

# 一起 35 kV 开关柜局部放电缺陷检测及分析

杨洁<sup>1</sup>, 刘鑫<sup>2</sup>, 何良<sup>3</sup>

(1. 成都航空职业技术学院, 四川 成都 610100; 2. 国网四川省电力公司成都供电公司, 四川 成都 610041; 3. 清华四川能源互联网研究院, 四川 成都 610213)

**摘要:**文中分析了一起 35 kV 开关柜局部放电缺陷案例, 采用暂态地电压、超声波及特高频等多种局部放电带电检测技术进行分析诊断, 利用电磁波时差法对局部放电源进行定位, 结合开关柜内部结构给出局部放电源位置范围, 停电检查发现 A 相避雷器引线与绝缘板间存在明显放电痕迹, 验证了缺陷分析诊断及定位的正确性。结果表明, 局部放电带电检测技术可以有效发现开关柜内绝缘缺陷, 案例为类似开关柜缺陷处理提供经验。

**关键词:**开关柜; 局部放电; 带电检测; 时差法

**中图分类号:** TM 854 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2022)04-0083-04

**DOI:** 10.16527/j.issn.1003-6954.20220416

## Defect Detection and Analysis of Partial Discharge in 35 kV Switchgear Cabinet

YANG Jie<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>2</sup>, HE Liang<sup>3</sup>

(1. Chengdu Aeronautic Polytechnic, Chengdu 610100, Sichuan, China; 2. State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China; 3. Sichuan Energy Internet Research Institute under Tsinghua University, Chengdu 610213, Sichuan, China)

**Abstract:** A case of partial discharge defect in 35 kV switchgear cabinet is analyzed. The live detection technologies such as transient earth voltage, acoustic emission and ultra-high frequency is adopted to detect and analyze the defect, and the electromagnetic wave time difference method is used to locate the partial discharge source. Combined with the internal structure of switchgear cabinet, the location range of the partial discharge source is given. The obvious discharge trace between the lead of A-phase arrester and the insulation board is found during the power failure inspection, which verifies the correctness of the defect diagnosis and positioning result. The results show that the live detection technologies for partial discharge can effectively find insulation defects in switchgear cabinet, which provides experiences for similar defects treatment of switchgear cabinet.

**Key words:** switchgear cabinet; partial discharge; live detection; time difference method

## 0 引言

35 kV 金属封闭式开关柜用于接收和分配电能, 并对电路进行控制、保护和监测, 在配电网中广泛使用, 其运行可靠性对于电网的安全稳定运行具有重要意义。在长期运行过程中, 由于环境温度、湿度、过电压、绝缘老化等影响, 开关柜绝缘性能逐渐劣化, 导致绝缘强度降低, 甚至造成严重事故<sup>[1]</sup>。据统计, 开关柜故障中绝缘故障超过 50%, 而绝缘故

障发生前期往往伴随着局部放电现象<sup>[2]</sup>。因此, 开展开关柜局部放电带电检测及诊断具有重要意义<sup>[3]</sup>。

开关柜内部发生局部放电时, 一般伴有光、电、声、热等现象, 因此可采用紫外成像、红外成像、特高频 (ultra high frequency, UHF)、暂态地电压 (transient earth voltages, TEV)、高频 (high frequency, HF)、超声波 (acoustic emission, AE) 等多种方法开展检测与诊断<sup>[4-7]</sup>。高频法需要在带电显示器处加装高频电流传感器 (high frequency current transformer, HFCT), 而开关柜带电运行时禁止打开柜门, 导致该方法现

场使用受到限制<sup>[8]</sup>。紫外成像法及红外成像法适用于敞开式设备,而开关柜密封性好,导致这两种方法使用效果不佳<sup>[9]</sup>。特高频、暂态地电压及超声波法,作为目前开关柜局部放电检测中应用最广泛的方法,已成功发现多起放电缺陷,但这几种方法具有一定的局限性,往往需要将多种方法综合运用才能实现局部放电缺陷的检测、识别与定位<sup>[10-12]</sup>。

