

某 220kV 高压电缆缓冲层故障分析及预防措施

Analysis and Preventive Measures for Buffer Layer Fault of a 220kV High Voltage Cable

王洪涛 崔琨朋 马显 石云飞

Hongtao Wang Kunpeng Cui Xian Ma Yunfei Shi

国网天津市电力公司电缆分公司 中国·天津 300100

Cable Branch of State Grid Tianjin Electric Power Company, Tianjin, 300100, China

摘要: 缓冲层烧蚀故障严重危害高压电缆的安全可靠运行。为进一步揭示缓冲层烧蚀机理, 论文结合某 220kV 高压电缆故障, 对故障电缆进行解体, 从结构尺寸、缓冲层与铝护套间隙公差以及缓冲层体积电阻率和含水率展开试验。根据试验所得结果对电缆缓冲层故障特性进行分析, 并据此提出了电缆生产运行管理过程中需要注意的问题和相关工作建议。

Abstract: The erosion failure of the buffer layer seriously endangers the safe and reliable operation of high-voltage cables. To further reveal the erosion mechanism of the buffer layer, this paper combines a fault of a 220kV high-voltage cable and disassembles the faulty cable, experiments are conducted on the structural dimensions, gap tolerance between the buffer layer and the aluminum sheath, as well as the volume resistivity and moisture content of the buffer layer. Based on the experimental results, the fault characteristics of the cable buffer layer were analyzed, and based on this, the issues that need to be paid attention to during the cable production and operation management process and relevant work suggestions were proposed.

关键词: 高压电缆; 缓冲层; 电缆故障

Keywords: high voltage cable; buffer layer; cable fault

DOI: 10.12346/peti.v5i4.8818

1 引言

随着经济的不断发展, 城市输电网中高压电缆应用越来越多^[1,2]。然而, 随着电缆运行年限的不断增加, 缓冲层结构常因进水、受潮等因素诱发烧灼故障, 导致高压电力电缆无法安全运行, 且故障严重时将迫使电缆击穿。因此, 研究高压电缆缓冲层故障原因具有极大的现实意义, 需引起高压电缆运检人员的高度关注。

2 高压电缆缓冲层的作用

高压电缆的缓冲层具有电气连接、缓冲和保护、实现高压电缆纵向阻水^[3,4]等几方面作用。

- ①电气连接作用。缓冲层由半导体带材缠绕于绝缘屏蔽表面, 将绝缘屏蔽与金属护套进行电气连接^[5], 传递电缆运行时产生的电容电流、泄漏电流等, 控制两者间电位差。
- ②缓冲和保护作用。电缆在运行过程中, 导体温度升高会引

起绝缘线芯膨胀, 一方面体积膨胀产生径向上的扩张, 另一方面线芯的线性膨胀产生轴向上的伸长。缓冲层填充在绝缘线芯和金属护套之间, 吸收线芯的径向热膨胀, 同时也可保护绝缘线芯在电缆弯曲和敷设等过程中免受金属护套的挤压损伤。③实现高压电缆的纵向阻水功能。高压电缆在安装和运行过程中一旦发生护层损伤进水, 有阻水功能设计的缓冲层可有效降低水分在电缆内部的纵向扩散速率, 维持电缆的运行安全。

3 某 220kV 高压电缆缓冲层故障分析

2020 年底, 华北地区某 220kV 高压电缆发生故障, 此次故障为本条电缆年内发生的第二起本体故障。为查找故障原因, 运维人员将故障点附近电缆分成多段进行解体(如图 1 所示), 并从结构尺寸、缓冲层与铝护套间隙公差以及阻水带体积电阻率和含水率开展了高压电缆缓冲层烧蚀试验。

