

输电线路导线舞动成因及其抑制方法探讨

周 萌

四川亚凯美建设工程有限公司 四川成都

【摘要】输电线路导线舞动严重威胁电力系统安全稳定运行。阐述导线舞动现象，深入剖析其成因，涵盖气象条件、线路结构参数等多方面因素。系统介绍现有抑制方法，包括优化线路设计、安装防舞装置等技术手段。通过全面梳理舞动相关内容，为提升输电线路抵御舞动能力、保障电力可靠传输提供理论与技术参考，助力电力行业应对导线舞动带来的挑战。

【关键词】输电线路；导线舞动；成因分析；抑制方法；电力安全

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250139

Discussion on the causes and suppression methods of conductors' waving in transmission lines

Meng Zhou

Sichuan Yakaimai Construction Engineering Co., Ltd. Chengdu, Sichuan

【Abstract】 The waving of conductors in transmission lines poses a significant threat to the safe and stable operation of power systems. This paper explains the phenomenon of conductor waving, delves into its causes, which include meteorological conditions and line structure parameters. It systematically introduces existing suppression methods, such as optimizing line design and installing anti-waving devices. By thoroughly reviewing the relevant content on conductor waving, this paper aims to provide theoretical and technical references for enhancing the resistance of transmission lines to conductor waving and ensuring reliable power transmission, thereby assisting the power industry in addressing the challenges posed by conductor waving.

【Keywords】 Transmission lines; Conductor waving; Cause analysis; Suppression methods; Power safety

引言

随着电网规模不断扩大，输电线路覆盖范围日益广泛。输电线路导线舞动频繁发生，不仅会造成导线断股、金具损坏，甚至引发线路跳闸、倒塔等严重事故，给电力供应和社会经济发展带来巨大损失。深入探究导线舞动成因，寻求高效抑制方法，对保障输电线路安全稳定运行、提升电力系统可靠性具有关键意义，成为电力领域亟待解决的重要课题。

1 舞动现象呈现

输电线路导线舞动是电力系统运行中极具破坏力的特殊现象，其本质是空气动力与结构动力学耦合作用下的自激振动过程。当自然界的气流以特定速度掠过导线表面时，气流会在导线背风侧发生分离，形成卡门涡街。这些交替脱落的漩涡如同无形的手，周期性地对导线施加横向和竖向的空气作用力。随着漩涡脱落频率与导线固有频率接近，便会触发共振机制，

使得导线从轻微晃动迅速发展为剧烈摆动。这种摆动突破了常规运行状态下的微小振动范畴，在垂直于线路方向形成具有明显规律性的振荡形态。

舞动的形态丰富多样，其中正弦波状舞动最为常见，此时导线犹如琴弦般在空中划出优雅却危险的弧线，整个线路在水平面上呈现出连续起伏的波浪轮廓。椭圆形舞动则更为复杂，导线在空间中同时进行横向与竖向的复合运动，轨迹如同不断拉伸变形的椭圆。更为极端的情况下，还会出现“8”字形或螺旋状舞动，这些复杂形态往往伴随着更大的摆动幅度和能量积聚^[1]。值得注意的是，舞动过程并非单纯的机械运动，其持续时间的不确定性更增加了防范难度。短时间的舞动可能仅持续数小时，在夜间悄然发生又悄然消逝；而长时间的舞动事件甚至会持续数天，如同顽固的病症般持续威胁着输电线路的安全。

导线舞动对电力系统的影响是全方位的。在物

理层面, 剧烈的摆动会使导线承受反复的弯曲应力和张应力波动, 加速金属疲劳, 导致断线、断股等严重后果。杆塔和绝缘子串也会因舞动产生的冲击力而承受额外载荷, 引发金具磨损、绝缘子破裂等故障。在运行层面, 舞动造成的线路相间距离变化可能引发短路跳闸, 直接中断电力供应^[2]。更为严重的是, 大规模的舞动事件可能引发连锁反应, 导致区域性电网解列, 给社会生产生活带来巨大损失。深入研究舞动现象的特征与规律, 是保障输电线路安全稳定运行的关键课题。

