

基于智能控制技术的采矿机械自动化系统设计与优化研究

范洁 王亚茹 杜悦鑫

山西华泰矿业管理有限公司 山西 朔州 036000

摘要: 本文聚焦于智能控制技术在采矿机械自动化系统中的应用,通过分析当前采矿机械自动化面临的效率、安全、能耗等问题。详细探讨了基于智能控制技术的采矿机械自动化系统设计,包括系统架构、功能模块、硬件选型与软件设计。同时,提出了系统优化策略,涵盖算法优化、参数优化、通信优化和人机交互优化。通过实际案例分析,展示了智能控制技术在采矿机械自动化系统中的应用效果。最后对未来发展趋势进行了展望,强调智能控制技术将推动采矿机械向智能化、自动化、绿色化方向发展,提升矿业生产的安全性和效率。

关键词: 智能控制技术; 采矿机械; 自动化系统; 系统设计; 优化策略

1 引言

在矿业生产领域,采矿机械的自动化程度直接关乎生产效率、安全保障以及资源利用效率。传统采矿机械在运行过程中,面临着效率低下、安全隐患多、能耗较高等诸多问题。例如,在复杂的地质条件下,传统采矿机械难以精准控制作业,导致资源浪费;同时,人工操作在恶劣的矿山环境中存在较大安全风险,且劳动强度大。随着科技的飞速发展,智能控制技术的兴起为采矿机械自动化带来了新的契机。智能控制技术凭借其强大的自适应能力、决策能力和优化能力,能够有效解决传统采矿机械存在的问题,推动采矿机械向智能化、自动化方向迈进,对提升矿业生产的整体水平具有至关重要的意义。

2 采矿机械自动化系统现状与问题分析

当前,采矿机械自动化系统取得一定发展,硬件上配备先进传感器等实现实时监测控制,软件上部分企业引入自动化控制软件实现远程监控操作,但智能化水平仍待提升,多处于半自动化状态,难以实现无人自主作业^[1]。同时,该系统存在效率、安全、能耗问题,复杂地质条件下作业效率低,安全监测预警不足致事故频发,机械设计运行及控制策略不优造成能耗较高,如遇不同岩石层难自动调整参数、难识别隐性隐患、空载时功率输出仍高等。

3 基于智能控制技术的采矿机械自动化系统设计

3.1 系统总体架构设计

基于智能控制技术的采矿机械自动化系统采用分层架构,包括感知层、控制层和执行层。感知层主要由各种传感器组成,如位移传感器、压力传感器、温度传感器等,负责实时采集采矿机械的运行状态信息和环境信息,如机械的位置、速度、受力情况以及周围环境的温

度、湿度、气体浓度等。控制层是系统的核心,采用智能控制器,接收感知层传来的信息,通过内置的智能控制算法进行分析和处理,生成控制指令。执行层则由执行机构组成,如电机、液压缸等,根据控制层发出的指令,驱动采矿机械完成相应的动作,如挖掘、运输、提升等。这种分层架构设计使得系统各层之间职责明确,便于系统的维护和扩展,同时也提高了系统的可靠性和稳定性。

3.2 系统功能模块设计

3.2.1 数据采集与处理模块

该模块负责采集采矿机械的各种运行数据和环境数据,并进行预处理。通过安装在采矿机械上的各类传感器,实时获取机械的位置、速度、加速度、温度、压力等信息,以及矿山的地质数据、气象数据等。采集到的数据可能存在噪声和误差,需要进行滤波、校准等预处理操作,以提高数据的质量和准确性^[2]。处理后的数据将为后续的控制决策提供可靠依据。

3.2.2 智能控制决策模块

智能控制决策模块是系统的关键部分,它根据数据采集与处理模块提供的信息,运用智能控制算法进行决策。例如,采用自适应神经网络控制算法,根据采矿机械的实时状态和工作环境,自动调整控制参数,实现对机械的精准控制。当遇到复杂地质条件时,该模块能够快速分析并调整挖掘策略,提高作业效率和安全性。同时,结合专家控制系统,利用知识库中的经验规则,为控制决策提供辅助支持,确保决策的科学性和合理性。

3.2.3 执行控制模块

执行控制模块接收智能控制决策模块发出的指令,驱动采矿机械的执行机构完成相应动作。它通过与电机驱动器、液压控制系统等的接口,将控制指令转化为实

际的机械运动。例如,控制采煤机的截割电机转速和牵引电机速度,实现采煤机的自动调高和自动牵引;控制挖掘机的液压缸伸缩,完成挖掘动作。执行控制模块需要具备高精度的控制能力和快速的响应速度,以确保采矿机械能够准确执行控制指令。

