

110kV电压互感器内部放电导致保护跳闸事故分析

许霞

华电四川发电有限公司雅安分公司 四川 雅安 625000

摘要: 110kV电压互感器在电力系统中作用关键,但内部放电引发保护跳闸事故时有发生。此类事故危害严重,不仅影响电力设备正常运行,还可能危及整个电网稳定。本文深入剖析事故原因,涵盖制造工艺缺陷、运维管理不足、设计结构不合理及防护措施不到位等方面。通过具体案例与理论分析,揭示各因素如何导致内部放电及保护跳闸。旨在为预防此类事故提供依据,助力保障电力系统安全稳定运行,降低事故风险与损失。

关键词: 110kV电压互感器;内部放电;保护跳闸

1 110kV 电压互感器基本原理及结构

110kV电压互感器(PT)本质上是一种特殊变压器,其工作原理基于电磁感应定律。当一次绕组接入110kV高压系统时,一次绕组中流过的电流产生交变磁通,该磁通同时穿过一次绕组和二次绕组。根据电磁感应原理,二次绕组中会感应出电动势,从而实现电压的变换,将高电压按一定比例转换为低电压(通常为100V或100/ $\sqrt{3}$ V),供测量仪表、继电保护装置等二次设备使用。

结构组成:铁芯,其是电压互感器的磁路部分,通常采用优质冷轧硅钢片叠装而成,以减小磁滞损耗和涡流损耗,提高互感器的效率。绕组,包括一次绕组和二次绕组。一次绕组匝数较多,直接连接在高压系统中;二次绕组匝数较少,输出低压信号。绕组一般采用铜线绕制,具有良好的导电性能。绝缘结构,由于一次侧电压高达110kV,绝缘至关重要^[1]。常见的绝缘方式有油浸式绝缘和SF₆气体绝缘等。油浸式绝缘中,互感器内部充满绝缘油,既能起到绝缘作用,又能散热;SF₆气体绝缘则利用SF₆气体的高绝缘性能,保障设备安全运行。外壳,保护互感器的内部结构,防止外界环境对设备造成损害。外壳通常采用金属材料制成,具有良好的机械强度和密封性能。附件,包括膨胀器、压力释放阀、二次接线盒等。膨胀器用于调节绝缘油的体积变化;压力释放阀在内部压力过高时自动开启,释放压力,防止设备损坏;二次接线盒则方便二次设备的接线。

2 110kV 电压互感器内部放电原因分析

2.1 线圈屏蔽处表面尖角毛刺或杂质的影响

在110kV电压互感器的复杂结构中,线圈屏蔽作为关键部件,承担着均匀电场分布、降低局部电场强度的重要使命,其作用如同在电场中设置了一道“缓冲带”,以防止电晕和放电现象的肆意发生。现实情况却可能因多种因素而大打折扣。当线圈屏蔽处的表面出现

尖角毛刺时,这些微小的不规则凸起犹如电场中的“尖刺”,会极大地改变周围电场的分布规律。在尖角毛刺处,电场强度会急剧攀升,远超周围区域的平均水平。一旦这个局部电场强度达到或超过空气的击穿场强,空气分子就会被电离,形成电子崩,进而引发局部放电。这种放电现象并非一蹴而就,而是会在尖角毛刺处反复发生,每一次放电都会对周围的绝缘材料造成微小的损伤。随着时间的推移,这些损伤不断累积,绝缘材料的性能逐渐下降,最终可能导致更严重的绝缘故障,如绝缘击穿,使电压互感器失去正常运行的能力,对整个电力系统的安全稳定构成严重威胁。除了尖角毛刺,杂质的存在同样不容忽视,在电压互感器的制造、运输和安装过程中,难免会有一些杂质混入其中。这些杂质可能是金属颗粒、灰尘、纤维等,它们会干扰电场的均匀分布,在局部区域形成高场强区域。在这些高场强区域,空气同样容易被击穿,从而引发放电。而且,杂质还可能成为放电的“催化剂”,加速放电过程的发展,使绝缘材料更快地老化,进一步缩短电压互感器的使用寿命。

2.2 内部线圈制造工艺问题及装配不当

内部线圈作为110kV电压互感器的核心部件之一,其制造工艺的优劣直接关系到设备的性能和可靠性。如果线圈制造工艺不佳,就可能在绕线、匝间绝缘处理等环节出现问题。绕线不整齐会导致线圈的形状不规则,使得线圈内部的电场分布不均匀。匝间绝缘处理不当则会使匝间绝缘层存在薄弱环节,在运行电压的作用下,这些薄弱环节容易发生局部放电。匝间放电产生的热量会加速绝缘材料的老化,同时还会在匝间形成导电通道,增加匝间短路的风险。一旦发生匝间短路,电压互感器的电气性能将受到严重影响,甚至可能导致设备损坏。装配过程同样对电压互感器的性能至关重要,若在线圈与铁芯、线圈与线圈之间的装配过程中,间隙不均匀或

