

# 铁路接触网的防雷保护与接地技术研究

刘 通

中铁武汉电气化局第二工程分公司 四川 广元 628000

**摘 要：**随着我国高速电气化铁路的迅猛发展，接触网的防雷保护与接地技术显得愈发重要。本文深入探讨了铁路接触网的防雷保护措施与接地技术，旨在提高电气化铁路运营的安全性和可靠性。文章首先分析了雷电对接触网的危害，随后详细阐述了防雷保护的基本原则、常用防雷措施及其效果，最后对接地技术进行了深入研究，提出了优化建议。

**关键词：**铁路接触网；防雷保护；接地技术

## 引言

铁路接触网作为电气化铁路的重要组成部分，其运行的稳定性和安全性直接关系到铁路运输的顺畅与否。由于接触网大部分暴露在自然环境中，因此极易受到雷电的影响。雷电不仅可能导致接触网设备损坏，还可能引发更大的安全事故。因此，对铁路接触网进行科学的防雷保护与接地技术研究至关重要。

## 1 雷电对接触网的危害分析

### 1.1 雷电类型与危害机制

雷电通常以直击雷、感应雷和雷电入侵波三种形式对接触网造成危害。直击雷直接击中接触网设备，产生强大的热效应和机械效应；感应雷通过静电感应或电磁感应在接触网附近产生感应电势差，导致绝缘子闪烁；雷电入侵波则沿着线路传播，侵入牵引变电所，引发设备故障。

### 1.2 接触网雷击故障特点

据统计，由于雷击产生的电气化铁路接触网跳闸故障率高达30%至60%，尤其在高速铁路中更为突出。高速铁路多采用高架桥方式建设，接触网作为相对高点，易受雷击影响。雷击故障主要表现为绝缘子损坏、支撑线索损毁、支柱顶帽和肩架金具损毁以及避雷器击穿等。

## 2 铁路接触网的防雷保护措施

### 2.1 防雷保护的基本原则

防雷保护的基本原则涵盖了三个主要方面：全面性、经济性和可靠性。全面性指的是防雷措施必须全面考虑，不留死角。这要求在进行防雷设计时，要对整个系统进行细致入微地分析，确保每一个环节都能得到有效地保护。经济性则是在确保防雷效果的前提下，追求成本的最优化。这并不意味着要牺牲防雷效果来降低成本，而是要通过科学合理地设计和选型，以及精准有效地施工，来实现防雷措施的高效性和经济性。可靠性是防雷

保护的核心要求。防雷措施必须能够在雷电来临时发挥出应有的作用，稳定可靠地保护设备免受雷电的损害。

### 2.2 防雷保护措施

#### 2.2.1 增设避雷线

在电气化铁路系统中，为了有效地降低雷电对接触网的危害，全线架设架空避雷线成为一种被广泛采用的防雷措施。避雷线作用机制在于通过自身的高位置和高导电性，吸引雷电击中，从而避免雷电直接击中下方的接触网。避雷线的安装位置通常位于接触网的上方，保持一定距离以确保其防雷效果。当雷电云团在接触网附近形成时，避雷线因其高耸的位置和高导电性，更容易被雷电击中。一旦避雷线被击中，雷电电流会沿着避雷线流入大地，而不会直接击中下方的接触网，从而有效地保护了接触网免受雷电损害。为了确保避雷线的防雷效果，其接地装置的设计至关重要。一个好的接地装置能够将雷电电流迅速、有效地泄入大地，避免雷电电流在避雷线上积聚，进而对接触网造成潜在的威胁。因此，接地装置通常采用低电阻材料制成，并确保与大地形成良好的电气连接。此外，避雷线的保护范围也是一个重要的设计参数<sup>[1]</sup>。为了确保避雷线能够全面覆盖接触网的关键部位，需要采用科学的计算方法来确定其保护范围。滚球法是一种常用的计算方法，它基于雷电的放电特性和避雷线的位置、高度等因素，能够准确地计算出避雷线的保护范围。通过这种方法，可以确保避雷线的设计既经济又有效，能够最大程度地保护接触网免受雷电的危害。

#### 2.2.2 合理配置避雷器

在高速铁路接触网的防雷保护体系中，避雷器的合理配置显得尤为重要。氧化锌避雷器，以其优异的非线性伏安特性和快速响应能力，在高速铁路接触网防雷中扮演着至关重要的角色。氧化锌避雷器的主要工作原理

是利用氧化锌压敏电阻的非线性特性，在雷电过电压作用下，其电阻值会迅速下降，从而泄放雷电电流，保护电气设备不受雷电过电压的损害。这种避雷器具有高能量吸收能力、快速响应和良好的残压特性，非常适合用于高速铁路接触网的防雷保护。在配置避雷器时，应特别关注几个关键位置。首先是上网点，这是接触网与外部电源的连接点，极易受到雷电的侵袭。因此，在上网点设置避雷器可以有效防止雷电过电压对接触网造成损害。其次是绝缘关节，这些位置是电气系统中的薄弱环

