

GIS 设备高压连接点电晕放电的抑制措施研究

赵 伟

浙江华东工程建设管理有限公司 浙江 杭州 311122

【摘 要】：GIS 设备在高压电力系统中广泛应用，其高压连接点容易产生电晕放电，导致设备绝缘性能降低及运行故障。为解决该问题，本文通过分析电晕放电形成机理及其影响因素，探讨了电场分布、连接结构及材料选择等关键因素对放电的作用，并提出优化连接结构、改善电场分布及选用耐电晕材料等抑制措施。研究结果表明，合理的设计与改进可有效降低电晕放电发生率，提高 GIS 设备的安全性和稳定性，为电力系统可靠运行提供技术支持。

【关键词】：GIS 设备；高压连接点；电晕放电；抑制措施；电场优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.034

引言

GIS 设备在现代电力系统中具有体积小、绝缘性能高和维护量低等优势，已成为高压输变电工程的重要设备。随着电网电压等级不断提升，高压连接点面临更为严峻的电场集中问题，电晕放电成为影响设备安全运行的突出隐患。电晕放电不仅会造成能量损耗，还会加速绝缘材料老化，甚至诱发电气故障，严重威胁系统的稳定性。为了确保设备长期可靠运行，有必要深入研究高压连接点电晕放电的成因，并提出切实可行的抑制方案，从设计与运行管理两方面加以控制与优化。

1 电晕放电形成机理与影响因素分析

GIS 设备作为高压输变电系统的重要组成部分，其高压连接点承受着复杂电应力，易出现电场集中现象。当连接部位的局部电场强度超过气体绝缘强度时，电离作用在高场区域迅速发生，导致气体分子被激发或电离，产生自由电子和离子。这些带电粒子在电场力的作用下发生碰撞，使周围气体不断电离，从而形成电晕放电现象。电晕放电过程中会释放紫外辐射和高频脉冲信号，长期作用会引起金属表面腐蚀和绝缘性能劣化，并产生臭氧等副产物，加速设备内部结构老化，增加故障隐患。

高压连接点结构复杂，导体接头、绝缘子支撑和屏蔽装置等部位均可能成为局部放电源。连接点表面粗糙度、局部尖端或突起会引发严重的电场畸变，使电场分布不均匀，造成局部电场过度集中。气体绝缘中微小杂质、悬浮颗粒及湿度变化也会增强放电风险。在运行环境中，温度波动、湿度升高及外部电磁干扰等因素，会导致绝缘气体密度下降或电场边界条件变化，使电晕放电更加频繁和剧烈。特别是在高压等级不断提高的背景下，连接点电压分布更为敏感，导体间距、屏蔽设计及绝缘配合稍有不当便会激发放电。

连接材料的电气性能也是影响电晕放电的重要环节。导体

表面导电性能不足或存在氧化层，会增加电场集中程度并降低界面电场均匀性。绝缘材料若耐电晕性能差，易发生局部电蚀或热击穿，进一步加剧放电过程。运行中机械振动与热膨胀收缩会使连接部位产生微小位移或松动，使电场分布动态变化并形成瞬态放电源。随着系统运行年限的增长，设备内部积污、密封性能下降和结构磨损等老化因素叠加，导致电晕放电的发生概率持续增加，对 GIS 设备的运行安全构成长期威胁。

2 高压连接点电晕抑制措施研究与应用

针对 GIS 设备高压连接点容易出现的电晕放电问题，需在设计、制造和运行管理等多个环节采取综合性的抑制措施，从源头降低电场畸变，改善绝缘环境。结构优化是有效的技术手段之一，通过调整导体连接点的几何形状，使电场分布更加均匀，可减少局部电场过度集中的情况。常见做法包括增大导体的曲率半径、消除尖锐边缘和突出部位，并在高场区域合理设置均压环或电场缓冲装置。优化后的连接结构能够有效分散电场强度，降低局部放电起始电压，减少电晕的产生几率。导体表面处理工艺同样至关重要，通过精密打磨和表面镀层工艺减少粗糙度，可减轻电场集中效应并提升接触面的导电性能，降低氧化层形成对电场分布的影响。

