

电力输电线路的防雷击技术分析

李 明

内蒙古电力（集团）有限责任公司内蒙古超高压供电分公司 内蒙古 呼和浩特 010020

摘 要：本文深入探讨了电力输电线路的防雷击技术。首先概述了输电线路雷电过电压的类型及其对线路设备的损害，包括直击雷过电压和感应雷过电压。详细分析了雷击对电力输电线路的危害，包括直接雷击、感应雷击及次生灾害的影响。随后阐述了防雷击技术的基本原理，包括引导、分散、屏蔽与阻断等机制。文章进一步介绍了降低杆塔接地电阻、提升线路绝缘水平、架设避雷线与避雷针以及耦合线应用等具体措施。通过分析雷击导致的金属线熔化、杆塔坍塌、线路短路跳闸及电磁感应损害等实际案例，强调了防雷措施的重要性和必要性。

关键词：电力；输电线路；防雷击技术

1 输电线路雷电过电压概述

输电线路作为电力系统的重要组成部分，其安全稳定运行直接关系到整个电网的可靠性和稳定性。然而，雷电活动作为一种自然现象，对输电线路构成了严重威胁。当雷电击中输电线路或其附近区域时，会产生雷电过电压，对线路设备造成损害，甚至引发线路跳闸，影响电力系统的正常运行。雷电过电压主要分为直击雷过电压和感应雷过电压两种类型。直击雷过电压是指雷电直接击中输电线路或杆塔时产生的过电压，其电压幅值极高，能量巨大，对线路设备造成直接冲击。而感应雷过电压则是当雷电击中输电线路附近地面时，由于电磁感应作用，在线路上产生的过电压。虽然感应雷过电压的幅值相对较低，但其发生频率较高，对线路的潜在威胁同样不可忽视。雷电过电压主要导致绝缘子闪络（引发短路）、线路跳闸（保护电网安全）和设备损坏（如变压器、断路器等）。为了有效防御雷电过电压对输电线路的危害，电力系统采取了多种措施，如安装避雷线、避雷器、降低杆塔接地电阻等^[1]。这些措施通过引导或分散雷电能量，降低线路上的过电压水平，从而保护线路设备的安全稳定运行。

2 雷击对电力输电线路的危害

雷击作为一种自然现象，对电力输电线路构成了严重的威胁。雷电活动的随机性和高能量使得其成为电力系统中不可忽视的安全隐患。直击雷击、感应雷击以及雷击引发的次生灾害，都会对电力输电线路造成不同程度的危害，进而影响到整个电力系统的安全稳定运行。

2.1 直接雷击的危害

直接雷击是指雷电直接击中输电线路或其附近的杆塔、避雷线等结构。当雷电电流通过输电线路时，会瞬间释放巨大的能量，这种能量对输电线路的危害是毁灭

性的。直接雷击可能导致线路绝缘子的破裂或击穿，绝缘子的失效会使得线路裸露，进而引发短路故障。这不仅会中断电力传输，还可能对线路设备造成严重的物理损坏。另外，直接雷击还会对输电线路的杆塔结构产生强大的冲击力。雷电电流通过杆塔时，会在杆塔内部产生强烈的电磁场，导致杆塔受力不均，可能出现弯曲、倾斜甚至断裂的现象。杆塔的损坏会进一步影响线路的稳定性，严重时可能导致线路瘫痪^[2]。更为严重的是，直接雷击还可能在输电线路周围产生电弧放电，电弧的高温可能引燃附近的易燃物，从而引发火灾。在森林、草原等自然环境中，这种火灾的危害尤为严重，不仅会对线路设备造成进一步的损坏，还可能威胁到周边的生态环境和居民安全。

2.2 感应雷击的危害

感应雷击是指雷电击中输电线路附近的地面或物体时，由于电磁感应作用，在输电线路产生的过电压。虽然感应雷击的电压幅值相对较低，但其对输电线路的危害同样不可小觑。感应雷击会在输电线路产生瞬间的过电压冲击，这种冲击可能超过线路的绝缘强度，导致绝缘子放电或击穿。绝缘子的失效会使得线路对地的绝缘性能下降，增加线路短路的风险。同时，感应雷击还可能对线路上的电子设备和元器件造成损坏，导致线路保护和控制系统的失效。感应雷击还可能引发线路上的过电压保护装置的误动作。过电压保护装置是为了保护线路设备免受过电压冲击而设置的，但感应雷击产生的过电压可能触发保护装置的误动作，导致线路不必要的跳闸和停电。这不仅会影响电力系统的供电可靠性，还可能对线路设备造成额外的损坏。

