一起合成薄膜绝缘电流互感器故障及保护动作分析

对合成薄膜绝缘电流互感器故障原因及保护动作行为进行了分析，提出了该类设备预防性试验要求及电流互感器二次接线的重要性。

陈绍扬／广东省韶关电厂

陈绍扬／高级工程师

关键词／Keywords
电流互感器·
合成薄膜绝缘·
介质损耗·
电容量·
保护死区·

电流互感器是电力系统中重要的电气设备，其作用是提供仪表测量和继电保护的电流信号，220 kV电流互感器故障事故将严重威胁着电网的安全运行。

2014年1月4日19时12分，韶关电厂220 kV韶曲甲线B相合成薄膜绝缘的电流互感器（CT）发生绝缘击穿，事故造成韶曲甲线跳闸和V组母线差动保护动作。该CT型号为LRGBJ－220，生产日期为2012年11月，投运日期为2012年12月26日，投入运行仅一年左右就发生绝缘击穿爆炸事故。事故发生后，组织人员从干式电流互感器的结构、二次接线情况、保护动作分析及解体展开调查分析故障原因，并提出相应的防范措施。

合成薄膜绝缘电流互感器结构特点

合成薄膜电流互感器是一种新型绝缘材料，并具有新型绝缘结构的电流互感器，具有无油、无气、无瓷和易维护特点，结构如图1所示[1]。主要由一次绕组、二次绕组、箱体和硅橡胶伞群等组成。

主绝缘层由涂硅油的聚四氟乙烯薄膜带缠绕而成，电容屏用金属箔敷设在绝缘层上作为极板，两者多次包绕形成同轴圆柱形电容结构，使沿径向和轴向的电场分布均匀，提高了一次绕组的击穿电压和沿面放电电压。外护套及硅橡胶伞群构成一次绕组[2]。

