

DOI:10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2025.01.015

防爆型油浸式电流互感器研制

周浪, 刘水平, 杨茜, 赵含, 李宇, 杨硕亮, 马家乐, 姬凯
(西安西电电力电容器有限责任公司, 西安 710082)

摘要: 电流互感器作为关键的测量和保护设备,其性能直接影响到电力系统的稳定运行。传统的油浸式电流互感器虽然在运行中表现出良好的电气性能,但其在内部故障时可能引发的爆炸事故,对人员安全和设备安全构成了潜在威胁。因此,防爆型油浸式电流互感器的研究与开发显得尤为紧迫。文章论述了防爆型油浸式电流互感器的原理与关键技术,通过试验验证了新型防爆型油浸式电流互感器的性能。结果显示,相较于传统产品,防爆型油浸式互感器在防爆能力、过载能力及耐热性能上均有显著提升。文章的研究可以为电力设备的防爆设计提供宝贵的经验和理论支持。

关键词: 防爆型; 油浸式电流互感器; 倒立式; 正立式; 结构设计

Development on Explosion-proof Oil-immersed Current Transformer

ZHOU Lang, LIU Shuiping, YANG qian, ZHAO Han, LI Yu, YANG Shuoliang, MA Jiale, JI Kai
(Xi'an XD Power Capacitor Co., Ltd., Xi'an 710082, China)

Abstract: Current transformer is the key metering and protection equipment and its performance is directly related to the stable operation of power system. Although traditional oil-immersed current transformer shows excellent electrical performance in the operation, yet it, in case of internal fault, probably leads to explosion accident and poses threat to the safety of person and equipment. Therefore, the research and development of the explosion-proof oil-immersed current transformer is of urgent. In this paper, the principle and key technology of the explosion-proof oil-immersed current transformer are described. The performance of the new type explosion-proof oil-immersed current transformer is verified by test. The results show that compared with the traditional products, the explosion-proof oil-immersed instrument transformer has significantly improved in terms of explosion-proof ability, overload ability and heat resistance performance. The research in this paper can provide valuable experience and theoretical support for the explosion-proof design of power equipment.

Keywords: explosion-proof technology; oil-immersed current transformer; inverted type; upright type; structural design

0 引言

随着电力系统的发展,对设备安全性和可靠性的要求也随之提高。在电力设备中,电流互感器作为关键的测量和保护设备,其性能直接影响到电力系统的稳定运行^[1-5]。传统的油浸式电流互感器虽然在长期运行中表现出良好的电气性能,但其在内部故障时可能引发的爆炸现象,对人员安全和设备安全构成了潜在威胁^[6-13]。因此,防爆型油浸式电流互感器的研究与开发显得尤为紧迫,旨在通过技术

创新,减少电力事故,保障电力系统的高效和安全运行。

防爆型油浸式电流互感器的研究,既是电力系统安全运行的迫切需求,也是技术进步的必然选择。这项研究不仅丰富了电流互感器的技术体系,优化了电力设备的性能,还为电力行业的未来发展提供了新的思路。通过深入研究其设计原理、关键技术与实现方法,可以为电力设备的防爆设计提供宝贵的经验和理论支持,对推动电力行业的技术创新和安全生产具有重要的现实意义和深远影响。

收稿日期:2024-11-13

1 油浸式电流互感器基本原理

油浸式电流互感器是一种专门用作变换电流的特种变压器^[14-18],作为电力系统中普遍应用的电气设备,其核心原理基于电磁感应定律,这种互感器主要用于测量高压电路中的电流,将较大的一次电流通过一定的变比转化为较小的二次电流(5 A 或 1 A),给测量仪表、仪器或继电保护、控制装置传递信息,使测量、保护和控制装置与高电压相隔离。

油浸式电流互感器基本结构包含铁心及绕在铁心上的一次绕组和二次绕组,两者之间通过高耐电强度的油浸纸隔离^[19-25]。一次绕组直接串联在高压电路中,当高压电路中的电流通过一次绕组时,会在其周围产生交变磁场。由于电磁感应,这个交变磁场同样会在二次绕组中产生电流,这个电流与一次绕组中的电流成正比,而电压则与二次绕组的匝数成反比。通过这种方式,油浸式电流互感器实现了电流的转换,使得二次侧的设备可以处理和测量较小的电流,大大减小了测量设备的体积和成本,同时也降低了对二次设备绝缘的要求。

油浸式电流互感器按二次绕组所在位置分为油浸正立式电流互感器和油浸倒立式电流互感器。

油浸正立式电流互感器一次绕组呈“U”字形,主绝缘包绕在一次绕组上,二次绕组位于在产品下部,套在一次绕组上,与一次绕组组成电流互感器器身,整个器身用一托架支撑并固定在油箱内。