2 舞动成因剖析

气象条件作为导线舞动的外部触发因素, 其作用机理复杂且具有协同效应。覆冰现象是舞动发生的核心诱因, 当环境温度处于冰点附近、空气湿度饱和且伴有持续微风时, 导线表面会逐渐形成冰层。这种覆冰过程并非均匀增长, 而是受风向、导线表面粗糙度等因素影响, 形成偏心覆冰形态。冰层的存在不仅改变了导线的质量分布, 更显著影响其空气动力学特性。原本流线型的导线在覆冰后变得凹凸不平, 空气流经时更容易产生漩涡脱落, 且激发舞动所需的风速大幅降低。稳定的层流风为舞动提供了持续的能量来源, 特定的风向角(通常为 45° ~ 90°)则确保了空气动力的有效传递。温度的骤变同样不容忽视, 当冰层表面发生融冰再冻结时, 会进一步加剧覆冰的不均匀性, 形成恶性循环。

线路结构参数作为内部因素, 如同舞动发生的“温床”, 直接决定了导线的振动特性。不同型号的导线因其截面形状、材质和股数差异, 具有不同的固有频率和空气动力系数。圆形截面导线在特定风速下容易形成稳定的漩涡脱落, 而采用非圆截面设计的导线则能扰乱气流, 降低共振风险^[3]。导线张力的大小也至关重要, 过高的张力会使导线处于绷紧状态, 降低其柔韧性, 增加舞动敏感性; 过低的张力则可能导致导线弧垂过大, 增加摆动幅度。杆塔作为线路的支撑结构, 其高度和间距直接影响导线的悬挂方式和受力状态。

环境因素与线路参数之间存在复杂的非线性耦合关系。当气象条件创造了舞动的外部环境, 而线路结构参数又恰好与激励频率匹配时, 舞动便会如同被点燃的火药般迅速爆发。这种耦合效应在不同地区呈现出显著差异: 在山区, 地形地貌的影响使得气流紊乱, 容易形成局部强风; 在平原地区, 寒冷潮湿的气

候则更容易引发覆冰现象^[4]。随着电网规模的扩大和输电电压等级的提升, 线路走廊的环境复杂性不断增加, 新的舞动诱因也在不断涌现。深入剖析舞动成因, 需要建立多维度、跨学科的研究框架, 综合考虑气象学、空气动力学和结构力学等多方面因素。

3 抑制方法阐述

优化线路设计是从源头降低舞动风险的根本措施。在规划阶段, 通过详细的气象调研和地形勘察, 科学选择线路路径, 避开易舞区域是首要原则。这些区域通常包括地形复杂的山口、河谷, 以及气候条件恶劣的高寒潮湿地区。对于无法避开的特殊地段, 则需要采用针对性设计方案。通过调整线路走向, 使导线与主导风向保持较小夹角, 减少横向风力作用; 采用“之”字形路径设计, 分散局部强风的影响。在导线选型方面, 非圆截面导线的应用是重要突破。此类导线通过改变空气动力特性, 使气流难以在导线表面形成稳定漩涡, 从而降低舞动激发概率。合理调整导线张力和档距参数, 使线路固有频率避开可能的激励频率范围, 也是行之有效的设计手段。

防舞装置的研发与应用为舞动防治提供了灵活高效的解决方案。失谐摆作为被动式防舞装置的代表, 通过在导线上安装偏心质量块, 改变导线的振动特性。当导线发生舞动时, 失谐摆会产生与导线振动方向相反的惯性力, 形成阻尼效应, 消耗振动能量。其工作原理类似于钟摆的摆动, 通过与导线振动的相互作用, 打破共振条件。相间间隔棒则侧重于限制导线的相对位移, 在多分裂导线系统中, 间隔棒如同柔性的连接桥梁, 将各子导线连接在一起, 防止舞动时导线相互碰撞摩擦, 避免断线事故的发生^[5]。近年来, 智能型防舞装置的出现进一步提升了防治效果, 这些装置通过内置传感器实时监测导线振动状态, 根据实际情况自动调整工作模式, 实现精准防控。

新材料与新工艺的创新为舞动防治开辟了新路径。新型复合材料导线的研发是其中的重要方向, 这类导线通常采用高强度、低比重的碳纤维复合材料作为芯材, 外层包裹特殊涂层, 既保证了机械强度, 又具有优异的防冰性能。与传统钢芯铝绞线相比, 复合材料导线重量减轻, 降低了覆冰载荷; 表面光滑且憎水性强, 不易形成覆冰^[6]。纳米涂层技术的应用也为导线防冰提供了新思路, 通过在导线表面涂覆具有超疏水特性的纳米材料, 使水滴无法附着,

