

基于红外热像和泄漏电流检测的氧化锌避雷器缺陷联合诊断

万圣辉,周 皓,宗浩杰

(国网江西省电力有限公司九江供电分公司,江西 九江 332000)

摘 要:文中针对某变电站一起 110 kV 氧化锌避雷器缺陷案例进行分析,在对某避雷器进行红外热像检测时,发现局部过热,结合带电阻性电流测试与停电诊断性试验方法,进一步确认缺陷。停电进行更换,解体检查后,发现缺陷原因为避雷器内部受潮。从维护和试验角度提出合理的建议,为今后同类型设备的故障诊断和运行维护提供有效参考。

关键词:氧化锌避雷器;泄漏电流;红外热像检测;阻性电流;停电诊断性试验

中图分类号:TM 216 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)03-0013-03

0 引言

作为变电站中重要过电压保护装置,氧化锌避雷器具有容量大、非线性度强、响应时间短等优点^[1-2],可以可靠保护变电站内其它电气设备免受电压侵害,其安全性能对维护电网可靠运行意义重大。长期运行的氧化锌避雷器受诸多因素的影响,可能导致其工作性能下降,将进一步对电网安全运行构成严重威胁,因此,对避雷器的健康状态进行定期带电检测至关重要。

目前,氧化锌避雷器的带电检测手段主要有红外热像检测及在线泄漏电流检测。红外热像检测^[3-5]具有简单、便捷、高效等特点,但是其在阳光充足等天气状况下检测时容易受到阳光干扰,如需精准测温,一般需要在阴天或晚上进行。氧化锌避雷器在线泄漏电流测量主要有以下几种方法:全电流法^[6]、谐波分析法^[7]、容性电流补偿法^[8]、基波阻性电流法^[9]。氧化锌避雷器泄漏电流测量能真实的反映其绝缘性能好,但它表面污秽产生的泄漏电流及电网谐波会影响其在线泄漏电流测量装置的测量精度。因此,实际中往往需要结合红外热像检测和泄漏电流测量等方法评价在运氧化锌避雷器的健康状态。

文中介绍了一起 110 kV 氧化锌避雷器缺陷诊断分析案例,通过红外热像检测、阻性电流检测及停电诊断性试验等诸多方法联合检测,确定了避雷器故障原因,并为以后同类设备故障诊断及运行维护提供有效参考建议。

1 氧化锌避雷器泄漏电流检测分析

氧化锌避雷器主要由氧化锌电阻阀片构成,具有良好的非线性伏安特性及响应时间短的优点,在正常运行工况时呈现高电阻状态,有效限制工作电压下的泄漏电流。当电网遭受雷电过电压或操作过电压时,氧化锌避雷器发挥作用,其电阻阀片可迅速转变为低电阻状态,供大电流通过,并将过电压限制在设备绝缘水平以下,达到保护其他电气设备的目的。现场氧化锌避雷器带电检测的全电流组成如图 1 所示,检测的全电流由阀片泄漏电流和外壳表面泄漏电流组成,均包括阻性分量与容性分量。避雷器阀片发生受潮、劣化、老化后,其泄漏电流中的阻性电流分量增加,真实反映避雷器阀片性能;避雷器壳体污秽、降水等外界因素直接作用于壳体,将造成表面泄漏电流增加。因此,泄漏电流测量应在天气良好状况下进行,避免因为湿度过大导致全电流增加,影响判断。在正常运

收稿日期:2025-04-29

作者简介:万圣辉(1997),男,硕士,助理工程师,主要研究高压试验方向,长期从事电气试验工作。

行工况下,避雷器泄漏电流主要成分为容性电流,阻性电流占比一般不足20%^[10]。当避雷器发生受潮、劣化、老化等情况,全电流中阻性泄漏电流增加,造成缺陷相避雷器发热,利用红外热像进行检测时,正常相和缺陷相的避雷器的红外热像特征不同。排除避雷器表面污秽及湿度的影响后,全电流中阻性泄漏电流的基波分量可反映避雷器阀片内部的受潮情况,而阻性泄漏电流的谐波分量与基波分量可反映避雷器阀片劣化情况。