油浸倒立式电流互感器一次绕组相对于正立式的U型结构,其一次绕组为一直杆,二次绕组装在铁心罩壳内,位于产品上部,一次绕组导体较短,主绝缘包绕铁心罩壳外。

变压器油除了作为电介质,还承担着散热的角色。当一次绕组中的电流通过时,会产生一定的热量,变压器油通过良好的热传导性能,帮助绕组散热,保证互感器在高温下仍能稳定工作。此外,变压器油还具有优异的灭弧性能,在互感器内部出现电弧时,迅速吸收能量,降低电弧强度,防止故障扩大。

2 传统油浸式电流互感器的防爆能力试验验证

为进一步对防爆型油浸式电流互感器进行研究,抽取两台传统的倒立式电流互感器进行内部电

弧故障试验。

油浸式倒立式电流互感器不做任何更改,进行内部电弧故障试验,试品整体结构没有大的破坏,膨胀器未动作,其下油柜和瓷套局部破损,部分碎片飞出遏制区,具体见图1-2。



图1 试品试验后的局部破损照片
Fig. 1 Picture of partial damaged test sample after test

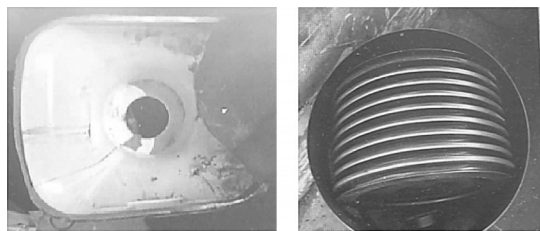


图2 下油柜破损、膨胀器未动作
Fig. 2 Damage of lower oil tank and no operation of expander

试验表明,膨胀器在内部电弧故障过程未动作,分析认为其与储油柜之间的接口过小,泄压作用不明显;储油柜内部压力剧增,导致下油柜和瓷套发生破损,分析认为其储油柜的强度不足,需要加强。

根据第一次试验结果进行改进,储油柜改进前后对比见图3,增大储油柜与膨胀器之间的接口尺寸,使产品顶部泄压通道畅通,进行内部电弧故障试验,试品膨胀器鼓起飞出,上油柜内部电弧故障位置破损,部分碎片飞出遏制区,具体见图4-5。



(a) 未改进储油柜 (b) 改进后储油柜

图3 储油柜
Fig. 3 Oil storage tank



图4 试品试验后的局部破损照片

Fig. 4 Picture of partial damaged test sample after test

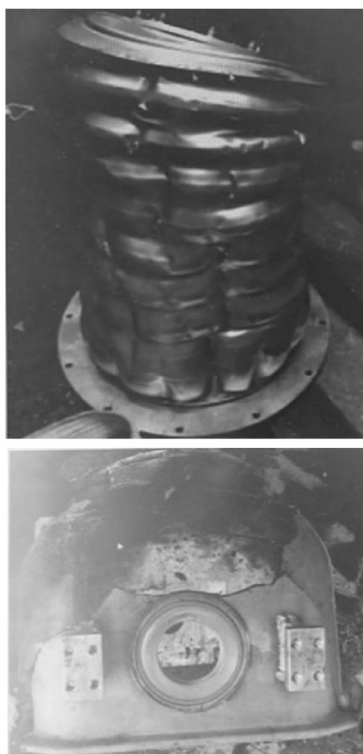


图5 油柜破损、膨胀器有效动作

Fig. 5 Damage of oil tank and effective operation of expander

试验表明,由于膨胀器的拉伸延展性能好,在燃弧过程中超过最大油位后仍有较大的行程可变形,对压力的响应速度较慢,在一定程度上减缓了压力释放的速度,但是膨胀器作为压力释放装置,其自身的爆破压力过大,在整个内部电弧故障时间内没有降低储油柜内部压力、改变电弧通道,致使储油柜破裂;储油柜内部压力剧增,储油柜发生破损,分析认为其储油柜的强度不足,需要加强。

3 防爆型油浸式电流互感器的技术要求及试验验证方法

国家电网有限公司在电子商务平台(ECP)上发布了《关于组织开展 200 千伏油浸式电流互感器内部电弧故障试验专业检测的公告》,公告中对内部电弧故障试验的试验条件、试验场地、试品要求、引弧位置、引弧方式、试验要求、试验线路、试验方法、试验判据进行要求,其中试验条件、试验要求和试验判据具体如下。