节，避雷器的安装能够增强其防雷能力。此外，分相点也是关键位置之一，因为分相处容易发生电气故障，安装避雷器可以提高其运行的稳定性。对于上跨桥和上跨建筑物两侧，由于这些位置相对较高，更容易遭受雷击。因此，在这些位置安装避雷器可以显著降低雷电对接触网的威胁。同时，对于长度在2km及以上的隧道或隧道群两端，也应设置避雷器。这是因为隧道口是雷电侵入的潜在通道，合理配置避雷器能够有效阻断雷电的入侵路径。

表1 高铁接触网避雷器配置表

位置	避雷器类型	推荐配置数量 (每处)	重要性评估 (1-5)	备注
上网点	氧化锌避雷器	2	5	极易受雷电侵袭，关键防雷位置
绝缘关节	氧化锌避雷器	1-2	4	电气系统薄弱环节，增强防雷能力
分相点	氧化锌避雷器	1	4	易发生电气故障，提高运行稳定性
上跨桥及建筑物两侧	氧化锌避雷器	2-4	5	位置较高，易遭雷击，重要防雷区域
隧道或隧道群两端 (≥ 2km)	氧化锌避雷器	2	4	雷电侵入潜在通道，有效阻断雷电入侵路径

重要性评估说明：  
 5: 极关键位置，必须配置避雷器  
 4: 重要位置，推荐配置避雷器  
 3: 一般位置，可考虑配置避雷器  
 2: 次要位置，根据具体情况决定是否配置  
 1: 非关键位置，通常不需要配置避雷器

### 2.2.3 增强绝缘部件性能

在铁路接触网的防雷保护中，绝缘部件的性能关系到整个接触网的电气安全和防雷效果。绝缘部件，特别是绝缘子，在电气系统中起着隔离、支撑和固定导线的作用，同时需要承受工作电压、雷电过电压以及各种环境因素的综合影响。为了提升防雷效果，应优先选择耐压性能高、爬电距离长的绝缘子。这类绝缘子通常具有较高的机械强度和优异的电气性能，能够在雷电过电压作用下保持稳定的绝缘性能，从而有效防止雷电对接触网造成的损害。同时，绝缘子的材料和设计也应考虑到耐候性、耐腐蚀性等因素，以适应复杂的户外环境。除了选用高性能的绝缘子外，定期的维护和更换也是确保绝缘部件性能的关键。由于绝缘子长期暴露在自然环境中，容易受到污垢、盐雾、雨水等环境因素的影响，导致其绝缘性能下降。因此，应制定科学的维护计划，定期对绝缘子进行清洁、检修和更换<sup>[2]</sup>。在维护过程中，还应特别注意检查绝缘子表面是否存在裂纹、破损等缺陷，以及及时发现并处理潜在的安全隐患。此外，加强对接触网线路周围环境的监测也是提升绝缘部件性能的重要举措。污染源、盐雾等环境因素会对绝缘部件造成腐蚀和污染，进而影响其绝缘性能。因此，应定期对线路

周围环境进行巡查，及时发现并清除污染源，确保绝缘部件的清洁和干燥。同时，还可以考虑在关键部位安装环境监测设备，实时监测环境参数，为绝缘部件的维护和更换提供科学依据。

## 3 铁路接触网的接地技术研究

### 3.1 接地技术的重要性

接地技术在防雷保护体系中占据举足轻重的地位。一个健全、高效的接地系统能够为雷电电流提供稳定、低阻抗的泄放路径，这是防雷措施中的基础且核心环节。当雷电击中铁路接触网时，接地系统迅速将巨大的雷电电流引入大地，避免电流在设备或线路上积聚，从而大幅度减少雷电过电压对设备造成的潜在损害。不仅如此，良好的接地还能有效平衡系统电位，防止因电位差导致的设备故障或人身安全事故。因此，对接地技术进行精细化研究和持续优化，对于提升整个防雷保护体系的效能至关重要，这也是确保铁路接触网在雷电环境下安全稳定运行的关键所在。