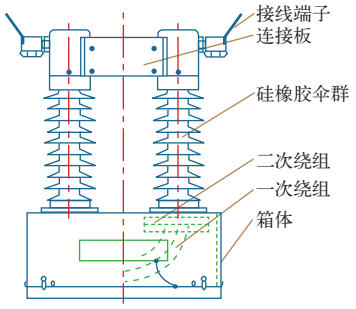

图1　包绕干式高压（35～220 kV）电流互感器外形示意图

故障原因分析

1. 现场分析

图2为故障电流互感器图现场检查B相故障情况。

图2　电流互感器故障点

1）一共有3处受到破损，其中最严重为部分箱体处，其也是末屏引出部位，箱体炸飞，从破坏程度和现场倒置方式可判断击穿故障点位于箱体内线路侧第9绕组处。

2）P1，P2两侧第5裙边破损点1和2在平行位置，此部的绝缘强度相对比较薄弱，容易发生击穿。

2. 保护动作分析

线路一次绕组和二次绕组保护动作

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

情况：电流差动跳B相、重合闸、电流差动跳三相和零序加速。V组母线差动保护一和差动保护二动作切除V母线上的所有开关。故障电流录波图形如图3所示。

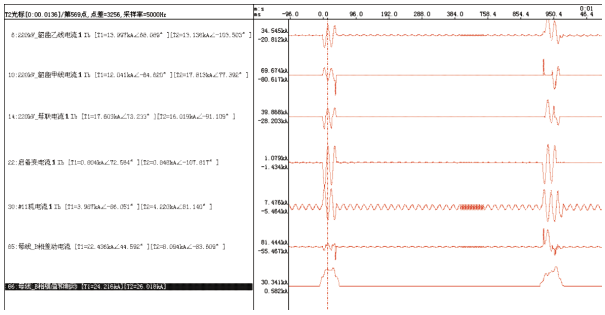

图3　故障电流录波图形

从图3故障录波电流可看出，B相电流互感器第一次故障持续时间为40 ms。V组母线各支路电流情况：韶曲甲电流为17.81 kA∠77.39°，母联电流为16.02 kA∠－91.11°，启备变压器电流为0.842 kA∠－107.81°。计算V母线差流折算I_{d1}＝8.9 A，制动电流I_{r1}＝42 A。I_{d1}＝8.9 A＜KI_{r1}＝29.4 A，K为制动系数，为0.7。V组母线差动保护不满足动作条件。重合于故障后，V母线各支路韶曲甲电流为1.48 kA∠102.9°，母联电流为19.53 kA∠－29.2°，启备变压器电流为0.842 kA∠－42.83°。计算V母线差流折算48.4 A，制动电流27 A。I_{d1}＝48.4 A＞KI_{r1}＝18.9 A，差动保护动作正确。

图4为二次绕组配置图，母差保护6、7绕组和

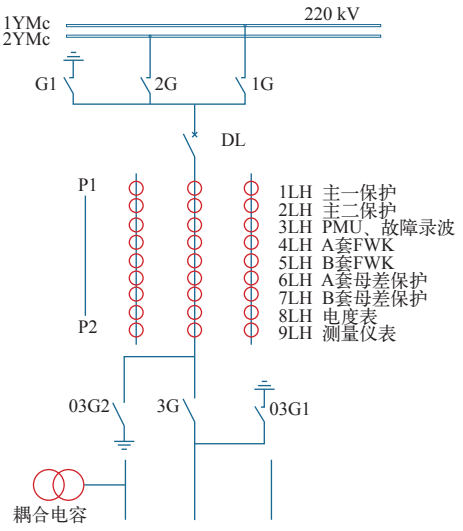

图4　二次绕组配置

线路保护1、2绕组交叉配置，1～7绕组之间为母线和线路共有保护区，7绕组之后为线路保护区。从线路、母差保护动作和录波判断：第一次故障点应为8LH、9LH处，该处为线路保护区内，母差保护区外。第一次故障，各二次绕组未受到破坏，波形良好。重合闸于故障后产生的巨大冲击使箱体破损，故障点扩延至1～7绕组之间，线路和母差保护动作，二次绕组受到损坏，电流波形畸变。

为防止主保护存在死区，相邻设备保护之间保护范围完全交叉，断路器失灵保护位于相邻保护二次绕组之间，保证设备故障（电流互感器内部故障）保护无死区及主保护动作的快速性。但在施工过程经常出现对二次绕组分配不能引起足够的重视，接线存在死区情况。导致电流互感器内部故障只能由线路对侧和相邻设备后备保护来切除故障，严重影响系统安全稳定。电流互感器二次安装接线应从CT设计图样、电流互感器本体、开关端子箱和保护屏回路接线进行二次交流回路检查核对，保证出线保护与母线差动保护互相交叉，各绕组之间不存在保护死区。

3. 内部故障原因分析

电流互感器绝缘击穿通常认为是以下几点原因：

1）电流互感器内部进水受潮绝缘性能下降，可能会导致电流互感器击穿爆炸。

2）末屏未接地或接地不良引起主绝缘击穿。合成薄膜绝缘电流互感器为电容型，靠电容屏改善电场分布，其末屏应当接地，运行时末屏不接地，末屏与大地之间会产生高电压。这个高电压能造成末屏绝缘击穿，继而导致主绝缘击穿。从安装验收报告上检查测试过末屏接地电阻为0.5 Ω，此种情况可以排除。

3）主绝缘材料和工艺缺陷导致绝缘击穿。合成薄膜电流互感器内绝缘是由涂硅油聚四氟乙烯薄膜组成，产品的质量和工艺至关重要。未涂硅油的聚四氟乙烯薄膜的绝缘性能和耐热性能很高，耐电晕性能却较差，放电很敏感[2]，包绕过程中不合格的硅油也导致击穿电压大大降低。其次包绕工艺缺陷可能产生滑屏现象，所谓滑屏就是金属箔的滑脱，它可引起电场的畸变[3]。上述原因均可

