

基于多种检测手段的高压电缆头 绝缘放电诊断分析

赵文君¹, 栾崇彪², 冯藩³, 施逸¹, 蒋益强¹, 兰浩¹

(1. 国网四川省电力公司宜宾供电公司, 四川 宜宾 644000; 2. 中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621000; 3. 国网四川省电力公司绵阳供电公司, 四川 绵阳 621000)

摘要: 高压电缆头制作由于结构封闭、部件复杂以及电场均匀度要求高, 一直是一个难题。在利用红外精确测温、超声波和高频电流局放检测法的基础上, 创新性地引入了X射线吸收衬度成像技术对电力电缆头进行无损检测。通过多种检测手段综合诊断及解体论证, 对一起35 kV单芯高压电力电缆头绝缘放电案例进行了详细分析。分析结果表明: X射线吸收衬度成像技术能够有效辅助查找高压电缆头在制作或使用中老化产生的孔洞、裂缝等缺陷; 多种检测方式相互验证, 可以提高缺陷定性分析的准确率。文中率先将X射线吸收衬度成像技术应用于工程现场, 实现通过图形查找高压电缆头故障缺陷, 提高电力电缆故障诊断直观性和可靠性。

关键词: 电力电缆; X射线吸收衬度成像技术; 高频电流局放检测

中图分类号: TM 854 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2022)01-0071-04

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20220115

Analysis on Insulation Discharge Diagnosis in High-voltage Cable Head Based on Multiple Detection Methods

ZHAO Wenjun¹, LUAN Chongbiao², FENG Fan³, SHI Yi¹, JIANG Yiqiang¹, LAN Hao¹

(1. State Grid Yibin Electric Power Supply Company, Yibin 644000, Sichuan, China;

2. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang

621000, Sichuan, China; 3. State Grid Mianyang Electric Power Supply

Company, Mianyang 621000, Sichuan, China)

Abstract: The manufacturing process of high-voltage cable head has always been a difficult problem due to the enclosed structure, complex components and high requirements of electric field uniformity. On the basis of infrared temperature measurement, ultrasonic and high-frequency current testing, X-ray absorption-contrast imaging technology is introduced to carry out the nondestructive testing for power cable head. Through the comprehensive diagnosis of various methods and disassembly, an insulation discharge case of a 35 kV single-core high-voltage cable head is analyzed in detail. The analysis results show that X-ray absorption-contrast imaging technology can effectively help to determine defects such as holes and cracks which are formed in manufacturing process or ageing process, and mutual verification of various methods can improve the accuracy of qualitative analysis for the defects. The proposed X-ray absorption-contrast imaging technology is firstly applied to engineering, which realizes searching defects by images, and improves the direct visualization and reliability of defects diagnosis for power cables.

Key words: power cable; X-ray absorption-contrast imaging technology; partial discharge detection of high-frequency current

0 引言

随着中国经济的快速发展以及城市化进程的飞

速推进, 城市电网规模不断扩大, 电力电缆作为城市清洁能源的主要传输通道, 敷设数量增长迅猛, 其平均年增长量高达35%^[1]。与架空裸导线相比, 电力电缆具有占用土地资源少、受自然条件限制小、不

影响城市美观、运行效率高以及安全性强等优点。但当电力电缆在生产或运输过程中存在局部缺陷时,容易导致其在运行中局部电场不均匀,长期下去引起电缆局部放电,造成安全隐患。尤其是电缆头作为电气连接关键节点,其制作工艺不良或制作操作不规范,也往往给电缆线路的安全运行带来危害。因此,相应的保障电力电缆安全运行的局部放电检测、诊断成像技术应运而生^[2-5]。

目前电力电缆现场检测技术中,较为简便也较为成熟的主要包括红外精确测温、超声波以及高频电流局部放电检测。但由于现场检测环境的干扰以及电力电缆头内部元件的不可视性,无法实现在运行或不解体情况下准确找出缺陷原因。下面通过对一起 35 kV 单芯高压电力电缆头绝缘放电案例进行详细分析,利用红外精确测温、超声波以及高频电流局放检测的有效性,创新性地引入 X 射线吸收衬度成像技术,辅助诊断、定性电缆头缺陷。通过对比红外精确测温、超声波和高频电流局放、X 射线吸收衬度成像的检测结果,综合诊断缺陷类型,分析缺陷原因。最后通过解体电缆头,验收上述诊断及分析的准确性。