### 3.2 铁路接触网接地技术的优化建议

#### 3.2.1 降低接地电阻

在铁路接触网的接地技术优化中，降低接地电阻是一个至关重要的环节。增加接地体的数量是降低接地电

阻的有效方法之一。在接地系统中,多个接地体并联使用可以显著减小总的接地电阻。这是因为每个接地体都提供了一条雷电电流的泄放路径,多个路径并联后,总的电阻值会减小。因此,在设计和施工过程中,应根据实际情况合理增加接地体的数量,以达到降低接地电阻的目的。除了增加接地体数量,增加接地体的埋设深度也是降低接地电阻的有效手段。随着接地体埋设深度的增加,土壤对接地体的散流效果会更好,从而降低接地电阻。但需要注意的是,埋设深度的增加也会带来施工难度的提升和成本的增加,因此需要综合考虑经济性和技术性来确定最佳的埋设深度<sup>[3]</sup>。此外,选用导电性能优良的材质来制作接地体,同样有助于降低接地电阻。例如,选择电阻率较低的材料如铜或铜包钢作为接地体,可以显著提高接地体的导电性能,进而降低接地电阻。同时,对接地体进行防腐处理,以延长其使用寿命和保持稳定的导电性能也是非常重要的。在实施降低接地电阻的措施时,还应综合考虑土壤电阻率、气候条件、地质情况等因素对接地电阻的影响。

### 3.2.2 优化接地网布局

接地网布局的合理性对于确保铁路接触网的防雷效果至关重要。在优化接地网布局时,首要考虑的是接地网的拓扑结构。接地网应采用网格状布局,通过多个交叉连接的导体形成一个低阻抗的电流分布网络。这种布局有助于雷电电流在接地网中的均匀分布,避免电流集中在某一特定区域,从而防止局部电位抬升。其次,接地网的导体材料选择也至关重要。应选用导电性能好、耐腐蚀、机械强度高的材料,如镀锌扁钢或铜排。这些材料能够确保雷电电流在接地网中顺畅流动,同时减少接地网的电阻,提高接地效率。在布局过程中,还需对接地网的埋设深度和间距进行精确计算。埋设深度应保证接地网与土壤之间的良好接触,以便雷电电流能够迅速泄入大地。同时,接地网导体之间的距离也应合理设置,既要避免导体之间的相互干扰,又要确保接地网的均匀性和有效性。此外,对于关键设备和敏感区域,应设置独立的接地系统或加强接地措施<sup>[4]</sup>。例如,在变压器、开关设备等重要电气设备的附近,可以增加接地体的数量和密度,以提高这些区域的接地效果。最后,接地网的维护和管理也是不可忽视的一环。应定期对接地网进行检测和评估,确保其性能稳定可靠。对于发现的问题和隐患,应及时进行修复和改进,以保证接地网始终处于最佳工作状态。

### 3.2.3 采用新型接地材料

随着科技的不断进步,新型接地材料在铁路接触网的接地技术中扮演着越来越重要的角色。这些新型材料不仅具有更优异的导电性能,还在耐腐蚀性方面有着显著的提升,从而大大提高了接地系统的稳定性和可靠性。在众多新型接地材料中,复合接地材料是近年来备受关注的一种。这类材料通常由多种金属或非金属导电材料复合而成,集合了各种材料的优点。例如,某些复合接地材料采用了高导电性的金属如铜或铝,与耐腐蚀性强的材料如不锈钢或特种塑料进行复合。这样的组合不仅保证了材料的导电性能,还显著增强了其耐腐蚀性,使得接地体在恶劣环境下也能长期稳定运行。除了复合接地材料,纳米技术也为接地材料的革新带来了新的可能。纳米材料因其独特的物理和化学性质,在接地系统中的应用展现出巨大潜力。纳米材料可以显著提高接地体的导电性和耐腐蚀性,同时还能增强接地体与土壤之间的接触效果,从而降低接地电阻,提升防雷效果。此外,还有一些特殊设计的接地材料,如带有特殊涂层的接地棒,这种涂层能够防止土壤中的化学物质对接地体的腐蚀,从而延长接地体的使用寿命。同时,涂层的存在还能增加接地体与土壤的接触面积,进一步提高雷电电流的泄放效率。在采用新型接地材料时,也需要综合考虑其成本、施工难度以及与实际接地环境的匹配度。

### 结语

铁路接触网的防雷保护与接地技术是保障电气化铁路安全稳定运行的关键措施。通过增设避雷线、合理配置避雷器、增强绝缘部件性能以及优化接地系统设计等措施,可以有效降低雷击对接触网的危害。未来,随着科技的不断发展,将有更多先进的防雷保护与接地技术应用于铁路工程中,进一步提升铁路系统的安全性和可靠性。

### 参考文献

- [1]陈明鹏.高速铁路接触网防雷策略探寻[J].中国设备工程,2023,(22):206-208.
- [2]马健.电气化铁路接触网防雷研究[J].中国新技术新产品,2022,(04):146-148.
- [3]张晓武.高速铁路接触网防雷措施分析[J].运输经理世界,2021,(18):13-15.
- [4]白晓明.广珠城际铁路接触网防雷改造研究[D].中国铁道科学研究院,2020,(18):13-15