

铁路电力贯通线防雷整治方法

车 波

中铁一局集团电务工程有限公司 陕西 西安 710000

摘要：铁路电力贯通线是铁路运输供电的核心设施，其防雷安全对行车安全和运输效率至关重要。当前，贯通线存在避雷装置不足、绝缘差、接地电阻超标、自动重合闸应用少等问题。本文围绕这些现状，提出加装氧化锌避雷器等避雷装置、提高线路绝缘、优化接地设计、推广自动重合闸使用，并辅以线路屏蔽和差异化防雷等措施，通过综合技术手段强化贯通线防雷能力，保障铁路供电稳定，为铁路安全运输筑牢技术防线。

关键词：铁路电力；贯通线防雷；整治方法

引言：铁路电力贯通线为沿线关键设备供电，其运行安全关乎铁路运输命脉。但伴随铁路电气化推进与环境变化，雷击风险剧增，故障频发扰乱运输秩序。当前，贯通线防雷存在传统避雷装置少、绝缘配置欠妥、接地系统老化等问题，致使耐雷能力差、雷击事故多发。因此，深入剖析防雷现状，提出适配的整治方案，对增强供电系统防雷性能、降低运维成本、保障铁路安全运行，有着不可或缺的工程实践价值。

1 铁路电力贯通线防雷整治方法的重要性

铁路电力贯通线作为铁路运输的“动力生命线”，为沿线通信信号、应急照明等关键设备提供不间断供电，其稳定运行直接关乎铁路运输安全与效率。而雷电作为自然界中极具破坏力的现象，一旦作用于电力贯通线，极易引发跳闸、设备损毁甚至大面积停电事故，严重威胁行车安全与运输秩序。因此，铁路电力贯通线防雷整治方法意义重大。从安全层面看，有效防雷可避免因雷击导致的信号系统故障、接触网失电等问题，防止列车因供电中断被迫紧急停车，降低行车事故风险。在经济层面，科学的防雷整治能减少雷击引发的设备维修、更换成本，降低因停电造成的运输延误损失。同时，随着铁路运输向高速化、智能化发展，对供电系统的可靠性要求不断提高，强化防雷措施是保障铁路现代化运营的必要前提^[1]。

2 铁路电力贯通线防雷现状

2.1 避雷装置配置不足

铁路电力贯通线避雷装置的配置存在显著缺陷。部分区段因早期设计标准较低，仅在关键节点零星安装避雷器，未形成全覆盖防护网络，导致大量线路段落直接暴露于雷击风险中。山区、高雷区等重点区域的避雷装置覆盖率不足30%，且老旧设备占比超50%，其标称放电电流、残压等关键参数已无法满足现行防雷规范要求。

同时，避雷装置的安装工艺不规范问题突出，如接地引下线弯曲半径过小、连接点锈蚀等，导致装置在雷击时无法有效泄放电流，形成“形同虚设”的防护漏洞。

2.2 绝缘水平有待提升

贯通线绝缘系统的老化与适配性问题制约防雷能力。沿线绝缘子普遍存在瓷质开裂、硅橡胶伞裙脆化现象，在酸雨、盐雾等腐蚀性环境中，绝缘泄漏电流较设计值上升2-3个数量级，雷击时易引发沿面闪络。部分穿越林区的线路采用普通绝缘导线，其耐雷水平仅为15-20kV，低于标准要求的30kV，在感应雷作用下频繁发生断线事故。此外，不同电压等级线路的绝缘配置缺乏差异化设计，10kV贯通线与低压配电线路同杆架设时，绝缘间隙不足问题导致雷击时故障范围扩大。

2.3 接地电阻问题突出

接地系统的有效性不足是防雷薄弱环节。在土壤电阻率大于 $500\Omega\cdot m$ 的高阻区段，接地极仍采用传统镀锌角钢，埋深不足0.8米，实测接地电阻普遍超过 10Ω ，最高达 35Ω ，远超规范要求的 4Ω 标准。沿海地区接地装置受盐雾腐蚀影响，扁钢截面积年均减薄0.3mm，5年以上未维护的接地体断裂故障率达47%，导致接地网络失效。部分隧道内接地引下线与结构钢筋焊接点脱落率超30%，雷击时无法形成有效泄流通道，设备外壳电位升高易引发反击事故。

2.4 自动重合闸装置应用不足

自动重合闸装置的普及与可靠性存在双重短板。目前仅40%的贯通线安装该装置，且集中于新建线路，既有线路改造率不足20%。已投运装置中，25%因合闸时间整定不合理（如大于1秒），无法有效消除雷击电弧重燃；18%的装置因缺乏故障类型识别功能，对永久性故障重复合闸，导致事故扩大。在多雷季节，未装重合闸的线路单次雷击跳闸平均停电时长超2小时，而装有源电子式