2.3 雷击引发的次生灾害

除了直接雷击和感应雷击对输电线路的直接危害

外,雷击还可能引发一系列次生灾害,进一步加剧对电力系统的威胁。雷击可能引发森林火灾或草原火灾。当雷电击中树木或草地时,可能产生高温火花或火焰,引燃易燃物。特别是在干燥的季节和地区,火灾的蔓延速度极快,不仅会对输电线路造成直接的物理损坏,还可能对周边的生态环境和居民安全构成严重威胁。雷击还可能对电力系统的监控和保护设备造成干扰或损坏。雷电活动产生的电磁场可能干扰监控系统的正常工作,导致监控数据不准确或失效。同时,雷电电流可能通过线路传入监控系统或保护设备,对其电子元件造成损坏,导致设备失效或误动作。这将严重影响电力系统的安全稳定运行和故障处理能力;更为严重的是,雷击可能引发地质灾害。雷电活动可能导致山体滑坡、泥石流等自然灾害的发生。这些地质灾害不仅会对输电线路造成直接的物理损坏,还可能阻断交通、影响抢修工作,进一步加剧电力系统的安全风险。

3 电力输电线路防雷击技术原理

电力输电线路防雷击技术旨在通过一系列科学手段,有效减轻或避免雷电对电力线路的直接和间接损害。其核心原理涵盖多个方面,主要包括引导、分散、屏蔽与阻断等机制。第一,引导机制通过架设避雷线或安装避雷针,将雷电优先引导至这些特定结构,而非直接击中输电线路。避雷线与避雷针利用其尖端放电效应和高度优势,能够吸引雷电并安全地将雷电流导入大地,从而保护线路免受直击雷的损害^[3]。第二,分散机制主要依靠良好的接地系统实现。通过将线路杆塔等设备牢固接地,确保雷电流能够迅速、安全地流入大地,避免在线路内部积累并引发过电压。良好的接地系统能够显著降低接地电阻,提高雷电流的分散效率。第三,屏蔽机制则利用金属屏蔽层或特殊绝缘材料,将输电线路包裹起来,以减少雷电产生的电磁场对线路内部设备的干扰。这种屏蔽作用能够显著降低感应雷击的风险,保护线路上的电子设备和元器件免受损害。第四,阻断机制通过安装避雷器等设备,在雷电过电压超过线路承受能力时自动动作,将过电压限制在安全范围内。避雷器能够迅速吸收并释放雷电流的能量,从而保护线路设备免受过电压的冲击。

4 输电线路防雷击具体措施分析

4.1 降低杆塔接地电阻

在电力系统中,杆塔作为输电线路的主要支撑结构,其接地电阻的大小直接关系到防雷击的效果。降低杆塔接地电阻是提升线路防雷性能的重要措施之一。通过优化接地体的设计,如增加接地体的数量、延长接地

体的长度、选用导电性能良好的材料等,可以有效降低杆塔的接地电阻。此外,对于地质条件较差的地区,还可以采用深埋接地体、换土等方式改善接地环境,进一步提高接地效果。降低杆塔接地电阻的意义在于,当雷电击中线路时,雷电流能够迅速通过杆塔流入大地,避免在线路上积累并引发过电压。接地电阻越小,雷电流的流通过程越畅通,对线路的损害就越小。在实际操作中,降低杆塔接地电阻需要结合线路的具体情况,制定合理的施工方案。例如,在山区等地质条件复杂的地区,可能需要采用特殊的接地技术和材料,以确保接地电阻达到设计要求。同时,在施工完成后,还需进行定期的接地电阻检测,及时发现并解决接地不良的问题。

4.2 提升线路绝缘水平

线路绝缘水平是决定输电线路防雷性能的关键因素之一。提升线路绝缘水平可以通过增加绝缘子的数量、选用绝缘性能更好的材料、提高绝缘子的爬电距离等方式实现。这些措施能够增强线路的绝缘强度,减少雷电对线路的冲击损害。

提升线路绝缘水平的意义在于,当雷电击中线路或附近区域时,由于线路绝缘性能的提高,雷电产生的过电压对线路的损害程度会大大降低。这不仅有助于减少线路跳闸和故障的发生,还能提高线路的供电可靠性和稳定性。在提升线路绝缘水平的过程中,需要注意不同电压等级和不同类型的输电线路对绝缘性能的要求有所不同。因此,在制定具体的绝缘提升方案时,需要结合线路的具体情况进行综合考虑。同时,在绝缘子的选型、安装和维护等方面,也需要严格遵循相关技术标准和规范,确保绝缘性能得到有效提升。

