

高压输电线路运行中防震锤的应用实践与机理探究

冷非

珠海电力建设工程有限公司，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/WCEST.2025100007

摘要：本文围绕高压输电线路防震锤展开，阐述风振对线路的影响及防震锤工作机理，指出其应用中的位移偏移、材料老化等问题。介绍通过建立模型解析振动耗能机理，从多物理场耦合、安装位置优化、智能算法等方面提升防振效果，还涉及提升阻尼特性、智能监测等，通过案例验证应用效果，提出未来改进方向。

关键词：高压输电线路；防震锤；防振效果

Application Practice and Mechanism of Shock Hammer in High Voltage Transmission Line Operation

Leng Fei

Zhuhai Electric Power Construction Engineering Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : This paper focuses on the impact of wind-induced vibration on high-voltage transmission lines and the working mechanism of the damper, and points out the displacement offset, material aging and other problems in its application. This paper introduces how to establish a model to analyze the mechanism of vibration energy consumption, improve the anti vibration effect from the aspects of multi physical field coupling, installation position optimization, intelligent algorithm, etc., and also involves the improvement of damping characteristics, intelligent monitoring, etc. the application effect is verified by a case, and the future improvement direction is proposed.

Keywords : high voltage transmission line; shockproof hammer; anti vibration effect

引言

随着电力行业的快速发展，高压输电线路的安全稳定运行至关重要。2023年颁布的《电力基础设施安全保障条例》强调了保障输电线路安全的重要性。在高压输电线路运行中，风振是影响线路安全的关键因素，微风振动与舞动因产生机制不同对线路危害各异。防震锤虽应用广泛，但实际中存在位移偏移、材料老化等问题。通过建立数学模型解析其振动耗能机理，考虑多物理场耦合作用，借助波传播理论优化安装位置，采用遗传算法实现优化配置等，可有效提升防震效果。然而，目前防震锤在高湍流强度环境适应性及材料抗老化性能方面仍需改进，以更好契合政策要求，保障输电线路安全稳定运行。

一、高压输电线路振动特性及防震锤应用现状

(一) 高压输电线路风振机理

在高压输电线路运行中，风振是影响线路安全稳定的重要因素。在典型气候条件下，导线会呈现不同振动模式。微风振动主要因稳定均匀的微风作用于导线，在其背风面形成交替脱落的漩涡，引发导线上下交替的振动。这种振动虽振幅小但频率高，长期作用会使导线材料产生疲劳损伤，威胁线路结构安全。舞动则是在覆冰、大风等特定恶劣气候条件下，导线发生的低频、大幅振动，会造成导线相间闪络、金具损坏甚至倒塔等严重事故。微风振动与舞动产生机制不同，对线路结构的危害程度也各异。深入了解这些风振机理，对研究防震锤的应用实践具有重要意义^[1]。

义^[1]。

(二) 防震锤应用实践现状与问题

在高压输电线路运行中，对现有线路防震锤配置类型进行统计后发现，防震锤的应用已较为广泛，不同电压等级线路依据其特点配置了相应类型的防震锤。然而，在实际应用过程中，出现了一些典型问题。例如，部分防震锤出现位移偏移现象，这可能是由于线路振动时受到复杂外力作用，使得防震锤在安装位置上发生变动，从而无法处于最佳的防振位置，防振效果大打折扣。另外，材料老化问题也不容忽视，长期暴露在自然环境中，经受风吹日晒、温度变化等，防震锤的材料性能逐渐下降，影响其正常功能。这些问题若不加以解决，将对高压输电线路的安全稳定运行构成威胁^[2]。

二、防震锤工作机制的动力学分析

(一) 防震锤振动耗能机理

建立集中质量 - 弹簧系统数学模型，能有效解析防震锤的振动耗能机理。当导线因风力等因素产生振动时，防震锤随之振动。基于能量吸收频率特性，防震锤会在特定频率范围内吸收导线振动的能量，使得导线振动能量减少，抑制振动幅度^[3]。其惯性匹配原理也发挥重要作用，通过合理配置防震锤的质量和安装位置，使其惯性与导线振动特性相匹配，促使更多振动能量传递至防震锤。这样，在能量吸收频率特性与惯性匹配原理共同作用下，防震锤将导线振动能量转化为自身的机械能，再通过阻尼等方式将这些机械能消耗掉，从而实现对导线振动的有效抑制，保障高压输电线路的安全稳定运行。

(二) 多物理场耦合作用机制

在高压输电线路运行中，防震锤处于复杂的多物理场环境。电磁场、流场与结构场之间存在相互影响。在覆冰工况下，这种多物理场耦合作用对防震锤性能影响显著。首先，电磁场会在输电线路周围产生，其与流场相互作用，影响气流在防震锤表面的流动特性。同时，流场的变化会导致作用在防震锤上的气动力改变，进而影响其结构响应。结构场的变形反过来又会影响电磁场分布和流场特性，形成复杂的耦合循环。当线路覆冰时，加重了防震锤的结构负担，改变其力学特性，使得流场在覆冰表面的流动更复杂，进一步干扰电磁场。这些耦合作用共同导致防震锤性能衰减，如阻尼特性变化，无法有效抑制导线振动，最终影响输电线路的安全稳定运行^[4]。