下面以某 110 kV 变电站 35 kV 开关柜局部放电缺陷为例,介绍了缺陷检测、分析及定位的过程,并通过解体验证,为开关柜局部放电缺陷分析及处理积累了经验。

## 1 局部放电缺陷发现过程

某 110 kV 变电站开关柜型号为 KYN61-40.5,额定电压为 40.5 kV,额定频率为 50 Hz,额定电流为 1250 A,出厂时间为 2014 年 7 月。

2020 年 7 月,在该变电站内 35 kV 开关柜开展带电检测时,发现 335 开关柜超声波数据异常,具有典型绝缘类局部放电信号特征,最大值出现在 335 开关柜后部下半部分区域,即电缆室下半部分。

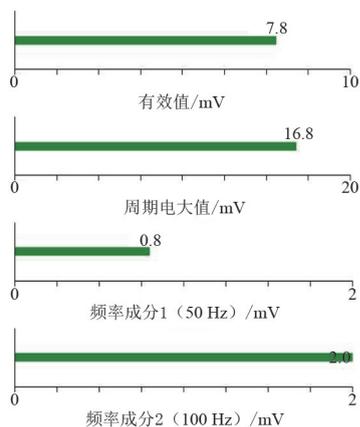
为进一步确认该异常信号,采用了暂态地电压、特高频等检测手段综合分析。暂态地电压法未发现明显异常;特高频法检测到明显局部放电信号,且具有典型绝缘类局部放电信号特征,与超声波法检测结果相对应。

通过定位分析,最终判断信号来自开关柜后下部电缆室,靠近 A 相区域,为固体绝缘类放电。

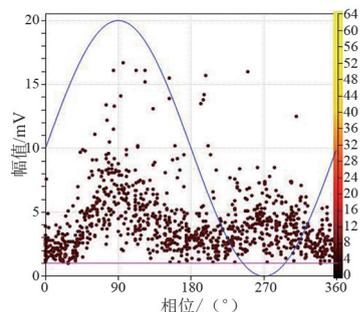
## 2 带电检测数据分析

### 2.1 超声波检测结果

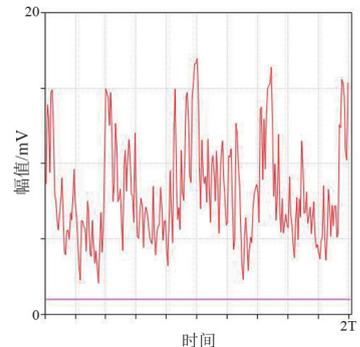
检测人员采用超声波法对开关柜进行局部放电检测,在 335 开关柜后柜门缝隙处检测到异常超声波信号,典型图谱如图 1 所示。图 1(a)为连续模式图谱,信号有效值及周期最大值分别为 7.8 mV、16.8 mV,均大于背景值的 2 mV 和 2.5 mV,信号具有 50 Hz 及 100 Hz 相关性,且后者大于前者;图 1(b)为相位模式图谱,在一个工频周期内有两簇放电信号,呈“驼峰”状,信号幅值较分散,相位分布较广;图 1(c)为时域模式图谱,在一个工频周期内存在两个“峰值”。综合判断,该信号具有典型固体绝缘放电特征。



(a) 连续模式



(b) 相位模式



(c) 时域模式

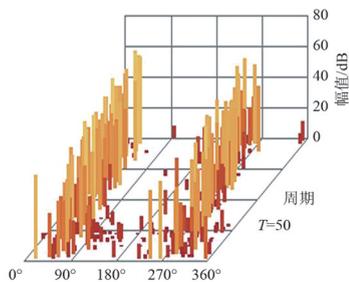
图 1 超声波检测图谱

通过横向对比发现,335 开关柜后下部分超声波信号幅值最大,初步判断局部放电信号来自 335 开关柜内部。

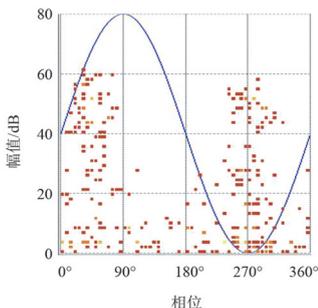
### 2.2 特高频检测结果

采用特高频法进行局部放电检测,在 335 开关柜后下部分缝隙处检测到明显的特高频信号,典型图谱如图 2 所示。可以看出,在工频相位的正、负半周均有放电信号,放电次数较多,信号幅值变化较大,最大值将近 54 dB。放电信号相位主要集中在 90°及 270°附近,具有对称性,疑似固体绝缘类放电,与超声波检测结果相对应。

