件的损坏。

除了故障以外，設備也可能处于不正常的状态下，譬如过载，变压器中性点不接地的网路中的一相接地，变压器中的油分解成气体，温度升高等。上述現象沒有直接的危險，因此不必要迅速地断开設備，继电保护动作只作用于警报信号，通知值班人員采取必要措施（例如轉移发电机的負荷等）。但在經常无人值班的水电站与变电所中，继电保护可以通过一定的时延以后再作用于跳閘。因为不正常状态延續的时间可能很短，而在这种情况下便无断开設備的必要。因此继电保护的另一个用途是辨別設備运行的不正常状态，向值班人員发出警报信号或者經過一定时延以后断开設備。

此外，继电保护装置是电力系统自动化装置之一，它与架空綫路上的自动重合閘，发电机上的强行励磁及自动調整励磁，备用电源自动投入等有着紧密的联系。

第二节 继电保护应滿足的要求

根据继电保护本身的任务，继电保护应滿足一系列的要求，其中基本要求是：1)选择性的能力；2)动作迅速；3)灵敏度；4)可靠性。

一、选择性 当短路时保护装置只切除网路中的故障部分的能力称为保护装置的选择性。

图8-1表示有选择地切除故障的实例。比如，当 K_1 点发生短路时应该由开关2将故障綫路切除，这个开关亦就是离故障点最近的一个，这时除由故障綫路供电的用户以外，所有

其他用戶仍然正常供電。

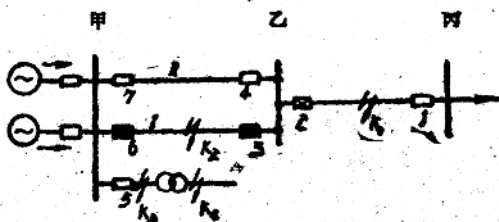


图 8-1 有选择地切除故障

在 K_2 点发生短路时，则应该由开关 3 与 6 切除故障线路 I，第二条线路 II 仍然继续供电。这样切开时，网络的所有用户都保持供电。这种例子说明，如果变电所与网络是由几条线路联系着，则有选择地切除其中一条线路上的短路后，还可能保持该变电所与网络的联系，从而保证了对用户不间断的供电。因此，选择性的要求是为了保证对用户可靠供电的基本条件。

二、动作迅速 依靠继电保护装置的动作，将电气装置的故障部分迅速断开，可以防止或缩小故障的规模，避免电动机的停转和发电机并联运行的破坏。由此可见，为了保证可靠运行，在输电线路及电气设备上均应安装具有快速动作的保护装置及自动开关。近代的速动保护装置的动作时间可达 0.02~0.04 秒，高压空气开关已经制造出具有 0.05~0.08 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，允许只满足其中的一个要求。例如：当必须切除短路时，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。然而也有些故障，特别是不正常工作情况，并不一定需要迅速切断，甚至迅速切断是有害的。如：负荷电流过载，即不需要瞬时断路，因为每个电气设备都是允许一定的过负荷时间，这个时间与过负荷的倍数有关。

三、灵敏度 继电保护对于故障和不正常工作状态的反应能力称为继电保护的灵敏度。

灵敏度高的继电保护装置在线路或电气设备上发生任何微小的故障时也能反应动作。所以继电保护装置的灵敏度愈高，则对电力系统未故障部分的影响愈小，并且能够缩小在故障处的设备损坏程度。但要求继电保护的灵敏度很高，往往会使保护装置复杂化，降低其可靠性，价格昂贵。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装置。

继电保护的灵敏度可用灵敏系数 K_s 来表示，它的定义如下：

(1) 对于故障时能反应数值上升的保护装置，灵敏系数定为在被保护区末端直接短路故障时参数值(例如电流)，对保护装置所整定的启动值之比。例如对于过电流保护(详见第九章)。

$$K_s = \frac{I_k}{I_{cs}}$$

式中 I_k ——被保护区末端短路时的一次侧短路电流，安或千安；

I_{cs} ——保护装置的一次侧整定启动电流，安或千安。

(2) 对于故障时能反应数值减少的保护装置，灵敏系数定为保护装置所整定的启动值对被保护区末端直接短路时参

数值(比如电压)之比,例如对低电压保护。

$$K_v = \frac{U_{cs}}{U_x}$$

式中 U_{cs} ——保护装置的一次侧启动电压,伏或千伏;

