

220kVGIS隔离开关对地放电故障案例分析

邢小暘

华电四川发电有限公司瓦屋山分公司 四川 成都 610041

摘要：本文聚焦于220kVGIS隔离开关对地放电故障展开案例分析。通过对某变电站实际故障案例的深入探究，详细阐述了故障发生时的现象、设备运行状况及环境因素等背景信息。结合现场勘查、试验检测等手段，精准定位故障点，剖析了绝缘性能下降、异物侵入等引发对地放电故障的原因。进一步探讨了故障对电网安全稳定运行的影响，并针对性提出了改进设备设计、加强运维管理等防范措施，为保障220kVGIS设备安全运行提供参考。

关键词：220kV；GIS隔离开关；放电故障案例

1 GIS设备与220kV隔离开关概述

在电力系统中，GIS（气体绝缘金属封闭开关设备）与220kV隔离开关是保障电网安全稳定运行的关键设备。GIS设备是一种将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等高压电器元件封闭在金属接地外壳中，以SF₆等气体作为绝缘和灭弧介质的先进开关设备。它具有结构紧凑、占地面积小、可靠性高、维护工作量小等优点，特别适用于城市中心、高海拔、污秽严重等环境恶劣的地区，能够有效提高电网的供电可靠性和安全性。220kV隔离开关则是用于在检修或维护时，将电气设备与带电部分可靠隔离的重要设备。它没有灭弧装置，不能切断负荷电流和短路电流，但能在电路中形成明显的断开点，确保检修人员的安全^[1]。220kV隔离开关通常采用户外敞开式结构，具备足够的绝缘强度和机械稳定性，能够承受恶劣的气候条件和运行环境。在实际应用中，GIS设备与220kV隔离开关常相互配合使用，共同构成完整的变电站电气主接线，为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

2 220kVGIS隔离开关对地放电故障案例分析

2.1 故障现象描述

某变电站220kVGIS设备在正常运行中，监控系统突然发出“220kVXX间隔隔离开关对地放电”报警信号。运维人员立即赶赴现场，发现该间隔GIS设备外壳有明显的放电痕迹，并伴有刺鼻的绝缘材料烧焦气味。同时现场监测设备显示该间隔的局部放电信号异常增大，超过预设的报警阈值。进一步检查发现，该隔离开关的绝缘子表面存在裂纹，且部分区域有明显的碳化现象，表明发生了严重的对地放电故障。

作者简介：邢小暘（1969.6-），男，大专，工程师，研究方向：水电厂生产技术管理。

2.2 故障检查与诊断过程

运维人员抵达故障现场后，首先对发生故障间隔的GIS设备展开全面外观检查。他们手持专业工具，目光专注地扫视着设备各个部件，不放过任何细微之处。重点观察绝缘子、导电杆、接地开关等关键部位，在仔细查看下，发现绝缘子表面存在明显裂纹，且部分区域有碳化痕迹，这初步表明绝缘子可能遭受了严重的电应力损伤。随后，运维人员使用局部放电测试仪对故障间隔进行检测。仪器屏幕上显示的数值异常波动，局部放电信号强度和频率均远远超过正常范围，这强烈暗示着设备内部存在局部放电故障。为进一步确认故障情况，运维人员对故障隔离开关进行绝缘电阻测试。测试结果显示，绝缘电阻值远低于正常值，这一结果进一步证实了绝缘故障的存在。最后，采集GIS设备内的SF₆气体样本进行成分分析，发现气体中水分和杂质含量严重超标，这极有可能是导致绝缘性能下降的重要原因之一。

2.3 故障原因分析

经分析，绝缘子表面裂纹及碳化现象是由于长期运行导致的绝缘老化，绝缘性能下降，无法承受正常运行电压，从而引发对地放电。SF₆气体质量不佳；SF₆气体中的水分和杂质可能加速了绝缘子的老化过程，降低了绝缘性能，增加了放电风险。安装或维护不当；在安装或维护过程中，若未严格按照规范操作，可能导致绝缘子受力不均或存在微小损伤，进而引发绝缘故障。

3 GIS隔离开关对地放电故障的仿真分析

3.1 有限元仿真模型的建立

在研究GIS（气体绝缘金属封闭开关设备）隔离开关对地放电故障时，建立精确的有限元仿真模型是关键步骤。首先，根据实际GIS设备的几何结构，包括隔离开关、绝缘子、外壳等部件，使用专业的三维建模软件（如SolidWorks、ANSYSDesignModeler等）构建

