

架空输电线路设计输电线路舞动分析研究

秦 丹

国网吴忠供电公司 宁夏 吴忠 751100

摘 要：输电线路舞动现象是电力系统中常见的自然灾害之一，其成因复杂，涉及气象、地理及线路结构等多方面因素。舞动不仅会导致电气故障，如相间短路、跳闸等，还会造成机械损伤，如导线断股、金具损坏等。为应对这一挑战，需采取全方位的防治措施，包括优化线路设计、应用防舞装置以及建立舞动监测与预警系统。通过这些措施，可有效降低舞动对输电线路的危害，确保电力系统的安全稳定运行。

关键词：架空；输电线路设计；输电线路舞动；分析研究

引言

输电线路舞动现象作为电力传输过程中的一大安全隐患，近年来愈发引人关注。随着全球气候变化导致的极端天气频发，以及电网规模的持续扩大，舞动问题变得更为突出。舞动不仅严重干扰了电力供应的稳定性，还可能引发一系列安全事故，对电网的安全运行构成严重威胁。因此深入探讨输电线路舞动的成因及其有效的防治措施，对于确保电力系统的安全稳定运行具有至关重要的意义。

1 输电线路舞动现象概述

输电线路舞动是一种复杂的物理现象，通常发生在覆冰的导线上，在风荷载的激励下产生低频、大振幅的自激振动。这种振动不仅会对导线本身造成损害，还可能对杆塔、绝缘子、金具等输电线路的关键部件产生严重影响，进而威胁到整个电力系统的安全稳定运行^[1]。舞动现象的发生与多种因素有关。首先，导线覆冰是舞动的前提条件。在寒冷的气候条件下，导线容易积聚冰雪，形成覆冰层。覆冰层改变了导线的截面形状和质量分布，使其气动特性发生变化。当风速达到一定值时，风荷载会对覆冰导线产生激励作用，引发舞动。其次，地形和气候条件也是影响舞动的重要因素。舞动多发生在开阔地区，如平原、山谷等，这些地区的风向稳定，易于形成层流风。在冬季及初春时期，由于气温低、湿度大，导线覆冰的可能性增加，从而增加了舞动的风险。舞动对输电线路的危害是多方面的。一方面，舞动会导致导线、杆塔等部件的机械疲劳和损伤。长时间的振动会使导线产生磨损、断股甚至断线，杆塔也可能因承受过大的动荷载而发生倾斜、变形或倒塌。另一方面，舞动还可能引发相间闪络、绝缘子损坏等电气故障，导致线路跳闸停电，影响电力系统的供电可靠性。为了有效治理输电线路舞动问题，需要采取一系列的技术措施。

可以通过改变导线特性、提升线系统自阻尼、加强线路设计和维护以及应用舞动在线监测装置等方法来降低舞动的风险。对于已经发生舞动的线路，需要及时采取措施进行修复和处理，防止问题扩大化。

2 深入剖析舞动成因

2.1 气象因素

在输电线路舞动成因中，气象因素扮演着关键角色。风速是引发舞动的重要因素之一，当风速达到一定阈值，且处于特定的区间范围时，气流与输电线路相互作用，极易激发线路产生大幅振动。通常，5-20m/s的风速区间是舞动的高发风速段。风向也不容忽视，与线路走向夹角在45°-90°时，会形成较为稳定的空气动力，促使线路舞动。温度和湿度的变化则影响着覆冰的形成和特性。当温度在0℃左右，湿度较大时，导线表面易形成覆冰。覆冰更是舞动的直接诱因。不均匀覆冰会改变导线的空气动力学形状，使其在风力作用下产生不稳定的升力和扭矩。不同类型的覆冰，如雨淞、雾淞等，对舞动的影响程度也有所不同。雨淞覆冰密度大、附着力强，形成的不规则冰体更易引发强烈舞动，给输电线路的安全运行带来极大威胁。

2.2 地理因素

地理因素在输电线路舞动的形成过程中同样起着关键作用。首先，线路走向与主导风向的关系密切影响舞动发生概率。当线路走向与主导风向近乎垂直时，导线所受风力的侧向分力达到较大值，这使得线路更容易被激发产生舞动^[2]。地形地势条件也不容小觑。在开阔平坦地区，如平原、草原，气流较为稳定且顺畅，一旦风速和风向满足条件，线路舞动的可能性相对较高。而在山区，复杂的地形会导致气流紊乱。当气流经过山峰、峡谷等特殊地形时，会发生加速、转向等变化。在峡谷处，气流会因“狭管效应”而加速，这种不稳定且高强