U_x ——当被保护区末端短路时,供给保护装置用的电压互感器所接的母线电压,伏或千伏。

四、可靠性 继电保护装置应经常准备着动作,并且在各种故障和不正常的运行情况下要可靠地动作,它不应该误动作或拒绝动作。

继电保护装置的可靠性极为重要,为了说明其重要性以图 8-2 为例,在 K 点发生短路时,由于线路 I 的继电保护装置或开关 3 拒绝动作,则线路 IV 的继电保护装置动作致使开关 4 跳闸,结果使系统中无故障的线路 II 及 III 全部失去电源。

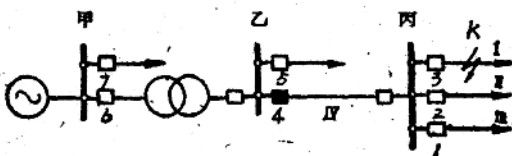


图 8-2

如果由于变压器的继电保护装置的误动作,而使开关 6 跳闸,其结果将使乙和丙变电所全部失去电源。

保证继电保护可靠性的前提是:选择正确的电气结构,可靠地安装并保证装置个别元件的高品质以及正确地调整、运行与维护。同时必须健全继电保护的技术管理制度。

第三节 继电器作用于开关跳闸的方式

通常继电器作用于开关有直接作用与间接作用两种方法。

直接作用的继电器，直接装設在开关的跳閘机构上，图 8-3 所示为直接作用继电器的原理結綫图，甲图继电器綫圈是直接接入被保护电路內，称为一次式继电器，乙图继电器綫圈是經电流互感器接入的称二次式继电器。当回路中电流增大到继电器的动作电流时，鉄心被吸入綫圈內，此时杠杆 3 被提起，如图中箭头所示方向繞支点 4 轉动，于是在彈簧 6 的作用下使开关跳閘。

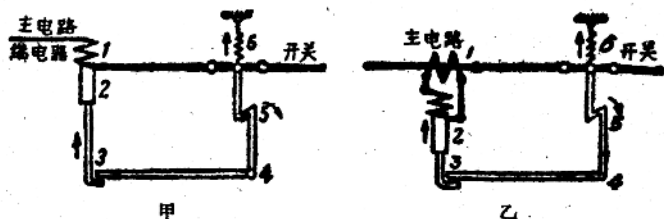


图 8-3 直接作用的继电器原理結綫图

甲——一次式继电器；乙——二次式继电器。

图 8-4 所示为間接作用的二次式继电保护結綫图，是采用带接点的继电器来实现这种保护的。当回路中，电流增大到继电器的动作电流时，鉄心 3 被吸入綫圈內，同时继电器的接点 4 閉合，使跳閘机构的綫圈 5 接通至操作电流回路，因而釋放开关的搭鈎 7，于是在彈簧 8 的作用下使开关跳閘。

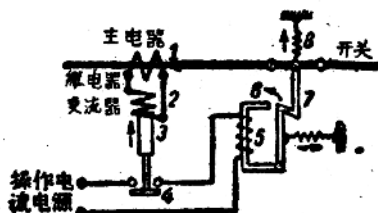


图 8-4 間接作用的继电器

直接作用的保护装置使开关跳閘不需要

附加的操作电源，这是这种保护的优点。但直接作用的继电器可动系统必须有较大的冲击力，才能解脱电力开关的跳闸机构，使开关跳闸时，继电器消耗较大的功率，所以继电器机构必须做得结实粗大而不能做到精确灵敏。直接作用的一次式继电器主要应用在小容量的设备上。直接作用二次式继电器亦只用在小型发电厂和配电站内手动自动操作的小功率开关的传动机构中。

间接作用二次式继电器尺寸比较小，并且可做成单独的器具，具有高度的灵敏度与精确性，在电力系统中是广泛采用的。

第四节 继电保护装置的操作电源

继电保护及自动装置的操作电源，可用直流或交流，目前采用最多的是直流操作电源，它是由蓄电池和充电设备等组成，已在第四章中叙述。由蓄电池供电的直流操作电源，以往一直是被认为最可靠独立的电源，因为在电气装置中无论发生什么事故，甚至在交流电源全部停电的情况下，它也能保证它的用电设备可靠而连续地工作。

