

电力工程输电线路防雷技术要点及应用分析

张林

贵州黔电项目管理咨询有限公司 贵州 贵阳 550000

摘要: 输电线路作为电力系统的关键组成部分,其安全稳定运行至关重要。雷电活动对输电线路的危害极大,可能导致线路跳闸、设备损坏,影响电力供应的可靠性。本文深入探讨了电力工程输电线路防雷技术的要点,包括架设避雷线、降低接地电阻、装设避雷器、采用自动重合闸等,并分析了这些技术在不同电压等级输电线路中的应用情况。通过实际案例分析,验证了防雷技术的有效性,为电力工程输电线路的防雷设计提供了参考依据。

关键词: 电力工程;输电线路;防雷技术;要点;应用分析

DOI: 10.63887/ssrp.2025.1.4.21

引言

电力工程输电线路是电力传输的重要通道,其安全稳定运行直接关系到电力系统的可靠性和稳定性。然而,雷电活动是影响输电线路安全运行的主要自然灾害之一。雷电击中输电线路可能导致线路跳闸、绝缘子闪络、设备损坏等问题,严重时甚至会引发大面积停电事故,给社会生产和人民生活带来巨大损失。因此,研究输电线路防雷技术要点及应用具有重要的现实意义。

1 现状及内容方法

1.1 国内外研究现状

国外在输电线路防雷技术方面起步较早,已经形成了一套较为完善的理论和技术体系。例如,美国、日本等国家在避雷线的设计、接地电阻的降低、避雷器的应用等方面取得了显著成果。同时,国外还注重利用先进的监测技术,实时监测雷电活动,为防雷措施的制定提供科学依据。国内在输电线路防雷技术方面也进行了大量研究,取得了一定的进展。但在实际应用中,仍存在一些不足,如部分地区的防雷措施不够完善、防雷设备的性能有待提高等^[1]。

1.2 研究内容与方法

本文将围绕电力工程输电线路防雷技术要点及应用展开研究。具体内容包括:分析架设避雷线、降低接地电阻、装设避雷器、采用自动重合闸等防雷技术

的要点;探讨这些技术在不同电压等级输电线路中的应用情况;通过实际案例分析,验证防雷技术的有效性。研究方法主要包括文献研究法、案例分析法和实地调研法。通过查阅相关文献,了解国内外输电线路防雷技术的研究现状和发展趋势;通过案例分析,总结实际工程中的经验和教训;通过实地调研,了解输电线路防雷技术的实际应用情况^[2]。

2 雷电对输电线路的危害

2.1 雷电的形成与特点

雷电是自然界中一种常见的放电现象,通常发生在雷雨天气。当云层中的电荷积累到一定程度时,就会形成强大的电场,使空气电离,产生放电通道,形成雷电。雷电具有电流大、电压高、时间短等特点,其电流瞬间可达到数十万安培,电压可达数百万伏特。

2.2 雷电对输电线路的危害形式

雷电对输电线路的危害主要有直击雷、感应雷和反击雷三种形式。直击雷是指雷电直接击中输电线路的导线、杆塔等设备,强大的电流和电压会对设备造成直接破坏,导致线路跳闸。感应雷是指雷电击中输电线路附近的地面或物体时,会在输电线路中产生感应过电压,当感应过电压超过线路绝缘子的耐压水平时,就会引起绝缘子闪络,导致线路跳闸。反击雷是指雷电击中输电线路的避雷线或杆塔时,会使杆塔的电位升高,当杆塔电位与导线电位之差超过绝缘子的耐压水平时,就会引起绝缘子闪络,导致线路跳闸。

2.3 雷电危害的影响

雷电对输电线路的危害不仅会导致线路跳闸，影响电力供应的可靠性，还会对输电设备造成损坏，增加维修成本。同时，雷电引发的停电事故还会给社会生产和人民生活带来不便，甚至可能引发安全事故，造成人员伤亡和财产损失^[3]。

3 输电线路防雷技术要点

3.1 架设避雷线

3.1.1 避雷线的作用

避雷线是输电线路防雷的重要措施之一，其主要作用是将雷电引向自身，保护输电导线不受雷击。避雷线还可以对输电导线起到耦合作用，降低导线上的感应过电压。

3.1.2 避雷线的设置原则

不同电压等级的输电线路，避雷线的设置要求不同。500kV 及以上送电线路，应全线装设双避雷线，且输电线路愈高，保护角愈小，有时小于 20° 。220~330kV 线路，一般同样应全线装设双避雷线，杆塔上避雷线对导线的保护角为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。110kV 线路一般沿全线装设避雷线，在雷电特别强烈地区采用双避雷线。在少雷区或运行经验证明雷电活动轻微的地区，可不沿线架设避雷线，但杆塔仍应随基础接地^[4]。