度的气流冲击输电线路,极大地增加了舞动的风险。山顶位置由于地势高耸,更容易受到强风侵袭,导线舞动的几率也显著增大。在一些多山地区,因地形起伏导致线路弧垂变化较大,这也会使线路在气象条件变化时,更易产生舞动现象,威胁输电线路的稳定运行。

2.3 线路结构与参数

线路结构与参数对输电线路舞动有着直接且关键的影响。导线类型是首要因素,不同材质与构造的导线,其固有频率和空气动力学性能各异。轻型铝合金导线相较于传统钢芯铝绞线,在相同气象条件下,因自身重量轻、刚度小,更易受风力激发而舞动。导线分裂数和截面大小同样重要。分裂导线可改善输电线路的电气性能,但过多的分裂数在特定风况下,会使导线间的空气动力干扰加剧,增大舞动可能性。大截面导线因迎风面积大,承受的风力载荷更大,若设计不当,也容易引发舞动。弧垂、张力与档距之间存在紧密联系。弧垂过大,导线在风力作用下摆动幅度增加,舞动风险随之上升;张力不均则会使导线受力失衡,局部应力集中,为舞动创造条件。档距过长时,导线的柔性增强,在风荷载下易产生大幅振动,且难以通过自身刚度抑制舞动趋势。线路金具和绝缘子的配置也会影响导线的动力学特性,不合理的配置可能改变线路的固有频率,诱发舞动,威胁输电线路的安全稳定运行。

3 舞动带来的严重危害

3.1 电气故障

输电线路舞动会带来一系列严重危害,其中电气故障尤为突出。当输电线路发生舞动时,导线会产生剧烈的摆动,这大大增加了导线之间相互碰撞的几率。导线碰线一旦发生,瞬间的接触会导致线路局部电流异常增大,进而引发闪络现象。闪络是一种在高电压作用下,气体或液体介质被击穿,形成导电通道的现象。在输电线路舞动引发的闪络中,强大的电流会瞬间通过空气,产生强烈的电弧。这不仅会对线路设备造成直接的热损伤,还可能引发线路短路。短路故障的出现,会使电网中的电流急剧上升,远远超出正常运行范围。这不仅会触发继电保护装置动作,导致线路跳闸,还会在电网中产生电压骤降,影响其他与之相连的线路和设备的正常运行。频繁的线路跳闸会严重破坏电网的稳定性,使电网的功率分布发生紊乱,甚至可能引发连锁反应,导致大面积停电事故。大面积停电会给社会生产和生活带来巨大影响。工业生产被迫中断,造成大量的经济损失;医院、交通枢纽等重要部门的正常运转也会受到严重威胁,危及人们的生命和社会秩序。输电线路舞动引发的电

气故障危害极大,必须高度重视并采取有效措施加以防范,以保障电网的安全稳定运行和供电的可靠性。

3.2 机械损伤

输电线路舞动时,会对线路各部件造成严重机械损伤。导线在舞动中承受交变应力,金属材料不断疲劳,内部微观结构改变,产生细微裂纹。这些裂纹逐渐扩展,致使导线断股甚至断线,严重影响输电功能。金具作为连接导线、绝缘子与杆塔的关键,舞动时承受巨大拉力和冲击力。连接部位极易松动,螺栓脱落,金具还可能变形、断裂,破坏线路连接的稳定性,引发连锁故障。绝缘子负责绝缘与支撑,舞动产生的额外机械负荷,会使瓷件或玻璃件破裂。这不仅降低线路绝缘性能,增大电气故障风险,还可能让导线失去支撑,加剧线路不稳定。杆塔作为支撑结构,在舞动时承受导线传来的强大拉力和冲击力。长时间作用下,杆塔基础松动,杆塔自身可能倾斜、弯曲甚至倒塌,维修难度和成本极高,还威胁周边环境与人员安全。舞动带来的机械损伤威胁巨大,必须加以防范。

4 全方位的防治措施

4.1 线路设计优化

在防治输电线路舞动的全方位措施中,线路设计优化是极为关键的一环,从源头上为线路安全稳定运行筑牢基础。(1)在规划选址阶段,应尽量避免开舞区域。通过对历史舞动数据的分析以及气象、地理条件的综合评估,明确高风险区域,如常年风速较大、风向多变且地形复杂的山口、峡谷、开阔平原等地区。若无法完全避开,也需采取特殊的设计方案^[3]。(2)线路走向的合理选择也至关重要。应使线路走向与主导风向的夹角尽量减小,避免接近垂直角度,以降低导线所受的侧向风力。通过精确的气象观测和数据分析,确定当地的主导风向,科学规划线路走向,减少风力对线路的不利影响。(3)塔头布置的优化同样不容忽视。合理调整杆塔头部的尺寸和形状,增加导线与杆塔之间的距离,减少舞动时导线与杆塔发生碰撞的可能性。优化绝缘子串的悬挂方式和长度,增强其对导线的支撑稳定性,降低舞动的幅度。(4)为增强线路的抗舞能力,可选用合适的导线类型和参数。采用刚度较大、抗疲劳性能好的导线,增加导线的自阻尼,减少舞动的激发。合理调整导线的弧垂、张力和档距,使线路在各种气象条件下都能保持稳定,避免因参数不合理而引发舞动。线路设计优化涵盖多个方面,从选址、走向、塔头布置到导线参数的选择,每一个环节都紧密相扣,共同为输电线路抵御舞动风险提供有力保障。

