

# 基于声电联合检测技术的高压开关柜局部放电缺陷分析及整改措施研究

王嘉易<sup>1</sup> 李刚<sup>2</sup> 贾志杰<sup>1</sup> 丁澄<sup>3</sup> 罗洋<sup>1</sup> 董汉彬<sup>1</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041; 2. 国网德阳供电公司, 四川 德阳 618000; 3. 思源博睿(成都)科技有限公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** 利用带电检测技术可有效发现开关柜中的绝缘类缺陷, 准确掌握开关柜运行状态。针对一起典型的10kV开关柜内部局部放电的案例, 采用暂态地电压(TEV)检测技术、超声波(AE)检测技术及超高频(UHF)检测技术对开关柜进行检测, 发现存在局放信号, 通过信号分析和停电检查找出局部放电的原因并提出了相应的整改措施。得出的结论对开关柜的局部放电带电检测诊断和整改措施提供了可靠的指导。

**关键词:** 开关柜; 局部放电; 绝缘事故; 声电联合检测

中图分类号: TM564 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)01-0075-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.01.016

## Partial Discharge Defect Analysis of High-voltage Switchgear Based on Detection Technology Combined Ultrasonic and Electrical and Research on Its Improvement Measures

Wang Jiayi<sup>1</sup>, Li Gang<sup>2</sup>, Jia Zhijie<sup>1</sup>, Ding Cheng<sup>3</sup>, Luo Yang<sup>1</sup>, Dong Hanbin<sup>1</sup>

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;  
2. State Grid Deyang Electric Power Supply Company, Deyang 618000, Sichuan, China;  
3. Siyuan Borui (Chengdu) Technology Co., Ltd., Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The insulation defects can be found out and the operation state can be known accurately by using on-line detection technology. A typical case of partial discharge in 10 kV switchgear is described. By using transient earth voltage (TEV) detection technology, acoustic emission (AE) detection technology, and ultra-high frequency (UHF) detection technology, the partial discharge signal in switchgear is detected. Through signal analysis and outage detection, the main reasons are found out and the improvement measures are put forward. The obtained results can provide a reliable guidance for the detection and improvement measures of partial discharge in switchgear.

**Key words:** switchgear; partial discharge; insulation defects; detection technology combined ultrasonic and electrical

## 0 引言

高压开关柜是电网中重要的设备, 经调查研究发现, 开关柜发生故障的原因之一就是局部放电 (partial discharge, PD)。局部放电能够预示设备绝缘发生劣化的情况, 若能对开关柜在运行时进行局部放电的带电检测, 就能及时掌握设备的绝缘状况, 对开关柜的维护以及电力系统的安全保障都是有益

的<sup>[1-7]</sup>。

目前, 对高压开关柜局部放电的检测方法主要有超声波 (acoustic emission, AE) 法、暂态地电压 (transient earth voltage, TEV) 法及超高频 (ultra high frequency, UHF) 法等。超高频法不受设备机械振动等环境影响、定位快速; 超声波法抗电气干扰能力强、定位准确; 暂态地电压法的灵敏度和结果稳定性高。声电联合检测技术综合了3种检测方法的优点, 使得检测结果更为迅速和精确, 在故障检测及分

析方面有良好的效果<sup>[8-13]</sup>。

某供电公司在开展春节保电工作中,对某220 kV变电站进行了10 kV开关柜超声波、超高频和暂态地电压局部放电联合带电检测。通过联合检测发现2号主变压器902开关柜和9022隔离柜的后柜门下部均有异常放电信号。

下面通过对检测数据进行全面分析,并通过停电检查找出缺陷原因,最终提出了相应的整改措施。

## 1 带电检测数据分析

### 1.1 暂态低电压检测数据分析

在对某220 kV变电站10 kV高压室开关柜进行普测时,首先选用暂态地电压测试,检测结果发现902开关柜后柜门下部幅值为35 dB,9022隔离柜后柜门下部放电信息幅值为37 dB,整个开关柜室的背景噪声幅值为13 dB。依据Q/GDW 11060-2013《交流金属封闭开关设备暂态地电压局部放电带电测试技术现场应用导则》,若设备上测得的信号绝对值大于或等于20 dB,则认为设备中可能存在有害的局部放电。因此,判断902开关柜及9022隔离柜下部有可能存在局部放电。

### 1.2 超声波检测数据分析

采用超声波法,对902开关柜及9022隔离柜的前柜门下部缝隙和后柜门下部缝隙、通风孔处进行检测,发现在仪器增益为80的情况下,902开关柜和9022隔离柜测得信号平均幅值分别为24 dB $\mu$ V和30 dB $\mu$ V,峰值分别为31 dB $\mu$ V和37 dB $\mu$ V,远远超出6 dB $\mu$ V的警戒阈值。而整个开关柜室的背景噪声幅值仅为-5 dB $\mu$ V,开关室内其他开关柜同样部位的超声波测试幅值均在-3~3 dB $\mu$ V左右。