交流操作的电源是采用电流互感器、电压互感器、电容器(利用它所蓄藏的电)等，用纯交流或者整流成直流进行。

近年来，根据苏联的运行经验证明，采用交流操作的继电保护和自动装置，在提高可靠性，简化二次接线及降低建设投资等方面，有着很大的优点，因为：

(1)采用交流操作可以省去充电机、蓄电池、配电盘及从集中的直流电源引向各设备的操作电缆等。同时亦省去了相应辅助设备的建筑物，这样不仅减少了建设投资，降低了

运行费用，而且建设速度大大加快，为电力工业的飞跃发展创造了良好的条件。

(2)从技术上来看蓄电池是一个与系统电源无关的独立电源，因而是最可靠的。但继电保护和自动装置的可靠性，还决定于操作电源本身的可靠性和附属设备的可靠性(如寿命和本身的技术特性等)，例如过去在运行中就发生过由于蓄电池组故障或过放电、操作电缆沟失火等，而造成保护误动作和拒绝动作的事故，还有直流回路一点接地而造成误跳闸。所有上述缺点都是采用了集中控制的蓄电池电源与复杂的直流系统所引起的，在采用分散的交流电源操作时，可以减少或避免上述缺陷。

(3)对蓄电池电源的直流系统的绝缘状况，可熔保险器及跳闸回路的完整性必须进行经常性的监视，对蓄电池及其回路需要进行维护。采用交流操作，其设备不须要经常维护，并且大大简化了二次回路。并给推行无人值班的水电站及变电所创造了有利条件。

因此，现在苏联和我国都积极地推广交流操作。交流操作是我国继电保护及自动装置技术的一个发展方向。但是，交流操作在具有复杂继电保护和自动化装置以及重型开关操作机构时，并非总能成功地应用，这是交流操作基本的缺点。目前交流操作仅能用于发电机、变压器的单位容量不超过15兆伏安，高压为35千伏的水电站中，在35千伏以下的变电所中已得到广泛应用，现在正在采取办法更加扩大交流操作的应用范围。

交流操作电源，单纯地用厂用电整流来代替蓄电池是不能令人满意的，因为仍有直流操作的许多缺点。有集中操作电源，集中汇流母线，操作电源的配电小母线，配电电缆的网

路和支綫电路上的熔断器等。同时，它比蓄电池还不可靠，因此交流操作电源，一般是采用分散的、独立操作电源的方式，操作电源与被保护或被操作的对象密切地联系在一起。交流操作对保护和自动化装置、开关的自动跳閘和合閘等分別采取了許多不同的解决办法。

在水电站中可能的交流操作电源，有取自下列几方面：

- (1) 电流互感器；
- (2) 电压互感器；
- (3) 水电站的交流厂用电；
- (4) 调速机永磁发电机；
- (5) 励磁机。

在继电保护的接綫中，操作电源主要是取自电流互感器和电压互感器，图 8-3 利用装在操作机构內的直接动作式的

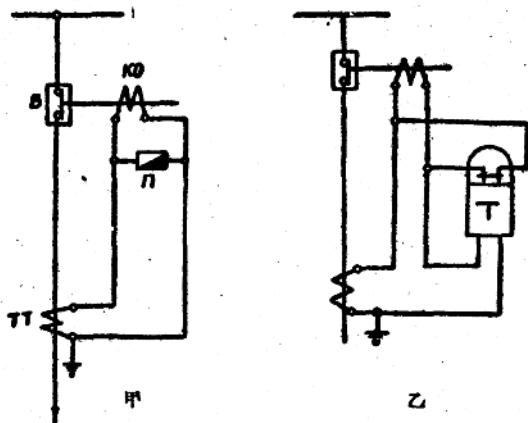


图 8-5 旁路分流式交流操作接綫

甲—旁路熔断式；乙—继电器触点分流式。

继电器就是交流操作的继电保护中最简单和最可靠的一种。图8-5甲是旁路熔断式，乙是用继电器接点分流式，发生过电流时，熔断熔断或继电器接点断开，电流互感器二次电流流经跳闸线圈使开关跳闸。对于低压线路，小容量降压变压器(厂用变压器)等设备的简单保护，宜尽量采用直接动作式或分流式，因为它比较简单，并且平时电流互感器负载小。如要求较高或接点容量不够时，则采用带中间饱和变流器的接线(图8-6)。操作电源是由联接在电流互感器1二次回路内的中间饱和变流器2供给的，当被保护电路内发生短路故障时，继电器3线圈内出现较大的电流，则继电器接点闭合，传动机构的跳闸线圈4内有电流流过并使开关跳闸。

