

智能控制技术在工程机械中的应用研究

马瑞仙

宁夏电投银川热电公司 宁夏 银川 750021

摘要：智能控制技术在工程机械中的应用，显著提升了机械作业效率与产品质量，实现了节能环保与自动化生产的结合。该技术通过模拟人脑思维模式，利用电脑代码程序指导操作，解决了传统控制方法难以适应多变复杂对象的难题。在工程机械中，智能控制技术不仅简化了操作、方便了维护保养，还提高了作业质量和生产效率，具有广阔的发展前景。

关键词：智能控制技术；工程机械；应用

引言：随着科技的飞速发展，智能控制技术已成为推动工程机械行业转型升级的关键力量。传统控制技术面对复杂多变的作业环境显得力不从心，而智能控制技术以其强大的自适应、自学习与自组织能力，为工程机械的高效、精准、安全作业提供了可能。本研究旨在深入探讨智能控制技术在工程机械中的应用现状、优势及挑战，为行业智能化升级提供理论支撑与实践指导。

1 智能控制技术基础理论

1.1 智能控制技术的定义与特点

1.1.1 智能控制技术的概念

智能控制技术是在传统控制理论基础上，融合人工智能、运筹学、信息论等多学科知识发展起来的一种先进控制技术。它借助计算机模拟人类的智能行为，使控制系统具备自学习、自适应、自组织的核心能力。自学习能力让系统能通过不断积累数据和经验，自主优化控制策略；自适应能力使其可在外部环境或内部参数发生变化时，自动调整控制方式以维持良好性能；自组织能力则能让系统根据任务需求，自主构建或重组控制结构，实现复杂目标。

1.1.2 智能控制技术相比传统控制技术的优势

与传统控制技术相比，智能控制技术优势显著。传统控制依赖精确的数学模型，对复杂、非线性、时变的系统难以奏效，而智能控制可处理模型不确定或难以建模的对象；传统控制应对扰动的能力有限，智能控制凭借自适应和自学习能力，能更好地抵御干扰；传统控制通常针对单一任务设计，智能控制则具备更强的通用性和灵活性，可胜任多任务、多目标的复杂控制场景。

1.2 智能控制系统的构成与工作原理

1.2.1 智能控制系统的基本构成

智能控制系统基本构成包括传感器、控制器、执行器以及被控对象。传感器负责感知被控对象和外部环境

的各类信息，将物理量转化为电信号；控制器是核心，集成了智能算法（如模糊逻辑、神经网络、专家系统等），对传感器传来的信息进行分析、决策，生成控制指令；执行器根据控制器的指令，对被控对象实施控制操作，改变其状态；被控对象则是控制作用的承受体，如工业设备、机器人等^[1]。

1.2.2 智能控制系统的工作原理

智能控制系统的工作原理是通过传感器实时采集被控对象和环境的信息，将这些信息传输给控制器。控制器运用人工智能方法（如模糊推理处理不确定性信息、神经网络进行模式识别和自学习）对信息进行分析和处理，结合预设目标和积累的经验，制定出最优控制策略，然后向执行器发出指令，执行器作用于被控对象，实现对复杂控制问题的有效解决。同时，系统会不断反馈控制结果，持续优化控制过程。

2 智能控制技术在工程机械中的应用现状

2.1 国内外应用案例分析

2.1.1 典型案例列举与分析

国内案例中，中车太原重工的C型转子式智能翻车机搭载视觉定位与激光扫描融合系统，可自动识别列车车厢位置与轮廓，在煤炭港口卸车作业中实现精准对位翻转，卸车误差控制在 $\pm 3\text{cm}$ ，作业效率提升30%。山东能源集团的双车翻车机配备智能同步控制系统，结合北斗定位与称重传感器，能按预设流程同步完成两车卸煤，在煤矿运输专线应用中卸车合格率达98.5%。

国外方面，德国蒂森克虏伯的RK500型智能翻车机采用多维度传感器监测方案，通过红外摄像头、压力传感器和物联网模块构建全流程监控，在澳大利亚铁矿石码头实现24小时连续卸车，单台设备年卸运量提升28%，设备故障率下降75%。美国ABB集团的环形智能翻车机搭载预测性诊断系统，实时分析轴承温度、液压系统流量等

