

# 避雷器安装密度对接触网防雷的影响分析

高原

国能包神铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:** 本文围绕避雷器安装密度对接触网防雷的影响展开分析。阐述了避雷器工作原理及接触网防雷需求,剖析了接触网结构特点、雷电活动规律、防雷效果与经济性平衡对安装密度的影响。深入探讨了安装密度对直击雷、感应雷、雷电侵入波防护的影响,并提出基于风险评估、动态调整及与其他防雷措施协同配合的优化策略,为接触网防雷提供参考。

**关键词:** 避雷器安装密度; 接触网防雷; 雷电危害; 优化策略

引言: 铁路牵引供电接触网运行安全至关重要,而雷电危害严重威胁其稳定性。直击雷、感应雷及雷电侵入波,以多种形式破坏接触网设备、干扰系统运行。避雷器作为重要防雷元件,其安装密度对防雷效果影响显著。深入研究该影响并优化安装密度,对提升接触网防雷能力意义重大。

## 1 避雷器工作原理及接触网防雷需求

### 1.1 避雷器工作原理概述

避雷器的核心特性在于独特的伏安特性,这一特性决定其保护原理。正常运行时,处于电网额定电压下,避雷器呈现高阻抗状态,仅有极微弱电流通过,近乎绝缘,不会对接触网正常供电产生影响。当雷击引发过电压时,电压值超过避雷器启动阈值,其内部材料的电气特性迅速改变,阻抗急剧下降,转变为低阻抗状态。此时,避雷器如同导通的通路,能够承载并泄放巨大雷电流,将过电压限制在接触网设备可承受的较低水平。通过将过电压导入大地,避雷器避免设备因承受过高电压而损坏,从而实现对接触网的保护<sup>[1]</sup>。在接触网防雷体系中,避雷器的作用机制不可或缺。其通过与接触网设备并联的方式接入电路,当雷电过电压出现,优先于设备击穿导通。由于避雷器的残压低于设备绝缘耐受水平,雷电流经避雷器流入大地,使设备两端电压被限制在安全范围。例如,在接触网导线遭受雷击时,与导线并联的避雷器迅速动作,将雷电流引入大地,防止过电压击穿绝缘子、损坏电气设备,保障接触网供电连续性和设备安全性。

### 1.2 接触网防雷需求分析

接触网遭受雷电危害存在多种形式。直击雷可造成接触网支柱、导线及设备的物理损伤,高温高压致使支柱变形、导线断线,强大电磁力损坏设备内部元件;绝缘子在直击雷瞬间高电压下发生闪络,引发短路故障,

导致供电中断甚至火灾。感应雷产生的电磁脉冲通过空间辐射和传导耦合进入接触网系统,过电压削弱绝缘性能,加速绝缘老化,干扰牵引变电所二次设备,造成保护误动或拒动。雷电侵入波沿接触网传导至变电所,传播过程中波形幅值改变,冲击断路器、隔离开关等设备,威胁供电系统安全。不同区段、不同设备的防雷重点与难点各异。接触网进线端和出线端是雷电侵入的关键部位,需重点防护,以拦截沿线路入侵的雷电波;分段处需防止过电压在不同区段间传播,保障各段相对独立安全运行。重要设备如变压器、断路器等,对雷电冲击敏感,需针对性配置避雷器,确保设备正常工作。山区等高雷暴活动区段,接触网遭受雷击概率更高,且地形复杂导致防雷装置安装维护困难;城市区段接触网周边环境复杂,电磁环境干扰大,需兼顾防雷与电磁兼容,这些都增加了防雷工作的难度。

## 2 避雷器安装密度的影响因素

### 2.1 接触网结构特点

接触网支柱分布与导线布局直接决定避雷器安装位置。支柱作为接触网的支撑结构,其间距和排列方式影响着雷电电流的传导路径。在支柱分布密集区域,可选择在部分关键支柱上安装避雷器,利用其结构特性有效疏导雷电流;而在支柱间距较大的区段,为确保防护连续性,需在更多支柱上安装避雷器。导线布局方面,不同走向、交叉点以及分段处,均是雷电过电压容易积聚和传播的位置,需针对性地设置避雷器,防止过电压对导线及连接设备造成损害。接触网高度与跨距参数和避雷器安装密度紧密相关。高度较高的接触网,受雷击概率相对增加,为保证有效防护,需适当提高避雷器安装密度,以增强对雷电的拦截能力。跨距大的接触网,导线在雷击时承受的张力和电动力更大,且雷电过电压在长跨距导线上传播更容易引发绝缘击穿,因此需要增加

