

电控式吊具防摇功能的实现和对效率的影响

耿协东, 余智伟

武汉港集装箱有限公司, 湖北 武汉 430415

DOI:10.61369/WCEST.2025080002

摘 要 : 在现代化工业生产中, 起重机械作为物料搬运的核心设备, 其运行效率和安全性直接关系到生产流程的连续性和人员设备的安全。吊具作为起重机械的关键部件, 其动态特性, 尤其是摇摆问题, 长期以来一直是制约起重作业效率和安全性的重要因素。传统的机械防摇方法虽然在一定程度上缓解了吊具摇摆, 但存在调整复杂、效果有限等缺点。随着电子技术和控制理论的快速发展, 电控式吊具防摇功能应运而生, 为解决吊具摇摆问题提供了更为高效、灵活的技术手段。本文旨在全面分析电控式吊具防摇功能的实现原理、实施方式及其对起重作业效率的影响, 并展望其未来发展趋势, 为相关领域的研究和实践提供参考。

关 键 词 : 电控式吊具; 防摇功能; 效率影响; 控制策略

Realization of Anti-Sway Function of Electronically Controlled Sling and Its Impact on Efficiency

Geng Xiedong, Yu Zhiwei

Wuhan Port Container Co., LTD., Wuhan, Hubei 430415

Abstract : In modern industrial production, lifting machinery serves as the core equipment for material handling, and its operational efficiency and safety are directly related to the continuity of production processes and the safety of personnel and equipment. As a key component of lifting machinery, the dynamic characteristics of lifting slings, especially the swinging problem, have long been an important factor restricting the efficiency and safety of lifting operations. Although traditional mechanical anti-sway methods have alleviated the swinging of lifting slings to some extent, they have drawbacks such as complex adjustments and limited effectiveness. With the rapid development of electronic technology and control theory, electronically controlled anti-sway functions for lifting slings have emerged, providing a more efficient and flexible technical means to solve the problem of sling swinging. This paper aims to comprehensively analyze the implementation principles, methods, and impact on lifting operation efficiency of electronically controlled anti-sway functions for lifting slings, and to preview their future development trends, providing a reference for research and practice in related fields.

Keywords : electronically controlled lifting device; anti-sway function; efficiency impact; control strategy

一、电控式吊具防摇功能的实现

(一) 防摇功能的工作原理

电控式吊具防摇功能的核心在于通过精确的电气控制系统实时监测并调整吊具的运动状态, 以减小或消除吊具的摇摆。该系统通常由传感器、控制器和执行机构三大部分组成, 各部分协同工作, 共同实现防摇效果。传感器: 传感器是电控防摇系统的“眼睛”, 负责实时检测吊具的摆动情况。常用的传感器包括加速度计、陀螺仪和位置传感器等。加速度计用于测量吊具的加速度变化, 陀螺仪用于检测吊具的角速度和方向, 而位置传感器则用于精确测定吊具的空间位置。这些传感器能够高精度地捕捉吊具的动态特性, 为后续的控制提供准确的数据支持。控制器: 控制

器是电控防摇系统的“大脑”, 根据传感器反馈的数据, 运用先进的控制算法计算出需要调整的起重机运行参数(如速度、加速度)和吊具姿态, 以抵消或减小吊具的摇摆。常用的控制算法包括PID控制、模糊控制、神经网络控制等。PID控制以其简单、可靠的特点广泛应用于工业控制领域; 模糊控制则能够根据实际情况自动调整控制参数, 适用于复杂多变的工况; 神经网络控制则具有强大的非线性映射能力, 能够自适应复杂多变的工况^[1]。执行机构: 执行机构是电控防摇系统的“手脚”, 根据控制器的指令调整起重机的运行状态和吊具的姿态。常见的执行机构包括变频器、伺服电机和液压缸等。变频器通过调整电机的频率和电压来控制电机的转速和转矩, 从而实现起重机的平稳运行; 伺服电机则具有高精度、高响应的特点, 能够精确执行控制器的指令;

