



全国电力技能人员培训用书

全国电力继续教育规划教材

继电保护 二次回路试验

柏吉宽 主 编
段新辉 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

全国电力技能人员培训用书



全国电力继续教育规划教材

继电保护 二次回路试验

主 编	柏吉宽		
副主编	段新辉		
编 写	徐 鹏	蒲晓羽	黄杨明
	雷 宇	黄琪训	刘炳荣
	卢迪勇	伍东生	张新伟
	丘演峰	朱 健	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从继电保护自动化作业出发,结合作业现场实际,对继电保护自动化专业继电保护测试与试验进行了介绍。主要包括七个模块内容:TA 更换后试验;TA 二次回路试验;TV 二次回路通压试验;保护装置带负荷六角图测量及判断;保护装置整组传动试验;隔离开关电气联锁试验;变电站蓄电池核容试验。

本书注重工作实用性,理论联系实际,既可作为继电保护自动化人员提高技能的学习用书,也可作为相关专业人员的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护二次回路试验/柏吉宽主编. —北京:中国电力出版社, 2015. 2

全国电力继续教育规划教材

ISBN 978-7-5123-6919-1

I. ①继… II. ①柏… III. ①继电保护—继续教育—教材
②二次系统—继续教育—教材 IV. ①TM77 ②TM645. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 295661 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](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 421 千字

定价 70.00 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

随着电力事业的发展,电力系统容量不断增加,各类设备不断增多,为了保证电网的安全运行,对技能人员提出了更高的要求。为了适应电力生产安全运行,提高继电保护自动化人员的二次回路试验水平,由广东电网公司教育培训评价中心根据《中国南方电网有限责任公司技能人员培训规范》组织编写了本书。

目前,国内有关继电保护自动化学习资料往往侧重于理论,本书则注重工作实用性,从广东电网公司继电保护自动化作业出发,结合现场作业,对继电保护自动化专业继电保护测试与试验进行了介绍。为了能更好地让工作人员理解本书的有关知识,编写组从一线班组抽调技能专家运用广东电网公司教育培训评价中心自主研发的 BIT 课程开发技术,以真实任务为载体,从实际案例和最佳实践总结提炼组织经验,对作业重点难点进行了深入剖析,大量使用现场工作照片以减小学习难度,并精心选取了一些有实用参考价值的典型案例提供给读者学习,以便加强读者的理解。

本书由柏吉宽担任主编,段新辉担任副主编。全书分为七个模块:模块一 TA 更换后试验由佛山供电局黄杨明负责编写;模块二 TA 二次回路试验由肇庆供电局雷宇编写;模块三 TV 二次回路通压试验由汕尾供电局黄琪训和肇庆供电局雷宇编写;模块四保护装置带负荷六角图测量及判断由东莞供电局卢迪勇编写;模块五保护装置整组传动试验由云浮供电局伍东生和朱健编写;模块六隔离开关电气联锁试验由梅州供电局张新伟和丘演峰编写;模块七变电站蓄电池核容试验由江门供电局刘炳荣编写。全书由徐鹏、蒲晓羽统稿。

本书在编写中得到了广东电网公司教育培训评价中心王红英、郭军的大力帮助,同时广东电网公司继电保护自动化专业的专家汕尾供电局王海明、东莞供电局彭润深等对书提出了宝贵意见和建议。在此,对以上专家表示衷心的感谢!