避雷器数量,缩短其安装间距,降低过电压幅值,保护导线和绝缘子等设备安全运行。

## 2.2 雷电活动规律

不同地区雷电活动频率和强度存在显著差异。在雷电活动频繁、强度大的地区,接触网遭受雷击的风险更高,为降低雷击造成的设备损坏和供电中断风险,必须提高避雷器安装密度<sup>[2]</sup>。通过增加避雷器数量,确保在频繁的雷电冲击下,能够及时限制过电压,保护接触网设备。而在雷电活动较少、强度较弱的地区,则可适当降低避雷器安装密度,在满足基本防雷需求的同时,减少不必要的成本投入。雷电活动规律为确定避雷器安装密度提供依据。依据历史雷电数据和实时监测信息,分析雷电活动的季节性、区域性特点。如在雷电高发季节和区域,对避雷器安装密度进行动态调整,加强重点时段和地段的防护。结合雷电活动的方向性和路径特征,在雷电易侵入的方向和关键路径上,合理布置避雷器,提高防雷针对性和有效性。

## 2.3 防雷效果与经济性平衡

防雷效果提升与避雷器安装成本、维护成本密切相关。增加避雷器安装密度,能够更有效地限制过电压,降低接触网设备遭受雷击损坏的概率,显著提升防雷效果。与此同时,避雷器的采购、安装以及后期维护成本也会相应增加。每增加一个避雷器,不仅需要投入设备购置费用,还涉及安装施工成本,以及后续长期的监测、检修和更换费用。在保证防雷效果的前提下,合理确定避雷器安装密度需综合考量。通过对接触网设备的雷电风险评估,结合不同安装密度下的防雷效果模拟分析,建立成本-效益模型。在该模型中,权衡增加避雷器数量带来的防雷效益提升与成本增加之间的关系,找到两者的平衡点。优先在雷电风险高、设备重要性强的位置提高安装密度,而在风险较低区域,适当减少避雷器数量,实现以合理成本达到最优防雷效果,保障接触网安全稳定运行的同时,提高资源利用效率。

## 3 避雷器安装密度对接触网防雷的影响分析

### 3.1 对直击雷防护的影响

避雷器安装密度直接影响对直击雷的拦截效果。当安装密度较低时,有限数量的避雷器只能对局部区域提供保护,在大面积接触网遭受直击雷时,部分位置的雷电能量无法及时被疏导,导致设备承受过高电压而损坏。随着安装密度增加,更多避雷器可同时发挥作用,形成更密集的防护网络,雷电击中接触网时,更多避雷器能迅速响应,将雷电流导入大地,降低单个避雷器的泄流压力,有效拦截直击雷。安装密度还影响接触网支

柱、导线等的直击雷防护范围。较低安装密度下,避雷器之间的间隔较大,存在防护盲区,接触网支柱和导线处于这些区域时,遭受直击雷的风险较高。而增加安装密度后,避雷器的保护范围相互重叠,减少防护盲区,扩大整体防护范围。在接触网支柱上合理增加避雷器数量,能更全面地保护支柱结构,防止支柱因雷击出现变形、断裂;在导线上增加避雷器安装密度,可降低导线被直击雷灼伤、断线的概率,保障接触网结构稳定性和供电连续性。

### 3.2 对感应雷防护的影响

避雷器安装密度与感应雷过电压抑制效果呈正相关。感应雷产生的电磁脉冲通过多种途径进入接触网系统,形成过电压。安装密度低时,少量避雷器难以快速吸收和泄放感应雷过电压能量,导致过电压在接触网中传播,对设备造成损害<sup>[3]</sup>。随着安装密度提升,更多避雷器可在不同位置及时响应感应雷过电压,将其限制在较低水平。这些避雷器如同多个能量吸收节点,分散感应雷过电压能量,降低过电压幅值,有效抑制过电压对接触网设备的冲击。安装密度对接触网绝缘性能保护至关重要。感应雷过电压会改变接触网绝缘子、电缆等绝缘部件的电场分布,加速绝缘老化。较高的避雷器安装密度能更好地抑制感应雷过电压,减少过电压对绝缘部件的影响,延缓绝缘老化速度。当安装密度不足时,绝缘部件长期承受过高的感应雷过电压,绝缘电阻下降,泄漏电流增大,最终可能导致绝缘击穿。合理增加避雷器安装密度,可降低绝缘部件所承受的过电压应力,延长绝缘部件使用寿命,保障接触网绝缘性能,减少因绝缘问题引发的故障。

### 3.3 对雷电侵入波防护的影响

不同安装密度下,避雷器对雷电侵入波的衰减作用存在差异。雷电侵入波沿接触网传播时,安装密度低的情况下,有限的避雷器无法对侵入波进行充分衰减,侵入波到达变电所或关键设备时,仍具有较高幅值,可能对设备绝缘造成冲击。而增加避雷器安装密度,相当于在接触网线路上设置更多的能量衰减节点。雷电侵入波传播过程中,遇到多个避雷器,每次通过避雷器时,部分能量被吸收和泄放,波形幅值不断降低,有效削弱侵入波的破坏力。安装密度直接关系到接触网供电系统稳定性的保障程度。雷电侵入波可能引发断路器、隔离开关等设备绝缘击穿,导致保护误动或拒动,影响供电系统稳定性。较高的避雷器安装密度能有效衰减雷电侵入波,降低其对设备的冲击,减少设备损坏和保护装置异常动作的概率。通过合理布局和增加避雷器数量,确保