液压缸则通过液压传动来实现吊具的姿态调整。

（二）防摇功能的实施方式

（1）基于运动学方程的控制

原理：通过建立精确的数学模型来描述吊具的运动特性，利用运动学方程预测吊具的未来状态，并据此调整起重机的运行参数以抵消摇摆^[2]。优点：控制精度高，适用于对控制精度要求较高的场合，如精密装配线、高价值货物搬运等。缺点：数学模型复杂，计算量大，对系统硬件要求较高。此外，模型的准确性也受到多种因素的影响，如吊具的负载变化、环境风速等。

（2）基于模糊逻辑的控制

原理：利用模糊集合和模糊规则来描述吊具摇摆与控制参数之间的复杂关系，通过模糊推理实现控制参数的自动调整。模糊逻辑控制不需要建立精确的数学模型，而是根据经验规则进行推理和决策。优点：无需建立精确的数学模型，能够根据实际情况自动调整控制参数，适用于复杂多变的工况，如户外作业、多风环境等。此外，模糊逻辑控制还具有较强的鲁棒性和抗干扰能力^[3]。缺点：控制精度相对较低，需要依赖经验丰富的工程师进行规则设计。此外，模糊规则的制定和调整也需要一定的时间和经验积累。

（3）基于神经网络的控制

原理：利用神经网络强大的非线性映射能力，通过训练学习吊具摇摆与控制参数之间的关系，实现控制参数的智能调整。神经网络控制能够自适应复杂多变的工况，通过不断学习和优化来提高控制精度和效率。优点：能够自适应复杂多变的工况，控制精度高。此外，神经网络控制还具有较强的泛化能力和鲁棒性，能够处理未知或不确定的输入信息。缺点：需要大量的训练数据和计算资源，训练过程可能较为复杂^[4]。此外，神经网络的性能也受到网络结构、训练算法等多种因素的影响。

（三）防摇功能的实际应用案例分析

在实际应用中，电控式吊具防摇功能已经取得了显著的效果。在集装箱码头作业中，吊具在小车移动过程中会产生不受控制的晃动，对于采用4绳钢丝绳的吊具，其晃动受惯性影响更为明显，在装卸过程中存在安全隐患，可能导致集装箱碰撞，砸坏车头、平板，集装箱箱损等问题，引入电控式吊具防摇系统，可有效防范上述问题。系统采用基于模糊逻辑的控制策略，结合高精度传感器和执行机构，实现了对吊具摇摆的实时监测和精确控制。具体来说，系统通过加速度计和陀螺仪实时检测吊具的摆动幅度和速度，控制器根据检测数据运用模糊逻辑算法计算出需要调整的起重机运行参数（如速度、加速度），并通过变频器和伺服电机执行调整指令，使吊具的运动轨迹趋于平稳。实施效果：改造后，起重机的搬运效率显著提高。吊具的摇摆幅度和时间大幅减少，操作人员可以更加准确地控制吊具的位置和姿态，减少了调整时间和操作难度^[5]。同时，由于吊具的稳定性增强，物料损坏和人员伤害的风险也显著降低。此外，系统的引入还降低了设备的磨损和维护成本，提升了作业的安全性。据企业统计，改造后起重机的作业效率提高了约20%，维护成本降低了约15%，安全事故率下降了约30%。

二、电控式吊具防摇功能对效率的多维度影响

（一）提高作业效率

电控式吊具防摇功能通过减少吊具的摇摆，显著提高了起重作业的效率。

具体表现在吊具摇摆的减少使得起重机能够更快速地完成物料的起升、移动和下降等动作，从而缩短了整个搬运周期。例如，在集装箱吊装过程中，采用吊具防摇装置能够极快稳定吊具的晃动，缩短小车移动和吊具对位的时间，可提高集装箱装卸效率约30%。减少调整时间：由于吊具的稳定性增强，操作人员可以更加准确地控制吊具的位置和姿态，减少了因吊具摇摆而需要的调整时间和操作难度。在传统的机械防摇方法中，操作人员需要花费大量时间来调整吊具的姿态以减小摇摆；而在电控防摇系统中，这一过程被大大简化，操作人员可以更加专注于物料的搬运任务^[6]。提高作业连续性：电控防摇系统的引入减少了因吊具摇摆导致的作业中断和事故风险，提高了作业的连续性和稳定性。在传统的机械防摇方法中，吊具的摇摆可能导致物料掉落或设备损坏，从而引发作业中断；而在电控防摇系统中，这些问题被有效避免，作业过程更加顺畅和高效。

