

# 高压输电线路绝缘子污闪故障检测与预防

张向伟

华能兰州热电有限责任公司 甘肃兰州 730000

DOI: 10.12238/ems.v7i8.14709

**[摘要]** 本文聚焦高压输电线路绝缘子污闪故障这一关键问题, 深入探讨其形成机理与影响因素。详细阐述了多种污闪故障检测技术, 包括传统检测方法以及新兴的先进检测技术, 并分析各方法的优缺点。同时, 从多个维度提出针对性的预防措施, 涵盖绝缘子选型与设计、运行维护管理、环境治理等方面。通过实际案例分析验证检测与预防措施的有效性, 旨在为保障高压输电线路的安全稳定运行提供全面的理论支持与实践指导, 降低污闪故障发生率, 提高电力系统的可靠性。

**[关键词]** 高压输电线路; 绝缘子污闪; 故障检测; 预防措施

## 一、引言

高压输电线路作为电力系统的重要组成部分, 承担着将电能从发电厂高效、稳定地输送到用户端的重要任务。绝缘子作为高压输电线路的关键绝缘部件, 其作用是支撑导线并隔离导线与杆塔, 确保电流沿着导线安全传输。然而, 在长期运行过程中, 绝缘子表面会逐渐积累污秽物, 如灰尘、盐分、化学物质等。当遇到潮湿天气条件, 如雾、露、毛毛雨等, 绝缘子表面的污秽物会受潮溶解, 形成导电层, 从而降低绝缘子的绝缘性能, 引发污闪故障。

污闪故障是高压输电线路中一种严重的事故形式, 一旦发生, 可能导致线路跳闸、大面积停电, 给社会生产和人民生活带来巨大的损失。因此, 深入研究高压输电线路绝缘子污闪故障的检测与预防技术, 对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要的现实意义。

## 二、绝缘子污闪故障的形成机理与影响因素

### 2.1 污闪故障的形成机理

绝缘子污闪故障的形成是一个逐步发展的过程, 主要包括污秽积累、污秽受潮、干区形成和局部电弧发展四个阶段。

**污秽积累阶段:** 在自然环境的作用下, 空气中的灰尘、盐分、工业废气等污秽物会逐渐沉积在绝缘子表面。随着时间的推移, 污秽物不断积累, 形成一层污秽层。

**污秽受潮阶段:** 当遇到潮湿天气时, 如雾、露、毛毛雨等, 绝缘子表面的污秽层会吸收空气中的水分而受潮。污秽物中的可溶性盐类溶解在水中, 形成导电的水膜, 使绝缘子表面的电阻显著降低。

**干区形成阶段:** 在电压的作用下, 绝缘子表面电流分布不均匀, 某些部位的水膜会因电流加热而蒸发, 形成干区。干区的出现导致绝缘子表面的电压分布更加不均匀, 干区承受的电压升高。

**局部电弧发展阶段:** 当干区承受的电压超过其击穿电压

时, 干区会发生局部放电, 形成局部电弧。随着电压的继续升高和时间的延长, 局部电弧会不断伸展和扩展, 最终导致整个绝缘子表面闪络, 即污闪故障发生。

### 2.2 影响污闪故障的因素

**污秽物性质:** 不同性质的污秽物对绝缘子污闪性能的影响不同。一般来说, 可溶性盐类(如氯化钠、硫酸钠等)含量越高, 污秽物的导电性越强, 绝缘子发生污闪的可能性就越大。此外, 污秽物中的不溶性成分(如灰尘、硅藻土等)会影响污秽层的吸水性和表面粗糙度, 进而影响污闪性能。