存在异物, 就会造成电场的严重畸变。间隙过小的地方, 电场强度会急剧增加, 远远超过正常水平, 从而容易发生放电。而异物则可能成为放电的起始点, 引发局部放电。装配时如果固定不牢固, 在运行过程中, 由于振动、温度变化等因素的影响, 线圈的位置可能会发生变化。这种位置变化会进一步破坏电场的均匀分布, 使原本可能不会发生放电的区域也出现放电现象。长期下去, 放电会对绝缘材料造成不可逆的损伤, 降低设备的绝缘性能, 增加设备故障的发生概率。

2.3 密封性能缺陷导致的水分侵入

110kV电压互感器的密封性能是保障设备内部环境稳定、防止外界因素侵入的关键防线。由于密封胶老化、密封面不平整等原因, 密封性能可能会出现缺陷, 导致外界的水分逐渐侵入设备内部。水分是导致绝缘性能下降的“罪魁祸首”之一。当水分进入设备内部后, 它会降低绝缘材料的介电强度, 使绝缘电阻减小。在电场作用下, 水分中的离子会发生迁移和极化, 形成导电通道。这些导电通道会破坏绝缘材料的绝缘性能, 使局部电场强度升高, 从而引发局部放电^[2]。而且, 水分还可能与绝缘材料发生化学反应, 加速绝缘材料的老化过程。长期处于潮湿环境中的绝缘材料, 其电气性能和机械性能都会受到严重影响, 使用寿命也会大大缩短。

2.4 材料选用及加工工艺问题

材料选用是110kV电压互感器设计制造过程中的重要环节, 材料的质量和性能直接决定了设备的可靠性和使用寿命。如果材料选用不当, 就会为设备的运行埋下隐患。绝缘材料的老化会使其绝缘性能逐渐下降, 无法承受正常运行电压, 从而导致局部放电甚至绝缘击穿。而绝缘材料的开裂则会破坏绝缘的完整性, 使水分、杂质等外界因素更容易侵入设备内部, 进一步加速绝缘的老化和损坏。加工工艺问题同样会对材料的性能产生重要影响, 以绝缘材料的成型工艺为例, 如果成型工艺不良, 就会使材料内部存在气孔、裂纹等缺陷。这些缺陷就像隐藏在绝缘材料中的“定时炸弹”, 在电场作用下, 它们会成为局部放电的起始点。放电产生的热量会使缺陷周围的材料进一步受损, 导致缺陷不断扩大, 最终引发绝缘击穿。材料表面处理不当, 如粗糙度过大, 也会影响电场的分布。粗糙的表面会使电场在局部区域集中, 增加局部电场强度, 从而增加放电的可能性。

3 110kV 电压互感器保护跳闸机制

3.1 保护跳闸的作用及原理

作用: 110kV电压互感器保护跳闸机制在电力系统中起着至关重要的安全保障作用。它能够在电压互感器

出现异常故障时, 迅速切断与故障设备相关的电路, 防止故障进一步扩大, 避免对电力系统中的其他设备造成连锁损坏, 保障整个电力系统的稳定、安全运行, 同时也能减少因设备故障引发的人员伤亡和财产损失风险。原理: 该机制主要基于对电压互感器运行状态的实时监测。通过安装在电压互感器上的各类传感器, 如电压传感器、电流传感器等, 持续采集电压、电流等关键参数。这些参数被传输到保护装置中, 保护装置按照预设的逻辑和阈值对采集到的数据进行判断。当检测到电压互感器出现异常, 如电压过高或过低、电流异常增大等超过设定阈值的情况时, 保护装置会立即发出跳闸指令。跳闸指令通过控制回路作用于断路器, 使断路器迅速跳闸, 切断故障设备与系统的连接, 从而实现对电压互感器及整个电力系统的保护。

3.2 保护跳闸事故案例分析

案例背景: 某变电站的110kV电压互感器在运行过程中突然发生保护跳闸事故。该电压互感器已运行多年, 近期末进行过大规模的检修和维护。故障过程: 事故发生前, 变电站运行人员发现该电压互感器二次侧电压出现轻微波动, 但未引起足够重视。随后, 电压波动逐渐加剧, 保护装置发出报警信号, 但未及时采取有效措施。最终, 保护装置触发跳闸机制, 断路器跳闸, 电压互感器与系统断开连接。原因分析: 经检查发现, 该电压互感器绝缘老化严重, 绝缘材料出现碳化现象, 导致绝缘性能大幅下降^[3]。在运行过程中, 由于电压波动等因素, 绝缘被击穿, 引发内部短路故障, 二次侧电流急剧增大, 保护装置检测到异常后跳闸。应对措施及经验教训: 事故发生后, 维修人员对故障电压互感器进行了更换, 并对变电站内其他同类型设备进行了全面检查和试验。此次事故给我们带来了深刻的教训, 一是要加强对电压互感器等关键设备的日常巡检和维护, 及时发现设备老化等潜在问题; 二是要重视保护装置发出的报警信号, 及时采取措施, 避免故障扩大; 三是要定期对设备进行预防性试验, 确保设备的性能和可靠性。

