

# 基于电磁阻尼和弹簧复合的间隔棒防舞性能研究

刘 涛

内蒙古送变电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010020

**摘 要：**本文基于电磁阻尼和弹簧复合的原理，对新型间隔棒的防舞性能进行深入研究。通过理论分析与实验验证相结合的方式，详细探讨电磁阻尼臂的设计参数、弹簧复合系统的构建及其对导线舞动抑制效果的影响。研究结果表明，该复合间隔棒能够显著提升输电线路在风载作用下的稳定性，有效减小舞动幅度，降低舞动频率，为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。本研究不仅丰富输电线路防舞技术的理论体系，也为实际工程应用提供有价值的参考。

**关键词：**电磁阻尼；弹簧；间隔棒；输电线路舞动；防舞性能

## 1 电磁阻尼和弹簧复合的概述

### 1.1 电磁阻尼原理

电磁阻尼指的是当导体在磁场中运动时，感应电流会使导体受到安培力，安培力的方向总是阻碍导体的运动的这种现象。这一原理源于电磁感应原理。当闭合导体与磁极发生相对运动时，两者之间会产生电磁阻力，阻碍相对运动。这一现象可以用楞次定律解释：闭合导体与磁极发生切割磁感线的运动时，由于闭合导体所穿透的磁通量发生变化，闭合导体会产生感应电流，或者叫动生电流。这一电流所产生的磁场会阻碍两者的相对运动。其阻力大小正比于磁体的磁感应强度、相对运动速度等物理量。

### 1.2 弹簧阻尼原理

弹簧阻尼器是一种机械装置，主要用于减震和缓冲作用。它由弹簧和阻尼器两部分组成，其工作原理是通过弹簧的弹性变形和阻尼器的阻力来吸收冲击力和减少震动。弹簧阻尼器的工作原理可以分为两个过程：弹性过程和阻尼过程。在弹性过程中，当外界施加一个力作用于弹簧上时，弹簧会产生形变并存储能量。在阻尼过程中，当弹簧回复到原始状态时，阻尼器会阻止弹簧的回弹运动，并将存储的能量消耗掉。弹簧的主要作用是吸收冲击力和存储能量，其弹性系数和弹簧的形状直接影响到弹簧阻尼器的性能。阻尼器的主要作用是消耗弹簧的动能，减少冲击力和震动，阻尼器通常由摩擦阻力或液态阻力产生。

### 1.3 电磁阻尼与弹簧复合原理

电磁阻尼与弹簧复合原理是指将电磁阻尼器和弹簧阻尼器结合在一起，利用它们各自的优势来实现更好的减震和缓冲效果。电磁阻尼-弹簧系统是利用其产生的抑制力实现推力波动的抑制，其中抑制力是由电磁阻尼器产生的电磁阻尼力和弹簧产生的弹力组成<sup>[1]</sup>。电磁阻尼器

通过改变线圈中通入直流电压的方向和大小，可以改变电磁阻尼力的方向和大小。而弹簧产生的弹力在弹性系数确定的情况下，由弹簧形变量决定其大小及方向。因此通过合理设计电磁阻尼器和弹簧的参数，可以实现对震动和冲击力的有效抑制，提高系统的稳定性和可靠性。

## 2 输电线路舞动原理分析

### 2.1 输电线路舞动的产生机制

输电线路舞动是指导线在特定气象条件下，受到风力激励而产生的一种低频、大振幅的自激振动现象。这种振动的频率通常在0.1至3Hz之间，而振幅则可达导线直径的5至300倍。输电线路舞动的产生机制复杂，涉及多种因素的相互作用，主要包括风力作用、覆冰作用以及导线自重等。风力作用是导致导线舞动的主要原因，当风速较大时，风对导线的压力作用显著增强，导致导线出现摇摆现象。特别是当风向与线路走向的夹角在45°至90°范围内时，风力的侧向分量对导线产生较大的推力，进一步加剧了导线的舞动，风力的不稳定性和变化性也使得导线舞动呈现出复杂性和不可预测性。覆冰作用也是导致输电线路舞动的重要因素，在气温较低、风速较大的条件下，导线容易形成不均匀的覆冰。覆冰会导致导线下垂，进而引起导线在风中的摇动。覆冰还改变了导线的截面形状和质量分布，使得导线在风中的动力学特性发生变化，更容易产生舞动。导线自重也是导致舞动的原因，特别是在导线过长或接地点不稳的情况下，导线因自重而产生的下垂和摆动现象更为明显。当导线受到风力作用时，自重会加剧导线的振动幅度和频率。输电线路的结构特性也对其舞动行为产生影响。大跨距的导线更容易受到风力的影响而产生舞动，而支撑结构的稳定性和刚度也会影响导线的振动特性。

