

# 架空输电线路雷击故障成因与防雷改造技术研究

作者：史瑞兵

身份证号：530302199712201518

**摘要：**架空输电线路长期露天布设，覆盖范围广、运行环境复杂，是电力系统中雷击故障的高发载体。雷电引发的线路闪络、跳闸、绝缘子击穿等故障，是造成输电线路停运、区域供电中断的核心自然灾害诱因，直接威胁电网安全稳定运行。为有效降低雷击故障发生率，提升输电线路耐雷水平，本文结合架空线路运行实际，系统梳理雷击故障的主要类型，深入剖析故障内在成因，总结当前传统防雷设施与运维模式存在的短板问题。结合电力行业最新防雷技术成果，探究科学可行的防雷改造关键技术及实施策略，旨在提升架空输电线路防雷抗灾能力，减少雷击停运事故，为输电线路防雷运维与升级改造提供实践参考。

**关键词：**架空输电线路；雷击故障；故障成因；防雷改造；线路防护技术

## 一、引言

在电力系统架构中，架空输电线路承担着电能远距离输送的核心职能，线路大多穿越旷野、山地、丘陵等复杂区域，无遮挡防护，极易遭受雷电侵袭。随着电网规模持续扩张，线路覆盖区域不断延伸，雷雨天气引发的雷击故障频次逐年增加，成为制约电网供电可靠性提升的关键因素。

传统架空线路防雷方式多以避雷线、接地装置为主，防护模式较为单一，面对极端强雷暴天气与复杂地形条件，防护效果有限，难以彻底规避雷击跳闸与设备损坏问题。雷击是造成交流输电线路故障和停电事故的主要原因，开展线路防雷技术与改造升级，对降低电网运行风险、保障电力持续稳定供应具有重要工程价值。

## 二、架空输电线路典型雷击故障类型

### （一）雷电反击故障

雷电反击故障多发生于杆塔、避雷线遭受直击雷后，杆塔接地电阻偏大时，雷电流无法快速泄放，造成杆塔电位急剧升高。杆塔与导线之间形成巨大电位差，超出线路绝缘耐受极限后，会引发绝缘子闪络击穿，形成短路故障。反击故障多集中在接地装置老化、接地电阻超标老旧线路区段，故障破坏力较强。

## （二）雷电绕击故障

绕击故障是雷电绕过避雷线直接击中输电导线引发的故障，多发生在山顶、山脊等凸起地形区段。地形抬升效应会改变雷电先导发展轨迹，降低避雷线屏蔽效果，导致导线直接受雷。绕击过电压幅值高、作用时间短，极易造成线路瞬时跳闸，是山区架空线路最频发的雷击故障类型。

## （三）感应雷故障

雷雨天气中，线路附近云层放电会产生强电磁感应，在输电导线上生成感应过电压。虽然感应雷强度低于直击雷，但覆盖范围广，易造成多条线路同时出现绝缘闪络，引发连片跳闸事故，对区域性电网运行稳定性影响较大。

# 三、架空输电线路雷击故障核心成因

## （一）地形气象条件影响

山区、丘陵地带地势起伏大，凸起杆塔与线路极易成为雷电放电的优先目标，地形抬升会显著提升区域落雷密度。同时局部小气候复杂，对流天气频发，雷雨持续时间长，大幅增加线路雷击概率。复杂地形下输电线路的雷电屏蔽失效概率显著提升，是雷害故障高发的重要外部诱因。

## （二）接地系统性能劣化

长期运行的输电线路接地装置易出现锈蚀、断裂、土壤固化等问题，导致接地电阻超标。雷电流无法快速泄入大地，杆塔电位大幅抬升，极易诱发雷电反击故障。部分线路运维中忽视接地装置检测与维护，接地系统性能持续衰减，防雷基础不断弱化。

## （三）线路绝缘配置不足

部分老旧输电线路绝缘子老化破损、绝缘性能下降，耐雷水平偏低。在雷电过电压作用下，老旧绝缘子极易发生闪络击穿，引发线路故障。同时部分新建线路绝缘配置标准偏低，未结合区域雷暴等级差异化设计，绝缘冗余不足，难以抵御强雷电冲击。