由于时间仓促,编者水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 2 月



目 录

前言

模块一 TA 更换后试验

第一章 基础知识	2
第一节 电流互感器的基本原理	2
第二节 电流互感器的标志	4
第三节 接线形式	6
第四节 各绕组的作用	7
第五节 电流互感器回路标注	8
第六节 保护死区	9
第七节 电流互感器更换后试验范围	10
第二章 试验流程与实例	12
第一节 办工作票	12
第二节 风险分析	12
第三节 配置检查	15
第四节 外观检查	17
第五节 特性试验	18
第六节 安全措施恢复及作业终结	25
第七节 试验实例	26
小结	30
测试题	31

模块二 TA 二次回路试验

第一章 TA 二次回路基础知识	35
第一节 TA 二次回路原理	35
第二节 TA 二次升流试验概念、适用范围及注意事项	37

第三节	TA 二次回路试验作业流程	38
第二章	TA 二次回路试验方法	39
第一节	作业前准备	39
第二节	电流二次回路检查	40
第三节	二次安全措施	42
第四节	电流二次回路绝缘及一点接地检查	57
第五节	电流二次回路升流试验	63
第六节	TA 二次回路负载测试和校核	65
第七节	二次安全措施恢复	70
第八节	TA 二次回路试验实例	72
小结		79
测试题		79

模块三 TV 二次回路通压试验

第一章	TV 基础介绍	83
第一节	电压互感器作用及工作原理	83
第二节	电压互感器接线方式	83
第三节	电压互感器操作注意事项	84
第四节	电压互感器涉及的二次回路	87
第五节	电压互感器的反事故措施	92
第六节	TV 二次回路通压试验作业流程	94
第二章	TV 二次回路通压试验方法	95
第一节	试验准备	95
第二节	电压二次回路核对接线	96
第三节	安全措施	99
第四节	电压二次回路绝缘及一点接地检查	100
第五节	试验接线	101
第六节	试验数据	103
第七节	开口三角二次电压回路验证	105
第八节	恢复安全措施	106
小结		106
测试题		107

模块四 保护装置带负荷六角图测量及判断

第一章	测量工作基础介绍	112
第一节	二次回路接线	112

第二节 作业风险分析	115
第三节 六角图测量流程	117
第二章 六角图测量与判断	119
第一节 测量前准备	119
第二节 测量电流相量	122
第三节 定制坐标	124
第四节 绘制电流相量	125
第五节 判断负荷功率	126
第六节 案例	130
小结	134
测试题	135

模块五 保护装置整组传动试验

第一章 基础知识	138
第一节 保护装置整组传动试验内容	138
第二节 整组传动试验类型及试验步骤	139
第二章 现场试验	142
第一节 试验前准备	142
第二节 风险评估与安全措施落实	143
第三节 寄生回路检查	147
第四节 试验接线	148
第五节 保护装置整组传动试验	149
第六节 作业终结	157
第七节 案例分析	158
小结	163
测试题	164

模块六 隔离开关电气联锁试验

第一章 基础知识	168
第一节 相关概念	168
第二节 基本作业流程及规范	169
第二章 隔离开关电气联锁试验	171
第一节 确定试验的隔离开关电气联锁回路	171
第二节 风险评估及控制措施	174
第三节 准备图纸及工器具	175
第四节 确定一次设备状态	176

第五节 试验过程	176
第六节 结束试验	184
第七节 拓展学习	184
第八节 案例	186
小结	187
测试题	188

模块七 变电站蓄电池核容试验

第一章 蓄电池核容基础介绍	190
第一节 阀控蓄电池	190
第二节 阀控蓄电池核容管理	191
第二章 蓄电池核容试验	199
第一节 工作前的准备和工作票的办理	199
第二节 检查蓄电池及其连接条	201
第三节 测量蓄电池内阻	204
第四节 蓄电池管理单元检测	206
第五节 放电操作	208
第六节 试验终结	218
测试题	226

附录 A 电流互感器更换后试验作业表单	228
附录 B TA 二次回路试验作业表单	236
附录 C 220kV TV 二次回路通压试验作业表单	243
附录 D 线路保护装置带负荷六角图测量数据表	250
附录 E 变压器保护装置带负荷六角图测量数据表	251
附录 F 供电局企业 220kV 线路保护定检作业表单	253
附录 G 220kV 设备电气联锁回路试验作业表单	257
附录 H _____ 供电局 _____ 站蓄电池核容试验作业表单（双充双电）	262