详细的几何模型。考虑到GIS内部复杂的电场分布和气体环境,模型需精确反映各部件的形状、尺寸及相对位置。随后,将几何模型导入有限元分析软件(如ANSYSMaxwell、COMSOLMultiphysics等),设置材料属性,包括绝缘子的绝缘材料、外壳的金属材料以及GIS内部填充的SF₆气体。特别地,绝缘材料的电导率、介电常数等参数需根据实际材料特性准确设定,以模拟真实工况下的电场分布^[2]。在网格划分阶段,采用自适应网格划分技术,对电场变化剧烈区域(如绝缘子表面、隔离开关触头等)进行局部加密,确保计算精度。同时设置边界条件,模拟GIS设备实际运行时的边界条件,如接地电位、气体压力等,确保仿真结果贴近实际情况。

3.2 仿真结果分析

3.2.1 不同异物位置对电场强度的影响

在GIS隔离开关对地放电故障中,异物(如金属微粒、绝缘破损等)的位置对电场强度有显著影响。通过仿真分析,当异物位于绝缘子表面或靠近导电部件时,电场强度显著增大,特别是在异物的尖端或边缘处,易形成局部电场集中,增加放电风险。仿真结果显示,异物位置越接近高压导体,电场强度增幅越大,放电可能性越高。仿真分析:电场集中区域:通过仿真云图,可直观识别电场强度异常高的区域,这些区域是潜在的放电起点。电场梯度:电场梯度大的区域表明电场变化剧烈,易引发放电。仿真显示,绝缘子边缘、导电杆与外壳间隙等部位电场梯度较大。

3.2.2 异物放电过程中的电场变化与能量释放

当仿真中引入“异物”(模拟实际运行中可能进入的杂质、金属碎屑等)时,随着异物靠近带电体(如外壳、导电杆)的距离变化,电场强度显著变化。初始阶段,电场分布均匀,随距离缩短,电场强度指数级上升,能量在电场集中区域累积,最终导致放电。仿真中,通过监测电场强度、能量释放速率等参数,可预测放电发生时刻及强度。

3.2.3 仿真结果与故障现象的对比分析

将仿真结果与实际故障现象对比,可验证模型有效性并深入理解故障机理。(1)电场强度对比:仿真中高电场强度区域与实际放电痕迹位置一致,验证了模型准确性。(2)能量释放分析:仿真中能量释放点与实际放电点重合,表明仿真能反映实际放电过程。(3)改进建议:基于仿真结果,可针对性优化GIS设备设计,如优化绝缘子结构、改进材料选择等,提升设备抗放电能力。

4 220kVGIS隔离开关对地放电故障防范措施

4.1 加强设备制造与装配过程中的质量控制

在220kVGIS隔离开关的制造过程中,原材料的质量是决定设备可靠性的基础。首先,绝缘材料(如环氧树脂、硅橡胶等)需具备优异的电气性能、机械性能和耐老化性能。制造商应建立严格的原材料供应商评估体系,选择具有良好信誉和质量保证能力的供应商^[3]。同时对每批次的原材料进行严格的入厂检验,包括外观检查、电气性能测试(如介电强度、体积电阻率等)、机械性能测试(如拉伸强度、弯曲强度等)以及耐老化性能测试(如热老化试验、紫外老化试验等),确保原材料质量符合设计要求。制造工艺的优劣直接影响GIS隔离开关的质量。制造商应采用先进的制造工艺和设备,如自动化生产线、精密加工设备等,提高零部件的加工精度和一致性。在装配过程中,要严格按照工艺文件进行操作,确保各零部件的安装位置准确、连接牢固。同时加强对装配过程的监控和检验,采用先进的检测技术(如X射线检测、超声波检测等)对关键部位进行无损检测,及时发现并消除潜在的缺陷。出厂试验是检验GIS隔离开关质量的重要环节。制造商应按照相关标准和规范,对每台设备进行全面的出厂试验,包括机械特性试验、电气性能试验、密封性能试验等。在电气性能试验中,要重点检测设备的绝缘性能,如局部放电试验、耐压试验等,确保设备在额定电压下能够安全可靠运行。同时,建立完善的试验数据记录和分析系统,对试验数据进行深入分析,及时发现并解决潜在的质量问题。

4.2 提高检修过程的洁净度控制与异物检测手段

4.2.1 制定严格的检修规程

检修规程是保证GIS隔离开关检修质量的重要依据。电力企业应制定详细的检修规程,明确检修项目、检修工艺、检修周期、检修标准等内容。在检修过程中,要严格按照检修规程进行操作,确保检修工作有序进行。同时,要加强对检修人员的培训和管理,提高检修人员的业务水平和责任意识,确保检修工作质量。