重合闸的线路仍有12%因电源模块雷击损坏导致拒动，反映出装置抗干扰能力不足^[2]。

3 铁路电力贯通线防雷整治方法

3.1 安装氧化锌避雷器等避雷装置

3.1.1 避雷器选型与安装位置确定

在铁路电力贯通线防雷整治中，氧化锌避雷器的选型与安装位置至关重要。选型时，需依据线路电压等级、系统接地方式及区域雷暴强度，综合考虑避雷器的额定电压、持续运行电压、标称放电电流等参数。例如，10kV贯通线应选用额定电压不低于17kV、标称放电电流5kA的避雷器，以确保在雷击过电压下能可靠动作。安装位置方面，应在变压器高低压侧、电缆与架空线连接处、长线路分段点等易受雷击的关键节点优先布置，形成多层防护。同时，针对高雷区和易遭直击雷的区段，需加密避雷器安装密度，采用“重点防护+区域覆盖”的策略，最大限度降低雷击风险。

3.1.2 避雷器工作原理与保护效果

氧化锌避雷器以氧化锌压敏电阻为核心元件，利用其非线性伏安特性实现过电压防护。正常运行时，避雷器呈现高阻态，泄漏电流极小；当雷击过电压侵入，其电阻迅速降低，将雷电流导入大地，限制设备两端电压幅值。雷击过后，避雷器能快速恢复高阻状态，避免系统短路。该装置无间隙设计，可有效消除传统避雷器的续流问题，提高动作可靠性。实际应用中，氧化锌避雷器能将侵入波峰值限制在设备绝缘耐受水平以内，大幅降低绝缘子闪络、设备损坏概率。据统计，安装该避雷器后，铁路电力贯通线雷击跳闸率可下降60%-80%，显著提升线路供电稳定性与安全性。

3.2 提升绝缘水平

3.2.1 选用高电压等级绝缘子

铁路电力贯通线提升绝缘水平可从选用高电压等级绝缘子入手。传统绝缘子在雷击、高海拔等复杂环境下，绝缘性能易下降。通过选用额定电压更高、爬电比距更大的绝缘子，能有效增强绝缘强度，抵御过电压冲击。如在高雷区、山区等特殊地段，将10kV线路普通绝缘子升级为15kV或更高电压等级产品，其耐受雷击的能力显著提升。同时，高电压等级绝缘子的机械强度也相应增强，可减少因雷击振动或过电压引发的绝缘子破损问题，保障线路长期稳定运行。

3.2.2 定期绝缘检测与更换

定期开展绝缘检测与更换是维持线路绝缘水平的关键。贯通线长期暴露于户外，绝缘子、绝缘导线等部件受风雨、紫外线等侵蚀，绝缘性能逐渐劣化。通过红外

测温、绝缘电阻测试、泄露电流监测等手段，可及时发现绝缘缺陷。对运行年限较长、检测出绝缘电阻值低于标准、存在局部放电现象的部件，需立即更换。若忽视定期检测与更换，老化部件可能在雷击时成为故障点，引发线路短路、接地等严重事故，影响铁路供电安全。

3.2.3 更换复合绝缘子应对污闪

在多粉尘、盐雾、潮湿等易发生污闪的环境中，更换复合绝缘子是提升绝缘水平的有效措施。传统瓷质或玻璃绝缘子表面易吸附污秽物，遇潮湿天气时，污秽层导电性能增强，雷击或操作过电压下易发生污闪。复合绝缘子采用硅橡胶材料，表面具有憎水性，能有效阻止污秽物形成导电通道，大幅降低污闪概率。且其质量轻、安装方便，相比传统绝缘子更便于在复杂地形环境中应用，可显著提升铁路电力贯通线在特殊环境下的绝缘可靠性。

3.3 改善接地电阻

3.3.1 土壤电阻率测定与接地体敷设

土壤电阻率是影响接地电阻的关键因素，测定其数值是改善接地电阻的基础。在铁路电力贯通线建设与整治中，需采用四极法等专业手段，准确测定沿线不同地段的土壤电阻率。若土壤电阻率过高，传统接地体敷设方式难以达到要求。此时需根据测定结果，优化接地体敷设方案，如采用水平与垂直接地体相结合的网状结构，增加接地体与土壤的接触面积，以降低接地电阻。同时，接地体敷设深度、间距也需严格依据土壤特性科学设计，确保接地系统有效发挥作用。

3.3.2 补打垂直接地体与使用降阻剂

对于接地电阻超标的地段，补打垂直接地体并配合降阻剂使用，能有效改善接地效果。补打垂直接地体可增加接地系统与土壤的接触范围，分散雷电流泄放路径。降阻剂则通过填充接地体与土壤间的空隙，降低接触电阻，改善土壤导电性能，形成低电阻通道，加速雷电流的泄放。但需注意，降阻剂的选择要严格把控质量，避免使用腐蚀性强的产品，防止对接地体造成损坏，确保接地系统长期稳定运行，提升线路防雷性能。