### 2.2 现有防舞措施及局限性分析

针对输电线路舞动问题，目前已有多种防舞措施被

提出和应用。这些措施在实际应用中仍存在一些局限性和挑战。一种常见的防舞措施是加固导线支架,通过增加支架的数量或加固现有支架,可以提高导线的稳定性,减少舞动风险。这种方法需要投入大量的人力和物力资源,且对于已经建成的输电线路来说,改造难度较大<sup>[2]</sup>。另一种防舞措施是调整导线跨距。通过适当减小导线跨距,可以降低导线受到风力作用时的振动幅度和频率,这种方法也受到地形、地貌等自然条件的限制,且对于长距离输电线路来说,调整跨距的成本较高。安装防风挂件也是一种有效的防舞措施,防风挂件可以减小导线受到的风力影响,提高导线的稳定性,防风挂件的选择和安装需要根据导线的实际情况进行,且对于不同气象条件下的舞动问题,防风挂件的效果也会有所不同。近年来,随着科技的发展,输电线路舞动监测系统逐渐被应用于实际中。这些系统通过安装在导线上的传感器实时采集导线舞动信息,并无线发送到监测中心进行数据分析,这些系统仍存在一些局限性,如传感器精度、数据传输稳定性以及数据分析算法等方面的问题。监测系统的建设和维护成本也较高,对于偏远地区的输电线路来说,实现全面监测仍面临一定的困难。

### 3 新型电磁阻尼间隔棒的设计

#### 3.1 新型电磁阻尼间隔棒的结构设计

新型电磁阻尼间隔棒是为了应对高压输电线路中导线舞动、微风振动及次档距振荡等问题而设计的一种创新装置。其结构设计充分考虑了实际运行环境的复杂性和多样性,旨在提供一种高效、稳定且可靠的解决方案。该间隔棒的主体结构采用了模块化设计,便于安装和维护。其主要部件包括电磁阻尼器、弹簧组件、线夹、框架以及连接件等。电磁阻尼器是间隔棒的核心部件,负责产生阻尼力以抑制导线的振动。弹簧组件则起到缓冲和减震的作用,能够吸收和释放振动能量。线夹用于将间隔棒固定在导线上,确保其在运行过程中的稳定性和可靠性。框架则作为整个结构的支撑,承受着来自导线的各种力和力矩。在电磁阻尼器的设计上,采用了先进的电磁感应原理,通过改变磁场强度和方向来控制阻尼力的大小和方向。具体来说,电磁阻尼器内部包含有电磁铁和感应线圈,当导线发生振动时,感应线圈会检测到振动信号并产生相应的电流,该电流通过电磁铁产生磁场,与导线中的感应电流相互作用,从而产生阻尼力。这种设计使得电磁阻尼器能够根据导线的振动情况实时调整阻尼力,实现更为精准的控制。弹簧组件的设计则充分考虑导线的振动特性和弹簧的力学性能,采用高强度、高韧性的弹簧材料,并经过精密的计算和

优化,确定弹簧的刚度和预紧力。这样设计出的弹簧组件能够在承受导线振动的同时,保持足够的弹性和稳定性,确保间隔棒的整体性能。线夹的设计则注重了安装方便性和可靠性,采用了可调节式线夹,能够根据导线的直径和形状进行调整,确保间隔棒与导线之间的紧密接触。线夹还采用高强度螺栓和锁紧装置,防止因振动而导致的松动和脱落问题。框架的设计则注重结构的稳定性和强度。采用优质钢材作为框架材料,并经过严格的焊接和热处理工艺,确保框架的刚度和耐久性,框架还设计了多个连接点,便于与其他部件进行连接和固定。

#### 3.2 新型电磁阻尼间隔棒的材料选择

在新型电磁阻尼间隔棒的材料选择上,充分考虑了材料的性能、成本以及环保性等因素。电磁阻尼器的核心部件——电磁铁和感应线圈,采用了高性能的电工钢和铜材料。电工钢具有高导磁性和低损耗的特点,能够确保电磁铁产生足够的磁场强度。铜材料则具有良好的导电性和耐腐蚀性,能够确保感应线圈在长时间运行过程中保持稳定的性能。弹簧组件则采用高强度、高韧性的合金钢材料,这种材料能够承受较大的应力和变形,同时保持良好的弹性和疲劳寿命。通过精密的热处理和表面处理工艺,进一步提高弹簧组件的耐久性和抗腐蚀性<sup>[3]</sup>。线夹和框架则采用优质钢材作为主要材料,这种材料具有高强度、良好的焊接性和耐腐蚀性,能够满足间隔棒在恶劣环境下的运行要求。同时还采用了环保型涂料对表面进行涂装处理,以提高间隔棒的防腐性能和美观度。