（二）降低维护成本

电控式吊具防摇功能通过减少吊具的摇摆，有效降低了设备的维护成本。具体表现在以下几个方面：①吊具摇摆的减少降低了设备各部件之间的机械应力和摩擦，延长了设备的使用寿命。在传统的机械防摇方法中，吊具的摇摆会导致设备各部件之间的频繁碰撞和磨损；而在电控防摇系统中，这一问题被有效缓解，设备的使用寿命得到延长。②由于设备的稳定性增强，维护人员可以更加容易地进行设备的检查和维护工作，减少了维护时间和复杂度。在传统的机械防摇方法中，维护人员需要花费大量时间来检查和调整设备以减小摇摆；而在电控防摇系统中，这一过程被大大简化，维护人员可以更加专注于设备的日常保养和故障排除。③设备磨损的减少降低了备件消耗和更换频率，进一步降低了维护成本。在传统的机械防摇方法中，吊具的摇摆会导致设备各部件的频繁更换；而在电控防摇系统中，这一问题被有效缓解，备件的消耗和更换频率得到降低。

（三）提升作业安全性

作业安全性是起重作业中不可忽视的重要因素。电控式吊具防摇功能通过减少吊具的摇摆，显著提升了作业的安全性。具体表现在以下几个方面：①降低物料掉落风险^[7]。吊具摇摆的减少降低了物料在搬运过程中掉落的风险，保障了物料和设备的安全。②减少人员伤害风险。吊具摇摆的减少还降低了操作人员和其他工作人员因吊具摇摆而受到伤害的风险，保障了人员的生命安全。③提高应急响应能力。在紧急情况下，如突发风力增大或设备故障，电控防摇系统能够迅速响应，通过调整控制参数来抑制吊具的摇摆，防止事故的发生或扩大。这种快速的应急响应能力，是传统机械防摇方法难以比拟的，它极大地提升了作业现场的整体安全性。

三、电控式吊具防摇技术的挑战与解决方案

（一）传感器精度与可靠性问题

传感器作为电控防摇系统的“眼睛”，其精度和可靠性直接影响到系统的控制效果。然而，在实际应用中，传感器可能会受到环境干扰、老化等因素的影响，导致测量数据不准确或失效。为了解决这个问题，可以采取以下措施：选用高精度、高可靠性的传感器：在选购传感器时，应选择知名品牌、质量可靠的产品，并确保其满足系统的精度和可靠性要求。定期校准和维护传感器：定期对传感器进行校准和维护，确保其测量数据的准确性^[8]。同时，还应建立传感器的故障预警机制，及时发现并处理传感器故障。采用冗余设计：在关键部位采用冗余传感器设计，当某个传感器出现故障时，系统可以自动切换到备用传感器，确保系统的正常运行。

（二）控制算法优化问题

控制算法作为电控防摇系统的“大脑”，其性能直接影响到系统的控制效果。然而，随着工况的变化和吊具负载的不同，控制算法可能需要不断调整和优化。为了解决这个问题，可以采取以下措施：采用自适应控制算法：自适应控制算法能够根据工况的变化和吊具负载的不同，自动调整控制参数，实现最优控制效果。

引入智能优化算法：如遗传算法、粒子群算法等智能优化算法，可以对控制参数进行全局优化，提高系统的控制性能。建立控制算法库：针对不同的工况和吊具负载，建立相应的控制算法库。在实际应用中，系统可以根据当前工况和负载情况，自动选择最合适的控制算法进行控制。