4.2 防舞装置应用

在输电线路舞动防治措施里,防舞装置的应用是极为重要的实操手段。(1)偏心重锤是一种基础的防舞装置,它通过在导线上安装偏心重物,改变导线的质量分布和惯性矩,进而改变导线的固有频率。当外界风力激发导线振动时,重锤产生的离心力能干扰振动,让导线难以达到舞动的条件,在一些地形相对平坦、风速变化相对稳定的区域,偏心重锤能有效抑制轻微舞动。(2)双摆防振器则有着不同的工作原理。它由两个刚性摆杆和连接在摆杆端部的质量块构成,当导线发生舞动时,摆杆会因导线的振动而摆动,质量块产生的反作用力会与导线的舞动作用力相互抵消,从而抑制舞动。这种装置在风速波动较大、舞动频率复杂的区域有着良好的应用效果,能在一定程度上降低导线舞动的幅度和频率。

(3)还有一种是失谐摆,它依据共振原理设计。失谐摆的固有频率与导线舞动的频率不同,通过调整失谐摆的参数,使其在导线舞动时产生与舞动方向相反的作用力,破坏舞动的稳定性。失谐摆安装方便,能适应多种气象条件,在各类输电线路中都有广泛应用。(4)不同的防舞装置有着各自的特点和适用场景。在实际应用中,需要根据输电线路所处的地理环境、气象条件以及线路自身的结构参数等因素,综合选择合适的防舞装置,或多种装置组合使用,以达到最佳的防舞效果,保障输电线路的安全稳定运行。

4.3 舞动监测与预警

监测系统主要依靠多种先进的传感器来工作。加速度传感器被安装在导线上,能够精准捕捉导线的振动加速度,通过对加速度数据的分析,可以判断导线是否发生舞动以及舞动的剧烈程度^[4]。倾角传感器则用于监测导线的倾斜角度变化,当导线出现异常舞动时,其倾斜角度会发生明显改变,倾角传感器便能及时感知并反馈。此外,还有图像传感器,通过高清摄像头对输电线路进行实时拍摄,利用图像识别技术分析导线的运动轨迹和

形态,直观地监测舞动情况。在技术手段方面,无线传输技术发挥着关键作用。传感器采集到的数据通过无线通信模块,如4G、5G网络,快速传输到数据处理中心。数据处理中心运用大数据分析和人工智能算法,对海量的监测数据进行深度挖掘和分析。这些算法能够学习正常运行状态下输电线路的各种参数特征,一旦监测数据偏离正常范围,系统便能迅速识别出舞动的迹象。预警环节同样至关重要。当监测系统判断线路可能发生舞动或已经处于舞动状态时,会立即通过多种方式发出预警信号。一方面,向电力调度中心发送警报信息,使调度人员能够及时了解线路情况,采取相应的调度措施,如调整输电功率、转移负荷等,避免事故扩大。另一方面,通过短信、语音等方式通知线路维护人员,他们可以根据预警信息迅速赶赴现场,进行进一步的检查和处理,及时采取防舞措施,保障输电线路的安全稳定运行。

结语

综上,输电线路舞动现象的防治需要综合考虑多方面因素,从线路设计优化到防舞装置的应用,再到舞动监测与预警系统的建立,都是不可或缺的环节。通过这些措施的实施,我们可以有效降低舞动对输电线路的危害,确保电力供应的安全与稳定。未来,随着技术的不断进步和创新,我们有望开发出更加高效、智能的舞动防治技术,为电力系统的安全运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]樊虎.架空输电线路设计输电线路舞动分析研究[J].百科论坛电子杂志,2021(10):1340.
- [2]王敏学.分布式光纤传感技术在架空输电线路安全监测中的应用研究[D].湖北:华中科技大学,2022.15-16.
- [3]罗钰.架空输电线路导线舞动防治研究[J].自动化应用,2021(10):132-134.
- [4]伍琦.架空输电线路的舞动现象及应对策略研究[J].建筑工程技术与设计,2020(12):5067.