参考文献	270
------------	-----

模块一

TA更换后试验

导 读

电流互感器(TA, 又称CT)是电力系统不可缺的组成元件。

继电保护装置、安全稳定控制装置、备用电源自动投入(简称备自投)装置、故障录波器、测控装置、电能计量等二次设备正常工作均离不开电流互感器的电流回路。如果电流互感器变比、极性等特性出现问题,就会造成二次系统采样数据异常,引发系统及人员误判,有时甚至会破坏整个电力系统安全稳定运行。因此,通过TA更换后的试验,对更换后的电流互感器完成相关检查及特性试验,检查并纠正电流二次回路异常运行的隐患,确保电流二次回路的正常运行,杜绝由于电流互感器及其二次回路不全面进行试验而导致发生影响电力系统稳定安全运行的事件发生。

通过该模块的学习,使现场工作人员能够掌握电流互感器更换后的绝缘检查、极性检查、变比检查、直流电阻测试、伏安特性检查及绕组检查方法,确保电流二次回路正常投运。

第一章 基础知识

电流互感器 (current transformer) 文字符号为 TA, 是变电站内重要的电气设备。本章主要简述电流互感器的基本原理、极性标注、回路标注、接线形式、保护死区及 TA 更换后涉及的试验范围等内容。

电流互感器由一次部分和二次部分组成, 是电力系统中电能计量、测量仪表、备自投装置、安全稳定控制装置 (简称安稳装置)、故障录波器、继电保护等二次设备获取电气一次回路信息的传感器。电流互感器将高电压、大电流按比例变成低电压和小电流, 其一次侧接在一次系统, 二次侧连接测量仪表、继电保护装置等及其他电气设备。

第一节 电流互感器的基本原理

一、普通电流互感器结构原理

电流互感器的结构较为简单, 由相互绝缘的一次绕组、二次绕组、铁芯以及构架、壳体、接线端子等组成。常见的电流互感器如图 1-1-1 所示。其电磁工作原理与变压器基本相同, 一次绕组的匝数 (N_1) 较少, 直接串联于电路中, 一次负荷电流 (I_1) 通过一次绕组时, 产生的交变磁通在二次绕组中感应产生按比例减小的二次电流 (I_2); 二次绕组的匝数 (N_2) 较多, 与仪表、继电器、变送器等电流线圈 [二次负荷 (Z)] 串联形成闭合回路, 如图 1-1-2 所示。

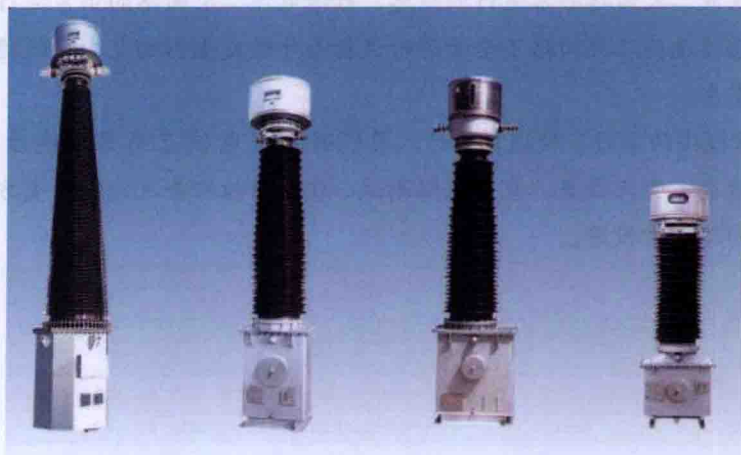


图 1-1-1 电流互感器



根据一、二次绕组磁通势相等的原理, $I_1 N_1 = I_2 N_2$, 电流互感器额定变比 K_N 为

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

电流互感器实际运行中负荷阻抗很小, 二次绕组接近于短路状态, 相当于一个短路运行的变压器。

二、穿心式电流互感器结构原理

如图1-1-3所示, 穿心式电流互感器本身不设一次绕组, 载流(负荷电流)导线由L1至L2穿过由硅钢片擗卷制成的圆形(或其他形状)铁芯起一次绕组作用。二次绕组直接均匀地缠绕在圆形铁芯上, 与仪表、继电器、变送器等的电流线圈(二次负荷)串联形成闭合回路。