1 X 射线吸收衬度成像技术的实现

X 射线吸收衬度成像技术^[6-7]如图 1 所示。其中,X 射线源为吸收色毫米级焦斑;源光栅为微米级宽线光源,其作用为增强横向相干性;样品为生物组织或低密度材料等;相位光栅作用为相位周期调制且自成像是条纹;分析光栅作用是将偏折角转为透射强度或相位扫描;二维探测器像素为数十微米。

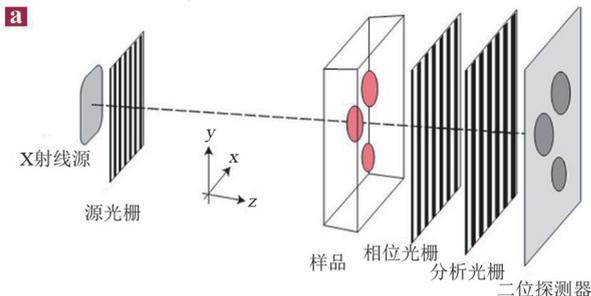


图 1 X 射线吸收衬度成像技术原理

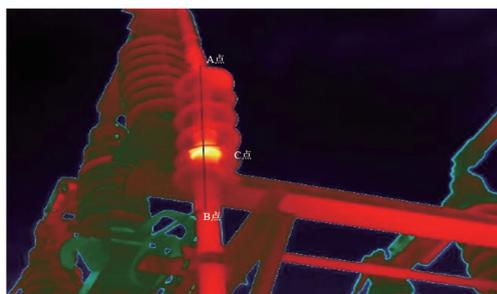
吸收衬度成像原理是通过检测非相干叠加的光栅自成像是条纹的位置移动和强度衰减等获得样品的吸收、相位和暗场衬度图像。采用 X 射线吸收衬度暗场衬度成像技术,可将电缆内部结构以图像形式显示,能够清晰准确地发现缺陷部位,为分析缺陷原因提供支撑。

2 案例检测过程

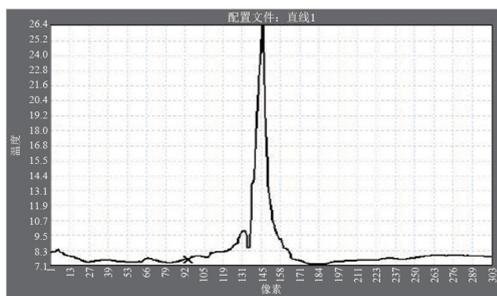
在某 110 kV 变电站专业巡视过程中,发现某 35 kV 出线电缆 C 相出线电缆头红外图谱特征异常,后经超声波及高频电流局放检测论证,确诊其电缆头内部存在局部放电。为进一步查找放电点,分析放电原因,对该电缆头开展了 X 射线吸收衬度暗场衬度成像分析。

2.1 红外精确测温

红外精确测温采用常见的 FLIR 红外测温仪,其中该 35 kV 间隔出线电缆头 A、B 两相相同位置未发现红外图谱异常,C 相电缆头红外热成像^[8]异常图谱如图 2 所示。



(a)



(b)

图 2 红外热成像检测

其中图 2(a) 为设备运行状态下红外热成像图

谱,从图中可以清晰看出该电缆头发热现象明显,发热点位于第一片伞裙与第二片伞裙之间(从下至上)。为更清晰了解其温升情况,采集图 2(a)中 A 点到 C 点直线温度变化曲线,如图 2(b)所示。图 2(b)中 A 点像素点为 1, B 点像素点为 303, C 点像素点为 150(温度最高点)。图 2(b)中 C 点温度为 26.4 °C,环境温度小于 8.3 °C,则其同设备同材质温升大于 18.1 K,依据 DL/T 664—2016《带电设备红外诊断应用规范》,判断该电缆存在“严重”以上的电压致热型缺陷。