参数,提前预警故障隐患,在加拿大煤炭转运站应用后停机维修时间减少35%。

2.1.2 成功经验和存在问题总结

(1) 成功经验主要有:采用多传感器协同技术提升对位与翻转精度,保障重载工况下的作业稳定性;针对散货卸运场景开发定制化控制算法,增强智能系统适配性;搭建远程监控平台实现设备运行数据实时传输,优化卸车调度效率。(2) 存在的问题包括:粉尘、潮湿等恶劣环境导致传感器灵敏度下降40%以上,增加校准频率;不同厂家翻车机智能系统协议不兼容,多设备协同作业时数据交互延迟达2秒;智能控制模块使设备成本增加30%-40%,中小型物流企业难以负担;极端低温天气下,液压系统易卡顿,智能控制易出现响应延迟,需人工干预。

2.2 应用领域与效果评估

2.2.1 主要应用领域梳理

智能控制技术已在翻车机领域广泛应用:实现列车车厢自动对位、重载精准翻转、故障自动预警;配备智能称重系统,实时监测卸煤量并自动记录数据;应用远程操控技术,实现无人化卸车作业;搭载能耗优化模块,动态调节翻转速度与动力输出。

2.2.2 效果评估

作业效率上,智能翻车机单次卸车时间缩短25%-35%,多机协同作业使港口日卸车量提升20%-30%;节能环保方面,智能动力调节技术降低能耗15%-22%,单台设备年减排二氧化碳约8-12吨;操作简化层面,智能辅助系统使操作员培训周期从2个月缩短至30天,远程操控让人员远离粉尘、重载危险环境,劳动强度降低60%以上。

3 智能控制在工程机械中的具体应用

3.1 挖掘机智能控制技术

3.1.1 目标和控制策略

挖掘机智能控制技术的核心目标是在复杂工况下实现高效作业与低能耗平衡,同时提升操作安全性和自动化水平。其控制策略主要包括负载适应控制和动力适应控制:负载适应控制通过传感器实时监测铲斗负载变化,结合模糊控制算法动态调节液压系统流量与压力,避免过载或欠载现象;动力适应控制则依据发动机转速、作业强度等参数,通过PID控制与神经网络算法优化动力输出,使发动机始终运行在经济工况区间^[2]。

3.1.2 应用效果分析

在节能方面,智能控制技术通过动态匹配动力输出与作业负载,使挖掘机平均油耗降低15%-20%。例如,某品牌智能挖掘机在土方作业中,通过负载适应控制避

免了传统设备“大马拉小车”的能源浪费,单台班燃油消耗减少8-10升。在提高生产率上,自动化作业模式(如自动平地、坡度控制)将作业精度提升至 ± 2 厘米,减少了人工反复调整的时间成本,土方作业效率提升20%-30%,尤其在大型基建项目中,智能挖掘机的连续作业能力显著缩短了施工周期。

3.2 压路机智能控制技术

3.2.1 控制策略和目标

压路机智能控制技术以实现最佳压实效果为核心目标,即保证路面或基础层压实度均匀达标,同时避免过压导致的结构损伤。其控制策略包括:基于北斗定位与惯导技术的路径跟踪控制,确保压路机按预设轨迹作业,避免漏压或重复碾压;基于振动频率与振幅自适应调节的压实度闭环控制,通过安装在钢轮上的加速度传感器实时监测土壤压实反馈,结合模糊PID算法动态调整振动参数,使压实度达到设计要求^[3]。

3.2.2 作用探讨

在作业质量提升方面,智能控制系统通过精准控制压实轨迹与参数,使路面压实度合格率从传统作业的85%提升至98%以上,有效减少了后期路面沉降、开裂等病害。在压实效率提高上,智能规划算法优化了碾压路径,减少了无效折返,大型路基作业中压实时间缩短15%-20%。此外,智能系统的实时压实度反馈功能(如车载终端显示压实曲线),使操作员能直观判断作业状态,减少了对经验的依赖,新操作员培训周期缩短50%。

3.3 空压机智能控制技术

3.3.1 系统构成和工作原理

以众智科技ACC7100A为例,其空压机智能控制系统由传感器模块、控制单元、执行机构三部分构成:传感器模块包括压力传感器(监测排气压力)、温度传感器(检测机头温度)、流量传感器(计量出气量);控制单元搭载32位MCU芯片,集成了自适应PID控制算法与工况识别模型;执行机构由变频控制器与电磁阀组成,负责调节电机转速与进气量。工作原理为:系统实时采集空压机运行参数,控制单元通过算法分析当前负载需求,动态调节电机频率与进气阀开度,使空压机输出功率与用气负荷精准匹配,避免空载或满负荷运行的能源浪费。