【作者简介】王洪涛, 硕士, 工程师, 从事高压电缆运检研究。

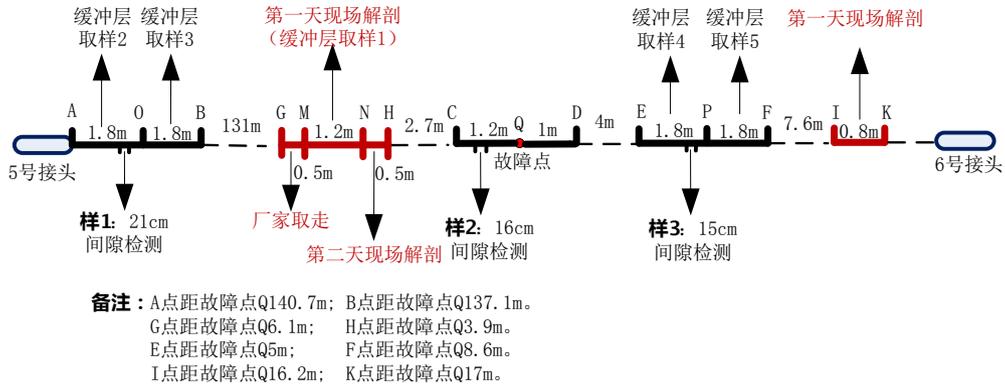


图 1 电缆解体示意图

3.1 解体分析

通过对故障电缆进行解体，发现故障点铝护套内侧存在大面积严重腐蚀现象，击穿点附近的外屏蔽层、缓冲层均破损严重（图 2 所示），该段电缆外屏蔽大面积烧蚀，有大量缓冲层阻水粉严重受潮后产生的胶状物（图 3 所示）。对故障电缆进行解体分析，可判断出如下现象。



图 2 故障点缓冲层



图 3 故障点细节图

①击穿点处屏蔽层因受热发生局部起皮，故障点周围的外屏蔽处存在严重烧蚀斑块；故障点周围阻水带被大量烧毁；故障段电缆铝套内侧分布有大面积因故障瞬间巨大能量释放导致的细小白点。

②在故障点反面有一处长约 10cm 的细长形裂口，其对应的铝套层是完好的，没有破损或被腐蚀的痕迹。裂口边缘呈外翻状，且尺寸从电缆内层至外层呈逐渐增大趋势，综上所述，该处裂口是故障瞬间故障点的强大反冲力所造成。

③解剖的三段电缆距离故障点的远近及进水（受潮）程度各不相同，但外屏均存在烧蚀痕迹，且均位于靠地面侧与铝套波谷接触紧密处，说明烧蚀现象与本次电缆故障后的本体进水无关，只与前期缓冲层材质和间隙结构有关。

3.2 缓冲层与铝护套间隙公差

对故障电缆三个不同位置处的铝套波谷内径、三层共挤绝缘外径、单层阻水带厚度进行测试，并对间隙公差进行计算。试样 1、试样 2、试样 3 分别距离故障点 138.9m、1.2m、5.0m。从测试结果来看，试样 2 厚度 > 试样 3 厚度 > 试样 1 厚度，试样 2 处间隙公差 < 试样 3 处间隙公差 < 试样 1 处间隙公差。由此可见，离故障点越远单层阻水带厚度越薄、间隙越大，离故障点最近处单层阻水带厚度最大，间隙最小。

3.3 体积电阻率及含水率测试

对 AO、BO、MN、EP、FP 五段电缆的内外层阻水带体积电阻率及含水率进行测试，其中 EP、FP 两段电缆的阻水带内外层均已出现凝胶状阻水颗粒，故不再进行内外层区分测试，结果如表 1 所示。从测试结果来看，所有试样体电阻率和含水率均超过 JB/T 10259 中的规定数值。

表 1 故障电缆解体各段缓冲层含水率

	AO 段 (内)	AO 段 (外)	BO 段 (内)	BO 段 (外)	MN 段 (内)	MN 段 (外)	EP 段	FP 段
烘干前质量 (g)	55.48	53.36	52.7	54.37	53.04	53.37	54.21	53.49
烘干后质量 (g)	48.34	48.48	45.79	48.19	48.8	49.49	15.85	22.65
含水率 (%)	12.87%	9.15%	13.11%	11.37%	7.99%	7.27%	70.76%	57.66%

注：测量方法参考 GB/T 462—2008。

4 故障原因分析

通过对故障电缆进行解体及相关试验,初步得出电缆故障原因如下:

①电缆多处外屏、阻水带及对应的铝护套内侧存在明显的烧蚀点,部分区段烧蚀情况非常严重,且严重情况随着距离故障点的远近未呈现出明显的线性对应关系,综合烧蚀现象发生的机理及必要条件,认为烧蚀现象与本次电缆故障点进水无关,在故障发生之前就已产生了多处缓冲层烧蚀的情况。