3.1.3 避雷线的材料与结构

避雷线一般采用镀锌钢绞线，其材料应具有良好的导电性和耐腐蚀性。避雷线的结构应合理，能够承受较大的雷电流冲击。在山区等复杂地形地区，还应考虑避雷线的防风、防冰等性能。

3.2 降低接地电阻

3.2.1 接地电阻的重要性

接地电阻是衡量接地装置性能的重要指标，降低接地电阻可以快速将雷电流泄入地下，降低杆塔的电位，避免绝缘子被反击而闪络。因此，降低接地电阻是提高输电线路防雷水平的关键措施之一。

3.2.2 降低接地电阻的方法

降低接地电阻的方法主要有增加接地体的数量和长度、采用降阻剂、改善土壤电阻率等。在土壤电阻率较高的地区，可以采用深埋接地体、外引接地体等

方法降低接地电阻。同时，还应定期对接地装置进行检测和维护，确保其接地电阻符合要求。

3.2.3 不同土壤条件下的接地电阻控制

不同土壤条件下的接地电阻控制要求不同。在一般土壤条件下，有地线的杆塔不连地线的工频接地电阻不宜超过规定值。在土壤电阻率超过 $2000 \Omega \cdot m$ 的地区，接地电阻很难降低到 30Ω 时，可采用 6 根~8 根总长不超过 500m 的放射形接地体，或采用连续伸长接地体，接地电阻不受限制^[5]。

3.3 装设避雷器

3.3.1 避雷器的作用

避雷器作为电力系统中至关重要的过电压保护设备，在保障输电线路及电气设备安全稳定运行方面发挥着不可替代的作用。

当输电线路遭遇各种原因导致的过电压情况时，避雷器能够迅速做出响应并动作。在雷电天气中，雷电击中输电线路或其附近区域时，会在瞬间产生极高的电压脉冲，这种雷击形成的过电压幅值极大，远远超过了线路和设备所能承受的正常电压范围。若没有避雷器的保护，如此高的电压会直接冲击线路上的各类电气设备，如变压器、断路器、绝缘子等，导致绝缘击穿、设备损坏，甚至可能引发火灾、爆炸等严重安全事故。而避雷器在检测到过电压达到其动作阈值时，会立即导通，将过电压产生的强大电流引入大地，从而把过电压限制在一个相对安全的范围内，避免了对线路设备的直接损害。

此外，避雷器还能有效降低线路的雷击跳闸率。雷击跳闸不仅会导致供电中断，影响用户的正常用电，还会对电力系统的稳定运行造成冲击。避雷器通过限制雷击过电压，减少了绝缘子闪络等故障的发生概率，使得线路在遭受雷击后仍能保持正常运行状态，大大提高了供电的可靠性。同时，避雷器的良好性能和合理配置，能够增强输电线路的整体耐雷水平，降低因雷击引发的停电事故，为电力系统的安全稳定运行提供了坚实的保障。

3.3.2 避雷器的类型与选择

避雷器在电力系统中扮演着保护电气设备免受电压侵害的关键角色，常见的类型主要有氧化锌避雷

器和阀型避雷器。

氧化锌避雷器以其卓越的性能在输电线路中占据重要地位。它具有优异的非线性特性，在正常工作电压下，呈现高阻态，几乎不通过电流，损耗极小；而当出现过电压时，能迅速变为低阻态，将过电压能量泄放入地。其通流容量大，能够承受较大的雷电流冲击，有效保护设备安全。同时，残压低，意味着在泄放雷电流时，自身产生的电压较低，能更好地限制过电压对设备绝缘的威胁。

阀型避雷器则通过阀片的非线性电阻特性来限制过电压。在正常电压下，阀片电阻较大；过电压时，电阻迅速减小，使雷电流顺利泄放。不过，相比氧化锌避雷器，它在非线性特性、通流容量和残压等方面表现稍逊。

在选择避雷器时，需综合考虑多方面因素。输电线路的电压等级是关键，不同电压等级对避雷器的参数要求不同，必须确保避雷器的额定电压与线路电压相匹配。运行环境也不容忽视，如在高海拔、强腐蚀、多雷区等特殊环境下，要选择具有相应防护等级和性能的避雷器，以保障其可靠运行。

3.3.3 避雷器的安装与维护

避雷器的安装位置应合理，一般安装在杆塔上或变电站内。在安装过程中，应严格按照安装说明书进行操作，确保避雷器的安装质量。同时，还应定期对避雷器进行检测和维护，检查其性能是否正常，及时更换损坏的避雷器。

3.4 采用自动重合闸

3.4.1 自动重合闸的作用

自动重合闸是指在输电线路发生故障跳闸后，自动将断路器重新合闸，恢复线路供电的装置。采用自动重合闸可以预防雷击造成的外绝缘闪络使断路器跳闸后的停电现象，提高供电可靠性。

