

# 输电线路差异化防雷技术措施研究与应用

张世亮

深圳市达能电力技术有限公司 广东 深圳 518000

**摘要:** 本文围绕输电线路差异化防雷技术展开。介绍了常见的差异化防雷技术,包括避雷针、避雷线、避雷器、绝缘子、地线和防雷接地系统的工作原理。分析了输电线路雷击故障类型(反击故障和绕击故障)及影响因素(地形地貌、杆塔高度、绝缘配置、气候条件)。重点阐述了基于地形地貌、杆塔高度、绝缘配置的差异化防雷技术措施,如山区和平原地形的不同防雷方法、高杆塔和低杆塔的针对性措施、绝缘水平调整策略,为输电线路防雷工作提供全面参考,提高防雷效果,保障输电线路安全运行。

**关键词:** 输电线路; 差异化防雷; 技术措施; 应用

引言: 输电线路作为电力传输的关键环节,其安全运行对供电稳定性至关重要。然而,雷电活动频繁对输电线路构成严重威胁,常引发故障。不同地区的输电线路因地形地貌、杆塔高度、绝缘配置等存在差异,雷击故障情况各不相同。因此,研究输电线路差异化防雷技术措施意义重大,需依据不同条件采取针对性措施,提高线路耐雷水平,降低雷击跳闸率,保障电力系统稳定供电。

## 1 常见的差异化防雷技术及其工作原理

(1) 避雷针: 避雷针是一种常见的防雷装置,通过将雷电流引入大地,防止雷电直接击中输电线路。避雷针通常安装在输电线路的杆塔顶部,其高度和位置需要根据线路的具体情况进行优化设计。避雷针的工作原理是利用其尖端效应,吸引雷电放电,使雷电流通过避雷针和接地系统迅速导入大地,从而保护输电线路不受雷电的直接冲击。(2) 避雷线: 避雷线是一种沿输电线路架设的导线,用于引导雷电流流入大地。避雷线可以有效地降低雷电对输电线路的影响,减少雷击事故的发生。避雷线的材质和截面大小需要根据线路的电压等级和雷电活动强度进行选择。通常,避雷线采用铜或铝等具有良好导电性能的材料,以确保雷电流能够迅速导入大地。(3) 避雷器: 避雷器是一种用于限制过电压的装置,当雷电引起的过电压超过一定阈值时,避雷器会迅速导通,将过电压引入大地,从而保护输电线路免受损害。避雷器通常安装在输电线路的关键节点,如变电站和重要负荷点。避雷器的工作原理是利用其内部的非线性元件(如氧化锌阀片),在过电压作用下迅速导通,将过电压引入大地,从而保护输电线路的绝缘部分不受损坏。(4) 绝缘子: 绝缘子是输电线路中重要的绝缘部件,用于支撑导线并保持其与杆塔之间的电气隔离。绝

缘子的性能直接影响输电线路的防雷效果,因此需要选择耐雷性能好的绝缘子材料,并定期进行检测和维护。常用的绝缘子材料包括瓷质绝缘子和复合绝缘子,其中复合绝缘子具有更好的耐雷性能和更长的使用寿命。(5) 地线: 地线是输电线路中连接杆塔和大地的导线,用于将雷电流迅速引入大地。地线的材质和截面大小需要根据线路的电压等级和雷电活动强度进行选择,以确保其良好的导电性能和耐腐蚀性。地线通常采用铜或铝等具有良好导电性能的材料,以确保雷电流能够迅速导入大地,减少雷电对输电线路的影响。(6) 防雷接地系统: 防雷接地系统是输电线路防雷的重要组成部分,通过将雷电流引入大地,减少雷电对输电线路的影响。防雷接地系统的设计需要考虑土壤电阻率、接地极的材质和长度等因素,以确保其良好的接地效果。通常,防雷接地系统包括多个接地极,通过连接导线形成一个整体的接地网络,以提高接地效果<sup>[1]</sup>。

## 2 输电线路雷击故障分析

### 2.1 雷击故障的类型

(1) 反击故障: 雷电击中杆塔或避雷线,雷电流沿其入地,在杆塔接地电阻上产生电压降。若此电压降超出输电线路绝缘承受力,会引起绝缘击穿,即反击故障。在雷电活动频繁且接地电阻大的老旧线路区域,反击故障概率高,会导致线路跳闸、影响供电,还可能损坏杆塔和周边设备,维修复杂。(2) 绕击故障: 雷电绕过避雷线击中导线就是绕击故障。它与多种因素有关,杆塔高度、导线布置方式等线路物理特征会影响绕击故障。高杆塔使导线位置高,更易被雷击中,不合理的导线间距会改变电场分布,增加绕击可能。地形地貌也是重要因素,山区、河谷、丘陵等地的复杂地形会影响雷电走向和分布,使输电线路更易成为目标,如山谷中的线路因山体阻挡,可能形