3.2.4 人机交互模块

人机交互模块提供友好的人机界面,方便操作人员对系统进行监控和操作。操作人员可以通过界面实时查看采矿机械的运行状态、工作参数、故障信息等。同时,该模块还支持操作人员对系统进行手动干预和参数设置^[3]。例如,在紧急情况下,操作人员可以通过人机界面手动停止采矿机械的运行;根据实际生产需求,调整系统的工作模式和参数。人机交互模块的设计应注重用户体验,操作简单直观,提高操作人员的工作效率和系统的易用性。

3.3 系统硬件选型与设计

3.3.1 传感器选型

根据系统功能需求,选择合适的传感器至关重要。对于位移测量,可选用激光位移传感器,它具有高精度、非接触测量等优点,能够准确测量采矿机械各部件的位移变化。压力测量可选用压阻式压力传感器,其结构简单、成本低、灵敏度高,适用于测量采矿机械液压系统的压力。温度测量可选用热电偶传感器,它具有测量范围宽、精度高、稳定性好等特点,能够实时监测采矿机械关键部位的温度。传感器的精度、可靠性和抗干扰能力直接影响系统的性能,因此需要选择质量可靠、性能稳定的产品,并进行合理的安装和调试。

3.3.2 控制器设计

智能控制器采用微控制器芯片和执行电路相结合的设计。微控制器芯片选用高性能、低功耗的芯片,如ARM系列芯片,它具有强大的计算能力和丰富的接口资源,能够满足智能控制算法的运行需求。执行电路由隔离、放大芯片、功率器件和电阻电容电感等分立器件组成,负责将微控制器芯片输出的控制信号进行隔离和增强,驱动执行机构工作。控制器的设计需要考虑实时性和稳定性,确保能够快速准确地处理传感器传来的信息,并及时输出控制指令。同时,要采取有效的抗干扰措施,提高控制器在恶劣矿山环境下的可靠性。

3.3.3 执行机构选择

根据采矿机械的动作需求,选择合适的执行机构。电机是常用的执行机构,可根据不同的工作要求选择直流电机、交流电机或步进电机。直流电机具有良好的调速性能,适用于需要精确控制速度的场合;交流电机结

构简单、成本低,适用于大功率的驱动场合;步进电机能够实现精确的角位移控制,适用于需要定位控制的场合。液压缸也是重要的执行机构,它能够提供较大的输出力,适用于挖掘、提升等重载作业。在选择执行机构时,需要考虑其输出力、速度、精度等参数,确保能够满足采矿机械的工作要求。

3.4 系统软件设计

3.4.1 操作系统选择

选择适合智能控制器的操作系统,如实时操作系统(RTOS)。RTOS具有实时性强、可靠性高的特点,能够保证系统在规定的时间内完成对传感器信息的处理和输出。在采矿机械自动化系统中,实时性至关重要,因为任何延迟都可能导致控制不准确,影响作业效率和安全性。RTOS可以对不同的控制和通讯任务进行调度,确保各个任务按照优先级顺序及时执行,提高系统的整体性能。

3.4.2 控制算法编程

将选智能控制算法,如自适应神经网络控制算法、专家控制算法等,进行编程实现。在编程过程中,需要充分考虑算法的复杂度和实时性要求。对于复杂的智能控制算法,可以采用模块化编程的方法,将算法分解为多个子模块,分别进行编程和调试,提高代码的可读性和可维护性^[4]。同时,要优化算法的代码结构,减少计算量,提高算法的执行效率,确保能够在实时操作系统中快速运行。

3.4.3 人机界面开发

开发直观、易用的人机界面,采用图形化界面设计,通过图表、曲线等形式展示采矿机械的运行状态和工作参数。操作人员可以通过触摸屏或鼠标等输入设备,方便地进行系统监控、参数设置和手动操作。人机界面的布局应合理,信息显示清晰,操作按钮明确,减少操作人员的误操作。同时,要提供完善的帮助文档和提示信息,方便操作人员快速掌握系统的使用方法。

4 基于智能控制技术的采矿机械自动化系统优化策略

4.1 算法优化

对智能控制算法进行优化,提高算法的收敛速度和稳定性。例如,在自适应神经网络控制算法中,采用改进的神经网络结构和学习算法,如引入动量因子和自适应学习率,加速神经网络的训练过程,提高算法对系统动态特性的适应能力。在专家控制算法中,优化知识库的构建和推理机制,提高知识检索的效率和推理的准确性,使专家系统能够更快速、准确地做出控制决策。