#### （四）传统防雷设施局限性

常规避雷线、普通接地装置防护模式固定，仅能实现基础防雷防护，无法适配复杂地形与极端雷暴天气。避雷线屏蔽死角、接地泄流效率不足等固有缺陷，导致线路整体耐雷水平难以提升，雷击故障反复发生。

### 四、现有线路防雷体系现存短板

#### （一）防雷设计缺乏差异化

现阶段输电线路防雷设计多采用统一标准，未结合区域落雷密度、地形特征、线路运行年限差异化配置防雷设施。雷暴高发山区与平原线路防护标准一致，高风险区段防护冗余不足，低风险区段资源浪费，整体防护针对性较差。

#### （二）运维检测精细化不足

日常运维多侧重线路本体巡检，对接地电阻、避雷线状态、绝缘子绝缘性能的常态化检测不足。接地装置深埋地下，隐蔽性缺陷难以被及时发现，长期积累导致防雷系统失效，无法提前预判雷击故障风险。

#### （三）老旧线路改造滞后

部分超期服役线路仍沿用老旧防雷设备，设备老化、性能衰减问题突出，但受改造工期、成本限制，升级改造进度滞后，长期处于防雷薄弱状态，故障隐患突出。

### 五、架空输电线路防雷改造关键技术

#### （一）优化接地系统改造

针对接地电阻超标区段，开展接地网升级改造，更换锈蚀、断裂接地体，采用降阻剂改良周边土壤导电性，有效降低杆塔接地电阻。定期开展接地电阻检测校准，确保雷电流快速泄放，从根源规避雷电反击故障，夯实线路防雷基础。

## （二）补强线路绝缘配置

替换老旧破损绝缘子，更换为耐雷性能更强的新型复合绝缘子，提升线路整体绝缘水平。针对雷暴高发区段，适当增加绝缘子片数，提升绝缘冗余，增强线路抵御雷电过电压冲击的能力，减少闪络故障发生。

## （三）加装新型防雷辅助设备

在山顶、山脊等绕击高发区段，加装线路避雷器、可控放电避雷针等新型设备，弥补避雷线屏蔽短板。通过新型防雷设备分流、限压作用，抑制雷电过电压幅值，有效防范绕击与感应雷故障，全方位提升线路耐雷性能。

## （四）推行差异化防雷改造

结合区域雷电监测数据、地形条件与历史故障记录，划分防雷风险等级。对高风险山区线路重点升级接地系统、加装防雷设备，对常规区段落实常态化养护，实现精准化、差异化防雷改造，提升改造性价比与防护效果。同时，依托智能化技术搭建长效防雷运维体系，推进防雷设备全生命周期管理。可利用大数据雷电监测平台统计区域落雷频次、雷电幅值、故障高发时段等关键数据，动态更新线路防雷风险等级，定期优化改造方案。搭配无人机巡检、在线监测终端对隐蔽区段防雷设施开展常态化排查，精准捕捉接地腐蚀、设备老化、屏蔽失效等隐性缺陷。同时建立雷雨季节专项巡检机制，在汛期、雷暴高发期提前完成防雷设备预试、接地电阻复测工作，提前消除潜在故障隐患，保障防雷改造效果长效落地。

# 六、结语

架空输电线路雷击故障是气象地形、设备性能、运维管理多重因素耦合导致的常见故障，传统单一防雷模式已无法适配复杂电网运维需求。为有效降低雷击故障发生率，需精准把握雷击故障类型与核心成因，针对现有防雷体系短板，通过接地系统优化、绝缘补强、新型设备加装、差异化改造等技术手段，全方位升

级线路防雷体系。同时强化常态化运维检测，及时排查防雷隐患，持续提升输电线路耐雷水平与抗灾能力，保障架空输电线路安全、稳定、长效运行。

## 参考文献

- [1] 张斌鹏. 110kV 架空输电线路频繁雷击故障原因及防雷优化措施[J]. 电工技术, 2025(23): 78-80.
- [2] 李鸿达, 焦政国, 王雅妮. 山区架空输电线路雷击故障特征及防护优化研究[J]. 农村电气化, 2024(09): 51-53.
- [3] 谷山强, 王磊. 输电通道雷击故障分布规律与防雷改造技术优化[J]. 电网技术, 2025, 49(08): 3177-3183.
- [4] 李占宇. 高压架空输电线路防雷现状与提质改造对策[J]. 电力设备管理, 2024(14): 105-107.