（三）系统集成与兼容性问题

电控防摇系统作为起重机控制系统的一部分，需要与其他系统（如自动导航系统、远程监控系统等）进行集成和协同工作。然而，由于不同系统之间的接口标准和通信协议可能存在差异，导致系统集成和兼容性问题。为了解决这个问题，可以采取以下措施：制定统一的接口标准和通信协议：在系统设计阶段，应制定统一的接口标准和通信协议，确保不同系统之间能够无缝集成和协同工作。采用中间件技术：中间件技术可以实现不同系统之间的数据交换和通信，解决系统集成和兼容性问题。进行系统联调与测试：在系统集成完成后，应进行全面的联调与测试，确保

各系统之间的协同工作正常、稳定。

四、电控式吊具防摇技术的未来发展趋势

（一）智能化发展

结合人工智能和机器学习技术，电控防摇系统将具备更强的自适应能力和学习能力。系统能够根据历史数据和实时数据，自动调整控制参数和策略，实现更优的控制效果^[9]。同时，系统还能够对吊具的运行状态进行智能诊断和预测，提前发现潜在故障并进行处理，提高系统的可靠性和稳定性。

（二）集成化发展

未来，电控防摇系统将与其他起重机控制系统进行更紧密的集成，形成一体化的控制系统。这将有助于实现起重机的全面智能化和自动化，提高作业效率和安全性^[10]。同时，集成化的发展还将促进起重机与其他物流设备的协同工作，实现物流作业的全程自动化和智能化。

（三）标准化和模块化发展

为了推动电控防摇技术的普及和应用，未来该技术将朝着标准化和模块化的方向发展。通过制定统一的标准和规范，可以降低系统的研发和制造成本，提高系统的通用性和可维护性。同时，模块化的设计也将使得系统的升级和扩展更加便捷和灵活。

（四）绿色化发展

随着环保意识的不断提高，未来电控防摇技术也将注重绿色发展。通过优化控制算法和采用节能技术，降低系统的能耗和排放，减少对环境的影响。同时，绿色化的发展还将促进电控防摇技术与可再生能源的结合，实现更加环保和可持续发展。

五、结论

电控式吊具防摇功能显著提升了起重作业的安全性及效率，通过精确电气控制与先进策略减少摇摆，增强作业稳定性和准确性，同时降低维护成本、优化人力资源配置并促进智能化管理。但该技术也面临传感器精度、控制算法优化及系统集成等挑战。未来，随着电子技术和控制理论发展，电控防摇技术将更趋智能化、集成化等，相关企业与研究机构应加强合作，共同推动其发展，为工业自动化、智能化贡献力量。

参考文献

- [1] 王金龙, Alena Pevcheva. 新型智能井电控式井下流量控制阀设计 [J]. 新疆石油天然气, 2025, 21 (02): 73–81.
- [2] 王振涛, 梁亚南. 电机控制系统对电控硅油离合器风扇的影响因素及可靠性分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14 (07): 99–101.
- [3] 吕征, 李森, 张炼, 等. 商用车电控空气干燥器系统仿真分析及应用 [J]. 汽车工程师, 2024, (01): 30–36.
- [4] 曹曦文. 单起升岸桥双吊具上架通信链路冗余优化 [J]. 中国港口, 2025(10): 20–22.
- [5] 侯学祥, 解庆功, 陈国龙, 等. 多功能电磁吊具的设计及其应用. 科学技术创新 [J]. 2025(19): 66–69.
- [6] 耿丙念; 杨俊伟. 一种双机抬吊吊具的设计及应用. 设备管理与维修. 2025(13): 50–52.
- [7] 朱卫东. 江苏新龙港研发并制作的“一种高效率吊装装置”使装卸效率提高50%！获国家专利 [J]. 大陆桥视野, 2025(02): 15.
- [8] 张建. 岸边集装箱起重机吊具搁舱事故分析和预防措施 [J]. 港口装卸, 2024(06): 57–59.
- [9] 李维越. 起重机常用防摇系统分析 [J]. 起重运输机械, 2007(09): 51–53.
- [10] 卞永明; 黎光显; 金晓林. 集装箱吊具有阻尼 AMD 防摇装置的试验研究 [J]. 振动、测试与诊断, 2007(03): 239–242+260.