4.2 参数优化

通过实验和仿真,对系统参数进行优化。例如,对采矿机械的控制参数,如PID控制器的比例、积分、微分参数,进行反复调整和测试,找到最优的参数组合,提高系统的控制精度和响应速度。同时,考虑不同工况下的参数变化,建立参数自适应调整机制,使系统能够根据实际工作情况自动调整参数,始终保持良好的控制性能。

4.3 通信优化

优化系统各模块之间的通信协议和接口,提高通信的实时性和可靠性。采用高速、稳定的通信技术,如工业以太网、无线通信技术等,确保传感器采集的数据能够及时、准确地传输到控制器,控制器的指令能够迅速传达给执行机构。同时,设计合理的通信协议,对数据进行加密和校验,防止数据丢失和错误,保障系统的正常运行。

4.4 人机交互优化

进一步改进人机交互界面,提高操作的便捷性和舒适性。增加界面的个性化设置功能,允许操作人员根据自己的使用习惯调整界面的布局和显示方式。优化操作流程,减少操作步骤,提高操作效率。同时,引入语音交互、手势识别等新技术,丰富人机交互方式,使操作人员能够更自然、方便地与系统进行交互。

5 案例分析

5.1 案例一:无人电动铲智能挖掘系统

中国大连理工大学机械工程学院的研究团队在《Frontiers of Mechanical Engineering》期刊发表了基于自适应神经网络(RBFNN)的无人电动铲智能挖掘轨迹跟踪控制技术研究成果。在该案例中,传统电动铲依赖人工操作,面临复杂工况下操作员易疲劳、设备动态模型复杂且易受干扰等问题,导致挖掘效率低下、精度不高且存在安全隐患。研究团队采用自适应神经网络控制技术,通过实时补偿设备动态模型的不确定性和外部干扰,显著提升了无人电动铲的挖掘精度与运行稳定性。实际应用中,该技术使无人电动铲的作业效率提升了15%—20%,同时降低了因操作失误导致的安全事故,仿真数据显示能耗降低约27%。这一成果为传统矿业装备的智能化转型提供了新思路,标志着矿山装备从“机械化”向“认知化”的跃迁。

5.2 案例二:薄煤层无人化智能开采控制系统

北京天玛智控科技股份有限公司在薄煤层无人化智能开采控制技术方面取得了重要突破。在山能能源兖矿集团杨村煤矿4703和枣矿集团滨湖煤矿31606两个薄煤层工作面,该公司构建了新的LongwallMind6.0控制系统软件平台。该平台充分利用地面丰富的计算资源,通过井上下万兆专网,形成了一套高可靠的控制系统平台。它集监测、控制、视频、音频、通讯等技术为一体,以工艺引擎为核心,融合了规划割煤、动态截割模板优化、工艺表、工作面找直、触控操作等一系列技术,实现了采煤机与液压支架的高效协同。用户通过“拖拉拽”及“低代码”方式,就可以实现开采工艺自主构建。通过应用规划截割,更加精准控制开采曲线,薄煤层综采工作面平均少割矸石8cm,煤流中的含矸率由17.8%下降到12.8%,整个开采效率提升了三分之一以上,采高有效降低了0.1米,吨位煤质提高了400大卡,年收入效益创效了4000多万元,年生产能力具备百万吨以上水平。该技术成果达到了国际领先水平,并在国家能源、陕煤、山东能源、淮河能源、贵州安晟能源等十余个工作面推广应用,取得了显著的经济和社会效益。

结语

本文深入研究了基于智能控制技术的采矿机械自动化系统,阐述其优势,设计了分层架构及各功能模块,并完成软硬件设计,提出算法、参数等优化策略,实际案例验证了其在提高作业效率、安全性及降低能耗上的显著效果。未来,该技术将朝着更智能化、集成化、绿色化发展,智能控制算法会更先进高效,实现精准控制与自主决策,且与多技术深度融合,注重节能减排,为采矿机械自动化带来新变革,推动矿业生产升级。

参考文献

- [1]姚占辉.基于数字化技术的矿山自动化智能采矿系统设计与优化[J].中国金属通报,2025,(07):140-142.
- [2]余辉.金属非金属矿山采矿中自动化与智能化技术应用研究[J].当代矿工,2025,(06):29-30.
- [3]郭韶峰.基于物联网的采矿工程智能自动化控制系统设计[J].凿岩机械气动工具,2025,51(04):200-202.
- [4]李昱.基于数字化技术的矿山自动化智能采矿系统设计与优化[J].中国金属通报,2024,(08):80-82.