

[封闭开关]

全绝缘金属封闭开关局部放电问题的分析与处理

文/苏太育
福建逢兴机电设备有限公司

针对电力系统中全绝缘金属封闭开关设备的局部放电问题进行分析 and 探讨。首先介绍了局部放电的原因及特点，包括悬浮电位放电和运行环境等因素对绝缘产生的影响。其次，探讨了局部放电对电力系统造成的经济损失，并提出了相应的处理方法，包括加强设备自身绝缘水平、改善设备运行环境、进行局部放电检测及停电检修等。通过研究，可以有效地解决全绝缘金属封闭开关局部放电问题，提高设备运行的稳定性和安全性。

随着我国科技的快速发展，越来越多的智能家电用于日常生活以改善人民的生活水平，这对各个生活小区的供电质量和供电安全性的要求越来越高。在电力系统中，全绝缘金属封闭开关设备得到广泛应用，其运行的稳定性和安全性对于电力系统的正常运行至关重要。在设备运行过程中，由于受到高温、电压电场、振动及其他化学作用等因素的影响，设备绝缘性能会逐渐降低，导致局部放电现象，进而导致系统绝缘性降低产生设备故障，最终导致系统损坏，造成较大的经济损失。因此，对全绝缘金属封闭开关局部放电问题进行分析和处理具有重要意义。

局部放电的原因和特点

1. 局部放电综述

在全绝缘金属封闭开关设备中，每一个部位的电场强度都有所不同，假如某一个区域的电场强度过大，达到或超过击穿场强，则会导致这片区域出现放电现象。在这个过程中，导体本身之间并没有放电，而是因外部电场强度过大导致放电，这被称为局部放电，它对绝缘介质中的电场分布和绝缘

电气物理性产生影响。通过研究发现，局部放电容易在高电场强度和低电气强度的情况下发生，虽然它不会贯通性击穿绝缘，但是持续性的放电最终会导致电介质的特性变差。由于发生局部放电不会立刻造成系统故障，而是使系统的导电介质特性慢慢变差后最终导致发生故障，是电气系统中的安全隐患。因此，利用局部放电与绝缘特性之间的关系，可以从局部放电的特点分析绝缘的损坏程度，也可以利用绝缘损坏程度来测量局部放电特性。

2. 局部放电原因

(1) 运行环境的影响

恶劣的运行环境（尤其是湿度过大）对开关柜内绝缘产生局部放电有着显著影响。相关试验结果显示，在不同的空气湿度下，局部放电程度不同，潮湿的空气会引起柜内部件表面产生凝露，导致该部件放电电压和闪络电压显著降低，放电明显增强。据统计，由潮湿导致的局部放电缺陷占63%。

(2) 开关柜绝缘系统设计不合理

开关柜绝缘系统设计不合理也会导致局部放电。例如，在设计开关柜时，采用不合理的空气净距，选用不合理的绝缘件或摆放位置，以及柜内整

基金项目：科技部科技助力经济2020重点专项（No. SQ2020YFF0403040）资助

体布局不合理等情况都可能导致局部放电。

(3) 开关柜安装、检修和维护不当

开关柜安装、检修和维护不当也是导致局部放电的原因之一。包括：① 紧固螺栓选择不当导致其尖端放电；② 导电件未处理完善，存在倒角或毛刺，导致尖端放电的可能性；③ 电缆安装位置不合理，直接与相间绝缘件有不良接触等。这些问题一方面破坏绝缘，另一方面随着绝缘件的老化而产生放电。

3. 局部放电特点

(1) 电晕放电

通常情况下，高压导体和周围气体会出现电晕放电现象，如在高压输电线路装置的周围出现了紫色的电晕放电现象，如图1所示。从图1中看出，电晕放电并不是连续分布在整個外围，而是呈现出不均匀电场，并产生持续性放电，且电极的形状、周围的气体密度或环境湿度发生变化时影响电晕放电。



图1 电晕放电

(2) 沿面放电

沿面放电是一种沿着固体介质表面发展的气体放电现象，通常发生在绝缘介质表面。沿面放电是一个渐变过程，逐步发展到整个极间产生沿面击穿，最后变成沿面闪络。由于沿面闪络的电压不仅远低于固体绝缘本身的击穿电压，而且比纯空气间隙的击穿电压低很多，因此，即使设计时预留了足够的绝缘特性，也会产生严重危害。几种典型的电力线沿面放电如图2所示。

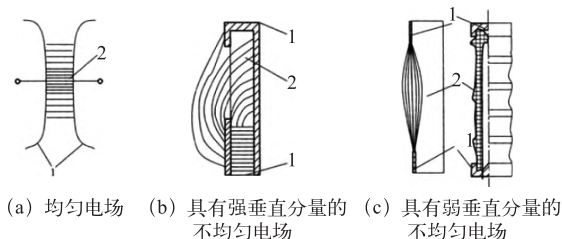


图2 典型沿面放电

1—电极 2—固体介质

(3) 内部放电

在绝缘介质的生产和加工过程中，由于材料和工艺等原因可能导致绝缘介质内部存在质量缺陷，如空气和其他杂质的掺杂等。如图3所示，在绝缘介质中产生了气泡。当这类绝缘介质在使用中受到高压作用时，存在缺陷的地方由于绝缘性能的变化就可能被电击穿，因此内部放电主要存在于固体绝缘介质的内部。内部放电主要受到气隙大小、缺陷情况和气体种类等因素影响。

