

起重机温度自补偿恒速落幅控制研究

李文强

天津市特种设备监督检验技术研究院 天津 300192

摘要: 起重机作为工程建设、港口运输等领域的核心重型搬运设备,落幅控制的恒速性与精准度直接决定作业安全与效率。由于起重机多在户外复杂环境下作业,环境温度波动及作业负载产生的温升,易导致控制元件性能漂移,引发落幅速度波动、控制精度下降等问题。本文通过系统剖析落幅控制特性与温度作用机制,排查当前恒速控制方案的短板及温度漂移核心症结,构建温度自补偿恒速落幅控制策略,完成控制系统软硬件搭建与调试,有效抑制温度漂移干扰,提升落幅控制的稳定性与精准度,为起重机高效、安全作业提供可靠技术支持。

关键词: 起重机;落幅控制;温度补偿;恒速控制

引言: 随着工程建设对起重机作业精度、安全性的要求不断提升,恒速落幅控制作为起重机的关键操作环节,其稳定性直接关系到物料精准就位与人员财产安全。起重机常处于户外宽温度范围作业,环境温度变化及液压系统、电机工作产生的温升,会导致控制元件参数偏移,出现温度漂移现象,破坏落幅恒速性,影响作业质量甚至引发安全事故。当前传统恒速落幅控制方案缺乏有效的温度补偿机制,难以适配温度变化带来的影响。基于此,本文聚焦起重机温度自补偿恒速落幅控制,系统分析温度影响机制与现存问题,设计科学可行的控制策略与系统,解决温度漂移痛点。

1 起重机落幅控制特性及温度影响机制分析

1.1 起重机落幅控制体系及工作特性

起重机落幅控制体系是保障作业精准性的核心,主要由控制单元、检测单元与执行单元组成,三者协同实现落幅速度与位置的精准控制。控制单元多采用PLC或单片机作为核心,负责接收检测信号、执行控制算法并输出控制指令;检测单元包括速度、位移、温度传感器,实时采集落幅相关参数;执行单元由液压阀、电机、油缸等组成,响应控制指令调节落幅速度。其工作特性主要体现为负载波动大、作业工况复杂,落幅过程需实现速度恒定,避免物料冲击,同时需兼顾位置精准性。核心控制指标包括速度波动量、控制精度与响应时间,需满足行业相关标准,确保不同工况下均能稳定运行。

1.2 温度对起重机落幅控制的影响分析

温度是影响起重机落幅控制性能的关键因素,其影响范围涵盖环境温度与作业温升,温度区间通常在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$,不同温度区间对控制性能的影响存在显著差异。温度对控制元件的影响最为直接,对于液压式落幅机构,温度升高会降低液压油黏度,导致流量不稳定;对于电动

式落幅机构,电机绕组发热会改变电阻参数,影响转速稳定性。同时,温度会降低速度、位移传感器的测量精度,导致检测数据偏差。这些影响最终体现为落幅速度波动增大、控制精度下降、响应延迟,严重时会导致控制失效,无法满足作业要求^[1]。

1.3 起重机落幅控制中温度漂移机理研究

起重机落幅控制中的温度漂移机理因落幅机构类型不同而存在差异,主要分为液压式与电动式两类。液压式落幅机构的温度漂移,主要源于液压油黏度随温度变化,导致液压阀节流特性偏移,流量调节精度下降,进而引发落幅速度波动;同时,液压阀阀芯热膨胀会改变阀芯与阀套的配合间隙,进一步加剧漂移。电动式落幅机构的温度漂移,主要是电机绕组发热导致电阻增大,输出转速不稳定,且温度会影响传感器的温度系数,导致速度、位移测量误差,传递错误的检测信号,使控制单元输出不合理指令,最终破坏恒速落幅控制效果。

2 起重机恒速落幅控制现状及温度漂移问题分析

2.1 起重机恒速落幅控制现状

当前起重机恒速落幅控制主要分为液压式与电动式两种方案,广泛应用于不同类型起重机。液压式控制方案依托液压系统调节流量,实现落幅速度恒定,适用于大型履带式、塔式起重机;电动式控制方案通过调节电机转速实现恒速控制,适用于中小型桥式、门式起重机。常用控制算法包括传统PID控制、模糊控制等,其中PID控制因结构简单、易实现,应用最为广泛。但现有控制方案普遍存在共性问题,即未充分考虑温度变化的影响,缺乏针对性的温度补偿机制,在温度波动较大的工况下,控制性能大幅下降,难以满足高精度作业需求。