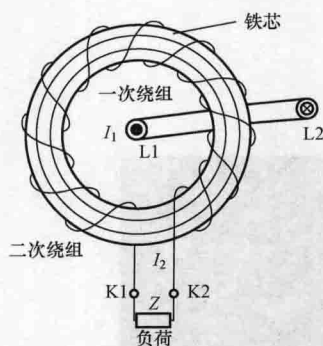


图1-1-3 穿心式电流互感器结构原理图

由于穿心式电流互感器不设一次绕组, 其变比根据一次绕组穿过互感器铁芯中的匝数确定, 穿心匝数越多, 变比越小; 反之, 穿心匝数越少, 变比越大。额定变比 K_N 为

$$K_N = \frac{I_1}{n}$$

式中 I_1 ——穿心一匝时一次额定电流;
 n ——穿心匝数。

三、特殊型号电流互感器

1. 多抽头电流互感器

多抽头电流互感器的一次绕组与普通电流互感器相同, 只在绕制二次绕组时增加几个抽头, 以获得多个不同变比。它具有一个铁芯和一个匝数固定的一次绕组, 其二次绕组用绝缘铜线绕在套装于铁芯上的绝缘筒上, 将不同变比的二次绕组抽头引出, 接在接线端子座上, 每个抽头设置各自的接线端子, 这样就形成了多个变比, 如图1-1-4所示。

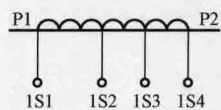


图1-1-4 多抽头电流互感器原理图

例如二次绕组增加两个抽头, 1S1-1S2 为 150/1, 1S1-1S3 为 300/1, 1S1-1S4 为 600/1 等。此种电流互感器的优点是可以根据负荷电流调换二次接线端子的接线来改变变比, 而不需要更换电流互感器, 给使用提供了方便。

2. 不同变比电流互感器

不同变比电流互感器具有同一个铁芯和一次绕组, 而二次绕组则分为两个匝数不同、各自独立的绕组, 以满足同一负荷电流情况下不同变比、不同准确等级的需要, 如图1-1-5所示。

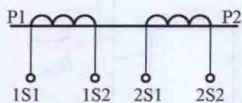


图 1-1-5 不同变比电流互感器原理图

例如在同一负荷情况下，为了保证电能计量准确，要求变比较小一些（以满足负荷电流在一次额定值的 $2/3$ 左右），准确等级高一些（如 1S1 - 1S2 变比为 200/5，准确等级为 0.2、0.2S 级）；而对于继电保护，考虑到故障电流的保护系数较大，则要求变比较大一些，准确等级可以稍低一点（如 2S1 - 2S2 变比为 300/5，准确等级为 5P、10P 级）。