4 110kV 电压互感器内部放电导致保护跳闸事故预防措施

4.1 提高制造工艺及质量

在电压互感器的制造环节, 对所使用的绝缘材料、金属导体等原材料进行严格筛选和检测。确保绝缘材料具备良好的电气性能、机械性能和耐老化性能, 金属导体无杂质、表面光滑。采用先进的绕线设备和技术, 确保线圈绕制紧密、均匀, 匝间绝缘良好。严格控制绕线张力, 避免因张力不均导致线圈变形或绝缘受损。同

时,对绕线后的线圈进行严格的外观检查和电气性能测试,及时发现并处理潜在的质量问题。在装配过程中,严格按照工艺要求进行操作,确保线圈与铁芯、线圈与线圈之间的间隙均匀,固定牢固。对装配后的设备进行全面的密封性检查,防止水分和杂质侵入。对装配人员进行专业培训,提高其操作技能和质量意识,确保每一个装配环节都符合质量标准。

4.2 加强运维管理

制定详细的巡检计划,定期对110kV电压互感器进行外观检查、红外测温、局部放电检测等。通过红外测温可以及时发现设备过热现象,局部放电检测能够提前发现内部放电隐患。利用在线监测系统对设备的运行参数进行实时监测,如电压、电流、温度等,一旦发现异常及时进行处理。按照规定的周期对电压互感器进行预防性试验,包括绝缘电阻测试、介质损耗因数测量、交流耐压试验等。通过这些试验可以全面评估设备的绝缘性能和运行状态,及时发现设备的潜在缺陷。对试验中发现的问题及时进行维修和更换,确保设备处于良好的运行状态。为每台电压互感器建立详细的设备档案,记录设备的安装时间、运行参数、维护记录、试验数据等信息。通过对这些数据的分析和比对,可以掌握设备的运行规律和老化趋势,提前采取相应的预防措施。

4.3 优化设计及改进结构

在电压互感器的设计阶段,采用先进的电场计算软件对设备的电场分布进行精确计算和分析。通过优化线圈的形状、尺寸和布局,合理设置屏蔽结构,使电场分布更加均匀,降低局部电场强度,减少局部放电的发生概率。根据设备的运行环境和性能要求,选择合适的绝缘材料和绝缘结构。优化绝缘层的厚度和结构,确保绝缘层具有良好的绝缘性能和机械强度。在设计过程中充分考虑设备所处的环境因素,如温度、湿度、海拔等。针对不同的环境条件,采取相应的防护措施。

4.4 防护措施及改进

加强密封防护;对电压互感器的外壳进行密封处理,采用高质量的密封胶和密封件,确保设备的密封性

能良好。定期对密封部位进行检查和维护,及时发现并处理密封老化、破损等问题。在设备的安装过程中,严格按照密封要求进行操作,防止水分和杂质在安装过程中进入设备内部^[4]。在电压互感器内部安装防潮装置,如干燥剂、呼吸器等。干燥剂可以吸收设备内部的水分,保持设备内部的干燥环境;呼吸器可以过滤进入设备的空气,防止水分和杂质进入。定期对防潮装置进行检查和更换,确保其正常运行。在电压互感器的二次回路中安装过电压保护装置,如避雷器、压敏电阻等。当系统出现过电压时,过电压保护装置可以迅速动作,将过电压限制在设备能够承受的范围内,防止过电压对设备造成损坏,从而减少因过电压引发的内部放电和保护跳闸事故。确保电压互感器的接地系统良好,接地电阻符合要求。良好的接地系统可以将设备内部的感应电荷及时导入大地,避免电荷积累引发放电。同时对接地系统进行定期检查和维修,确保接地装置的连接可靠,接地电阻稳定。

结束语

110kV电压互感器内部放电导致的保护跳闸事故不容忽视,其成因复杂多样。从制造到运维,从设计到防护,每个环节都可能埋下隐患。为有效预防此类事故,需多方协同发力,提升制造工艺、强化运维管理、优化设计结构、完善防护措施。只有全方位加强管控,才能降低事故发生概率,保障电压互感器稳定运行,进而维护整个电力系统的安全与可靠,为电力事业发展筑牢根基。

参考文献

- [1]江志强.110kV变电站电压互感器故障分析及处理措施探讨[J].电子制作,2019,17:37.
- [2]李斌.110kV变电站电压互感器故障原因分析[J].技术与市场,2019,12:144-145.
- [3]王联合,廖洁娜,宋军,刘章.抗铁磁谐振电压互感器烧毁事件分析[J].电力安全技术,2022,24(01):23-25.
- [4]张立治.电压互感器二次回路故障引起设备跳停[J].电世界,2021,62(09):20-22.