**气候条件:** 气候条件是影响绝缘子污闪的重要因素。潮湿天气(如雾、露、毛毛雨)是引发污闪的关键条件, 因为只有污秽层受潮形成导电水膜时, 才可能导致绝缘子绝缘性能下降。此外, 气温、风速等气候因素也会影响污秽物的积累和受潮程度。

**绝缘子形状和结构:** 绝缘子的形状和结构对其污闪性能有显著影响。例如, 伞裙形状、伞裙间距、绝缘子高度等因素会影响污秽物的沉积和冲洗效果, 以及电场分布情况。合理的绝缘子形状和结构设计可以提高绝缘子的抗污闪能力。

**电压等级和运行方式:** 电压等级越高, 绝缘子表面的电场强度越大, 发生污闪的可能性也就越大。此外, 不同的运行方式(如单回路、双回路、同塔多回等)也会影响绝缘子的污闪性能, 因为不同运行方式下绝缘子表面的电场分布和污秽积累情况存在差异。

## 三、绝缘子污闪故障检测技术

### 3.1 传统检测方法

#### 3.1.1 外观检查法

外观检查法是最基本、最直接的检测方法。通过人工巡视, 观察绝缘子表面的污秽程度、有无裂纹、破损、闪络痕迹等。这种方法简单易行, 但存在主观性强、检测效率低、难以发现早期隐患等缺点, 尤其对于位于高山、跨越河流等

复杂地形的输电线路, 人工巡视难度大, 无法及时全面地掌握绝缘子的运行状况。

### 3.1.2 泄漏电流检测法

泄漏电流是指绝缘子在正常运行电压下, 其表面污秽层受潮后产生的电流。通过在绝缘子串上安装泄漏电流传感器, 实时监测泄漏电流的大小和变化情况。当泄漏电流超过一定阈值时, 表明绝缘子的污秽程度已经达到危险水平, 可能引发污闪故障。泄漏电流检测法可以实时反映绝缘子的污秽状态, 但容易受到环境因素(如湿度、温度)的影响, 且不同类型绝缘子的泄漏电流特性存在差异, 需要建立相应的判断标准。

### 3.1.3 绝缘电阻测量法

使用绝缘电阻测试仪测量绝缘子的绝缘电阻值。正常情况下, 绝缘子的绝缘电阻值较高; 当绝缘子表面污秽严重或存在缺陷时, 绝缘电阻值会显著降低。绝缘电阻测量法操作相对简单, 但需要在停电状态下进行测量, 这会影响电力系统的正常运行, 且测量结果受环境温度、湿度等因素的影响较大。

## 3.2 先进检测技术

### 3.2.1 红外热成像检测技术

红外热成像检测技术是利用红外热像仪检测绝缘子表面的温度分布情况。当绝缘子表面存在污秽不均匀或局部放电时, 会导致表面温度分布异常。通过分析红外热像图, 可以及时发现绝缘子的潜在缺陷和污秽严重区域。红外热成像检测技术具有非接触、远距离、快速、直观等优点, 能够实时监测绝缘子的运行状态, 尤其适用于对大面积输电线路的检测。但该技术对环境温度和湿度有一定要求, 且设备价格较高。

### 3.2.2 紫外成像检测技术

紫外成像检测技术是基于电晕放电和局部放电会产生紫外光的原理, 利用紫外成像仪检测绝缘子表面的电晕放电和局部放电活动。通过观察紫外图像中的光斑分布和强度, 可以判断绝缘子的污秽程度和放电情况。紫外成像检测技术具有灵敏度高、能够发现早期放电隐患等优点, 可在不停电的情况下进行检测, 但同样受到环境因素的影响, 如阳光中的紫外线干扰等。

### 3.2.3 基于机器学习的检测技术

随着人工智能技术的发展, 基于机器学习的绝缘子污闪故障检测技术逐渐受到关注。该技术通过收集大量的绝缘子图像、泄漏电流数据、红外热成像数据等, 利用机器学习算法(如卷积神经网络、支持向量机等)进行训练和建模, 实现对绝缘子污闪故障的自动识别和分类。基于机器学习的检