第二节 电流互感器的标志

一、端子标志

1. 标志方法

接线标志应清晰、牢固，并标在端子表面或其近旁处。标志应由字母及字母后的数字和字母前的数字（必要时）组成。字应为大写印刷体。

2. 标志内容

电流互感器的端子标志如图 1-1-6、图 1-1-7 所示。

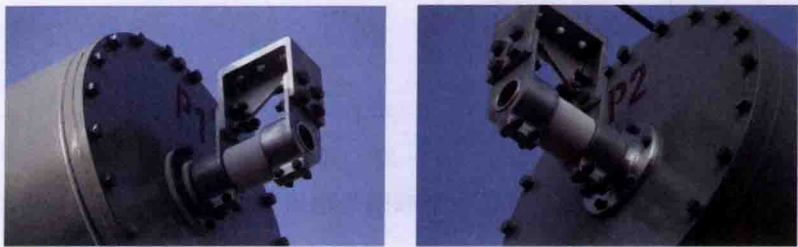


图 1-1-6 实物 TA 端子标志

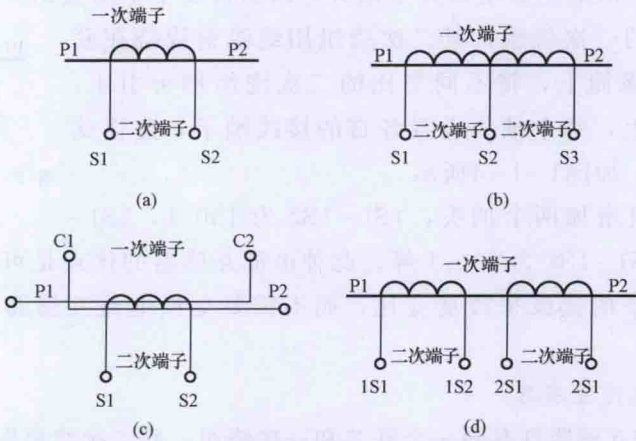


图 1-1-7 电流互感器的一、二次端子标志

(a) 单变比的电流互感器；(b) 二次绕组有中间轴头的电流互感器；

(c) 一次绕组分两段串联或并联的电流互感器；(d) 有两个二次绕组的电流互感器

图 1-1-7 (a) 中的 TA 一次绕组一匝：端子标志为 P1 P2；只有一个二次绕组，且无中间抽头：端子标志为 S1 S2。

图 1-1-7 (b) 中的 TA 一次绕组一匝：端子标志为 P1 P2；有一个二次绕组，有中间抽头：端子标志为 S1 S2 S3。

图 1-1-7 (c) 中的 TA 一次绕组两匝：端子标志为 P1 C2；C1 P2；只有一个二次绕组，且无中间抽头：端子标志为 S1 S2。

图 1-1-7 (d) 中的 TA 一次绕组一匝：端子标志为 P1 P2；有两个二次绕组，且无中间抽头：端子标志为 1S1 1S2, 2S1 2S2。

3. 极性关系

电流互感器的极性与保护密切相关，在保护中起主导作用，因此必须掌握好极性与保护的关系。电流互感器在交流回路中使用时，交流回路中电流的方向随时间改变。电流互感器的极性指的是某一时刻一次绕组某端极性与二次绕组某端极性相同，即同时为正或同时为负，称此极性为同极性端或同名端，用符号“*”“+”或“.”表示（也可理解为一次电流与二次电流的方向关系）。按照规定，电流互感器一次绕组首端标为 P1，尾端标为 P2；二次绕组的首端标为 S1，尾端标为 S2。在接线中，P1 和 S1 称为同极性端，P2 和 S2 也为同极性端。其三种标注方法如图 1-1-8 所示。

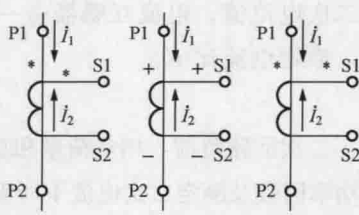


图 1-1-8 电流互感器的三种极性标注

二、电流互感器铭牌图例

电流互感器的铭牌如图 1-1-9 所示。



图 1-1-9 电流互感器铭牌

三、电流互感器技术参数及意义

实际一次电流 I_p ：代表实际一次电流方均根值（有效值）。

额定一次电流 I_{pN} ：作为电流互感器性能基准的一次电流值，是长期连续正常运行的一次电流值。GB 1208—2006《电流互感器》规定标准值（简称标准值）为 12.5、15、20、25、30、40、50、60、75A 以及它们的十进制倍数或小数，一般 10~500kV