3.1 试验条件

1)试验应在相关附件安装好后的完整试品上进行。

2)试验前试品的本体温度与环境温度应无显著差异。

3)试验时的环境温度应为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

4)试验场所不应有明显的外部电磁场影响。

5)试验依据使用条件单相进行。

6)试品底座应固定安装在至少 500 mm 高的支架上。

3.2 试验要求

1)试验电源

施加的试验电流为非对称电流,持续时间为 0.3 s。电流的第一个峰值应为电流方均根值的 1.7 倍。220 kV 油浸倒立式电流互感器施加的电流方均根值为 20 kA,220 kV 油浸正立式电流互感器施加的电流方均根值为 25 kA。试验电流方均根值允许偏差为 $\pm 5\%$,持续时间允许偏差为 $\pm 5\%$ 。试验电流的频率应为 48 Hz~62 Hz。电源功率应足以在整个试验持续时间内实际上保持正弦波电弧故障电流。

2)试品引弧线确认

试验前,应对试品内部引弧线是否连接完好进行确认。可使用万用表或直流电阻测量仪测量试品的一次端子 P2(P1)与试品接地端之间的直流电阻,测量时施加的电流不宜超过 1 A,电阻测量值应小于 1 欧姆。

3)试验后现场测量

内部电弧故障试验结束且判断现场已无危险后,方可查看遏制区内外情况,测量现场散落的飞逸物与试品间的距离,并拍照记录。

3.3 试验判据

如果试品满足表 1 规定的特征判据,则认为试品通过本试验。

表1 内部电弧故障试验特征判据
Table 1 Criteria of internal arc fault test characteristic

试品类型	引弧线位置	特征判据
油浸倒立式 电流互感器	主绝缘的顶部正中	储油柜和外绝缘套无破碎(可有烧穿或着火),除膨胀器外罩顶盖(若有)、膨胀器顶部配用的压力释放装置(若有,例如防爆片)、纸板、器身包扎用铝(铜)箔外其他的飞逸碎片被限定在遏制区内。
	器身主绝缘上圆弧区附近,或器身托架内侧边缘附近	允许容器破碎和着火,除膨胀器外罩顶盖(若有)、膨胀器顶部配用的压力释放装置(若有,例如防爆片)、纸板、器身包扎用铝(铜)箔外其他的飞逸碎片被限定在遏制区内。
	主绝缘的下圆弧区(三角区)	允许容器破碎和着火,除膨胀器外罩顶盖(若有)、膨胀器顶部配用的压力释放装置(若有,例如防爆片)、纸板、器身包扎用铝(铜)箔外其他的飞逸碎片被限定在遏制区内。
油浸正立式 电流互感器	器身底部	允许容器破碎和着火,但所有的飞逸碎片被遏制在限定区内。
	器身低压屏的上端部	允许容器破碎和着火,但所有的飞逸碎片被遏制在限定区内。

4 防爆型油浸倒立式电流互感器研制

防爆型油浸式电流互感器设计首要的任务是防爆性能的实现,这是保障电力系统安全运行的关键。防爆结构的设计遵循科学理论基础和试验验证结果,力图在内部电弧故障时,能够妥善管理压力和热量,防止设备爆炸对周边环境和设备的损害。结构设计的核心组件包括金属膨胀器、上储油柜、防爆片。

4.1 防爆型油浸倒立式电流互感器设计

1) 对于倒立油浸式电流互感器,金属膨胀器是防爆设计中的重要一环,他通常设置在上储油柜的顶部,旨在容纳因内部电弧故障产生的气体,防止压力急剧上升。当故障发生,气体压力超过安全范围时,膨胀器需要增加膨胀器限位措施,提高膨胀器对内部压力的响应速度,从而避免外壳破裂。同时膨胀器的顶部还需设置泄压口和防爆片,泄压口用于释放过高的内部压力,防爆片则在压力过高时破裂,作为最后一道防线防止爆炸,见图 6-7。同时将膨胀器外罩采用分体结构,有利于内部压力快速释放。

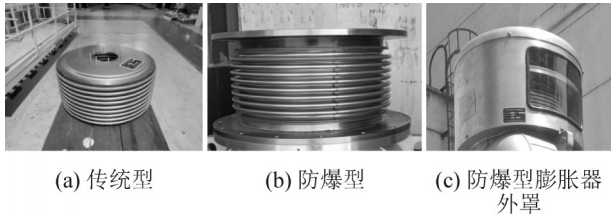


图6 传统型与防爆型油浸式电流互感器膨胀器对比
Fig. 6 Comparison of expander between traditional and explosion-proof oil-immersed current transformers

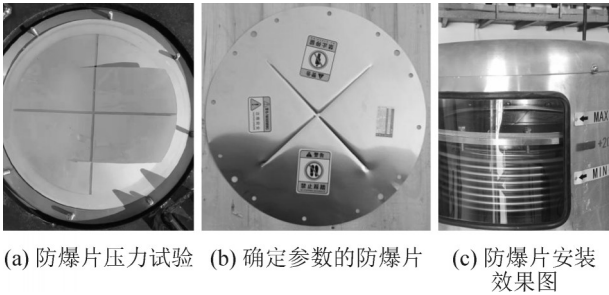


图7 防爆型互油浸式电流互感器增加防爆片及装配完成
Fig. 7 Addition of rupture disc and completion of assembly of explosion-proof oil-immersed current transformer current transformer and completion of assembly