从根本上抑制覆冰形成。在施工工艺方面,采用张力放线、精确弧垂控制等技术,确保线路参数符合设计要求,减少因安装误差导致的舞动隐患。这些技术的综合应用,为输电线路的舞动防治构建了多层次、立体化的防护体系。

4 舞动研究进展

数值模拟技术的飞速发展为舞动研究提供了强大的理论分析工具。传统的试验研究方法受限于成本和环境条件,难以全面复现复杂的舞动过程。而基于计算流体力学(CFD)和结构动力学的数值模拟技术,能够精确模拟不同气象条件和线路参数下的舞动行为。研究者通过建立导线-空气耦合模型,对气流流动、漩涡脱落、导线振动等物理过程进行三维仿真,直观展示舞动的发生发展规律。这种模拟不仅可以节省大量试验成本,还能实现对极端工况的研究,为舞动机理的深入理解提供数据支持。随着人工智能技术的引入,数值模拟的效率和精度进一步提升,机器学习算法能够快速处理海量数据,优化模型参数,使模拟结果更加贴近实际。

新材料和新工艺的持续创新为舞动防治注入新动能。在材料领域,除了前文提到的复合材料导线,智能相变材料也展现出独特的应用潜力。这类材料能够根据环境温度变化自动调节自身状态,在覆冰形成初期吸收热量,防止冰层增长。形状记忆合金则可用于制造智能防舞装置,当导线发生舞动时,合金材料在应力作用下发生相变,产生额外的阻尼力,抑制振动^[7]。在工艺方面,3D打印技术的应用为防舞装置的个性化设计提供了可能,通过快速成型制造复杂结构的间隔棒和失谐摆,满足不同线路的特殊需求。纳米制造技术的发展使导线表面处理更加精细,通过在微观尺度上改变材料表面形貌,提升防冰性能。

监测技术的革新为舞动防治构筑了实时预警防线。传统的人工巡检方式难以发现早期的舞动迹象,而基于传感器的在线监测系统能够实时采集导线振动、覆冰厚度、气象参数等关键数据。光纤传感技术的应用使监测精度达到新高度,通过检测光纤中光信号的变化,可准确测量导线的微小振动和温度变化。无人机巡检系统则提供了灵活高效的监测手段,搭载高清摄像头和激光雷达的无人机能够快速扫描线路,及时发现潜在隐患^[8]。人工智能算法的融入进一步提升了监测系统的智能化水平,通过对历史数

据的学习和分析,系统能够预测舞动发生概率,并在危险来临前发出预警,为运维人员争取宝贵的处置时间。这些技术的融合发展,推动导线舞动防治从被动应对向主动防控转变,显著提升了输电线路的安全运行水平。

5 结语

输电线路导线舞动成因复杂,现有抑制方法在实际应用中取得一定成效,但仍面临诸多挑战。未来,需进一步深化对舞动机理的研究,结合多学科知识,开发更高效、智能的抑制技术。加强监测系统的智能化建设,实现舞动风险的精准预测和防控。随着技术的持续创新与发展,有望形成更完善的导线舞动防治体系,为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 刘海峰,吉鹏飞,闫敏.同塔双回输电线路单回运行带电作业优化研究[J].河北电力技术,2025,44(03):44-51.
- [2] 王阳,王鹏超,白杨.耐热导线在架空输电线路增容改造中的应用[J].陕西水利,2025,(06):163-165.
- [3] 李鹏,井小川,宁昊,等.基于激光点云的架空输电线路导线弧垂测量系统[J/OL].实验技术与管理,1-9[2025-06-23].
- [4] 李成,黄学能,石习双,等.超特高压输电线路导线非线性运动轨迹识别[J].电子设计工程,2025,33(09):140-143+148.
- [5] 韩金釜,赵炳良,于培永.超高压输电线路新型抑扭环抗舞动间隔棒研发研究[J].中国设备工程,2025,(08):121-123.
- [6] 杨继超,张慧,齐奇,等.高压架空输电线路导线防舞动装置安装技术研究[J].电力设备管理,2024,(21):276-278.
- [7] 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.
- [8] 曾健.架空输电线路导线舞动原因及防范对策[J].通信电源技术,2020,37(05):165-166.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS