

高压电缆阻水缓冲层烧蚀缺陷的射线检测

谢亿, 刘维可, 刘三伟, 段肖力, 曹先慧, 黄福勇, 冯超

(国网湖南省电力有限公司 电力科学研究院, 长沙 410007)

摘要: 利用射线检测技术对某 110 kV 电缆线路进行带电检测, 有效检出该线路电缆本体多处阻水缓冲层烧蚀缺陷, 同时分析了该类缺陷的产生规律, 并提出了针对性的改进建议。

关键词: 高压电缆; 阻水缓冲层; X 射线; 缺陷

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)12-0056-03

X-ray detection of the ablation defect of water blocking buffer layer in high-voltage cable

XIE Yi, LIU Weike, LIU Sanwei, DUAN Xiaoli, CAO Xianhui, HUANG Fuyong, FENG Chao

(Electrical Science Research Institute, State Grid Hunan Electric Power Corporation, Changsha 410007, China)

Abstract: A 110 kV cable line was inspected by means of X-ray detection technology, and the ablative defects of water blocking buffer layer were effectively detected in the cable body of the line. Meanwhile, the cause of such defects being initiated was analyzed, and suggestions for improvement were put forward.

Key words: high-voltage cable; water blocking buffer layer; X-ray; defect

2020 年某 110 kV 电缆线路 B 相发生故障, 其型号为 ZC-YJLW03-Z-64/110-1×630 mm², 线路长度约为 3.2 km, 至今已运行约 7 a。故障电缆现场开断及解剖后, 发现其电缆本体绝缘外屏蔽层和阻水缓冲层有不连续的烧蚀痕迹, 故障电缆阻水缓冲层烧蚀形貌如图 1 所示。



图 1 故障电缆阻水缓冲层烧蚀形貌

高压电缆的阻水缓冲层烧蚀缺陷会使电缆本体在运行过程中发生随机性绝缘击穿, 导致线路停运, 其引发的故障多, 危害大, 是影响电网安全稳定运行的重大隐患, 并长期困扰电缆行业。据不完全统计,

近 20 年来国内因阻水缓冲层烧蚀导致的缺陷不下 30 次, 其中一小部分是通过电缆线路的停电切接发现的, 其余均是对绝缘击穿故障案例进行解剖发现的。更为重要的是阻水缓冲层烧蚀的产生原因还不清楚, 相关标准对原材料的要求不够明确, 也缺乏有效的检测监督手段^[1-2]。

针对阻水缓冲层烧蚀, 在行业内首次利用数字射线技术对该 110 kV 电缆线路进行带电检测评估, 摸索现场快速无损检测方法, 为该线路的后续处理提供技术支持。

1 现场检测工艺及测点布置

现场检测用的 X 射线机为某公司生产的便携式射线机, 该射线机的管电压调节范围为 10~225 kV, 有效焦点尺寸为 3 mm。

电缆本体中存在导体铜芯线、铝护套、交联聚氯乙烯(XLPE)绝缘层、聚酯纤维非织造布等不同材料, 其端面结构如图 2 所示。其密度从铜的 8.89 g·mm⁻³ 到交联聚乙烯的 0.93 g·mm⁻³^[3], 各物质的射线吸收系数相差很大, 因此平板探测器 A/D 转换位数选择为 14 bit。

经现场试验, 选择 X 射线检测的管电压为

收稿日期: 2020-05-08

作者简介: 谢亿(1982—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事电网金属监督工作

通信作者: 刘维可, liuweike@buaa.edu.cn

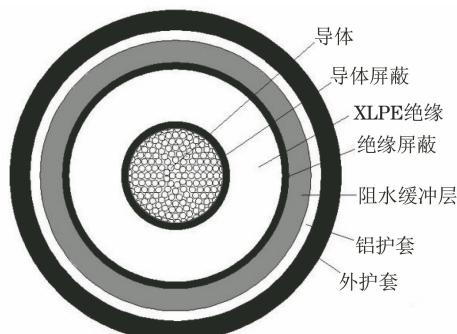


图 2 电缆端面结构示意

75 kV, 管电流为 0.6 mA, 焦距为 600 mm。在现场检测过程中, 由于摆放机位空间的限制, 焦距在 500~650 mm 之间变动, 管电压在 60~80 kV 之间调整, 射线机窗口基本沿电缆中线斜向上 30°。

该 110 kV 电缆线路长 3.2 km, 共分为 4 段, 每段长度约 800 m。按照每相每 100 m 设立一个检测点预计, 每一相段共检测 8 个点, 预计共 96 个检测点。现场检测中发现, 该线路第 4 段为直埋段, 只有一个电缆井具备检测条件, 故该段三相只能检测 1 点。