2) 对于倒立油浸式电流互感器,储油柜为方形设计,器身的结构致使储油柜的 P1、P2 侧为平面,其余部分为圆弧状,承受内部压力不足,对于上储油柜强度进行加强,在 P1 与 P2 侧增加加强筋,将储油柜厚度增加,同时增大上油柜与膨胀器之间连接口,确保油道的畅通,通过以上措施确保在异常情况下,油柜内的压力能够迅速释放,防止爆炸。膨胀器上设置的防爆片通过计算和试验验证,当压力异常增加时,会触发压力装置动作,释放内部压力,从而提前控制可能的爆炸风险,确保设备始终处于安全状态,传统型与防爆型油浸式电流互感器上油柜对比见图 8。

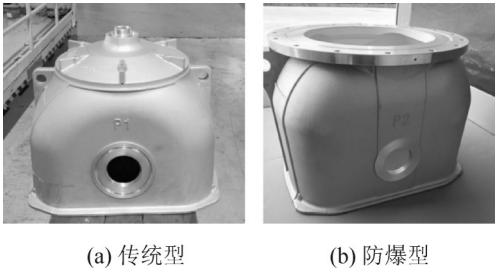


图8 传统型与防爆型油浸式电流互感器上油柜对比
Fig. 8 Comparison of upper oil tanks of traditional and explosion-proof oil immersed current transformer

3)当发生故障时,膨胀器上部的泄压装置会将内部压力快速释放,且瓷套可承受 3 MPa 的压力,不对瓷套进行修改。

4.2 防爆型油浸倒立式电流互感器制造

使用传统油浸倒立式电流互感器工艺和装备生产两只器身。随机抽取一只器身,按要求的引弧位置进行测量,确定引弧位置,使用钻头打孔至二次屏蔽罩壳部位,使用吸尘器吸附掉孔内的纸屑,为保证钢钉与外部高压屏的有效连接,使用焊接有铜箔的钢钉打入钻好的孔洞中后外包电缆纸进行固定,油浸倒立式电流互感器内部电弧故障试验引弧见图 9,使用直阻仪测试高压屏引线至二次屏蔽罩壳之间的直流电阻为 442.4 mΩ。

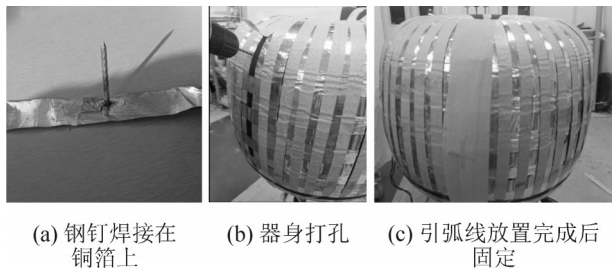


图9 油浸倒立式电流互感器内部电弧故障试验引弧
Fig. 9 Arc ignition of internal arc fault test of oil-immersed inverted type current transformer

4.3 防爆型油浸倒立式电流互感器试验

将试品安装在试验支架上,应与试验区地面紧固或固定在满足要求的试验工装上,试验回路见图 10,A、C 相分别与试品的 P2 排、接地排使用软铜绞线进行连接,使其不受试验过程中电动力的影响。用于试验前在产品的上油柜上部设置两个压力传感器见图 11,测试内部电弧故障时储油柜外部受到的应力。



图10 试验回路
Fig. 10 Test circuit



图11 压力传感器
Fig. 11 Pressure sensor

试验前测试一次排与接地排之间直流电阻为 0.66 mΩ,符合 3.2 节的试验要求,可以进行内部电弧故障试验。内部电弧故障试验电流有限值 20.5 kA,电流持续时间为 320 ms,试验电流波形见图 12。试验后勘察试验现场,遏制区外未见试验判据内限定的非逸物,试品通过内部电弧故障试验,见图 13。压力传感器测试储油柜外部的表面应力为 450 kPa。