3.3.3 接地装置敷设规范与防腐处理

接地装置的规范敷设和防腐处理是保障其长期有效性的重要措施。敷设时，接地体的连接必须采用焊接方式，保证电气连接牢固，搭接长度等参数符合规范要求，避免因接触不良导致接地电阻增大。同时，接地装置长期埋于地下，易受土壤中酸碱物质腐蚀，因此需进行防腐处理，如采用热镀锌、涂覆防腐漆等工艺，增强接地体的抗腐蚀能力。定期检查接地装置的防腐层完整

性,及时修复破损处,可延长接地装置使用寿命,保障铁路电力贯通线接地系统的可靠性。

3.4 应用自动重合闸装置

3.4.1 输电线路中的应用

在铁路电力贯通线输电线路中,自动重合闸装置可有效应对雷击引发的瞬时性故障。雷击常使线路出现电弧短路,故障排除后线路具备恢复运行条件。自动重合闸装置能在跳闸后极短时间内检测线路状态,若判定为瞬时性故障,迅速合闸恢复供电,减少停电时间。通过合理设定重合闸时间与次数,可大幅降低因雷击跳闸对铁路信号、通信等关键设备的影响,保障列车运行安全与效率。然而,若输电线路存在永久性故障,装置需具备精准识别能力,避免盲目重合导致事故扩大。

3.4.2 配电线路中的应用

在铁路电力贯通线配电线路场景下,自动重合闸装置同样发挥重要作用。配电线路分支多、设备杂,易因雷击产生局部故障。自动重合闸装置通过分段控制,可精准定位故障区段,对非故障区段快速重合闸,缩小停电范围。此外,针对配电线路中常见的绝缘子闪络、树枝碰线等瞬时性故障,装置能及时恢复供电,提升铁路沿线车站、区间照明及动力设备的供电可靠性。但需注意协调上下级装置的动作时限,防止出现重合闸时序混乱,影响整个配电系统的稳定性。

3.5 其他辅助防雷措施

3.5.1 电缆特殊敷设方式

采用特殊的电缆敷设方式可增强铁路电力贯通线的防雷能力。将架空线路改造为地下电缆敷设,能有效避免直击雷与感应雷的侵害,降低雷击概率。在无法全部采用电缆的情况下,可对电缆进出线段、易受雷击的薄弱区段进行穿管埋地处理,利用金属管的屏蔽效应削弱雷电电磁脉冲干扰。同时,优化电缆路径规划,避开高雷击风险区域,减少电缆遭受雷击的可能性。通过这些特殊敷设方式,能显著提升线路的防雷性能,保障铁路供电系统的稳定运行。

3.5.2 防雷装置维护与管理

防雷装置的有效维护与管理是保障其性能的关键。随着运行时间增长,避雷器、接地装置等会出现老化、性能下降等问题。定期对防雷装置进行绝缘电阻测试、泄漏电流监测、接地电阻测量等专业检测,及时发现并更换性能不良的设备。建立防雷装置运行档案,记录安装时间、检测数据及维护情况,实现全生命周期管理。同时,制定科学的巡检制度,在雷雨季节前开展专项排查,确保防雷装置时刻处于良好工作状态,充分发挥防雷作用。

3.5.3 人员培训与技能提升

提升相关人员的防雷专业技能是铁路电力贯通线防雷工作的重要保障。针对线路维护人员、技术管理人员,开展系统的防雷知识培训,内容涵盖防雷装置原理、检测方法、故障排查与处理等。通过理论授课、现场实操、案例分析等多样化培训方式,增强人员对防雷设备的操作能力和对雷击故障的应急处置能力。定期组织技能考核与经验交流活动,及时更新人员的防雷技术知识,确保其能够熟练运用先进的防雷技术和设备,为铁路电力贯通线的防雷安全提供人力支持^[1]。

结束语

铁路电力贯通线防雷整治是保障铁路安全运行的系统工程,需从避雷装置升级、绝缘强化、接地优化、智能装置应用及辅助措施协同发力。通过精准选型安装避雷器、提升绝缘性能、科学改善接地电阻、推广自动重合闸装置,并配合电缆特殊敷设、规范维护管理和人员技能提升,可构建全方位防雷体系。

参考文献

- [1]乌景华.如何增强集通电力贯通线防雷效果[J].内蒙古科技与经济,2021,33(19):111-112.
- [2]郭庆毅.论铁路供电系统中防雷技术[J].中国高新区,2022,17(8):192-193
- [3]胡茜,林余杰,胡朋杰.新型10kV架空绝缘导线防雷击断线用防雷金具探讨[J].电气技术,2023,16(12):172-175.