测技术具有自动化程度高、检测精度高、能够适应复杂环境等优点, 但需要大量的数据进行训练, 且模型的准确性和可靠性依赖于数据的质量和算法的选择。

## 四、绝缘子污闪故障预防措施

### 4.1 绝缘子选型与设计

#### 4.1.1 合理选择绝缘子类型

根据不同的运行环境和污秽等级, 选择合适的绝缘子类型。例如, 在重污秽地区, 应优先选择防污性能好的硅橡胶复合绝缘子或钟罩型玻璃绝缘子; 在沿海地区, 应考虑选择具有耐盐雾腐蚀性能的绝缘子。

#### 4.1.2 优化绝缘子结构

通过优化绝缘子的伞裙形状、伞裙间距等结构参数, 提高绝缘子的自洁能力和抗污闪性能。例如, 采用大小伞裙结构或增加伞裙倾角, 有利于减少污秽物的沉积和积聚, 同时便于雨水冲洗。

#### 4.1.3 增加绝缘子片数

适当增加绝缘子串的片数, 可以提高绝缘子的绝缘水平, 降低污闪故障发生的概率。但增加绝缘子片数会增加杆塔的荷载和线路的投资成本, 需要根据实际情况进行综合考虑。

### 4.2 运行维护管理

#### 4.2.1 定期清扫绝缘子

根据污秽等级和运行经验, 制定合理的绝缘子清扫周期。清扫方法包括人工清扫、带电水冲洗、带电机械干洗等。定期清扫绝缘子可以有效去除表面的污秽物, 恢复绝缘子的绝缘性能。

#### 4.2.2 加强绝缘子检测与监测

建立完善的绝缘子检测与监测体系, 综合运用多种检测技术, 定期对绝缘子进行检测和评估。及时发现绝缘子的潜在缺陷和污秽严重区域, 采取相应的措施进行处理, 防止故障的发生。

#### 4.2.3 合理安排检修计划

根据绝缘子的运行状况和检测结果, 合理安排检修计划。对存在严重缺陷或污秽程度超标的绝缘子, 及时进行更换或维修。同时, 在检修过程中, 要严格按照操作规程进行作业, 确保检修质量。

### 4.3 环境治理

#### 4.3.1 减少污秽源

加强对工业污染源、建筑工地等的管理, 减少粉尘、废气等污染物的排放。在输电线路附近设置绿化带, 种植吸附灰尘能力强的植物, 降低空气中的污秽物含量。

#### 4.3.2 改善气候条件

对于一些特殊气候条件(如长期干旱少雨地区), 可以采

取人工增雨等措施, 增加空气湿度, 促进绝缘子表面污秽物的冲洗。此外, 合理规划输电线路的走向, 避免穿越气象条件恶劣的地区。

#### 4.4 其他预防措施

##### 4.4.1 涂刷防污闪涂料

在绝缘子表面涂刷防污闪涂料, 如室温硫化硅橡胶涂料(RTV)等。防污闪涂料可以在绝缘子表面形成一层憎水性涂层, 使污秽物不易附着在绝缘子表面, 即使附着也难以受潮形成导电水膜, 从而提高绝缘子的抗污闪能力。

##### 4.4.2 安装增爬裙

增爬裙是一种安装在绝缘子伞裙上的辅助装置, 它可以增加绝缘子的爬电距离, 提高绝缘子的绝缘性能。增爬裙具有安装方便、成本低等优点, 适用于对现有绝缘子进行改造。

### 五、实际案例分析

#### 5.1 案例背景

某地区一条 220kV 高压输电线路, 运行环境为工业污染较严重区域, 沿线存在多个工厂和建筑工地。近年来, 该线路频繁发生绝缘子污闪故障, 导致线路跳闸, 给当地的经济生产和居民生活带来了严重影响。