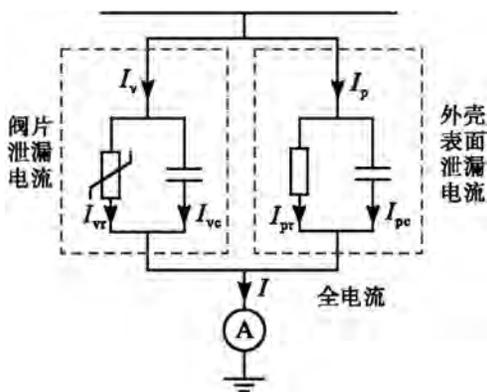


图1 氧化锌避雷器全电流组成

2 避雷器缺陷发现

2025年2月25日,对某110 kV变电站设备进行红外带电检测时,发现一组110 kV线路避雷器存在局部发热现象,图谱呈现三相避雷器的中上部高、下部低的热像特征,A相发热尤为严重。结合避雷器带电阻性电流测试进行进一步判断,对比往年该避雷器带电检测报告,阻性电流增长超30%。避雷器均为2020年12月生产,型号YH5WZ-102/266 W。

采用停电诊断性试验进一步确认缺陷,发现三相避雷器的绝缘电阻远低于规程规定的2 500 MΩ, U_{1mA} 和75% U_{1mA} 的泄漏电流值均不满足规程要求,故可判断该三相避雷器均存在缺陷,且为严重缺陷。解体发现该避雷器内部的电阻芯体出现水渍锈蚀痕迹,故可判断该缺陷是由避雷器受潮导致的。

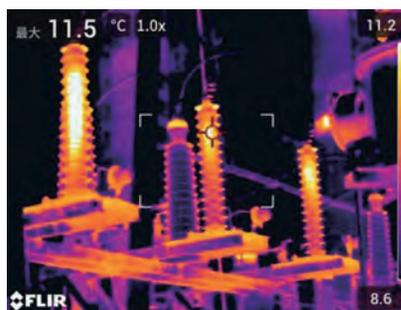
2.1 红外热像检测

2025年2月25日,对某变电站设备进行红外热像检测,测量时间为阳光较弱的傍晚,对红外测量结果干扰较小。测量发现该110 kV避雷器出现局部发热现象,其现场设备状态及红外热像图谱如图2所示。

发现该三相避雷器的中上部温度比下部温度高,其中A相尤为严重,A相中上部温度可达11.5℃,A相下部温度达9.5℃,其局部温差超过《带电设备红外诊断应用规范》(DL/T 664—2016)^[11]规定的0.5~1 K。



(a) 某110 kV避雷器设备图



(b) 红外热像图

图2 110 kV某避雷器设备图及红外热像图

2.2 带电阻性电流检测

据目测,当时避雷器的表面比较清洁,且当天湿度为50%,故基本可以排除避雷器外壳污秽及湿度对泄漏电流测量结果的影响。某110 kV避雷器2024年和2025年的持续电流测试数据如表1所示。其中 I_x 为避雷器全电流有效值, I_r 为避雷器阻性电流有效值, I_{rp} 为避雷器阻性电流峰值, θ 为运行电压与泄漏电流之间的相角。2025年测量的该避雷器阻性电流值比2024年增长较多,其中A相尤为严重,测量结果与红外热像检测结果一致。该避雷器的阻性电流增长超30%,应停电试验进一步检查。

表1 某110 kV避雷器带电阻性电流检测

相别	A相		B相		C相	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025
I_x /mA	0.295	1.332	0.280	1.121	0.268	1.091
I_r /mA	0.041	0.838	0.039	0.561	0.037	0.509
I_{rp} /mA	0.058	1.171	0.055	0.793	0.053	0.720
θ (°)	82.2	51.2	82.2	60.0	82.0	62.2

2.3 停电诊断性试验

2.3.1 绝缘电阻

某110 kV避雷器的绝缘电阻测试结果如表2所示。可知,在本次试验中,该避雷器的A、B、C相的上

节绝缘电阻测量值分别为1 800 MΩ、2 100 MΩ、2 000 MΩ,较交接试验测量值均明显下降,且低于2 500 MΩ,而技术文件规定110 kV避雷器上节绝缘不能小于2 500 MΩ,故该避雷器的此次绝缘电阻均不合格。