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

导致设备长时间运行绝缘损坏，形成贯穿性击穿。

4. 设备解体情况

设备解体后内部放电图如图5所示。可看出片P1侧第9级伞群处电容屏存在质量或包扎工艺缺陷，在电场的累积作用下发生螺旋状局部放电，并向两端和末屏方向发展，导致贯穿性绝缘击穿。

图5 解体后内部放电图

防范措施

新安装的合成薄膜绝缘电流互感器可能存在材料工艺缺陷及在运输、安装过程导致的绝缘损坏缺陷，安装后的交接试验、运行中预防性试验对以后安全运行至关重要。

1）一次及二次绕组绝缘电阻、直流电阻、极性、电流比及励磁特性相关试验的测量值与出厂报告应无明显区别。

2）交流耐压试验是鉴定电气设备强度最直接的方法，是新安装设备必做试验项目，按出厂试验电压的80%进行[4]。对绝缘性能有怀疑时进行局部放电测量，能够发现其他绝缘试验不能检查出来的绝缘局部隐形缺陷及故障，在1.2$U_m/\sqrt{3}$电压下局部放电不大于10 pC，U_m电压下不大于30 pC[5]。影响该试验因素主要是现场干扰因素，需要多种抗干扰措施或使用改进的设备仪器。

3）合成薄膜绝缘互感器为电容型，介质损耗因数和电容量测量是最重要的试验项目，是判断合成薄膜绝缘电流互感器介质绝缘性能及状态的关键数据。在运行中，只要电容量不变，介损不超标，不会发生严重事故[3]。介质损耗因数试验结果判断标准存在一定差异，如南方电网企业标准Q/CSG 10007—004规定为0.005，合成薄膜绝缘电流互感器JB/T 10941—2010规定0.002 5，产品企业标准可能要求0.002[3]。良好聚四氟乙烯薄膜和硅油介质损耗因数很小，合成薄膜绝缘电流介质损耗因数一般不应大于0.002，各种试验报告也表明介质损耗因数远低于0.002[2]，当介质损耗超过0.002时排除表面受潮或污秽等干扰因素应考虑高电压介损测量，从0.5U_m到$U_m/\sqrt{3}$范围内介损变化量不应大于0.001[5]。当电容量与初始值比较超过±5%时，排除测量错误的因素，极有可能绝缘层损坏，应停止运行[2,6]。随着技术成熟，可考虑安装在线检测电容电流的绝缘监视器。

4）生产厂家应重视原材料的质量标准和入厂检验、包绕等关键工艺的提升，运输、安装避免剧烈震动、碰撞等，保证电流互感器长期安全运行。

结束语

合成薄膜绝缘电流互感器具有易维护的优越性能，在高压电网中应用越来越广泛。应重视制造、运输和安装质量的控制，严格要求该类设备交接及预防性试验的项目内容和结果，重视二次绕组接线防保护死区的反措。每年进行主绝缘介质损耗因数和电容量的测试，要求其主绝缘的介质损耗因数不大于要求值0.002[5]，其主绝缘电容量与初始值差别不得超出±5%[5-6]，每年应例行检查测试末屏接地情况。建议对合成薄膜绝缘电流互感器加装在线检测电容电流监视器，确保合成薄膜绝缘电流互感器及电网安全可靠运行。

参考文献

[1] 王如璋，黄维枢．一种新型干电流互感器 [J]．电力设备，2001，2 (2)：24- 26．

[2] 王如璋，黄维枢．合成薄膜绝缘电流互感器结构设计于运行维护 [M]．北京：中国电力出版社，2010．

[3] 唐绍予．干式高压电流互感器的特征及关键生产工艺 [J]．高压电器，2006，42 (3)．

[4] GB 50150—2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准 [S]．

[5] JB/T 10941—2010 合成薄膜绝缘电流互感器 [S]．

[6] DLT/T 596—1996 电力设备预防性试验规程 [S]．

（收稿日期：2014－11－15）EA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net