②在不受故障点进水影响的区段,阻水带体电阻率经测试已超过JB/T 10259中的规定数值,说明该电缆阻水带在未发生本次故障之前已存在一定程度受潮,或者导电颗粒比例不足;该段阻水带含水率经测试已超过JB/T 10259中的规定数值,因此认为阻水带在本次故障发生前就已经存在一定程度受潮。

③从解体现场来看,在不受故障点进水影响的区段,可直接采用人力将铝护套从线芯本体上轻松拔出,同时经测试该段缓冲层与铝护套间隙公差为正公差。因此,在本次故障发生之前该电缆就存在缓冲层与铝护套间隙公差尺寸过大的情况。

④电缆结构和缓冲层材质存在问题,电缆缓冲层发生烧蚀,最终造成本次电缆故障。

5 高压电缆缓冲层改进措施

高压电缆缓冲层出现前文所述的故障,是有多种原因造成的,有原材料问题、产品标准要求不明确的问题、产品结构设计和加工工艺问题。鉴于此,笔者认为可以从以下几方面进行改进,以降低由缓冲层烧蚀引起的高压电缆主绝缘故障。

①相关部门重新制定半导体缓冲带体积电阻率的测试方法,改变电极尺寸和压强,并重新确定半导体缓冲带体积电阻率的考核要求以及其分散性的考核要求;生产企业在进行生产时选用电阻性能优良的半导体缓冲带材。优化半导体缓冲带材的体积电阻率,改进缓冲结构的电气特性和电场分布。

②改进高压电缆结构设计。高压电缆缓冲层厚度需要考虑阻水的效果、绝缘热膨胀,所以不能太薄,根据前述考虑到缓冲层与金属护套要尽可能增加接触面积,因此轧纹要深

一些,在任何情况下铝护套波谷的整个圆周都保证与缓冲层接触,无论是绝缘线芯圆周的底部还是顶部都与波谷接触,在这种结构情况下能最大限度地提高了铝护套与缓冲层的接触面积,因此缓冲层还应加厚,保证铝护套波谷与绝缘屏蔽层之间的缓冲层厚度能吸收掉绝缘热膨胀带来的直径增加值。

③高压电缆生产施工过程注意防潮。从研究结论和故障电缆分析可知,白色粉末的形成与缓冲带吸潮有很大的关系,缓冲层是阻水型的,那么从半导体缓冲层生产、包装、运输、绕包、绕包后电缆线芯存放到电缆附件安装全过程都要严格做好防潮措施;电缆一旦金属护套工序完成,就应该进行端头密封,而不是出厂的时候再密封;电缆附件安装时,电缆分断与端部密封工作要同步,特别是气候潮湿地区,空气湿度比较大时更应注意。总之,阻水型半导体缓冲带是极易吸潮的材料,从生产到电缆敷设安装结束的各个环节都要考虑防潮问题。

6 结语

中国和其他国家的大量研究共同表明,高压电缆缓冲层烧蚀故障与白色粉末、金属护套与缓冲层材料间的气隙以及电缆受潮有关。针对上述原因,论文结合某220kV高压电缆故障开展相关试验,得出的结果与之相符,可为高压电缆缓冲层烧蚀现象的成因提供一定参考。另外,在试验论证的基础上提出了相应整改对策,如出台新的更高标准的半导体阻水层标准、改进电缆生产工艺、做好防潮措施等,以期减少由缓冲层烧蚀引起的高压电缆故障,保证中国高压电缆安全稳定运行。

参考文献

- [1] 王伟.交联聚乙烯(XLPE)绝缘电力电缆技术基础[M].3版.西安:西北工业大学出版社,2011.
- [2] 赵健康.高压电缆及附件[M].北京:中国电力出版社,2020.
- [3] 孟崢崢,李旭,于洋,等.高压XLPE电缆缓冲层故障研究现状综述[J].中国电力,2021,54(4):33-41+55.
- [4] 王野,张涛,赵新院.高压电缆缓冲层烧蚀故障分析及预防[J].电线电缆,2022(2):47-50.
- [5] 刘洋,陈杰,胡丽斌,等.高压XLPE电缆缓冲层放电烧蚀机理与实验研究[J].绝缘材料,2021,54(8):102-108.