电流互感器额定一次电流为 50~2500A。

额定准确限值一次电流 I_{pal} ：是保护用电流互感器在稳态情况能满足复合误差要求的最大一次电流值。

准确限值系数 K_{alf} （或 ALF）：是保护用电流互感器额定准确限值一次电流 I_{pal} 与额定一次电流 I_{pN} 之比，即 $K_{\text{alf}} = I_{\text{pal}} / I_{\text{pN}}$ ，标准值为 5、10、15、20、30，产品样本中最大可达到 40。

保护用电流互感器二次极限感应电动势是由准确限值系数 K_{alf} 、二次额定电流及额定负荷与二次绕组阻抗的相量和的乘积。

实际二次电流 I_s ：代表测量条件下通过的实际二次电流方均根值（有效值）。

额定二次电流 I_{sN} ：是作为电流互感器性能基准的二次电流值，是长期连续正常运行二次电流值，电流互感器将一次电流变换到二次额定电流值有 5A 或 1A 两种。

额定电流比 K_N

$$K_N = I_{\text{pN}} / I_{\text{sN}}$$

二次回路负荷：用负荷量和功率因数表示。负荷通常以视在功率伏安值表示，它是在规定功率因数及额定二次电流下所汲取的。额定负荷是确定互感器准确等级所依据的负荷值。

额定输出：是在额定二次电流及接有额定负荷条件下，互感器所供给二次回路的视在功率值（在规定功率因数下以伏安值表示），标准值为 2.5、5、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100VA。

准确等级：是对电流互感器所给定的等级。电流互感器在规定使用条件下的准确等级应在规定限度内，对于保护用电流互感器，以保护用互感器类型（P、PR、PX 和 TPS、TPX、TPY、TPZ 等）、额定准确限值一次电流下的复合误差值、准确限值系数 K_{alf} 、额定输出（单位为 VA）等参数标注准确等级（例如 30VA 5P10、15VA 10P20）等，准确等级为 5P、10P。

第三节 接线形式

一次绕组匝数可调、二次多绕组电流互感器的特点是变比量程多，而且可以变更，多见于高压电流互感器。其一次绕组分为两段，分别穿过互感器的铁芯，二次绕组分为两个带抽头的、不同准确度等级的独立绕组。一次绕组与装置在互感器外侧的连接片连接，通过变更连接片的位置，使一次绕组形成串联或并联接线，从而改变一次绕组的匝数，以获得不同的变比。带抽头的二次绕组自身分为两个不同变比和不同准确等级的绕组，随着一次绕组连接片位置的变更，一次绕组匝数相应改变，其变比也随之改变，从而形成多量程的变比，其原理接线如图 1-1-10 所示（图中虚线为电流互感器一次绕组外侧的连接片）。

带抽头的二次独立绕组的不同变比和不同准确等级，可以分别应用于电能计量、指示仪表、变送器、继电保护等，以满足各自不同的使用要求。例如：设基本匝数比为



300/1 当电流互感器一次绕组串联时 [见图 1-1-10 (a)], 二次绕组抽头 1S1、1S2 和 2S1、2S2 变比为 300/1, 二次绕组抽头 1S1、1S3 和 2S1、2S3 变比为 600/1; 当电流互感器一次绕组并联时 [见图 1-1-10 (b)], 则对应上述各二次绕组抽头 1S1、1S2 和 2S1、2S2 变比为 600/1; 1S1、1S3 和 2S1、2S3 变比为 1200/1。

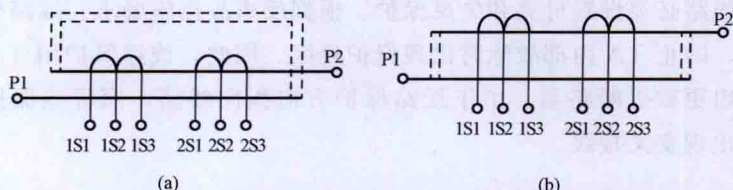


图 1-1-10 一次绕组匝数可调、二次多绕组的电流互感器接线原理图

(a) 一次绕组串联 (两匝); (b) 一次绕组并联 (一匝)