2.2 超声波检测

利用型号为 PDS-T90 的局部放电测试仪进行超声波测试^[9],测试方法为:将传感器正对图 2(a)中 C 点位置,并沿该电缆头进行 360°局部放电测试,测试过程中应与带电部位保持足够安全距离,与该电缆保持 0.7 m 的测试结果如图 3 所示。

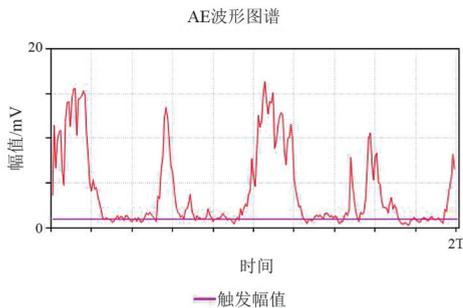


图 3 超声波检测

图 3 采集两个运行电压周期下放电特性。从图中可以看出,每个周期内存在两簇放电信号,放电幅值及相位较为稳定,其中放电触发幅值位于工频交流正弦波上升沿上,其放电幅值在 40 dB 增益下高达 17 mV。由此可以推断该电缆头存在较强的局部放电,放电类型为绝缘性放电。

2.3 高频局部放电流检测

用 PDS-T90 局部放电测试仪在该电缆屏蔽层接地软铜线处进行高频电流局部放电检测^[10-11]。检测结果表明,该电缆存在绝缘性放电,其放电几乎覆盖整个周期相位。局部放电相位分布(phase resolved partial discharge, PRPD)和脉冲序列相位分布(phase resolved pulse sequence, PRPS)图谱如图 4 所示。根据图谱特征判断为绝缘性放电,与超声波检测结果一致。

2.4 X 射线吸收衬度成像检测

为进一步验证该电缆放电特征,研究局部放电作用下电缆绝缘层老化、放电通道形成机理,以及不良工艺情况下导致裂纹等缺陷的图形成像特征,对该故障电缆头进行 X 射线吸收衬度(暗场衬度)成像检测,其检测结果如图 5 所示。

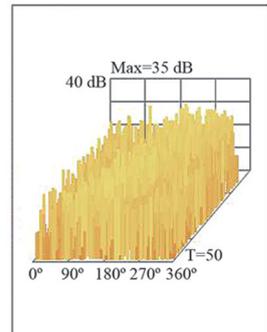
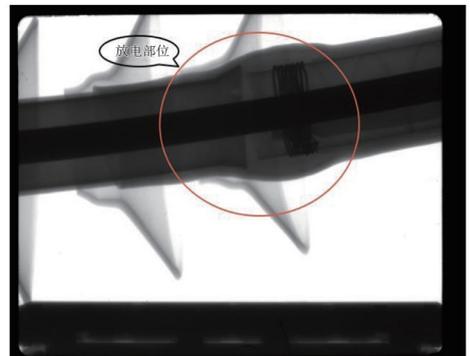


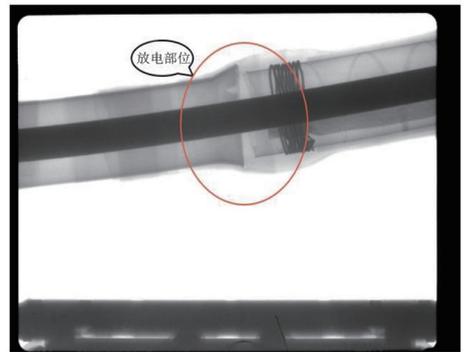
图 4 高频局部放电流检测



(a)



(b)



(c)

图 5 X 射线吸收衬度成像检测

图 5(a)为存在绝缘放电缺陷的 35 kV 电缆头。根据红外热成像、超声波以及高频局放电流检测结果,图中黑色方框区域存在局部放电缺陷,并对该区域进行 X 射线暗场衬度检测。根据不同照射剂量,

其成像结果不同,图 5(b)的照射剂量为 15 mR,图 5(c)的照射剂量为 30 mR。通过对比分析,发现图 5(c)距离屏蔽层接地软连接缠绕处朝左处存在明显淡色区域,该区域形成主要是该处材料对 X 光吸收与周围材料吸收程度不同而影像显示差异。