成局部强电场,增加绕击风险。

## 2.2 雷击故障的影响因素

### 2.2.1 地形地貌

大自然的鬼斧神工造就了各种各样的地形地貌,而这些地形地貌对于输电线路的雷击故障有着显著的影响。山区地势起伏,气流在山间穿梭流动,容易形成局部的强对流天气,这为雷电的产生提供了良好的条件。同时,山区的地形复杂,输电线路往往需要穿越山谷、跨越山峰,这些突出的部位更容易吸引雷电的袭击。河谷地区由于水汽充足,空气湿度大,也容易引发雷电活动。并且河谷中的输电线路通常处于相对低洼的位置,周围的山体可能会对雷电的传导产生影响,使得雷电更容易集中在输电线路路上。丘陵地区虽然地形起伏相对较小,但也存在着一定的高差和地形变化,同样会增加输电线路遭受雷击的概率。

### 2.2.2 杆塔高度

杆塔高度是影响输电线路雷击故障的一个重要因素。就像高耸的建筑物更容易吸引雷电一样,杆塔越高,其在空间中的突出程度就越高,也就越容易成为雷电的攻击目标。当雷电击中高杆塔时,雷电流需要在杆塔上传播更长的距离才能流入大地,这意味着在传播过程中会产生更高的电压降。而且,高杆塔上的电场分布也会发生变化,使得线路周围的电场强度增加,进一步增加了线路绝缘击穿的风险。随着杆塔高度的增加,线路与避雷线之间的保护角也会发生变化,可能导致避雷线的保护效果降低,从而增加了导线遭受绕击的可能性。在实际的输电线路建设中,对于高杆塔的防雷设计需要特别重视,采取更加严格的防雷措施,以确保线路的安全运行。

### 2.2.3 绝缘配置

输电线路的绝缘配置是抵御雷击的关键防线,其配置的高低直接决定了线路的防雷性能。绝缘配置越高,意味着线路的绝缘能力越强,能够承受更高的电压冲击,也就越不容易被雷击击穿。如,采用高质量的绝缘子、增加绝缘子的片数、提高绝缘子的绝缘等级等措施,都可以提高线路的绝缘配置。相反,如果绝缘配置不足,线路在遭受雷击时就容易出现绝缘击穿故障。在一些老旧的输电线路中,由于建设时的技术水平和经济条件限制,绝缘配置可能相对较低,这些线路在雷电天气下的运行风险就会大大增加。

### 2.2.4 气候条件

气候条件与雷电活动紧密相连,对输电线路的雷击故障有着重要的影响。在雷电活动频繁的地区,输电线路

遭受雷击的概率自然会大大增加。这些地区通常具有特定的气候特征,如夏季高温多雨、空气对流强烈等,这些条件为雷电的形成提供了有利的环境。此外,暴雨、大风等恶劣天气条件不仅会增加雷电的发生频率,还会对输电线路的运行状态产生不利影响。暴雨会使绝缘子表面的污秽增多,降低绝缘子的绝缘性能;大风会使导线摆动,增加导线与杆塔之间的距离变化,从而改变线路的电场分布,这些因素都可能导致输电线路在雷电天气下更容易发生故障。

## 3 输电线路差异化防雷技术措施

### 3.1 基于地形地貌的差异化防雷技术措施

#### 3.1.1 山区地形

(1) 优化杆塔位置:在山区架设输电线路时,应尽量避开山顶、山坡等突出部位,选择地势较低、地形较为平坦的地方架设杆塔。如果无法避开突出部位,应采取加强防雷措施,如增加杆塔的接地电阻、安装避雷器等。(2) 采用不平衡绝缘方式:对于跨越山区的输电线路,可以采用不平衡绝缘方式,即增加靠近山顶、山坡等易遭受雷击部位的杆塔的绝缘水平,降低远离易遭受雷击部位的杆塔的绝缘水平。这样,当雷电击中易遭受雷击部位的杆塔时,线路不会立即跳闸,从而提高了线路的防雷性能。(3) 安装避雷线:在山区架设输电线路时,应根据地形地貌和雷电活动情况,合理确定避雷线的保护角。对于地形复杂、雷电活动频繁的地区,应适当减小避雷线的保护角,提高避雷线的保护效果<sup>[2]</sup>。

#### 3.1.2 平原地形

(1) 降低杆塔接地电阻:平原地区的土壤电阻率较低,有利于降低杆塔的接地电阻。可以通过增加接地极的数量、深度和面积,改善土壤的导电性,降低杆塔的接地电阻,提高杆塔的泄流能力,从而降低雷击时杆塔上的电压降,提高线路的防雷性能。(2) 安装线路避雷器:对于平原地区的重要输电线路,可以安装线路避雷器。线路避雷器能够在雷电击中输电线路时,迅速将雷电流引入大地,保护线路的绝缘不受损坏。线路避雷器的安装位置应根据线路的电压等级、地形地貌、雷电活动情况等因素进行合理选择。