2 检测结果

按照设定的检测工艺进行检测, 射线透照图像中可以清楚地区分电缆中的铜芯线、主绝缘及铝护套, 其中图中间圆柱体均匀区域为铜芯线, 铜芯线外侧部分为主绝缘, 二者中间的导体屏蔽层在图像中无法显示。主绝缘为圆筒形, 其外层在透照图中显示为一条直线。白色的波纹为铝护套, 铝护套与主绝缘间含有绝缘屏蔽层和阻水缓冲层, 其在透照图像中不可见。高压电缆射线透照图像如图 3 所示。

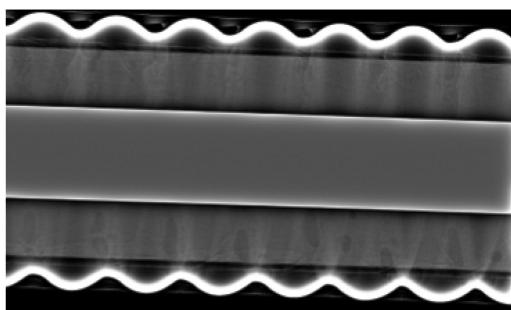


图 3 高压电缆射线透照图像

典型白色缺陷透照图像如图 4 所示。部分透照图像中可见白色缺陷影像。从图 4 中各白色缺陷影像的显示位置来看, 其存在以下特征。一是白色缺陷影像均在白色铝套管内, 且大体靠近套管的波谷位置。二是缺陷影像均在图像的下部分出现, 按照

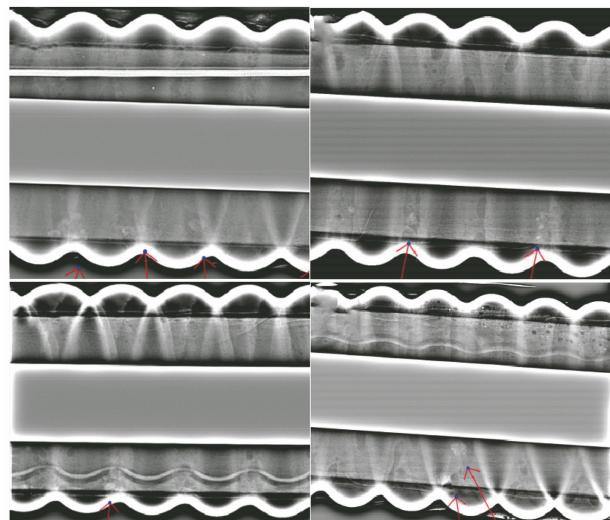


图 4 典型白色缺陷透照图像

射线机的摆位, 该部位处于电缆的底部, 即靠近电缆支架的位置。

该电缆线路 ABC 三相一共检测了 75 个测点, 一共发现该类型缺陷 21 处, 占总测点的 28%。其中 A 相缺陷 5 处, B 相缺陷 9 处, C 相缺陷 7 处, 分别占各相检测总量的 20%, 36% 和 28%。具体的缺陷位置示意如图 5 所示。由此可见该电缆 B 相的缺陷最多, 问题最为严重。

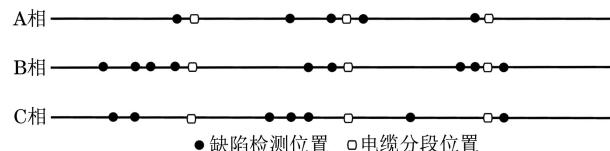


图 5 电缆线路 ABC 三相缺陷检出位置示意

3 分析讨论

该电缆线路的现场带电射线透照图像可清晰显示电缆的铜芯线、主绝缘和铝护套。从实验室的缺陷电缆实物和射线透照图像对比来看, 采用 X 射线检测技术能很好地检测出阻水缓冲层烧蚀缺陷。实验室除去铝护套的带缺陷的电缆实物如图 6(a)所示, 其在相同检测工艺下, 套上铝护套进行射线透照, 透照图像如图 6(b)所示。现场部分透照图像显示出的白色缺陷影像可以认为是该线路电缆本体的阻水缓冲层烧蚀缺陷, 证明了该工艺条件下的 X 射线检测技术能有效地检测出电缆本体的同类型缺陷。

进一步分析该线路透照图像中白色缺陷影像显示的位置规律, 发现其均在靠近电缆下部的波谷处, 即该缺陷多发于电缆底部铝护套波谷处, 这与阻水缓冲层烧蚀缺陷形成的原因有关。由于阻水缓冲层