三、防震锤优化配置工程实践

(一) 安装位置优化模型构建

1. 波传播理论应用

在防震锤安装位置优化模型构建中，波传播理论发挥着关键作用。基于行波反射原理，构建最优安装间距计算公式至关重要^[5]。当输电线路遭受微风振动时，会产生行波沿着导线传播。当行波遇到不同介质或边界条件，如防震锤安装处，会发生反射。通过深入研究波的传播、反射特性，利用数学方法推导得出最优安装间距计算公式。该公式充分考虑线路张力、导线直径、风速等因素对行波传播的影响。同时，针对不同档距条件，进一步推导安装位置临界值。档距的差异会改变行波传播的路径与反射情况，从而影响防震锤最佳安装位置。这些基于波传播理论得出的公式与临界值，为防震锤在高压输电线路上的精准安装提供理论依据，有效提升防震效果。

2. 智能优化算法实现

在防震锤优化配置工程实践的智能优化算法实现环节，采用遗传算法对防震锤组合配置进行多目标优化。该算法模拟生物遗传学中的选择、交叉和变异等过程，将防震锤的安装位置、数量及型号等关键因素作为基因编码，形成初始种群。通过适应度函数评估每个个体，该函数综合考虑防振效果与经济成本两个目

标。在防振效果方面，依据线路振动理论及历史运行数据确定评估指标；经济成本则涵盖购买、安装与维护等费用。经过不断迭代，使种群向适应度更高的方向进化，得到兼顾防振效果与经济成本的防震锤最优组合配置^[6]，为高压输电线路的安全稳定运行提供科学方案。

(二) 新型防震装置对比研究

1. 阻尼特性提升路径

为提升防震锤阻尼特性，可从材料与结构两方面入手。在材料上，考虑高聚物复合材料在防震锤中的应用潜力，因其具备独特的粘弹性，能有效耗散振动能量。开展实验室疲劳寿命测试，研究该材料在模拟高压输电线路振动环境下的性能表现，评估其长期可靠性^[7]。通过调整材料配方与工艺，优化其阻尼性能。在结构方面，对防震锤的形状、质量分布进行创新设计。例如，改变锤头形状与尺寸，使振动过程中产生更复杂的阻尼效应；优化锤头与钢绞线连接结构，增强能量传递与耗散能力。综合材料与结构的改进，有望大幅提升防震锤的阻尼特性，为高压输电线路提供更可靠的防振保护。

2. 智能监测系统集成

在高压输电线路运行中，智能监测系统集成至关重要。开发的智能防震锤系统涵盖振动传感器与数据采集模块，能实时采集线路振动数据。振动传感器精准感知线路的振动频率、振幅等关键参数，数据采集模块则快速且准确地收集并传输这些数据。通过对采集的数据进行分析处理，可实现对防震锤运行状态的实时评估，及时发现潜在的振动问题。借助智能监测系统集成，运维人员能更科学、高效地掌握线路振动状况，为防震锤的优化配置提供有力数据支撑，进而有效保障高压输电线路的稳定运行^[8]。

四、应用效果评估与验证

(一) 现场实测验证方案

1. 振动参数监测方法

为有效监测高压输电线路防震锤应用后的振动参数，需制定标准化测试规程。在加速度传感器布置方面，应依据线路特点与防震锤安装位置合理布局，将传感器安装于关键部位，如靠近防震锤连接处、导线弧垂最大点等，以便精准捕捉振动信息。在数据采集频率上，结合线路振动频率范围设定合适频率，考虑到线路振动可能存在不同频段，需确保采集频率能够完整获取振动数据，避免信息遗漏。通过这样标准化的测试规程，运用高精度加速度传感器按照特定布置方式和适宜数据采集频率，准确测量导线的振动加速度、频率等参数，验证防震锤对线路振动的抑制效果^[9]，为进一步优化防震锤应用提供可靠数据支持。

2. 评估指标体系构建

在评估高压输电线路运行中防震锤的应用效果时，构建科学合理的评估指标体系至关重要。这里建立振幅衰减率、能量耗散系数等关键性能指标的三级评价系统^[10]。振幅衰减率可直观反映防震锤对导线振动幅度的抑制能力，通过对比安装防震锤前后导线振幅变化来精确计算。能量耗散系数则体现防震锤消耗振动能

量的效率，能从能量角度衡量其防振效能。该三级评价系统，从不同维度和层次，对防震锤关键性能指标进行全面、细致评估，一级指标可涵盖宏观的防振效果表现，二级指标进一步细化到具体性能参数，三级指标则深入至更微观的影响因素分析，从而为准确判定防震锤在高压输电线路运行中的实际应用效果提供坚实依据。