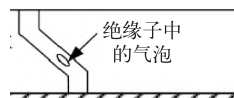


图3 绝缘介质缺陷

(4) 悬浮电位放电

电气设备内部高电位部件容易出现悬浮电位放电的现象。悬浮电位放电是指高压设备中位于高、低压电极之间的某一部件，因其所在的位置出现了阻抗比例，进而产生的分压放电，主要是由设计缺陷或某个接触不良导致的。悬浮电位放电对绝缘介质造成一定的损伤。

局部放电提升

在气体绝缘金属封闭开关设备中，局部放电的主要原因包括绝缘材料上的缺陷、开关内部电场分布不均和电介质的不均等。下面介绍一些改进方法及注意事项，防止局部放电的发生。

1. 加强防潮，改善运行环境

1) 在安装零部件之前，对绝缘件进行适当的清洗和烘干处理，避免安装后由于空气中的潮气导致放电现象。

2) 在开关箱体内安装空气干燥剂，有助于在密闭环境下控制和保持空气湿度。

3) 在充入绝缘气体或干燥剂之前，对开关箱体进行抽真空处理，然后充入氮气，将水分和空气挤压带出，保证箱体内充分干燥。在此过程中，定期对开关进行微水检测，确保干燥状态。

4) 及时清理电缆夹层内的存水，用阻燃材料封堵柜底孔洞，并杜绝电缆夹层进水。防止电缆夹层进入潮气，防止小动物进入高压室。

2. 加装或改造除湿设备

1) 在设备中加装防凝露装置，通过其冷端产生

低温，形成凝水面。当空气流过此处时，其中的水分冷凝在凝水面中，空气变得干燥，同时冷凝水通过排水孔或排水管排出设备外部，保证设备内部的干燥。

2) 在电缆室中加装加热器，可在阴雨天气时有效防止进出线电缆受潮。

3. 完善绝缘设计，提高设备的绝缘水平

1) 采取措施增大绝缘电气间隙。包括：①增大母线厚度，减小母线宽度，增大绝缘电气间隙，但不改变母线的通流能力；②采取抛光母线，加装绝缘性能较好的绝缘件；③尽可能采用知名品牌的内部绝缘件，减少内部气孔和绝缘件本身的放电。

2) 采用外形圆滑的互感器等，防止尖端放电。

3) 在设备连接和固定处采用电场均压环罩，优化电场，提高电场均匀程度，维持设备放电的稳定。

4) 在安装导电件时，要求导电件与安装面平整贴合，不存在安装间隙，避免间隙放电的风险。

4. 提高安装、检修工艺

1) 采用电场均化技术，将一次导电件进行圆弧形处理，增加倒角和去除毛刺，保证了导电件的表面不会有尖端预留。同时，关键紧固件需采用圆头的螺栓、螺母，不宜采用其他类型，以提高电场的均匀度，确保设备的稳定运行。

2) 定期清理设备内部杂物，避免细小金属物质等导致局部放电。同时，进行组装、接线和检修操作时应严格遵循标准化的工艺流程，避免人为因素导致的放电问题。

结束语

虽然多种因素综合作用导致开关柜绝缘故障，但较好地预防局部放电对供电系统的安全性非常重要。应采取各种措施提高开关柜自身的绝缘水平，使其在潮湿、凝露和污秽环境下安全运行。同时，应重视设备运行环境对其绝缘水平的影响，加强空气湿度、污秽环境和电场分布的改善和治理。通过这些措施的综合应用，减少设备的局部放电，保障电力设备的安全和稳定运行，为电力系统的正常运转提供保障。EA

(收稿日期：2023-06-16)

参考文献

- [1] 倪鹤立, 姚维强, 傅晨钊, 等. 电力设备局部放电技术标准现状述评[J]. 高压电器, 2022, 58(3): 1-15.
- [2] HAO Y, CHEN Y, HUANG T. A Partial discharge detection system for XLPE cable terminals and acoustic wave sensing characteristics based on fiber optic mach-zehnder interferometer [J]. IEEE Sensors Journal, 2021, 21(19): 21782-21790.
- [3] 和定繁. 浅谈交流金属封闭开关设备带电检测技术[J]. 电力设备管理, 2021(8): 217-219.
- [4] KHAN Q, REFAAT SS, ABU-RUB H, et, al. Partial discharge detection and diagnosis in gas insulated switchgear: state of the art [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2019, 35(4): 16-33.
- [5] LI Z, QIAN Y, WANG H, et, al. Partial discharge fault diagnosis based on zernike moment and improved bacterial foraging optimization algorithm [J]. Electric Power Systems Research, 2022, 207: 107854.
- [6] 刘财明. 气体绝缘开关设备局部放电带电检测综合应用[J]. 电气技术, 2020, 21(10): 117-122.
- [7] 刘玉春, 董雪生, 郎福成. 固体绝缘环网柜开关模块局部放电原因分析及解决方案[J]. 高压电器, 2018, 54(8): 246-251.
- [8] 李峰. 110 kV GIS交流耐压及局部放电试验和异常信号分析[J]. 机电信息, 2020(15): 5-8.
- [9] 吴湘黔, 曾伟, 李巍, 等. 高山高湿地区开关柜绝缘性能评估及故障隐患分析治理[J]. 电力大数据, 2018, 21(4): 30-36.
- [10] 牛博, 王雪莉, 李亚峰, 等. 一种用于局部放电典型模式诊断准确性评价的装置和方法[J]. 电子器件, 2022, 45(6): 1377-1383.
- [11] 唐波, 邱浩宇, 吴慧娟. 高压电缆接头局部放电声光联合检测系统设计与实现[J]. 电气应用, 2021, 40(5): 10-20.