如图1所示,由于在整个测试过程中接近90 s时间范围内,大部分时间放电脉冲柱的幅值超过背景噪声,且时域波形的包络线并非是振动信号的正弦波形,而是以短脉冲为主,因此很可能有异常放电存在。超声波局部放电测试周期峰值、有效值、50 Hz工频相关性和100 Hz工频相关性如图2所示。从图中可以看出该异常放电的50 Hz工频相关性很弱且100 Hz工频相关性较弱,说明其放电的周期重复性和相位相关性弱。同时,根据图3所示的放电幅值与放电脉冲数量之间的关系可以看出,局部放

电信号的周期放电峰值较高,说明该放电现象与尖端毛刺放电、金属悬浮电位放电关系不大,很可能是导电微粒放电或者绝缘介质沿面放电。

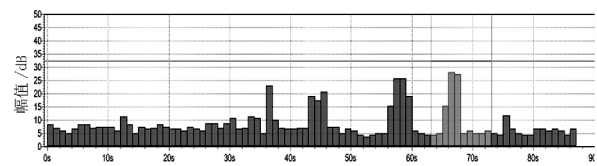


图1 超声波局部放电测试放电幅值的时域波形

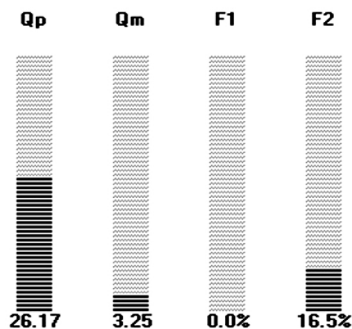


图2 超声波局部放电测试周期峰值、有效值、50 Hz工频相关性和100 Hz工频相关性

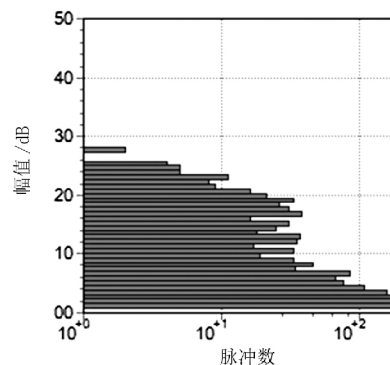


图3 超声波局部放电测试放电幅值与放电脉冲数量之间的关系

### 1.3 超高频检测数据分析

采用超高频法,将传感器放置在9022隔离柜后柜门下部的玻璃观察窗处。放电幅值的时域波形,放电脉冲的周期峰值、有效值、50 Hz工频相关性和100 Hz工频相关性,放电幅值与放电脉冲数量之间的关系分别如图4、图5及图6所示。

由超高频测试结果可得,由于在整个测试过程接近120 s时间范围内,大部分时间放电脉冲柱的幅值超过背景噪声14 dB,按照该仪器的使用判据,很可能有异常放电存在。由于该异常放电的50 Hz工频相关性很弱且100 Hz工频相关性较弱,说明其放电的周期重复性和相位相关性弱,同时周期放电

峰值较高,说明该放电现象与尖端毛刺放电、金属悬浮电位放电关系不大,很可能是导电微粒放电或者绝缘介质沿面放电。

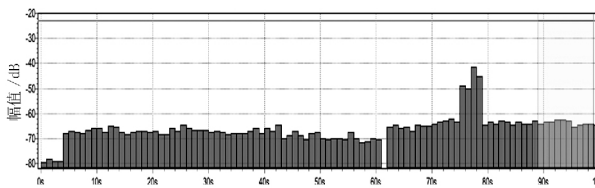


图4 超高频局部放电测试放电幅值的时域波形

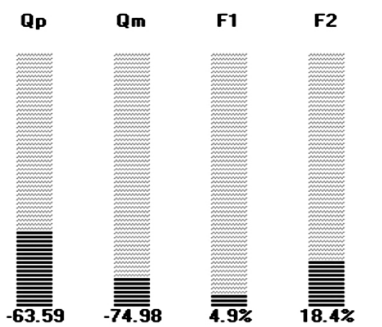


图5 超高频局部放电测试周期峰值、有效值、50 Hz工频相关性和100 Hz工频相关性

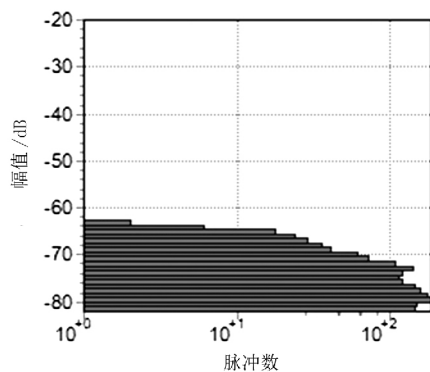


图6 超高频局部放电测试放电幅值与放电脉冲数量之间的关系

### 1.4 综合分析

通过声电联合检测的方法对高压开关柜的局部放电检测表明,902开关柜和9022隔离柜后柜门下部存在较为明显的放电现象,尤其是两面开关柜下部相接处,对应两面柜内的主母排的支持瓷瓶和三相穿柜套管。在关闭掉开关室内通风设施,降低外部噪声干扰后,在两面开关柜的后下柜门处,能听见较为微弱的“嘶嘶”放电声,尤其是两面开关柜下部相接处,初步判断放电声来自三相穿柜套管位置。透过开关柜后下部的观察窗,未看到两面开关柜后下部内有肉眼可分辨的杂质或微粒,柜内无凝露现象,母排搭接处