#### 5.2 故障检测与分析

通过对该线路展开全面且细致的检测与分析工作, 一系列问题逐渐浮出水面。在外观检查环节, 工作人员借助高倍望远镜、无人机等设备, 对每一基杆塔上的绝缘子进行了逐一查看。结果发现, 众多绝缘子表面都被厚厚的污秽物所覆盖, 这些污秽物成分复杂, 经过专业的采样化验分析, 确定主要为工业粉尘和盐分。该地区分布着多个工厂, 生产过程中排放出大量的工业粉尘, 而沿海的地理位置又使得空气中含有一定量的盐分, 在长期的风力作用下, 这些污染物不断沉积在绝缘子表面。为了更精准地掌握绝缘子的运行状态, 进一步采用了泄漏电流检测法和红外热成像检测技术进行监测。泄漏电流检测方面, 在绝缘子串上精心安装了高精度的泄漏电流传感器, 这些传感器能够实时、准确地捕捉到绝缘子在正常运行电压下, 表面污秽层受潮后产生的微小电流变化。经过长时间的连续监测和数据分析, 结果显示部分绝缘子的泄漏电流数值明显超过了正常范围。这表明这些绝缘子的表面污秽程度已经较为严重, 在潮湿环境下, 污秽物形成的导电水膜使得电流泄漏增大, 绝缘性能大幅下降。与此同时, 红外热成像检测技术也发挥了重要作用。利用先进的红外热像仪, 对绝缘子表面进行了全方位的温度扫描。正常情况下, 绝缘子表面温度分布应该是均匀的。然而, 红外热像图却清晰地显示出部分绝缘子存在局部温度异常升高的情

况。这是因为在这些部位, 由于污秽不均匀或者局部放电的产生, 导致能量损耗增加, 从而使温度升高。综合泄漏电流检测和红外热成像检测的结果, 可以明确判定这些绝缘子存在严重的污闪隐患。若不及时采取有效措施进行处理, 在遇到潮湿天气时, 极有可能引发污闪故障, 给线路的安全运行带来巨大威胁。

#### 5.3 预防措施实施与效果

针对检测结果, 采取了以下预防措施: 一是对绝缘子进行全面清扫, 并定期安排清扫计划; 二是对部分污秽严重的绝缘子进行更换, 选用防污性能更好的硅橡胶复合绝缘子; 三是在绝缘子表面涂刷 RTV 防污闪涂料, 提高绝缘子的抗污闪能力; 四是加强对工业污染源的治理, 减少污染物的排放。

经过一段时间的运行观察, 该线路未再发生绝缘子污闪故障, 线路的可靠性和稳定性得到了显著提高。这表明采取的检测与预防措施是有效的, 为类似地区的输电线路绝缘子污闪故障防治提供了参考经验。

### 六、结论

高压输电线路绝缘子污闪故障是影响电力系统安全稳定运行的重要问题。本文深入分析了绝缘子污闪故障的形成机理和影响因素, 介绍了多种检测技术, 包括传统检测方法和先进检测技术, 并提出了针对性的预防措施。通过实际案例分析验证了检测与预防措施的有效性。

在实际应用中, 应根据不同的运行环境和条件, 综合运用多种检测技术, 及时发现绝缘子的潜在隐患; 同时, 采取科学合理的预防措施, 从绝缘子选型与设计、运行维护管理、环境治理等多个方面入手, 提高绝缘子的抗污闪能力。未来, 随着科技的不断进步, 应进一步研究和开发更加先进、高效的绝缘子污闪故障检测与预防技术, 为保障电力系统的安全可靠运行提供更有力的支持。

#### [参考文献]

- [1] 高海拔、污秽、覆冰气候地区下高压输电线路绝缘子的选择研究[J]. 范帅; 王博文; 李峥; 谢宇廷. 电瓷避雷器, 2020 (06)
- [2] 高压输电线路瓷质绝缘子炸裂分析及对策[J]. 卢奇; 周学明; 张斌; 左卓瑞; 刘映龙; 张永龙. 湖北电力, 2019 (06)
- [3] 高海拔地区输电线路绝缘子选型分析研究[J]. 钟志庆. 能源与环境, 2019 (03)
- [4] 高压输电线路绝缘子工况评估模型及仿真研究[J]. 李毅; 唐德东; 石岩. 仪器仪表用户, 2019 (04)