根据该 35 kV 单芯电缆结构可知,该淡色区域处应为半导体应力管覆盖在电缆本体半导体层上,两者材料相同,用于均匀电场,改善电场分布,避免局部放电发生。由于电缆头在制作过程中未严格按照标准工艺进行安装,导致设备在运行过程中产生局部放电。

3 解体及分析

为确定放电位置,分析放电原因,对该故障电缆头进行解体,发现其半导体应力管表面与护套绝缘之间存在放电,其表面有大量放电电痕,导致现场红外精确测温图谱异常,见图 6(a)所示。对半导体应力管解体时,发现其半导体应力管与电缆头本体半导体层之间未直接相连,存在 1~2 mm 缝隙被填充胶填充,半导体应力管未起到均匀电场作用产生绝缘放电,见图 6(b)所示。

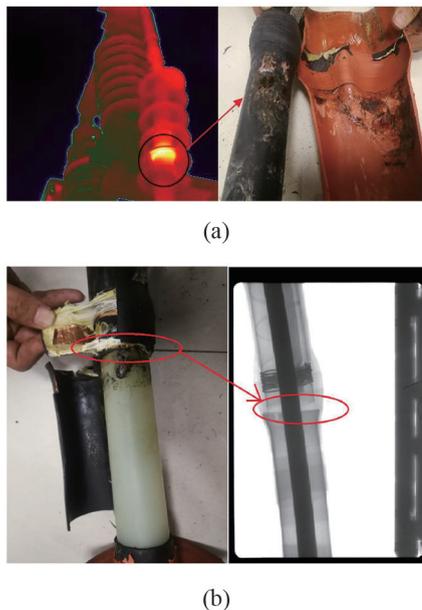


图 6 放电(发热)位置解体

4 结论

综上所述,此次绝缘放电原因为电缆头半导体

应力管未覆盖在电缆本体半导体层上,导致其电场分布不均,引起电缆头绝缘放电。

红外精确测温、超声波检测以及高频电流局部放电检测是检测高压电缆头缺陷的常用方法,能够准确发现运行过程中较为严重的绝缘性放电缺陷。X 射线吸收衬度成像技术能够有效辅助诊断,定性电缆头缺陷,同时对电缆绝缘层孔洞、裂纹等微工艺缺陷进行直观检测。所提方法成功实现了 X 射线吸收衬度成像技术对电缆头内部工艺性缺陷可视性诊断,为推进 X 射线对运行设备内部可视性分析奠定基础。

参考文献

- [1] 朱玮. 浅谈我国电线电缆发展历史与未来展望[J]. 甘肃电力, 2006, 22(9): 156-157.
- [2] 彭江, 程序, 刘明, 等. 电网设备带电检测技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [3] 王风雷. 电力设备状态检测新技术应用案例精选[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [4] 吕军, 彭江, 冀肖彤, 等. 红外热性检测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [5] 白皓, 栾茜, 赵祥龙, 等. 电缆终端局部放电诊断方法的研究与应用[J]. 山东电力技术, 2020, 47(6): 41-46.
- [6] 王圣浩. X 射线光栅相位衬度成像技术和方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
- [7] 杜杨, 刘鑫, 雷耀虎, 等. X 射线光栅微分相衬成像视场分析[J]. 物理学报, 2016, 65(5): 058701.
- [8] 张国灿, 苏东青, 叶玉云. 红外成像技术在电力设备状态检测中的应用[J]. 电工技术, 2012(12): 48-49.
- [9] 姚勇, 岳彦峰, 黄兴泉. GIS 超高频/超声波局放检测方法的现场应用[J]. 高电压技术, 2008, 33(2): 422-424.
- [10] 陈智勇, 许飞, 戴洪宾. 基于高频电流电磁耦合法的 XLPE 电缆局部放电测量分析[J]. 广西电力, 2012, 35(8): 15-18.
- [11] 陈腾彪, 邬涛, 魏前虎, 等. 高频脉冲电流法在高压电缆带电局放检测以及定位中的应用[J]. 广东电力, 2017, 27(1): 114-119.

作者简介:

赵文君(1985), 男, 硕士, 高级工程师, 电气试验高级技师, 从事气体放电及绝缘放电检测工作;

梁崇彪(1987), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为脉冲功率及其应用技术。

(收稿日期: 2021-08-12)