在 335 开关柜附近空间背景中及相邻开关柜缝



(a) PRPS 图谱



(b) PRPD 图谱

图 2 特高频检测图谱

隙处,均未检测到异常特高频信号。通过横向对比,判断局部放电信号来自 335 开关柜内部。

### 2.3 暂态地电压检测结果

使用暂态地电压法对 335 开关柜进行局部放电检测,分别选取开关柜前(中、下)、侧(上、中、下)、后(上、中、下)等多个点位进行测试。开关柜暂态地电压检测结果与背景值相近,约为 15 dB,未见明显异常。

### 2.4 综合分析

考虑到单一检测手段的局限性,在现场采用了超声波法、特高频法、暂态地电压法等手段,检测表明 335 开关柜内部存在放电信号。该信号在一个工频周期内存在两簇放电脉冲,其 100 Hz 相关性大于 50 Hz 相关性,信号幅值变化较大,相位分布较宽,疑似为固体绝缘类放电。

## 3 局部放电缺陷定位分析

为进一步确认放电源位置,采用电磁波时差法对局部放电源进行定位,原理如图 3 所示。通过比较电磁波到达传感器的时间先后顺序,判断局部放电源更靠近哪个传感器。

由于开关柜密封性好,传感器布置位置受到限制,仅能开展水平方向、竖直方向的定位分析。特高频传感器布置在 335 开关柜后下部分缝隙处,如图 4 所示。

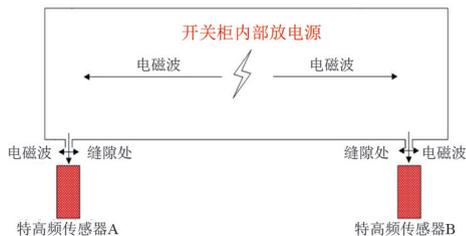


图 3 时差法原理

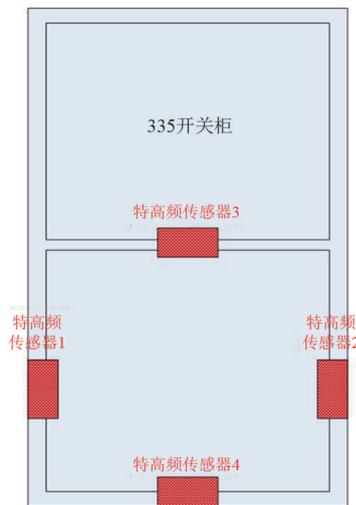


图 4 传感器布置

水平方向定位结果如图 5 所示,可以看出特高频传感器 2 处接收到的局部放电信号领先特高频传感器 1 约 2 ns,表明局部放电源与传感器 2 的距离比传感器 1 近 60 cm,即局部放电源在开关柜中偏右的位置处。



图 5 水平方向定位结果

竖直方向定位结果如图 6 所示,可以看出特高频传感器 4 处接收到的局部放电信号领先特高频传感器 3 约 2.5 ns,表明局部放电源与传感器 4 的距离比传感器 3 近 75 cm,即局部放电源在开关柜下半部分中偏下的位置处。

开关柜结构如图 7 所示,后下部分为电缆室,包含接地开关、避雷器、电缆、电流互感器、绝缘板等多个元器件。结合开关柜结构及定位结果,判定该固体绝缘类放电缺陷位于电缆室内靠近 A 相区域。