#### 3.3 新型电磁阻尼间隔棒的工作原理

新型电磁阻尼间隔棒的工作原理基于电磁感应和弹簧减震原理。当导线发生振动时,感应线圈会检测到振动信号并产生相应的电流。该电流通过电磁铁产生磁场,与导线中的感应电流相互作用,从而产生阻尼力。这种阻尼力能够抑制导线的振动,并消耗和吸收振动能量。弹簧组件也起到了重要的减震作用,当导线受到外力作用时,弹簧组件能够吸收和释放振动能量,减轻导线的振动幅度和频率。这种设计使得间隔棒能够在不同风速和气象条件下保持稳定的性能。新型电磁阻尼间隔棒还采用智能控制系统,该系统能够实时监测导线的振动情况,并根据振动信号调整电磁阻尼器的阻尼力大小和方向。这样设计出的间隔棒能够根据实际需要实现更为精准的控制和调节,提高了其适应性和可靠性。

### 4 电磁阻尼间隔棒的仿真分析

#### 4.1 电磁阻尼臂的数值仿真

电磁阻尼臂作为电磁阻尼间隔棒的关键组件,其性

能直接影响整个间隔棒的阻尼效果和输电线路的稳定性。为了深入探究电磁阻尼臂的工作原理及其性能表现,采用了先进的数值仿真技术对其进行建模与分析。在数值仿真过程中,首先根据电磁阻尼臂的实际结构,利用三维建模软件构建了精确的几何模型。该模型详细描绘了电磁阻尼臂的各个部件,包括电磁铁、感应线圈、支撑结构等,确保仿真结果的准确性。随后,利用电磁场仿真软件对模型进行电磁场分析,模拟了电磁阻尼臂在通电状态下的磁场分布和电磁力产生情况。通过调整电磁铁的电流大小和线圈匝数等参数,观察了磁场强度的变化及其对导线产生的阻尼效果,为后续的振动仿真提供了重要的数据支持。另外还对电磁阻尼臂的动态性能进行仿真分析。通过引入时间域和频率域的仿真方法,模拟了电磁阻尼臂在不同频率和振幅的振动激励下的响应情况。

#### 4.2 复合阻尼系统的振动仿真

电磁阻尼间隔棒在实际应用中通常与弹簧等其他阻尼元件组合使用,形成复合阻尼系统,以更有效地抑制输电线路的振动。为了全面评估复合阻尼系统的性能,进行了振动仿真分析。在振动仿真过程中,构建包含电磁阻尼臂、弹簧、导线及支撑结构的复合阻尼系统模型。该模型充分考虑各部件之间的相互作用和约束条件,确保仿真结果的准确性。利用动力学仿真软件对模型进行振动响应分析。通过设定不同的振动激励条件,如风速、风向、导线张力等,模拟了复合阻尼系统在不同工况下的振动情况。在仿真过程中,重点关注了复合阻尼系统的振动幅值、频率以及阻尼比等关键指标。通过对比不同参数下的仿真结果,分析电磁阻尼臂和弹簧等阻尼元件对系统振动特性的影响。这一步骤不仅有助于揭示复合阻尼系统的工作机理,还为后续的优化设计和性能评估提供了重要依据。

#### 4.3 仿真结果与分析

经过上述数值仿真和振动仿真分析,获得了大量关

于电磁阻尼间隔棒及其复合阻尼系统的性能数据。这些数据为我们深入理解和评估其性能提供了重要依据。在电磁阻尼臂的数值仿真结果中,发现电磁阻尼臂在通电状态下能够产生显著的磁场和电磁力,对导线产生有效的阻尼效果。通过调整电磁铁的电流大小和线圈匝数等参数,可以灵活地控制电磁阻尼臂的阻尼性能,以适应不同工况下的需求<sup>[4]</sup>。电磁阻尼臂的动态性能仿真结果也表明,其在不同频率和振幅的振动激励下均能保持稳定的性能表现。在复合阻尼系统的振动仿真结果中,发现电磁阻尼臂与弹簧等阻尼元件的协同作用显著提高系统的阻尼性能。通过对比不同参数下的仿真结果,发现系统的振动幅值和频率均得到有效降低,阻尼比也得到显著提升。

#### 结束语

本文通过对基于电磁阻尼和弹簧复合的间隔棒防舞性能的研究,揭示了该技术在抑制输电线路舞动方面的显著优势。未来的研究将进一步优化间隔棒的设计参数,提高其适应性和可靠性,并探索更多新型防舞技术的应用可能性。同时也期待该技术在电力系统中的广泛应用,为提升电力系统的整体稳定性和安全性做出更大贡献。

#### 参考文献

- [1]孙强,蔡振华,蔡宁,等.输电线路用调距间隔棒的优化设计[J].机电信息,2020,No.570(36):162-163.
- [2]闵光云,刘小会,孙测世,等.两种离散方法对覆冰四分导线舞动特征的影响[J].计算力学学报.2021,(1). DOI:10.7511/jslx20200410002.
- [3]楼文娟,温作鹏,梁洪超.大档距特高压覆冰输电线路起舞风速TTMD控制优化研究[J].振动工程学报.2021,(5). DOI:10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2021.05.006.
- [4]王楠楠,刘宁,沈艳萍,等.冲击载荷下圆筒型电涡流阻尼器动力特性研究[J].振动与冲击.2021,(11). DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2021.11.009.