在雷电侵入波作用下,供电系统关键设备能够正常运行,保护装置可靠动作,维持接触网供电系统的稳定性,为铁路安全运行提供保障。

#### 4 避雷器安装密度的优化策略

##### 4.1 基于风险评估的安装密度确定方法

构建接触网雷电风险评估模型需整合多源信息。将接触网沿线地形地貌、周边环境纳入考量,山区地形复杂易引雷,城市区域电磁环境复杂会加剧雷电危害;结合历史雷电数据,分析各区域雷电活动频率、强度分布特征,同时考虑接触网设备类型、运行年限等因素。设备老旧区域绝缘性能下降,雷击风险更高。通过量化不同因素对雷电风险的影响程度,建立权重体系,形成综合评估模型,对接触网各段进行雷电风险等级划分。依据风险评估结果,针对不同风险等级区域科学确定避雷器安装密度。高风险区域,如多雷山区且接触网设备关键部位,增加避雷器数量,缩短安装间距,形成密集防护网络,确保雷电流及时泄放;中风险区域,根据实际情况合理布局,在重点设备和雷电易侵入位置加强配置;低风险区域,在满足基本防护要求的前提下,适当减少避雷器数量,避免资源浪费。通过这种差异化配置,实现资源的精准投放,在保障接触网安全的同时提高投入产出比。

##### 4.2 动态调整与优化机制

接触网运行状态变化是调整避雷器安装密度的重要依据。随着接触网运行年限增加,设备老化导致绝缘性能下降、机械强度减弱,雷击风险相应升高,需适时增加避雷器安装密度;当接触网进行技术改造或设备升级,如更换新型绝缘子、优化导线布局,防雷能力改变,安装密度也应重新评估调整。此外,雷电活动规律并非一成不变,受气候变化等因素影响,某些地区雷电活动频率、强度可能出现波动,需要根据实时监测数据和气象预报,及时调整避雷器安装密度。建立避雷器安装密度动态调整与优化机制,需依托智能化监测系统<sup>[4]</sup>。通过在线监测设备实时采集接触网运行参数、避雷器状态信息以及雷电活动数据,利用大数据分析和人工智能算法,对防雷系统进行实时评估。当监测到风险变化或设备异常时,系统自动触发调整程序,生成新的安装密度优化方案,指导维护人员进行调整。应定期对防雷系

统进行全面评估,结合实际运行效果,持续优化调整机制,确保避雷器安装密度始终处于最佳状态。

##### 4.3 与其他防雷措施的协同配合

避雷器安装密度与避雷线、接地系统等防雷措施存在紧密协同关系。避雷线通过引雷作用,降低接触网遭受直击雷概率,为避雷器分担部分防护压力。合理设置避雷线后,可根据实际防护效果,适当调整避雷器安装密度,避免重复配置。接地系统作为雷电流泄放的关键通道,其性能直接影响避雷器工作效果。良好的接地系统能快速将避雷器泄放的雷电流导入大地,若接地电阻过高,雷电流无法有效泄放,会增加避雷器负担,此时需优化接地系统,并根据情况调整避雷器安装密度。提出综合防雷方案,将避雷器、避雷线、接地系统等多种措施有机结合。在接触网设计阶段,统一规划各防雷措施布局,使避雷器安装密度与避雷线高度、接地极布置相互配合。例如,在避雷线保护范围边缘区域,适当增加避雷器密度;在接地电阻较大地段,通过增加避雷器数量增强局部防护能力。同时考虑绝缘配合技术,使避雷器与绝缘子等绝缘部件协同工作,形成多层次、全方位的防雷体系,最大限度提升接触网整体防雷能力,保障铁路供电系统安全稳定运行。

##### 结束语

避雷器安装密度对接触网防雷至关重要。其受接触网结构、雷电活动规律及经济性等因素影响,对直击雷、感应雷、雷电侵入波防护效果各异。通过基于风险评估确定安装密度、建立动态调整与优化机制以及其他防雷措施协同配合,可提升接触网防雷能力。未来,需持续研究优化安装密度的方法,以适应接触网运行变化,保障铁路供电系统安全稳定。

##### 参考文献

- [1]唐守乾.城市轨道交通配线处刚性接触网电分段形式探究[J].电工技术,2023,(13):87-89.
- [2]许金友.城市轨道交通直流接触网残压形成原因探究[J].电工技术,2024,(22):183-185+188.
- [3]慈明洋.城市轨道交通接触网残压分析及抑制措施[J].都市轨道交通,2024,35(03):17-22.
- [4]李瑞.高速铁路接触网线路避雷器异常动作分析及建议[J].武汉职业技术学院学报,2023,22(4):112-115.