第四节 各绕组的作用

电流互感器的二次绕组通常包括继电保护组、录波组、安全自动化组、测量仪表组、电能计量组。

一、TA 各准确等级二次绕组使用

TA 二次绕组准确等级有 TPY 级、TPS 级、P 级、0.5 或 0.5S 级、0.2 或 0.2S 级。各二次绕组使用情况如下:

1. TPY 级

TPY 级电流互感器适用于 500kV 线路保护、发电机—变压器组保护和发电机组保护, 可以克服 500kV 系统由于一次时间常数较大 (100ms 以上) 而引起电流互感器暂态饱和严重的功能。

在规定的准确限值条件下, TPY 级电流互感器能保证暂态工作循环中全电流的峰值瞬时误差在 10% 以下, 具有较好的暂态特性。

2. TPS 级

TPS 级电流互感器适用于断路器保护。它属低漏磁型的, 而且匝数比可以控制, 但对剩磁没有规定限值, 在饱和情况下切断一次电流时, 二次回路电流会随饱和状态降到剩磁值而很快衰减, 适用于对复归时间要求严格的断路器失灵保护电流检测元件。

3. P 级

P 级电流互感器适用于保护、录波、安全自动装置, 准确等级规定为稳态对称一次电流的复合误差, 一般准确等级有 5P20、10P20、5P40 等。以 5P20 为例, 5P20 表示该互感器在一次侧流过 20 倍的稳态对称的额定电流时, 该互感器综合误差不大于 5%。

0.5 或 0.5S 级适用于测量仪表。在实际负荷电流小于额定电流的 30% 时, 0.5S 级的综合误差明显小于 0.5 级电流互感器。

0.2 或 0.2S 级适用于电能计量。在实际负荷电流小于额定电流的 30% 时, 0.2S 级的综合误差明显小于 0.2 级电流互感器。

二、TA 二次绕组排列次序

对 TA 二次绕组的排列次序有一定要求，主要是为了消除保护的死区，以及在 TA 内部发生故障时，使波及的设备受迫停电的范围最小化。

图 1-1-11 所示虚线框内为线路（主变压器）TA 内部绕组结构示意图。220kV 及以上电压等级线路必须设置母差和失灵保护。根据反事故措施要求：线路保护必须与母差保护有交叉，防止 TA 内部故障时出现保护死区。因此，线路保护用 TA 绕组比母差保护用 TA 绕组更靠近断路器。由于线路保护方向指向线路，而母差保护方向指向母线，这样便会出现交叉接线。

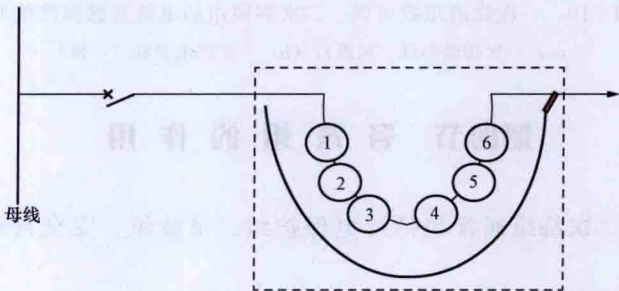


图 1-1-11 线路 TA 内部绕组结构示意图

在 TA 内部故障时，除了要求保护正确动作隔离故障外，还应使保护动作尽量缩小停电范围。以图 1-1-11 为例，第 1、2 二次绕组为线路保护用 TA 绕组，母差保护用 TA 绕组尽量靠近线路保护用 TA 绕组后边，即用第 3、4 二次绕组，这样可以在 TA 内部故障时（如第 4~6 二次绕组故障）线路保护能动作，母线保护不动作。若母差保护用 6 二次绕组，那么 TA 内部故障时，有可能线路保护和母差保护一起动作，扩大母线停电范围。