2.2 现有控制方案中温度漂移存在的核心问题

现有恒速落幅控制方案中,温度漂移的核心问题主

要集中在四个方面。一是控制算法存在缺陷,传统控制算法参数固定,未设计温度补偿模块,温度变化时无法自适应调整控制参数,导致控制精度下降。二是检测系统性能不足,温度传感器检测精度低、响应滞后,无法实时捕捉温度动态变化;速度、位移传感器受温度影响大,测量误差较大。三是执行元件温度适应性差,液压阀、电机等元件在宽温度范围内性能不稳定,温度漂移明显^[2]。四是系统协同性不足,温度检测、控制算法与执行元件之间配合不紧密,温度补偿与恒速控制无法高效协同,难以实现精准控制。

2.3 温度漂移问题带来的危害

温度漂移问题给起重机作业带来诸多危害,首要危害是引发安全隐患,落幅速度波动、控制精度下降会导致物料冲击、过载,严重时会造成起重机倾翻、物料坠落,威胁人员生命与财产安全。其次是加剧设备损耗,温度漂移导致执行元件过度磨损、能耗增加,缩短液压阀、电机、传感器等元件的使用寿命,提高设备运维成本。最后是降低作业效率,控制精度不足导致物料无法精准就位,需反复调整作业位置,延误施工进度,尤其在高精度作业场景中,影响更为显著,无法满足工程建设的高效需求。

3 起重机温度自补偿恒速落幅控制策略设计

3.1 控制策略总体设计思路

本次温度自补偿恒速落幅控制策略设计,以有效抑制温度漂移现象、显著提升起重机落幅控制精度与运行稳定性为核心目标,重点适配起重机户外宽温度范围作业的复杂工况,严格满足行业相关控制指标要求,确保落幅速度波动量、控制精度及响应时间均达到规范标准。总体采用“温度检测—漂移识别—参数补偿—恒速控制”的闭环控制框架,通过各环节的协同联动,实现温度自补偿功能与恒速落幅控制的有机融合,彻底解决传统控制方案中温度影响与恒速控制脱节的问题。设计过程严格遵循实时性、精准性、可靠性与经济性四大核心原则,其中实时性确保温度变化与漂移能被及时捕捉并快速响应,精准性保障补偿参数的合理性与控制效果,可靠性确保系统在复杂工况下长期稳定运行,经济性则注重控制策略的工程化落地,无需对起重机现有机械结构与控制体系进行大幅改造,最大限度降低实施成本与运维难度,同时兼顾塔式、履带式、桥式等不同类型起重机的作业特性,提升控制策略的通用性与适配性。

3.2 温度检测与漂移识别模块设计

温度检测与漂移识别模块是实现温度自补偿功能的基础前提,其核心作用在于实时、精准地捕捉起重机落

幅控制系统各关键部位的温度变化,以及温度漂移的具体情况,为后续参数补偿提供可靠的数据支撑。温度检测方案选用高精度数字温度传感器,该传感器具备测量精度高、响应速度快、抗干扰能力强的优势,可有效避免环境干扰对检测数据的影响。传感器合理布置于液压油油箱、电机绕组、控制单元主板等关键位置,其中液压油处的传感器用于监测液压系统温升,电机处的传感器用于捕捉电机工作发热情况,控制单元处的传感器用于监测电子元件温度变化,确保全面覆盖温度影响的核心环节,检测响应速度严格匹配控制实时性需求,确保温度变化能被及时捕捉。漂移识别模块基于温度检测数据与速度、位移传感器采集的运行数据,设计简易高效的漂移识别模型,通过对比不同温度工况下的实际控制参数与理想控制参数的偏差,精准识别温度漂移的类型、严重程度与影响范围,明确漂移对落幅速度、控制精度的具体影响,为后续参数补偿提供准确、全面的依据,确保补偿策略具有针对性,避免盲目补偿导致的控制紊乱^[3]。

3.3 温度自补偿算法设计与优化

温度自补偿算法以传统PID控制算法为基础,结合起重机落幅控制中温度漂移的特性进行针对性优化,重点提升控制算法的自适应能力,解决传统PID控制参数固定、无法适应温度变化的核心缺陷。首先,选型自适应PID控制算法作为基础控制算法,该算法具备参数自调整的初步能力,可根据系统运行状态动态调整控制参数,为温度自补偿功能的实现奠定基础。其次,结合漂移识别模块输出的漂移数据,设计专属的参数自调整补偿机制,当识别到温度漂移发生时,算法会根据漂移的类型、程度,实时动态调整PID控制的比例系数、积分系数与微分系数,通过精准调整参数抵消温度漂移对控制性能的负面影响,确保落幅速度始终保持恒定。为进一步提升算法性能,通过仿真软件构建起重机落幅控制系统模型,模拟不同温度区间、不同负载工况下的运行状态,对补偿算法的参数与响应速度进行反复优化,解决温度补偿与恒速控制之间的协同问题,消除补偿过程中可能出现的速度波动,确保在-20℃~60℃的宽温度范围内,控制算法均能稳定运行,显著提升落幅控制精度与系统稳定性。