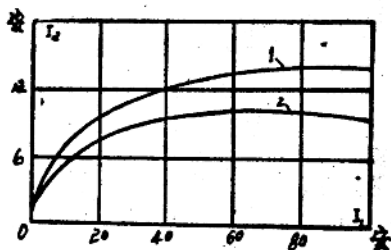
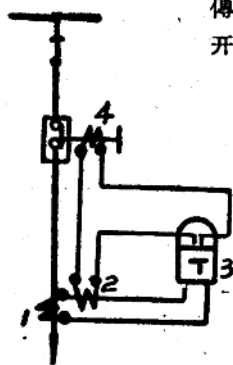


图8-6

甲—利用带中间饱和变流器的交流操作电源原理图；乙—中间饱和变流器的一次线圈电流 I_1 和二次线圈电流 I_2 间关系的特性曲线。

中间饱和变流器的特性，如图8-6乙所示。从变流器的特性曲线可以明显地看出，当一次电流为40~50安培时，二次线圈的电流约为8~13安培，而当一次线圈电流继续增大至

100安培时，二次线圈的电流几乎不变。

由于装设了中间饱和变流器，致使二次电流被限制在8~13安培的范围内，因此在这种保护装置接线图中的电流继电器可以使用普通类型的继电器，如DL-10、GL-10型等。

这种接线的优点是简单可靠，但中间饱和变流器的容量不大，亦只适用于简单保护。

图8-7用交流电流整流后，用来作为操作电流电源的接线原理图。此种接线图将从饱和电流互感器(图8-7乙)或电压互感器(图8-7甲)获得的交流操作电流，加以整流后用于操作，可提高继电保护的灵敏度，并降低饱和电流互感器和电流互感器以及电压互感器的负载。因为所连接的辅助继电器和开关的跳闸线圈所消耗的功率用直流操作比用交流操作小。图中整流器B，是干式的(硒、氧化铜、锗)，电容器C经干式整流器和饱和电流互感器ПНТ(图乙)或电压互感器ТН(图

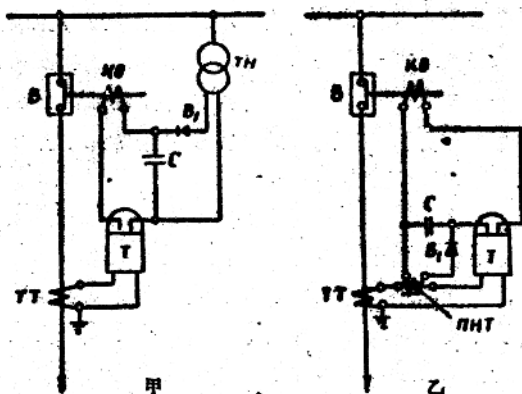


图8-7 整流蓄能式交流操作接线

甲—电压互感器；乙—电流互感器。

甲)。正常时,电容处在充电状态。当继电器 T 动作,闭合电容器 C 的回路,使它向跳闸线圈 KO 放电,开关跳闸。采用这种方式可以使较大的开关(如 SN_1 和 SN_2 型)可靠地跳闸。

图 8-8 中,操作回路的整流电流由饱和电流互感器 S 和电压互感器 TH 两个电源供电。整流设备为两套干式整流器 1

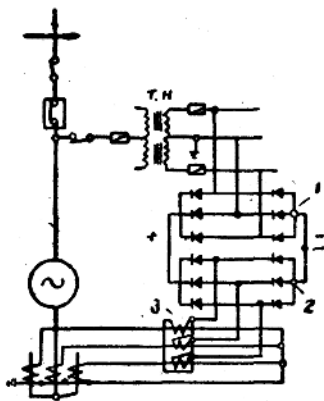


图 8-8 由电流互感器和电压互感器整流联合供电的接线

和 2 , 都接成三相桥式电路。两组整流设备的同极性端相连接,使电流和电压互感器经整流后并联运行。不同交流操作电源的相互联接,具有较高的可靠性,整流后的电压是与一次侧的电流及电压成正比的,当被保护设备发生相间短路时,此时将产生较大的电流及较小的电压,这时主要是借助

电流来保证该装置的供电,

反之如小电流的情况下(如单相接地或设备发生匝间短路),主要是借电压来保证该装置的供电。

由电流互感器和电压互感器整流联合供电的交流操作电源接线,可以应用于比较复杂和消耗功率较大的继电保护电路,亦可用于电站的发电机、变压器等的保护装置上。

关于开关合闸由于需要功率较大,为了彻底取消蓄电池,开关合闸问题目前采用有以下几种方式:

1. 在10千伏以下,操作不多、不太重要的变电所及中小型电站中,采用手动合闸,交流跳闸,必要时配合一次机械式