第五节 电流互感器回路标注

电流互感器二次回路配置和接线如图 1-1-12 和图 1-1-13 所示。全站各电压等级电流回路的回路号用四位数表示：第 1 位为电压等级代号（500kV：5；220kV：2；35kV：3，10kV：4）；第 2 位为该电流互感器的编号；第 3 位为该电流互感器的二次绕组编号；第 4 位为该电流回路的次序号。

电流回路接线编码管的标记编号通常包括回路编号、接线端子编号及电缆编号，如图 1-1-14 所示。

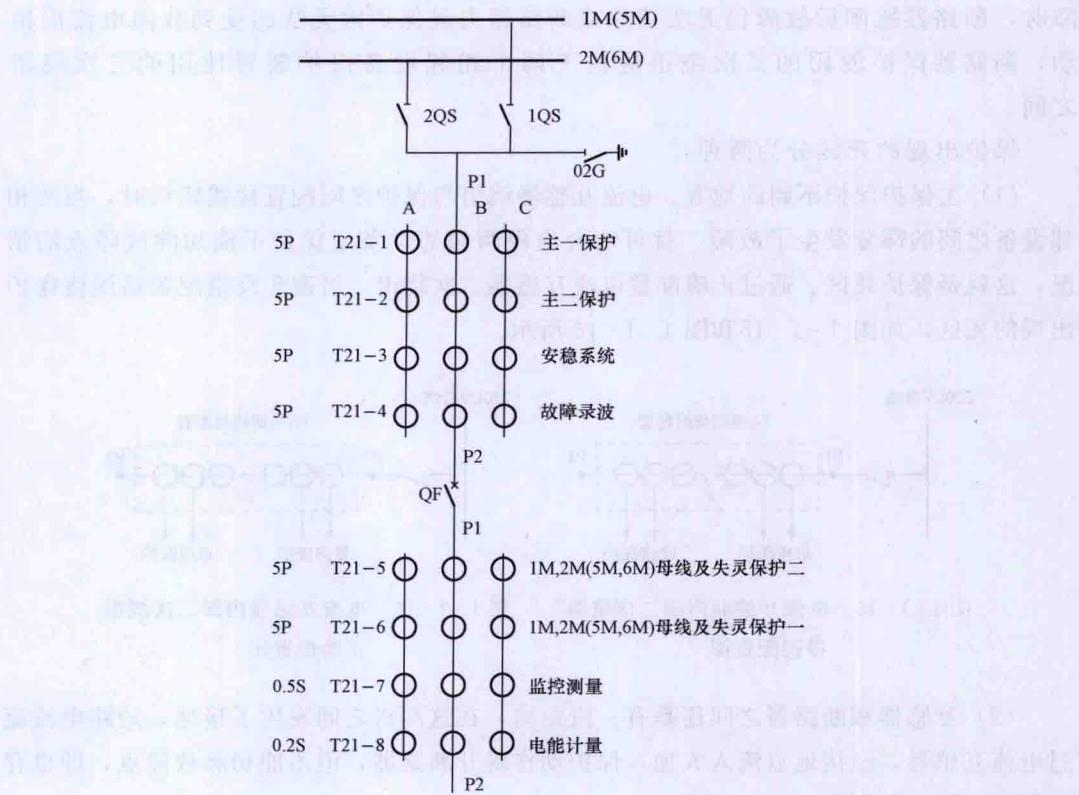


图 1-1-12 220kV 线路电流互感器二次回路配置图



图 1-1-13 电流互感器二次回路接线图



图 1-1-14 控制电缆上的电流回路标注

第六节 保护死区

为防止主保护存在动作死区，两相邻设备保护之间的保护范围应完全交叉；同时还应注意避免当一套保护停用时，出现被保护区内故障时的保护动作死区。对于 3/2 断路器接线型式，当线路保护或主变压器保护使用串外电流互感器时，配置的 T 区保护也应与相关保护的 protection 范围完全交叉。为防止电流互感器二次绕组内部故