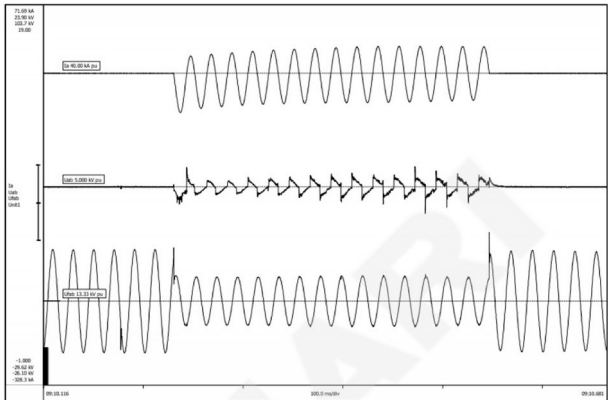


图12 试验电流波形图
Fig. 12 Test current waveform

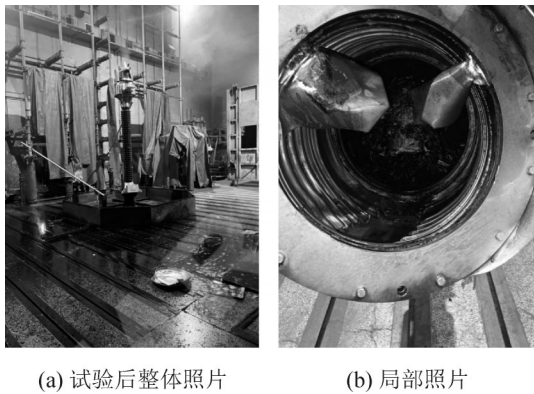


图13 试验后照片
Fig. 13 Picture after test

5 防爆型油浸正立式电流互感器研制

相对于油浸倒立式电流互感器,油浸正立式电流

互感器内部电弧故障多发生在产品的底部,使用与倒立式防爆型互感器相同的结构,其压力释放的路径长,不利于产品压力的快速及时释放。对于防爆型油浸正立式电流互感器的设计主要是防爆片参数的确定、压力释放装置位置及泄压口遏制喷出物设计。

5.1 防爆型油浸正立式电流互感器设计

1)因油浸正立式电流互感器故障多发生在产品下部,且正立电流互感器外形横截面为梯形结构,产品为上小下大的结构,压力释放装置设置在产品底部更有利于内部压力的释放。在设计时将压力释放装置设置在油箱出线盒的对侧,见图 14。



图 14 防爆型互感器的油箱设计
Fig. 14 Oil tank design of explosion-proof instrument transformer

2)因油浸正立式电流互感器为微正压结构,其膨胀器 P-V 曲线见图 15,其工作在最高位置时膨胀器压力不足 0.02 MPa。防爆片位于产品底部油箱处,产品正常运行时其防爆片将承受产品内油自重压力和膨胀器正常运行时的膨胀压力,考虑到产品卧倒运输可能产生的冲击力,对防爆片进行压力试验,确定最终的防爆片动作压力及防爆片破开处槽子深度。

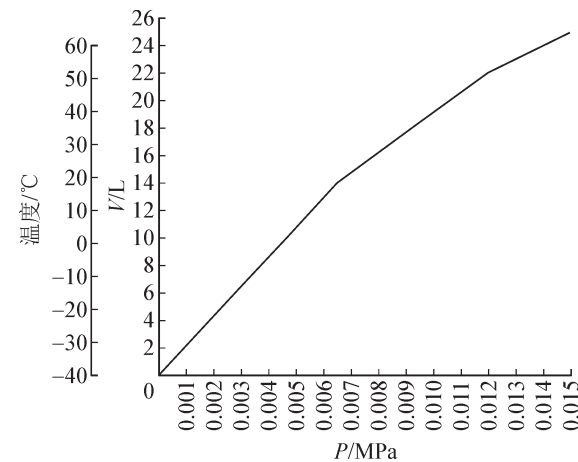


图 15 膨胀器 P-V 曲线
Fig. 15 P-V curve of expander

3)不同于防爆型油浸倒立式电流互感器,其防爆型油浸正立式电流互感器的压力释放装置位于产品油箱处,在发生故障时其压力释放时喷出的火焰及飞逸物会对附近设备造成影响,需在泄压口外侧设置挡板,遏制喷出物飞溅,避免设备或人员损伤,见图 16。

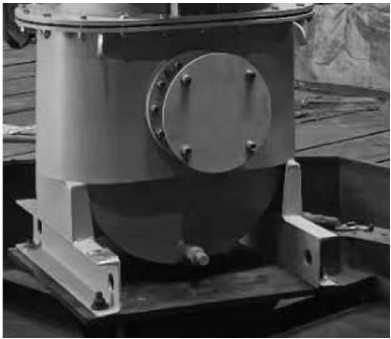


图 16 泄压口外侧设置挡板
Fig. 16 Baffle plate arrangement outside the pressure relief port

4)当发生故障时,油箱的泄压装置会将内部压力快速释放,且瓷套可承受 1.6 MPa 的压力,不对瓷套进行改进。

5.2 防爆型油浸正立式电流互感器制造

对于器身,使用传统油浸正立式电流互感器工艺和装备进行生产两只。随机抽取一只器身,按要求的引弧位置进行测量,确定引弧位置,使用钻头打孔至一次铝管部位,使用吸尘器吸附掉孔内的纸屑,使用钢钉打入钻好的孔洞中后外包电缆纸进行固定,见图 17,使用直阻仪测试末屏引线与一次铝管之间的直流电阻为 48.2 mΩ。