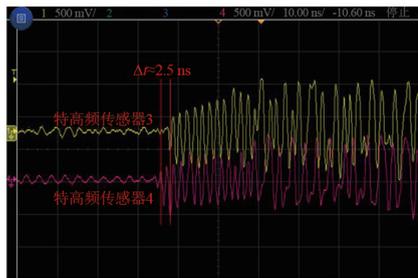


图 6 竖直方向定位结果

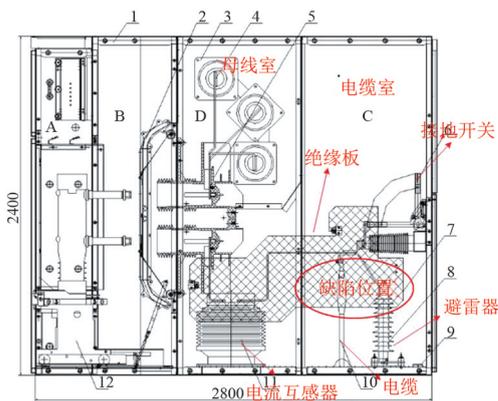


图 7 开关柜结构

## 4 停电检查验证

为消除故障隐患,先将 335 开关柜及其他相关设备停电,再将开关柜小车摇至检修位置并开柜检查,发现 335 开关间隔电缆室内 A 相避雷器引线与绝缘隔板间存在明显放电痕迹,如图 8 所示。



图 8 局部放电痕迹

分析发现,由于 A 相避雷器引线过长,致使引线与绝缘隔板间绝缘距离过近引发局部放电。停电检查与带电检测的结果相符,验证了带电检测技术的有效性。对 A 相避雷器引线及绝缘隔板进行处理并恢复送电后,对该开关柜再次进行了带电检测,局部放电信号消失。

## 5 结论

1)采用带电检测技术可以有效发现开关柜内部局部放电缺陷。综合使用多种检测方法分析诊断,可避免单一检测方法的不足,为开关柜的状态检修提供可靠依据。

2)所述放电故障是由于避雷器引线与绝缘隔板间距离过近,导致局部场强过高,引发局部放电。故现场安装中应严格控制工艺,避免该类现象再次发生。

### 参考文献

- [1] 杨帆, 邓一帆, 李东东, 等. 基于最优等级数的多维特征量开关柜健康状态评价方法[J]. 高电压技术, 2020, 46(11): 3934-3942.
- [2] 杨堃. 2015 年国家电网公司开关设备运行情况及近十年 GIS 故障专题分析[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2015.
- [3] 李军浩, 韩旭涛, 刘泽辉, 等. 电气设备局部放电检测技术述评[J]. 高电压技术, 2015, 41(8): 2583-2601.
- [4] 李任明, 彭华东, 陈晓清. 采用暂态对地电压法综合检测开关柜局部放电[J]. 高电压技术, 2010, 36(10): 2460-2466.
- [5] 曾雄杰, 江健武. TEV 和 UHF 在 10 kV 开关柜带电检测中的应用[J]. 高压电器, 2012, 48(1): 41-47.
- [6] 冯波, 肖代波, 李毅, 等. 暂态对地电压和超声法用于开关柜不同湿度 PD 检测研究[J]. 高压电器, 2015, 51(4): 67-70.
- [7] 郑雷. 开关柜局部放电声电波检测技术的运用[J]. 高压电器, 2012, 55(2): 87-93.
- [8] 陶诗洋, 冯义, 张天辰, 等. 基于脉冲电流法的高压开关柜局部放电在线监测装置[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(9): 145-149.
- [9] 邵进, 胡武炎, 贾风鸣, 等. 红外热成像技术在电力设备状态检修中的应用[J]. 高压电器, 2013, 49(1): 126-129.
- [10] 陆忠, 朱卫东. 多种局部放电检测手段诊断开关柜放电缺陷[J]. 高压电器, 2012, 48(6): 94-98.
- [11] 嵇丽明, 邱崑, 徐翀, 等. 开关柜局部放电综合诊断技术的应用研究[J]. 高压电器, 2014, 57(7): 106-110.
- [12] 邹璟, 方勇, 施涛, 等. 一起 10 kV 开关柜局部放电研究[J]. 云南电力技术, 2020, 48(1): 105-108.

### 作者简介:

杨 洁(1988),女,硕士,讲师,研究方向为输变电设备状态检测及诊断;

刘 鑫(1987),男,硕士,高级工程师,研究方向为输变电设备运维检修;

何 良(1987),男,硕士,高级工程师,研究方向为输变电设备状态检测及诊断。 (收稿日期:2022-04-25)