3.4 恒速落幅协同控制设计

恒速落幅协同控制设计的核心目标是实现温度自补偿功能与恒速落幅控制的高效配合,兼顾落幅速度的恒定性与落幅位置的精准性,满足起重机高精度作业需求。一方面,构建完善的速度闭环控制回路,将温度补偿模块输出的补偿参数与速度传感器采集的实时速度数据相结合,形成闭环反馈控制,实时调节液压阀开度、电机

转速等执行元件的动作,及时抑制落幅过程中因温度漂移、负载波动导致的速度波动,确保落幅速度始终保持在设定值,避免物料冲击现象的发生。另一方面,整合速度控制数据与位移传感器采集的落幅位置数据,设计精准的位置控制策略,通过实时比对实际落幅位置与目标位置的偏差,动态调整控制指令,实现落幅位置的精准定位,确保物料能够精准就位,提升作业质量。同时,专门增加干扰抑制模块,针对起重机作业中常见的负载波动、外界振动、电压波动等干扰因素,设计针对性的抑制策略,与温度自补偿功能协同作用,进一步提升控制系统的抗干扰能力与运行稳定性,确保在复杂作业工况下,起重机落幅控制仍能保持高效、精准、稳定。

4 起重机温度自补偿恒速落幅控制系统实现

4.1 控制系统硬件设计

控制系统硬件设计围绕控制策略需求,构建“控制单元—检测单元—执行单元”的硬件架构。控制单元选用高性能PLC作为核心,确保控制算法高效运行与实时响应,满足闭环控制的实时性要求。检测单元选用高精度温度传感器、速度传感器与位移传感器,合理布置检测点位,确保检测数据的精准性与实时性,为控制算法提供可靠输入^[4]。执行单元选用温度适应性强的液压阀、电机等元件,匹配控制算法的输出要求,同时完成各单元的硬件连接,进行硬件调试,确保硬件系统稳定可靠,适配起重机作业工况。

4.2 控制系统软件设计

控制系统软件设计与硬件架构相匹配,采用模块化设计思路,分为温度检测、漂移识别、参数补偿、恒速控制、数据存储与显示等模块,确保软件逻辑清晰、易于调试。核心模块为温度自补偿算法与恒速控制算法的编程实现,将设计的优化算法转化为工程化程序,确保算法的实时性与可靠性。同时,设计简洁直观的人机交互界面,实现温度、速度、位置等参数的实时显示,以及控制参数的手动调整与故障报警功能,便于操作人员监控与维护,完成软件调试,修复程序漏洞。

4.3 控制系统整体调试

控制系统整体调试分为空载调试、负载调试与故障模拟调试三个阶段,确保系统性能满足设计要求。空载调试阶段,在无负载工况下,测试温度检测精度、漂移识别准确性与恒速控制性能,优化控制参数,确保系统基础运行稳定。负载调试阶段,模拟不同负载、不同温度工况,测试控制系统的温度自补偿效果与恒速控制精度,验证控制策略的有效性。故障模拟调试阶段,模拟温度异常、传感器故障等场景,测试系统的故障识别与报警功能,提升系统的可靠性,确保系统在复杂工况下稳定运行。

结束语

起重机温度自补偿恒速落幅控制技术,是破解温度漂移难题、提升作业安全性与精准度的关键,对推动工程建设高效有序推进具有重要现实意义。本文全面解析了起重机落幅控制特性、温度影响规律及温度漂移内在机理,明确当前恒速落幅控制的行业现状与核心短板,构建科学可行的温度自补偿恒速落幅控制策略,完成了控制系统软硬件设计与全流程调试,有效遏制了温度漂移对落幅控制的不利影响。未来可进一步优化控制算法,提升极端温度工况下的补偿精度,扩大技术在不同类型起重机中的应用范围,推动起重机控制技术向智能化、精准化方向发展,为重型机械高效安全作业提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]刘增光,冯珂,岳大灵,等.起重机温度自补偿恒速落幅控制研究[J].液压与气动,2025,49(2):108-117.
- [2]张皓然,黄静雯.复杂环境下塔式起重机运动规划研究[J].控制工程,2025,32(10):1833-1845.
- [3]孙茂凯,王生海,韩广冬,等.船用起重机多柔索减摇系统的动力学分析与工程应用[J].中国机械工程,2024,35(7):1308-1317.
- [4]邱郡.大跨度起重机温度场耦合数值分析[J].工程机械,2024,55(7):179-182.