(a) 包扎完成一次绕组打孔 (b) 放入钢钉 (c) 直阻测试
图 17 油浸正立式电流互感器内部电弧故障试验引弧
Fig. 17 Arc ignition of internal arc fault test of oil-immersed upright type current transformer

5.3 防爆型油浸正立式电流互感器试验

将试品安装在试验支架上,应与试验区地面紧固或固定在满足要求的试验工装上,试验回路 A、C 相分别与试品的 P2 排、接地排使用软铜绞线进行连接,使其不受试验过程中电动力的影响。试验前在产品的上油柜上部设置两个压力传感器,测试内部电弧故障时储油柜外部受到的应力,试验回路见图 18。

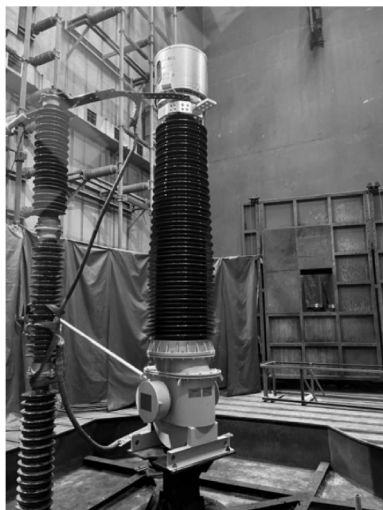


图18 试验回路
Fig. 18 Test circuit

试验前测试一次排与接地排之间直流电阻为 $78.62\text{ m}\Omega$,符合 3.2 节的试验要求,可以进行内部电弧故障试验。内部电弧故障试验电流有限值 25.3 kA ,电流持续时间为 310 ms 。试验电流波形图见图 19。试验后勘察试验现场,遏制区外未见试验依据内限定的非逸物,试品通过内部电弧故障试验,试验后照片见图 20。

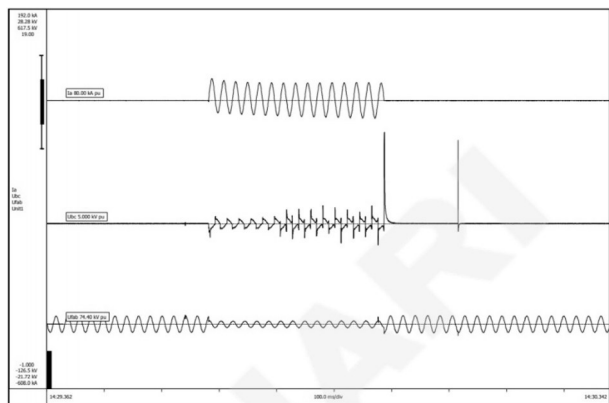
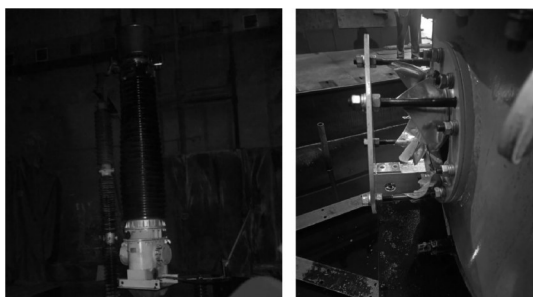


图19 试验电流波形图
Fig. 19 Test current waveform



(a) 试验后整体照片 (b) 局部照片

图20 试验后照片
Fig. 20 Picture after test

6 结语

本文探讨了防爆型油浸式电流互感器在电力系统中的重要性及其技术要点。传统设备在内部故障时可能的爆炸风险,而防爆设计的引入是电力设备安全性的一次重大进步。其独特的防爆结构,如金属膨胀器、泄爆装置,以及防爆片和喷口遏制装置,这些元素共同作用,确保在内部故障时将能量以可控的方式释放,避免了灾难性后果。未来,随着技术的发展,防爆技术的研究和应用将继续深化,以应对日益增长的安全需求,为建设更加安全、高效的电力系统打下坚实基础。