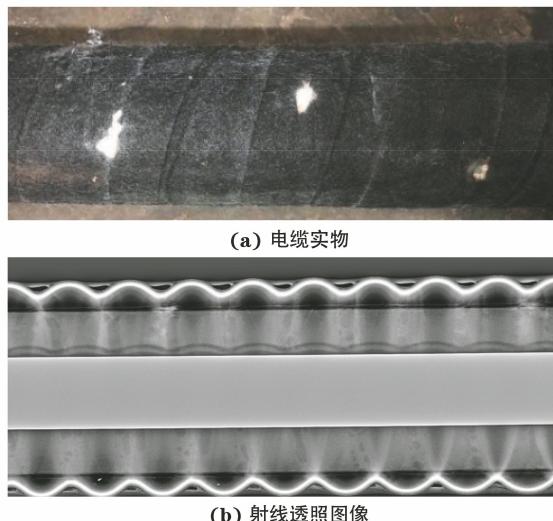


图 6 实验室带缺陷的电缆实物与其射线透照图像

中的阻水粉(聚丙烯酸钠)呈碱性,在阻水带吸潮后会发生电化学反应,形成密度比阻水缓冲层高的碳酸钠、碳酸氢钠及氧化铝^[4]。与电缆顶部相比,电缆底部的铝护套承力较大,其波谷处阻水缓冲层与两侧的铝和绝缘屏蔽层密切接触,一旦阻水带吸潮,该部位最容易发生反应。

经过现场的带电无损检测,发现该线路电缆本体的阻水缓冲层烧蚀严重,尤其以B相的缺陷最为突出,正是该质量状况导致了B相近期出现的绝缘

(上接第23页)

在过渡层中,由于埋弧自动焊保温时间过长和层间温度过高,也会导致马氏体组织脆性增加和填充层塑性显著减低而形成塑性带区,同时盖面焊道对填充焊道的后热,会使得异种钢焊缝区和填充母材间脱碳层宽度增大,在碳钢区域形成软化的脱碳层,在异种钢区形成硬度较高的增碳层间产生组织应力。

同时,由于异种钢区和碳钢填充焊缝的热膨胀系数差异显著,而这种局部区域的焊接加热和后热,会造成焊接后在熔合区产生较大的残余应力和热应力,而这种残余应力并没有在后热中消除或者减弱,只会重新分布和释放,导致裂纹在脆硬组织区产生和扩展。从而验证了图5和图3(a)中宏观裂纹的分布和趋势相吻合。

5 结语

(1) 通过综合无损检测方法相互验证,弥补了目视检测和着色渗透检测的不足,避免了主观认识而导致焊缝中潜在危害性裂纹缺陷的误判和漏检。

击穿事故。从电缆运行安全和可靠性方面考虑,该线路电缆应尽快进行更换。

4 结论

高压电缆阻水缓冲层烧蚀缺陷是长期影响电网安全稳定运行的重大隐患。通过对某110 kV电缆实施带电X射线检测,共检测出21处电缆本体存在的阻水缓冲层烧蚀缺陷,且均处于电缆底部的铝护套波谷处。缺陷检出点占所有检测点的28%,其中B相的缺陷检出点占该相检测点的36%,情况最为严重。表明射线检测技术可在带电情况下有效地检测出电缆本体阻水缓冲层的烧蚀缺陷,保障电网的安全稳定运行,有较好的工程应用推广价值。

参考文献:

- [1] 黄宇,尹毅,吴长顺.高压电缆阻水缓冲层电性能研究[J].电线电缆,2018(6):6-9.
- [2] 李陈莹,李鸿泽,陈杰,等.高压XLPE电力电缆缓冲层放电问题分析[J].电力工程技术,2018,37(2):61-66.
- [3] 郭红霞.电线电缆材料:结构·性能·应用[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [4] 邓声华,江福章,刘和平,等.高压电缆缓冲层材料及结构特性研究[J].电线电缆,2019(2):19-27.

(2) 宏观剖析分析能够有效地评估和验证焊缝表面显现的疑似横向缺陷和超声波检测结果的真伪以及不连续的分布、数量、走向、尺寸、形貌和性质。

(3) 通过PMI数据结合舍夫勒组织图,对评估横向裂纹出现的原因给出了重要判据,即没有严格遵守焊接工艺规范要求导致组织相变发生变化,产生过大的残余应力导致界面处脆性组织断裂及应力释放扩展,使得裂纹源由内部逐步扩展到表面成为宏观横向裂纹,是裂纹产生的主要机理。

参考文献:

- [1] 英若采.熔焊原理及金属材料焊接(第2版)[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 美国金属学会.金属手册(第十卷)[M].北京:机械工业出版社,1986.
- [3] 张其枢,堵耀庭.不锈钢焊接[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [4] 陈志强.打底焊道裂纹的优化检测方法[J].无损检测,2012,34(10):51-54.
- [5] 冯振宇,李振兴.基于可靠性的裂纹检出概率曲线测定方法[J].无损检测,2010,32(4):249-252.