4.2.2 加强洁净度控制

GIS设备内部对洁净度要求极高,微小的异物(如金属颗粒、灰尘、纤维等)都可能导致设备绝缘性能下降,引发对地放电故障。因此,在检修过程中,要加强对洁净度的控制。检修现场应设置专门的洁净区域,采用空气净化设备对检修环境进行净化,确保空气中的尘埃粒子数符合要求。检修人员要穿戴专用的洁净工作服、鞋套、手套等,防止人体毛发、皮屑等异物进入设备内部。同时对检修工具和零部件要进行严格的清洁处理,确保无杂质残留。

4.2.3 引入先进的异物检测手段

传统的异物检测方法主要依靠目视检查和简单的工具检测，存在检测精度低、效率低等问题。为了提高异物检测的准确性和效率，电力企业应引入先进的异物检测手段，如内窥镜检测、超声波检测、X射线检测等。内窥镜检测可以直观地观察设备内部的异物情况，超声波检测可以检测设备内部的微小缺陷和异物，X射线检测可以对设备进行全方位的透视检测，发现隐藏的异物和缺陷。通过多种检测手段的综合应用，可以有效地提高异物检测的准确性和效率，及时发现并消除设备内部的异物隐患。

4.3 优化GIS设备的设计与结构，提高电场均匀性

绝缘结构是GIS设备的关键部分，其设计合理性直接影响设备的绝缘性能。设计师应根据设备的电压等级、运行环境等因素，合理设计绝缘结构，确保绝缘距离和绝缘强度满足要求。同时要采用先进的绝缘材料和绝缘工艺，提高绝缘性能和可靠性。例如，采用高介电常数的绝缘材料可以增加绝缘厚度，提高绝缘强度；采用多层次绝缘结构可以提高绝缘的耐电晕性能和耐局部放电性能。电极形状对电场分布有重要影响。设计师应根据电场分布规律，优化电极形状，使电场分布更加均匀。例如，采用圆角电极可以减少电场集中，降低局部放电发生的可能性；采用均压环可以改善电极表面的电场分布，提高电极的耐压水平。为了实时监测GIS设备内部的电场分布情况，及时发现电场异常，电力企业应在设备内部增加电场监测装置。电场监测装置可以实时测量设备内部的电场强度，并将数据传输到监控系统。当电场强度超过设定值时，监控系统会发出报警信号，提醒运维人员及时采取措施。通过电场监测装置的应用，可以实现对设备电场分布的实时监测和预警，提高设备的安全性和可靠性。

4.4 加强操作人员的培训与故障应急处理能力

操作人员是GIS隔离开关的运行维护者，其业务水平和责任意识直接影响设备的安全运行。电力企业应定期开展专业培训，提高操作人员的业务水平和操作技能。

培训内容应包括GIS设备的结构原理、运行维护知识、故障处理方法等。同时要加强对操作人员的安全教育，提高操作人员的安全意识和责任意识，确保操作人员能够严格按照操作规程进行操作^[4]。为了及时有效地处理GIS隔离开关的故障，电力企业应建立完善的故障应急处理机制。首先，要制定详细的故障应急预案，明确故障处理的流程、责任分工、应急物资储备等内容。其次，要组建专业的故障应急处理队伍，定期进行应急演练，提高应急处理能力。当设备发生故障时，能够迅速响应，及时采取措施，防止故障扩大，减少损失。电力企业应加强与其他单位的经验交流与分享，学习借鉴先进的运行维护经验和技术。通过参加行业会议、技术交流活动等方式，了解行业的最新动态和发展趋势，引进先进的技术和设备，提高自身的运行维护水平。同时要建立内部的经验分享机制，鼓励操作人员分享自己的运行维护经验和故障处理方法，促进共同提高。

结束语

本次220kVGIS隔离开关对地放电故障案例分析，让我们深刻认识到此类故障对电网安全运行的潜在威胁。通过深入剖析故障原因，不仅积累宝贵的经验，也为后续设备的设计、制造、运维提供重要的参考依据。未来，将继续加强技术研究与创新，完善故障预警与应急处理机制，不断提升电网设备的可靠性和安全性，为保障电力供应的稳定与安全贡献力量。

参考文献

- [1] 陈莉,张瑞明,马莉.一起220kV隔离开关操动机构故障分析[J].电气技术,2022,23(05):101-104.
- [2] 冉梦东,孟天东.一起220kVGIS隔离开关合闸不到位故障案例分析[J].农村电气化,2021(06):33-35. DOI:10.13882/j.cnki.ncdqh.2021.06.010.
- [3] 林家俊.220kV出线断路器、隔离开关故障及处理措施[J].技术与市场,2020,27(09):116+118.
- [4] 李德,郭海.GIS设备局部放电故障多维度诊断方法研究[J].科技创新与应用, 2021, 17 (11) : 136-137.