参考文献

- [1] 刘水平.输变电装备关键技术与应用丛书 互感器 电力电容器[M].北京:中国电力出版社,2020.
- [2] 高竣,邱伟,刘鑫,等.基于无功环流的变压器有载分接开关缺陷分析[J].电力电容器与无功补偿,2023,44(6): 53-58.
GAO Jun, QIU Wei, LIU Xin, et al. Defect analysis of on-load tap-changer of transformer based on reactive power circulating current[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2023, 44(6): 53-58.
- [3] 周鸿铃,李光茂,李国城,等.油浸式电流互感器膨胀器异常变形的故障分析[J].变压器,2024, 61(9): 45-49.
ZHOU Hongling, LI Guangmao, LI Guocheng, et al. Fault analysis of abnormal deformation of oil-immersed current transformer expander[J]. Transformer, 2024, 61(9): 45-49.
- [4] 陈于晴,黄青丹,宋浩永,等.油浸式电流互感器主绝缘快速暂态过电压分布的研究[J].变压器,2023, 60(12): 27-33.
CHEN Yuqing, HUANG Qingdan, SONG Haoyong, et al. Study of VFTO distribution in insulation system of IOCT[J]. Transformer, 2023, 60(12): 27-33.
- [5] 石惠承,汪泽州,孙鹏,等.一起110千伏油浸式电流互感器电容量异常问题的原因分析[J].电气开关,2023, 61(5): 107-109.
SHI Huicheng, WANG Zezhou, SUN Peng, et al. Cause analysis of abnormal capacitance of 110 kV oil immersed current transformer[J]. Electric Switcher, 2023, 61(5): 107-109.
- [6] 孙月磊,吴自然,周新城,等.单相开口剩余电流互感器假剩余电流发生机理和数值消除方法研究[J].变压器,2023, 60(2): 32-37.
SUN Yuelei, WU Ziran, ZHOU Xincheng, et al. Research on mechanism and elimination of false residual current in single-phase open residual current transformer[J]. Transformer, 2023, 60(2): 32-37.
- [7] 陈浩,郭铁,刘黎洋,等.主绝缘包扎工艺不良引发油浸

- 式电流互感器内部异常产氢的原因分析[J]. 东北电力技术, 2022, 43(4): 48-52.
- CHEN Hao, GUO Tie, LIU Liyang, et al. Analysis of causes of abnormal Hydrogen production inside oil-immersed current transformer caused by poor main insulation bandage[J]. Northeast Electric Power Technology, 2022, 43(4): 48-52.
- [8] 贺春安, 唐福新, 叶飞, 等. 一种多二次绕组串级式测量用电流互感器设计及误差计算方法[J]. 变压器, 2023, 60(12): 6-11.
- HE Chun'an, TANG Fuxin, YE Fei, et al. Utility model relates to a multi-secondary winding cascade type current transformer for measurement design and error calculation method[J]. Transformer, 2023, 60(12): 6-11.
- [9] 王中, 李振华, 成俊杰, 等. Rogowski线圈电流互感器故障的早期诊断研究[J]. 高压电器, 2023, 59(2): 162-168.
- WANG Zhong, LI Zhenhua, CHENG Junjie, et al. Research on early diagnosis of fault of current transformer with Rogowski coil[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(2): 162-168.
- [10] 姜雄伟, 王文浩, 邵先军, 等. 结合响应面法的变压器绕组温度快速计算方法[J]. 浙江电力, 2023, 42(12): 20-27.
- JIANG Xiongwei, WANG Wenhao, SHAO Xianjun, et al. A fast calculation method of transformer winding temperature based on response surface methodology[J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(12): 20-27.
- [11] 潘明, 冯娟, 吴宏斌, 等. 泄漏电流对宽量程电流互感器的影响及消除方法分析[J]. 变压器, 2023, 60(10): 24-28.
- PAN Ming, FENG Juan, WU Hongbin, et al. Influence and elimination method of leakage current on wide range current transformer[J]. Transformer, 2023, 60(10): 24-28.
- [12] 刘博闻, 邹国平, 魏兴昌, 等. 用于过电压检测的电流互感器高频等效电路建模方法[J]. 高压电器, 2023, 59(3): 156-162.
- LIU Bowen, ZOU Guoping, WEI Xingchang, et al. Modeling method of high-frequency equivalent circuit of current transformer for overvoltage detection[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(3): 156-162.
- [13] 陆云才, 廖才波, 李群, 等. 基于声纹特征和集成学习的变压器缺陷诊断方法[J]. 电力工程技术, 2023, 42(5): 46-55.
- LU Yuncai, LIAO Caibo, LI Qun, et al. Transformer fault diagnosis method based on voiceprint feature and ensemble learning[J]. Electric Power Engineering Technology, 2023, 42(5): 46-55.
- [14] 叶剑涛, 李宾宾, 黄杰, 等. 基于数据相关性分析的全光纤电流互感器误差状态在线评估方法研究[J]. 高压电器, 2022, 58(12): 156-162.
- YE Jiantao, LI Binbin, HUANG Jie, et al. Research on on-line error state assessment method of all-optical-fiber current transformer based on data correlation analysis[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(12): 156-162.
- [15] 周晨辉, 金玉琪, 穆海宝, 等. 基于宽频等值电路的变压器局部放电电气定位研究[J]. 浙江电力, 2023, 42(12): 3-11.
- ZHOU Chenhui, JIN Yuqi, MU Haibao, et al. Research on localization of partial discharges in transformers based on wideband equivalent circuit[J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(12): 3-11.
- [16] 吴睿涵, 何亚倩, 江军, 等. 变压器油中溶解乙炔光热干涉检测系统的温度和压强特性[J]. 电力工程技术, 2023, 42(5): 30-36.
- WU Ruihan, HE Yaqian, JIANG Jun, et al. Temperature and pressure characteristics of dissolved acetylene in transformer oil based on photothermal interference detection system[J]. Electric Power Engineering Technology, 2023, 42(5): 30-36.
- [17] 冯娟, 吴彬, 吴宏斌, 等. 双级电流互感器在一次导体偏心情况下的误差分析[J]. 变压器, 2023, 60(7): 64-67.
- FENG Juan, WU Bin, WU Hongbin, et al. Analysis of two-stage current transformer error measurement in under primary conductor eccentricity[J]. Transformer, 2023, 60(7): 64-67.
- [18] 高庆利, 宋仁丰, 陈连友, 等. 浅谈带有定值电阻的电流互感器技术[J]. 变压器, 2023, 60(8): 36-39.
- GAO Qingli, SONG Renfeng, CHEN Lianyou, et al. Discussion on current transformer technology with fixed resistance[J]. Transformer, 2023, 60(8): 36-39.
- [19] 李宇, 周浪, 刘宝来, 等. 一种检测电流互感器极性的新方法[J]. 变压器, 2023, 60(9): 51-53.
- LI Yu, ZHOU Lang, LIU Baolai, et al. New method to detect polarity of current transformer[J]. Transformer, 2023, 60(9): 51-53.
- [20] 王文森, 贺馨仪, 杨晓西, 等. 基于多参量数据回归分析的电力变压器状态监测方法[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(4): 83-90.
- WANG Wensen, HE Xinyi, YANG Xiaoxi, et al. Power transformer condition monitoring method based on multivariate statistical analysis[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(4): 83-90.
- [21] 谭运春, 李志勇. 混合材料的铁心电流互感器误差计算方法[J]. 变压器, 2023, 60(10): 6-9.
- TAN Yunchun, LI Zhiyong. Error calculation method of mixed material core current transformer[J]. Transformer, 2023, 60(10): 6-9.
- [22] 郭欣, 曾成碧, 邓紫荣, 等. 针对多点接地故障的变压器铁心建模优化与电流特征研究[J]. 电测与仪表, 2023, 60(10): 166-170.
- GUO Xin, ZENG Chengbi, DENG Zirong, et al. Study on modeling optimization and current characteristics of trans-