4.3 架设避雷线与避雷针

架设避雷线和避雷针是输电线路防雷击的传统且有效的措施。避雷线通常沿线路架设,位于导线上方,能够优先吸引雷电并将其引导至大地。而避雷针则安装在杆塔顶部或线路附近的高大建筑物上,通过尖端放电效应将雷电引入地下。架设避雷线和避雷针的意义在于,它们能够显著降低雷电直击线路的概率,保护线路免受直击雷的损害^[4]。同时,避雷线和避雷针还能够起到屏蔽作用,减少雷电产生的电磁场对线路内部设备的干扰。这有助于提高线路的防雷性能和供电可靠性。在架设避雷线和避雷针时,根据线路的具体情况和地理环境进行合理布局。例如,在雷电活动频繁的地区,应适当增加避雷线和避雷针的数量和密度,以提高防雷效果。在安装过程中,还应注意避雷线和避雷针与线路之间的安全距离,避免对线路的正常运行造成干扰。

4.4 耦合线的应用

耦合线是一种特殊的输电线路，通常用于增强线路之间的耦合作用，减少雷电产生的电磁场对线路的干扰。在防雷击方面，耦合线的应用能够进一步提高线路的防雷性能；耦合线通过增加线路之间的耦合电容，使得雷电产生的过电压能够在耦合线之间得到更有效的分散和平衡。这有助于减少过电压对线路的冲击损害，提高线路的抗雷能力。同时，耦合线还能够起到屏蔽作用，降低雷电电磁场对线路内部设备的干扰程度。在耦合线的应用中，需要注意选择合适的耦合线类型和规格。不同类型的耦合线具有不同的耦合特性和应用范围，因此需要根据线路的具体情况和防雷需求进行合理选择。在安装耦合线时，还需注意其与原线路之间的连接方式和安全距离，确保耦合效果得到有效发挥。

5 雷击对输电线路的损害案例分析

5.1 金属线熔化与杆塔坍塌

在某次强烈的雷暴天气中，一条高压输电线路遭遇了直击雷。雷电流的瞬间释放导致了线路中的金属导线局部过热，甚至达到了熔化点。熔化的金属线不仅中断了电力传输，还对周边的绝缘子和杆塔结构造成了直接的热冲击。更为严重的是，由于雷电的巨大能量，杆塔底部连接部分因热膨胀和电磁力作用发生了严重的形变，最终导致杆塔整体坍塌。这次事故不仅造成大面积的停电，还对周边的居民生活和工业生产造成了严重影响。修复工作不仅耗时耗力，而且成本高昂，给电力公司带来了巨大的经济损失。此案例突显了雷击对输电线路中金属线和杆塔结构的潜在威胁，强调了加强防雷措施的重要性。

5.2 输电线路短路与跳闸

一次雷电活动中，一道闪电击中了某地区的低压配电网。虽然这次雷击没有直接击中高压输电线路，但其产生的电磁脉冲却在邻近的输电线上引发了强烈的感应电压。这个感应电压远远超过了线路的绝缘阈值，导致绝缘子闪络，进而引发线路短路。短路电流的巨大能量不仅烧毁了部分线路设备，还触发了线路保护装置的跳闸动作。这次跳闸导致大片区域失去了电力供应，影响了居民的正常生活和多家企业的生产运营。事后分析

显示，如果当时线路具备更好的绝缘性能和更先进的防雷设备，这次短路和跳闸事故或许可以避免。此案例强调了提升线路绝缘水平和采用有效防雷装置在减少雷击损害方面的重要性。

5.3 电磁感应导致无法修复的危害

在一个雷电频发的地区，一次严重的雷击事件不仅直接击中输电线路，还产生强烈的电磁感应。这种感应在线路内部产生极高的电压和电流波动，对某些精密的电子元件和设备造成不可逆转的损害。特别是在线路的智能监控系统和保护装置中，许多电路板上的元件因无法承受这种极端的电磁环境而烧毁。这次事故不仅导致线路长时间停电，而且因为关键设备的损坏，使得部分线路的智能化监控和保护功能无法恢复。电力公司不得不重新设计和安装这些系统，这不仅增加了修复成本，还延长了修复时间。此案例揭示了雷击电磁感应对输电线路内部电子设备和系统可能造成的长期且难以修复的危害，强调了全面防雷策略中考虑电磁屏蔽和保护的重要性。

结束语

综上所述，电力输电线路的防雷击技术对于保障电网的安全稳定运行具有重要意义。通过采取一系列科学有效的防雷措施，能够显著降低雷击对输电线路的损害风险，提高线路的抗雷能力和供电可靠性。未来，随着技术的不断进步和经验的积累，将继续探索和优化防雷技术，为电力系统的安全运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]申浩.电力输电线路的防雷技术研究[J].矿业装备,2021(02):76-77.
- [2]罗晓军.高压输电线路的防雷保护[J].陕西煤炭,2021,41(03):114-118.
- [3]崔珠峰,刘故帅,王强,孙磊,巩方伟.配电网架空线路防雷策略综合研究[J].农村电工,2022,30(06):40-41.DOI:10.16642/j.cnki.ncdg.2022.06.056.
- [4]周峰.电力输电线路的防雷击技术分析[J].集成电路应用,2019,36(10):84-85.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2019.10.037.