也无肉眼可分辨的过热痕迹。初步怀疑是三相穿柜套管内屏蔽不良或沿面爬电所致。

## 2 停电检查及整改

为查清缺陷原因,进一步采取停电检修、解体分析的方法。检查发现902开关柜和9022隔离柜间CT的A、B相穿柜套管的环氧树脂绝缘均有被铝质母排刮擦后留下的大量白色粉末,且对应刮擦处有浅浅的凹痕,如图7、图8及图9所示。



图7 902开关柜内存在环氧树脂粉末的穿柜套管



图8 902开关柜穿柜套管A相



图9 9022隔离柜穿柜套管A相

通过检查发现,由于 A、B 相母排对中不良,明显紧贴穿柜套管下部并且刮擦到 CT 的环氧树脂主绝缘,造成大量环氧树脂白色粉末出现。进一步测量可得,902 开关柜的三相母排对接地构架的距离,均仅为 125 mm,刚好满足国家电网公司十八项电网重大事故反措施的最低要求<sup>[15]</sup>。但是由于支撑母排的 A、B 相构架在厂内组装时与后柜门的距离存在偏差,造成 A、B 相母排未对中带 CT 的穿柜套管,偏离了套管中心,更靠近后柜门。同时,现场安装的 A、B 相母排更靠近带 CT 的穿柜套管下部,造成安装时母排与 CT 的环氧树脂主绝缘发生了刮擦。随着 902 开关和 9022 隔离开关分合闸时给母排带来的振动,以及带负荷运行时母排的热胀冷缩及电力作用,使得 CT 的环氧树脂主绝缘进一步被缓慢破坏,造成大量白色环氧树脂粉末出现。

由于带较大负荷运行时母排轻微振动,给紧挨的 CT 的环氧树脂主绝缘带来机械力的作用,会产生超声信号。同时,运行时 CT 的环氧树脂主绝缘表面浅浅的凹痕带来了局部电场集中,此处也会产生暂态低电压及超高频信号。

由于套管位置已无法改动,通过重新安装母排以调整母排位置,加装热缩护套的方式,避免母排与 CT 的环氧树脂主绝缘直接接触,同时擦拭清扫穿柜套管及 CT 内表面。投运后局放带电检测未发现异常。

### 3 结 语

在开关柜运行过程中,超高频、超声波和暂态地电压检测能够及时发现开关柜内部放电异常。通过声电联合局部放电测试方法对开关柜局部放电进行精确定位和测试分析,可以大大降低设备维护时间,提高维护效率。

同时,安装调试阶段应特别注意并综合考虑主变压器开关柜和主变压器隔离柜、母线分段柜和分段隔离柜间母排与穿柜套管间的对中以及母排对地的绝缘距离、多层母排间垫片加装等情况,保证开关柜无缺陷投运。

### 参考文献

- [1] 国网公司运维检修部. 电网设备带电检测技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 张国光. 电气设备带电检测技术及故障分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] 孔令明, 肖云东, 刘娟, 等. 开关柜局部放电带电检测定位技术的应用与研究 [J]. 山东电力技术, 2010(6): 5-8.
- [4] 章涛, 王俊波, 李国伟. 10 kV 开关柜局部放电检测技术研究及运用 [J]. 高压电器, 2012, 48(10): 100-104.
- [5] 魏振, 张强, 齐波, 等. 高压开关柜典型缺陷局部放电 TEV 特性的研究 [J]. 高压电器, 2014, 50(2): 60-67.
- [6] 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, 50(7): 106-110.
- [7] 陈庆祺, 张伟平. 开关柜局部放电暂态对地电压的分布特性研究 [J]. 高压电器, 2012, 48(10): 88-93.
- [8] 骆洁艺. 基于暂态对地电压和超声波测试 10 kV 开关柜绝缘状态评估技术的研究 [J]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [9] 徐焰. 开关柜局部放电暂态对地电压检测技术 [J]. 供用电, 2011, 28(1): 62-64.
- [10] 蒋远东, 刘显强, 梁庆龙, 等. 高压开关柜局放特性的研究与监测 [J]. 电气技术, 2013, 14(5): 58.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 吴吉, 吕鸿, 王流火, 等. 开关柜局部放电暂态地电波 (TEV) 传播特性的实验研究 [J]. 高压电器, 2014, 50(11): 115-121.
- [14] 陈俊, 古乐, 王波. 开关柜局部放电的 AE 和 TEV 联合检测系统的研究 [J]. 高压电器, 2016, 52(1): 124-128.
- [15] 国家电网有限公司. 十八项电网重大反事故措施(修订版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2018.

作者简介:

王嘉易(1987), 硕士、工程师, 从事断路器类设备状态评价及新技术研究工作。

(收稿日期: 2018-09-02)