- former core for multi-point grounding fault[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2023, 60(10): 166-170.
- [23] 姚锡钦. 220 kV 倒立式电流互感器的故障原因分析[J]. 变压器, 2023, 60(3): 73-75.
- YAO Xiqin. Fault analysis of 220 kV inverted current transformer[J]. Transformer, 2023, 60(3): 73-75.
- [24] 侯纪勇, 徐志军, 程政, 等. 高海拔高电压等级调相机升压变压器套管的防雨闪措施[J]. 浙江电力, 2023, 42(4): 88-94.
- HOU Jiyong, XU Zhijun, CHENG Zheng, et al. A study on rain flashover protection measures for bushings of high voltage class step-up transformer with synchronous condenser at high altitudes[J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(4): 88-94.
- [25] 宋继明, 毛继兵, 马卫华, 等. 基于深度神经网络的特高压变压器滤油注油过程故障诊断技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(12): 95-103.
- SONG Jiming, MAO Jibing, MA Weihua, et al. Research on oil filtration and injection process fault diagnosis for ultra-

high voltage transformers based on deep neural networks[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(12): 95-103.

作者简介:

周浪(1983—), 男, 工程师, 主要从事电流互感器设计工作。E-mail: 15091090109@163.com。

刘水平(1965—), 男, 正高级工程师, 主要从事电力电容器及互感器技术工作。

杨茜(1982—), 女, 工程师, 主要从事电流互感器设计工作。

赵含(1982—), 男, 工程师, 主要从事电容式电压互感器设计和售后服务工作。

李宇(1991—), 男, 工程师, 主要从事电流互感器生产和质量管理工作。

杨硕亮(1985—), 男, 工程师, 主要从事电容式电压互感器设计和售后服务工作。

马家乐(2000—), 男, 助理工程师, 主要从事电流互感器设计工作。

姬凯(1987—), 男, 工程师, 主要从事电流互感器生产工艺工作。