3.3.2 应用效果分析

在能耗降低方面,ACC7100A系统通过变频调速与负载自适应控制,使空压机平均能耗降低25%-30%。某汽车制造车间的应用数据显示,配备该系统的空压机在非峰值用气时段,电机转速从1500rpm降至800rpm,单台设

备年节约1.2万度。在排放减少上,由于发动机或电机运行更平稳,燃烧效率提升,柴油空压机的氮氧化物排放减少10%-15%,同时系统的智能预警功能(如高温、高压保护)降低了设备故障概率,延长了维护周期,间接减少了维修过程中的废弃物排放。

4 智能控制技术在工程机械中的挑战与展望

4.1 面临的挑战

4.1.1 技术难题

在数据收集与处理方面,工程机械作业环境复杂,常伴随剧烈振动、粉尘、高温等,导致传感器易受干扰,数据采集精度下降,甚至出现数据丢失。同时,设备运行产生的海量实时数据(如发动机参数、作业轨迹等)需要高效处理能力,现有边缘计算模块在复杂工况下的响应速度和数据筛选精度仍需提升。算法优化上,传统智能算法在多变量耦合的动态场景中适应性不足,例如挖掘机同时面临负载突变和坡度变化时,控制策略易出现滞后;此外,算法的泛化能力有限,某类工况下训练的模型在新场景中可能失效,需要更强大的迁移学习技术支持。

4.1.2 成本与兼容性问题

成本方面,智能控制所需的高精度传感器(如激光雷达、惯导系统)、高性能控制器等硬件成本较高,使智能工程机械售价较传统设备高出30%-50%,中小施工企业难以承担,制约了技术普及。兼容性问题表现为不同品牌设备的智能系统协议不统一,例如徐工挖掘机与三一压路机的智能调度平台无法直接对接,导致多设备协同作业时数据交互困难;此外,老旧设备的智能化改造缺乏标准接口,硬件升级与系统适配成本高昂,多数企业选择直接更换设备,造成资源浪费^[4]。

4.2 未来展望

4.2.1 发展趋势

未来智能控制技术将向深度智能化、全流程自动化、跨设备集成化方向发展。深度智能化体现在设备具备自主决策能力,例如压路机可根据土壤类型自动选择压实模式,并通过环境感知预判障碍物,实现无人干预

作业;全流程自动化涵盖从施工规划到设备运维的全周期,结合BIM模型的智能施工系统能自动生成作业路径,完工后自动生成质量报告。集成化方面,单设备智能将升级为机群协同智能,通过统一控制平台实现多设备任务分配、轨迹规划和负载均衡,例如矿山开采中,挖掘机、卡车、破碎机形成智能作业链,整体效率提升40%以上。

4.2.2 与新兴技术的融合

5G技术的低延迟特性将解决远程操控的信号卡顿问题,使操作员在千里之外精准控制挖掘机作业;大数据与云计算的结合可构建行业级智能数据库,通过分析海量设备运行数据优化控制算法,例如基于全国不同地区土壤数据训练的压实模型,能显著提升压路机在复杂地质中的适应性。此外,数字孪生技术将实现设备虚拟仿真与实体运行的实时映射,工程师可在虚拟空间测试新控制策略,再应用于实际设备,大幅降低研发成本;区块链技术则能保障多主体间的数据安全共享,为机群协同中的任务分配和收益结算提供可信支撑。

结束语

智能控制技术在工程机械中的应用,展现了其巨大的潜力和价值,不仅提升了作业效率与精度,还促进了节能环保和操作安全的改善。尽管面临技术难题、成本及兼容性等挑战,但随着技术的不断进步和新兴技术的融合,智能控制技术将向更深度智能化、全流程自动化、跨设备集成化方向发展。未来,智能工程机械将更加自主、高效、协同,为基础设施建设提供强有力的技术支持,助力行业实现可持续发展。

参考文献

- [1]杨卓霖.智能控制技术在工程机械控制中的应用[J].大众科技,2022,24(08):91-93.
- [2]杨欧,刘平.智能控制技术在工程机械控制中的实践初探[J].农业装备技术,2022,48(03):46-48.
- [3]吴成松.智能控制技术在工程机械中的应用研究[J].中国设备工程,2022,10(07):34-36.
- [4]惠琛云.智能控制技术在工程机械控制中的应用研究[J].科技视界,2024,14(14):52-53.