3.4.2 自动重合闸的类型与工作原理

自动重合闸的类型主要有三相一次自动重合闸、单相自动重合闸等。其工作原理是：当输电线路发生故障跳闸后，自动重合闸装置会检测到线路无电流，经过一定的延时后，自动将断路器重新合闸。如果故障已经消除，线路将恢复正常供电；如果故障仍然存在，

断路器将再次跳闸。

3.4.3 自动重合闸的应用注意事项

在应用自动重合闸时，应注意其与继电保护的配合，避免出现误动作。同时，还应根据输电线路的实际情况，合理设置自动重合闸的延时时间和重合次数。

4 输电线路防雷技术的应用分析

4.1 不同电压等级输电线路的防雷技术应用

4.1.1 500kV 及以上输电线路

500kV 及以上输电线路是电力系统的重要骨干网架，其防雷要求较高。一般采用全线装设双避雷线、降低杆塔接地电阻、装设氧化锌避雷器等综合防雷措施。同时，还应加强对线路的监测和维护，及时发现和处理防雷设施的缺陷。

4.1.2 220~330kV 输电线路

220~330kV 输电线路也是电力系统的重要组成部分，其防雷措施主要包括全线装设双避雷线、降低杆塔接地电阻、在雷电活动强烈地区装设避雷器等。在山区等复杂地形地区，还应加强对杆塔的防雷保护，如采用侧向避雷针等措施。

4.1.3 110kV 输电线路

110kV 输电线路一般沿全线装设避雷线，在雷电特别强烈地区采用双避雷线。同时，还应降低杆塔接地电阻，装设避雷器等。在少雷区或雷电活动轻微地区，可不沿线架设避雷线，但杆塔应随基础接地。

4.2 特殊地形条件下输电线路的防雷技术应用

4.2.1 山区输电线路

山区地形复杂，雷电活动频繁，输电线路的防雷难度较大。在山区输电线路中，应加强对地形的勘察和分析，合理选择线路走向，避开雷击多发地段。同时，应采用较小的避雷线保护角，增加避雷线的数量，降低杆塔接地电阻等措施，提高线路的耐雷水平。

4.2.2 沿海地区输电线路

沿海地区气候湿润，盐雾腐蚀严重，对输电线路的防雷设施有一定的影响。在沿海地区输电线路中，应选用耐腐蚀性能好的避雷线、接地体等材料，加强对防雷设施的防腐处理。同时，还应考虑台风等自然灾害对输电线路的影响，采取相应的加固措施。

4.2.3 城市输电线路

城市输电线路周围环境复杂，建筑物、树木等较多，容易引发雷电感应和反击。在城市输电线路中，应合理规划线路走廊，避免与高大建筑物、树木等靠近。同时，应采用屏蔽电缆、增加绝缘子片数等措施，提高线路的绝缘水平，降低雷电感应和反击的概率。

5 案例分析

5.1 案例背景介绍

某地区一条 110kV 输电线路，地处山区，雷电活动频繁。近年来，该线路多次发生雷击跳闸事故，严重影响了电力供应的可靠性。为了解决这一问题，对该线路进行了防雷改造。

5.2 防雷改造措施

根据该线路的实际情况，采取了以下防雷改造措施：对全线杆塔的接地电阻进行了检测和改造，降低了接地电阻；在雷电活动强烈地段增设了避雷器；对部分杆塔的避雷线保护角进行了调整，减小了保护角。

5.3 改造效果评估

经过防雷改造后，对该线路的运行情况进行了监

测。结果表明，改造后线路的雷击跳闸率明显降低，供电可靠性得到了显著提高。同时，通过对防雷设施的定期检测和维护，确保了防雷设施的正常运行。

6 展望

本研究虽然取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。例如，对新型防雷技术的研究还不够深入，对防雷技术的经济性分析还不够全面。未来的研究可以进一步加强对新型防雷技术的研究和应用，如智能防雷系统、新型避雷器等。同时，还应综合考虑防雷技术的经济性和可靠性，为输电线路的防雷设计提供更加科学合理的依据。

结语

本文通过对电力工程输电线路防雷技术要点及应用的分析，得出以下结论：架设避雷线、降低接地电阻、装设避雷器、采用自动重合闸等是输电线路防雷的关键技术要点。不同电压等级和特殊地形条件下的输电线路，应根据实际情况采取相应的防雷措施。通过实际案例分析，验证了防雷技术的有效性。

参考文献

- [1]孙皓.线路防雷技术在输电线路设计中的应用[J].山东工业技术,2018,(12):170.
- [2]徐宗升.输电线路设计中线路防雷技术的运用解析[J].山东工业技术,2018,(12):176.
- [3]廖东.配网线路运行安全管理探讨[J].广东科技,2013,22(18):65-66.
- [4]罗真海.广州电网送电线路的综合防雷措施[J].高电压技术,2001,(S1):56-57.
- [5]李笑怡.防雷技术在输电线路设计的应用[J].集成电路应用,2020,37(01):70-71.