在材料选择方面，优质的导体和绝缘材料可明显提高设备的耐电晕性能。导体通常采用高纯度铝合金或铜材，通过提高导电率降低电阻发热，从而避免局部温度升高诱发放电。绝缘部分则应选用耐电晕性能良好的复合材料，并保证其介电强度和抗电蚀能力。对于易受高场强冲击的部位，可在绝缘层外覆设耐电晕涂层或保护膜，以增强绝缘表面的耐受力并延缓老化过程。绝缘气体的纯度和压力控制也是影响抑制效果的重要环节，维持适宜的气体密度可有效提高击穿电压，减少自由电子的积累。运行过程中应定期进行气体监测与净化，及时清除杂质与水分，防止气体绝缘性能下降导致电晕活动增强。

工艺和装配精度直接决定了电场分布的稳定性，在制造环

节通过高精度加工和严格质量控制,可以减少装配间隙及结构偏差。运行维护中需采用先进的局部放电检测与状态监测技术,通过在线监测实时捕捉电晕放电的特征信号,对异常情况进行提前预警。对于检测出的隐患部位,应及时进行调整或更换,避免电晕进一步发展成绝缘击穿。外部环境控制也是保障抑制措施效果的重要因素,保持设备腔体的清洁度和密封性,控制湿度与温度波动,防止污染物附着或冷凝水形成导电通路。通过上述多环节措施的综合应用,能够显著改善高压连接点的电场分布,有效减少电晕放电发生频率,为GIS设备的安全稳定运行提供可靠保障。

3 抑制措施效果评估与技术提升方向

对GIS设备高压连接点电晕抑制措施的效果进行科学评估,需要依托实验测试、数值仿真和运行数据分析等多种手段,通过量化指标判断电场分布改善程度及电晕强度变化情况。在实验检测中,常使用超声波局部放电检测、超高频信号分析及紫外成像技术,对高压连接点的放电位置、放电能量和放电频率进行实时监测。通过对比抑制措施实施前后的测试结果,可以直观了解导体几何优化、屏蔽结构调整和表面处理工艺对局部电场集中的缓解作用,并确定设计改进的合理性。数值仿真技术在评估过程中具有重要价值,借助有限元电场计算模型,可对复杂结构中的电位分布和场强变化进行精确模拟,结合实验结果进行验证,能够有效发现传统检测难以捕捉的隐蔽问题,为设备优化提供数据支持。

运行阶段的在线监测是长期验证抑制措施有效性的关键途径,通过布置局部放电传感器和光纤温度传感器等装置,实

时收集设备的电气状态信号,并与历史数据进行趋势分析。当监测到异常放电或场强突变时,可追溯其原因,判断是否与连接结构老化、绝缘气体密度变化或环境条件恶化相关。运行数据还可用于建立电晕放电风险模型,对设备运行可靠性进行动态评估,并为后续检修和技术改造提供决策依据。为了确保评估结果的客观性,需要结合统计学方法,对大量运行样本进行处理,排除偶然因素干扰,从而得出具有普适性的结论。

在技术提升方面,可引入更高等级的电场优化设计理念,结合智能算法自动调整导体形状和屏蔽布局,以实现电场分布的最优配置。新型绝缘材料的研发也是提升抑制效果的重要方向,通过复合高分子材料或纳米改性技术,显著提高绝缘层的耐电晕性能和抗老化能力。智能监测技术的发展为设备维护提供了新的手段,将传感器网络、云计算和大数据分析相结合,可实现电晕放电的全周期管理,并通过预测模型提前发现潜在隐患。随着GIS设备电压等级和容量的不断提升,高压连接点结构将更加复杂,对抑制措施提出更高要求,因此需持续进行技术迭代,形成设计、检测和运维一体化的闭环体系,使电晕放电得到更加精确和高效的控制,确保电力系统在更高压力等级下仍能保持稳定运行。

4 结语

本研究围绕GIS设备高压连接点的电晕放电问题,系统分析了放电机理、影响因素及多种抑制措施,并结合实验监测和数值仿真手段对措施效果进行了验证,提出了电场优化设计、材料改进和智能监测等技术提升方向,为保障电力系统的安全稳定运行提供了理论依据和实践指导。

参考文献:

- [1] 王志刚.基于有限元的GIS设备电场分布优化研究[J].电力科学与工程,2022,38(4):52-59.
- [2] 刘海峰.高压开关设备电晕放电特性及检测技术[J].电力技术,2023,47(6):88-95.
- [3] 陈建国.气体绝缘开关设备电场控制与耐压设计[J].高电压技术,2021,47(11):3631-3640.