### 3.2 基于杆塔高度的差异化防雷技术措施

#### 3.2.1 高杆塔的防雷技术措施

(1) 增加绝缘子片数:高杆塔在雷电环境中更容易成为雷击目标,增加绝缘子片数可增强线路的绝缘能力。每增加一片绝缘子,都能提高线路的耐雷水平,使线路在遭受雷击时,能更好地承受雷电过电压,降低跳闸概率,保障电力的持续输送。不过,增加绝缘子片数

也需考虑杆塔的承重能力和成本等因素,确保在提高防雷性能的同时,不会对杆塔的正常运行和建设成本造成过大影响。(2)安装塔顶避雷针:在高杆塔塔顶安装避雷针是一种主动的防雷方式。避雷针能将周围的雷电吸引过来,然后通过良好的接地装置将雷电流安全地引入大地,避免雷电流直接作用于杆塔和线路。安装位置需根据杆塔的结构和雷电活动规律确定,以确保避雷针能最大程度地发挥作用;高度要足够高,以便能够提前吸引雷电;数量则需根据杆塔的高度、面积以及周围的雷电环境等因素综合考虑,形成有效的雷电防护网。(3)采用耦合地线:耦合地线的作用是增加避雷线与导线之间的耦合系数,提高线路的耐雷水平。当雷电击中避雷线时,耦合地线能将部分雷电流分流到大地,减少进入线路的雷电流,从而降低线路的跳闸概率。在安装耦合地线时,要根据杆塔的高度、地形地貌以及雷电活动情况等,合理确定其安装位置、高度和数量,以达到最佳的防雷效果。

### 3.2.2 低杆塔的防雷技术措施

(1)优化杆塔结构:通过优化杆塔结构来降低杆塔高度,可减少杆塔对雷电的吸引。紧凑型杆塔结构是一种较为理想的选择,它能在不影响线路正常运行的前提下,减小杆塔的占地面积和高度,降低雷击的可能性。此外,还可以对杆塔的形状、材质等进行优化,提高杆塔的抗雷击能力。(2)加强绝缘配合:加强绝缘配合是提高低杆塔防雷性能的重要手段。增加绝缘子的爬距可以增大雷电沿绝缘子表面闪络的路径,提高绝缘子的耐雷水平;提高绝缘子的污秽等级则能增强绝缘子在恶劣环境下的绝缘性能,减少因污秽导致的绝缘降低。通过这些措施,可以有效提高线路的绝缘水平,降低雷击时的跳闸概率。

## 3.3 基于绝缘配置的差异化防雷技术措施

### 3.3.1 提高绝缘水平

(1)更换高性能绝缘子:对供电稳定性要求高的重要输电线路,可将普通绝缘子换为高性能绝缘子,如硅橡胶、复合绝缘子。其绝缘性能好,在恶劣环境也能保持良好绝缘。表面憎水性强,可降低因污秽致绝缘下降

风险,且耐污、抗老化,能长期稳定工作,提高线路耐雷水平,减少雷击跳闸概率,保障供电可靠。(2)增加绝缘子爬距:这是提高绝缘水平的重要手段。可增加绝缘子片数,每增加一片就增加一段爬电距离,加大雷电在绝缘子表面闪络难度,增强绝缘能力。也可采用大爬距绝缘子,其设计爬距大,更适合雷电活动频繁地区。实际应用中,要综合考虑线路电压等级、地理环境和雷电活动情况来选择合适的增加爬距方式。

### 3.3.2 降低绝缘水平

在雷电活动频繁、地形复杂地区,并联间隙技术是合适的防雷措施。它是绝缘子串两端并联的金属间隙,雷电击中输电线路时,它先于绝缘子串放电,将雷电流引入大地,保护绝缘子串。其安装位置要依据线路结构和雷电入侵方向合理选择,一般在绝缘子串两端,利于引导雷电流。间隙距离确定很关键,过大无法及时放电,起不到保护作用;过小在正常运行时可能误放电,影响线路运行<sup>[3]</sup>。所以要根据线路电压等级、地形地貌、雷电活动情况精确计算和调整,确保其在雷电天气可靠工作。采用该技术可保护绝缘子串、降低线路维护成本、提高线路耐雷水平,减少雷击跳闸事故。

结束语:本文通过分析雷击故障类型和影响因素,针对性地提出基于多种条件的防雷措施。从地形地貌考虑,山区和平原各有其应对之策;依据杆塔高度,对高杆塔和低杆塔采取不同的防护方法;从绝缘配置出发,有提高或降低绝缘水平的相应技术。这些措施相互配合,能够有效提高输电线路的防雷能力,减少雷击对输电线路的损害,保障电力传输的安全稳定,为电力行业的稳定发展提供有力支持。

### 参考文献

- [1]张强.输电线路防雷技术研究[J].百科论坛电子杂志,2020(7):16-38.
- [2]孟昭显.220千伏架空输电线路防雷技术研究[D].山东:山东理工大学,2021.12-19.
- [3]赵龙波.输电线路差异化防雷技术措施研究与应用[D].山东:山东理工大学,2020.23-27.