表2 某110 kV避雷器绝缘电阻

相别	A相		B相		C相	
	底座	上节	底座	上节	底座	上节
交接试验	30 000	89 000	30 000	89 000	30 000	89 000
本次试验	30 000	1 800	30 000	2 100	30 000	2 000
技术文件规定:底座绝缘电阻不低于100 MΩ,110 kV上节绝缘电阻不低于2 500 MΩ						

2.3.2 直流1 mA参考电压(U_{1mA})

某110 kV避雷器的直流1 mA下的 U_{1mA} 测试结果如表3所示。技术文件中要求 U_{1mA} 不小于148 kV,且与出厂值相差不大于±5%。该避雷器A相 U_{1mA} 测量值仅为147.0 kV,与初值差为-4.36%,其初值差虽然小于5%,但其 U_{1mA} 低于148 kV,不符合技术文件规定要求。

表3 某110 kV避雷器 U_{1mA}

相别	部位	出厂值/kV	测试值/kV	初值差/%
A相	上节	153.7	147.0	-4.36
B相	上节	153.3	151.0	-1.31
C相	上节	153.7	156.5	1.18
技术文件规定: U_{1mA} 不小于148 kV,且与出厂值相差不大于±5%				

2.3.3 75% U_{1mA} 下的泄漏电流

某110 kV避雷器的75% U_{1mA} 下的泄漏电流测试结果如表4所示。该避雷器的A、B、C相的75% U_{1mA} 下泄漏电流的测量值分别为393 μA、70 μA、132 μA,而技术文件规定75% U_{1mA} 下的泄漏电流的测试值不大于50 μA,故三相避雷器的泄漏电流测试均不合格。依据《输变电设备状态检修试验规程》(DL/T 393—2021)^[12]要求,并结合红外热像检测、泄漏电流测试及停电诊断性试验的结果,可判断该三相避雷器均不合格,需更换处理。

表4 某110 kV避雷器75% U_{1mA} 的泄漏电流

相别	部位	测试值	技术文件规定
A相	上节	393	不大于50
B相	上节	70	
C相	上节	132	

3 解体分析及处理

对该三相避雷器解体后,发现其硅橡胶合成套粘合不良,电阻阀片出现不同程度水渍锈蚀痕迹,如图

3所示,判断该避雷器缺陷是由于受潮所致。



图3 电阻片锈蚀

为确保彻底消除隐患,保证电网安全运行,对同一批次的氧化锌避雷器进行带电检测,掌握其健康状况,暂未发现同类缺陷。

4 结语

1) 文中分析了一起基于红外热像及泄漏电流的110 kV氧化锌避雷器缺陷联合诊断案例。对其进行红外热像检测时发现局部过热现象,采用带电阻性电流测试与停电诊断性试验相结合的方法,进一步确认缺陷。对该避雷器解体检查,发现该避雷器局部过热及阻性电流明显增长的原因为硅橡胶合成套粘合不良,导致避雷器内部受潮。

2) 联合红外热像检测及泄漏电流测试等带电检测方法,能较快、精准确定出避雷器缺陷。建议避雷器红外热像检测在阴天或晚上进行,避免强阳光的干扰。避雷器在线泄漏电流测试时,要注意设备表面污秽及湿度对测量结果的影响。

3) 为彻底消除隐患,保证电网安全运行,定期对避雷器进行红外热像及泄漏电流联合检测十分必要。

参考文献:

- [1] 李惠庸,柴宜.氧化锌避雷器特性的仿真分析[J].电瓷避雷器,2018(4):111-114,119.
- [2] 苑效宁.氧化锌避雷器泄漏电流检测方法研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2021.
- [3] 吴顺成.基于红外热像技术的氧化锌避雷器故障检测方法[J].实验室检测,2024,2(11):51-53. (下转第21页)

参考文献:

- [1] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 电能质量电压暂升、电压暂降与短时中断: GB/T 30137—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
- [2] 肖先勇, 谭秀美, 汪颖, 等. 基于电气特性—物理属性—感知损失的电压暂降经济损失评估[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(51): 105-110.
- [3] 汪颖, 周杨, 莫文雄, 等. 设备电压暂降耐受能力测试技术分析测试规范建议[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(2): 196-206.
- [4] 丁凯, 李伟, 谢佳妮, 等. 电压暂降治理效果评价指标体系及综合评价模型[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(25): 197-203.
- [5] 徐方维, 陈家乐, 郭凯, 等. 计及子过程贡献度的电压暂降经济损失评估方法[J]. 电力自动化设备, 2024, 44(9): 197-204.
- [6] 梁怡雪, 钟庆, 张华赢, 等. 面向敏感负荷的电压暂降在线监测点优化配置[J]. 电力系统及其自动化学报, 2024, 36(9): 81-87.
- [7] 何冕, 王林玲, 郭成, 等. 电力系统电压暂降治理措施综述[J]. 电工技术, 2023(18): 210-215.
- [8] 张逸, 张良羽, 陈锦涛, 等. 基于电能质量监测数据的电压暂降敏感负荷识别[J]. 电力自动化设备, 2025, 45(2): 176-184.
- [9] 张逸, 章书旗, 李传栋. 基于支路变化影响域的大型电网电压暂降评估[J]. 电网技术, 2023, 47(10): 4056-4070.
- [10] 代佰华, 朱洪防, 刘海泳, 等. 考虑电压暂降多维可观测性的监测装置序贯优化配置方法[J]. 供用电, 2024, 41(2): 64-72.
- [11] 尚力, 于占勋, 荆铭, 等. 山东电网广域实时动态监测系统[J]. 电力自动化设备, 2008(7): 89-93.
- [12] 于思政. 计及监测点优化的数据驱动型电力系统电压暂降定位方法[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.
- [13] 彭雪枫. 基于深度学习的电压暂降溯源与定位[D]. 南京: 东南大学, 2023.
- [14] 崔婷婷, 钟庆, 梁怡雪, 等. 配电网串/并联型动态电压恢复器组合优化配置方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(2): 135-142.
- [15] 申屠磊璇, 华文, 杨滢, 等. 220 kV 快速开关的布点原则及校核方法研究[J]. 浙江电力, 2023, 42(3): 55-63.
- [16] N. G. Hingorani. Introducing Custom Power[J]. IEEE Spectrum, 1995, 32(6): 41-48.
- [17] 王金丽, 盛万兴, 宋祺鹏, 等. 配电网电能质量智能监控与治理仿真[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 515-519.

(上接第 15 页)

- [4] 胡泰山, 刘浩, 刘刚, 等. 基于改进 YOLOv3 的避雷器红外图像故障检测方法[J]. 红外技术, 2023, 45(11): 1256-1261.
- [5] 靳海军, 靳文星. 红外测温诊断技术在避雷器内部过热故障诊断中的应用[J]. 能源与节能, 2019(10): 175-176, 181.
- [6] 王景, 付晨晓. 110 kV 氧化锌避雷器泄漏电流的带电检测方法研究[J]. 机电信息, 2020(35): 40-41.
- [7] 何贵先, 行鸿彦, 季鑫源, 等. 金属氧化物避雷器在线监测的谐波校正及研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(10): 1549-1554.
- [8] 陈登义, 周雪会, 李鹏. 电涌保护器老化监测指标对比研究[J]. 电瓷避雷器, 2016(5): 90-93.
- [9] 陈丹, 傅中君, 柳益君, 等. 一种氧化锌避雷器阻性电流的提取方法[J]. 电测与仪表, 2019, 56(13): 117-122.
- [10] 洪佳明, 陈从颜. 一种基于 STM32 的 10 kV 金属氧化物避雷器泄漏电流检测方法[J]. 工业控制计算机, 2019, 32(9): 80-81.
- [11] 国家能源局. 带电设备红外诊断应用规范: DL/T 664-2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [12] 国家能源局. 输变电设备状态检修试验规程: DL/T 393—2021[S]. 北京: 中国电力出版社, 2022.