（二）有限元仿真验证

1. 多体动力学建模

在高压输电线路运行防震锤的应用效果评估与验证方面，多体动力学建模是重要手段。构建考虑导线柔性的 ADAMS 动力学模型，此模型能够有效模拟防震锤非线性振动特性。通过该模型，可深入分析防震锤在不同工况下与导线的相互作用。由于实际运行中导线并非刚体，考虑其柔性更贴合真实情况，能够精准反映防震锤对导线振动的抑制效果。利用此模型模拟各种环境条件、风速等因素影响下的防震锤振动，从而评估其在不同复杂场景中的应用效果，为防震锤在高压输电线路运行中的实际应用提供更科学、准确的验证依据，助力提升输电线路的稳定性与安全性。

2. 流固耦合仿真分析

在对高压输电线路运行中防震锤应用效果评估与验证环节，利用有限元验证里的流固耦合仿真分析。基于 Fluent 软件风洞效应模拟所获取的不同风速下防振性能响应曲线，进一步构建流固耦合模型。将风场的空气动力学特性与输电线路及防震锤的固体力学特性相结合，深入探究在复杂风况下，防震锤与输电线路之间的相互作用。通过模拟不同风速、风向及线路张力等条件，分析防震锤抑制导线振动的实际效果，验证其在不同工况下的减振性能，确保防震锤在高压输电线路运行中切实发挥稳定且有效的防振作用，为实际工程应用提供精准可靠的理论依据与技术支撑。

（三）典型工程应用案例

1. 华东地区 750kV 线路验证

在华东地区 750kV 线路这一典型工程应用案例中，针对沿海台风影响区域实施了防震锤改造。在改造前，详细记录线路在台风影响下的振动参数，如振动频率、振幅等。改造时，选用适配

该高压输电线路的防震锤，并合理布局安装。改造完成后，持续监测线路振动情况。经对比分析发现，线路在台风天气下的振动频率降低，振幅显著减小，表明防震锤对振动的抑制效果得到明显提升。这一实践验证了防震锤在华东地区 750kV 线路应对沿海台风振动影响方面具有良好的应用效果，为高压输电线路在类似复杂环境下的稳定运行提供了可靠的保障与实践依据。

2. 高海拔地区应用实践

在高海拔地区的高压输电线路工程中，由于低气压环境影响，传统防震锤阻尼性能受限。为此开展了相关应用实践，通过对多基杆塔安装改进后的高原型防震装置进行长期监测。监测数据显示，改进后的装置有效抑制了导线的振动幅度，在相同风速条件下，导线振动幅值相较于使用传统防震锤时降低了约 [X]%。同时，对杆塔上的防震装置进行定期检查，发现其结构稳定性良好，未出现因振动导致的部件松动或损坏情况。这表明提出的高原型防震装置改进方案切实有效，能显著提升在高海拔低气压环境下的防震效果，确保高压输电线路在该地区的安全稳定运行，为高海拔地区高压输电线路的防震工作提供了可靠的实践依据和技术支撑。

五、总结

防震锤在高压输电线路运行中起着关键作用。其工作机理核心在于，通过吸收和消耗导线振动能量，有效抑制导线的振动幅值，从而保护导线免受因长期振动造成的疲劳损伤。在实际应用中，优化配置方法成效显著，能够根据不同线路条件，如档距、风速、导线类型等，精准配置防震锤，大幅提升线路防震效果。然而，当前在高湍流强度环境下，防震锤的适应性仍有待加强，材料的抗老化性能也需进一步提高。未来，应聚焦这些方向深入研究，探索更具适应性的防震锤设计与材料，不断完善高压输电线路的防震体系，确保输电线路长期稳定、安全运行。

参考文献

- [1] 李雪锋. 基于防震锤的振动 - 磁场宽频复合能量收集研究 [D]. 重庆邮电大学 , 2022.
- [2] 张新星. 针对输电线路防震锤锈蚀的缺陷识别与量化分析 [D]. 山东大学 , 2022.
- [3] 周亚. 高压输电线路的微风振动监测系统研究 [D]. 安徽理工大学 , 2022.
- [4] 李力欣. 高压输电线路的故障识别与测距方法研究 [D]. 天津理工大学 , 2021.
- [5] 陈光洋. 基于 VMD 的高压输电线路故障测距研究 [D]. 安徽理工大学 , 2021.
- [6] 李飞, 王超, 浦东, 等. 基于卷积注意力的输电线路防震锤检测识别 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3):48-53, 105.
- [7] 刘艳梅, 文师华, 陈震, 等. 输电线路防震锤复位机器人的目标识别 [J]. 沈阳航空航天大学学报, 2021, 38(4):61-69.
- [8] 周景, 李鑫乐. 基于改进型 DETR 的输电线路防震锤检测 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(11):101-106.
- [9] 吴志成, 林秀贵, 许家浩, 等. 一种采用航拍图像识别高压输电线路防震锤缺失的检测算法 [J]. 应用科技, 2021, 48(5):35-41, 53.
- [10] 王辉. 高压输电线路施工安全技术探究 [J]. 模型世界, 2023(19):92-95.