

智能化综采工作面采煤机与支架协同控制技术研究

何 葛 杨秀雷 李传昌 王 勇

鄂托克前旗长城六号矿业有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 016200

摘 要：文章聚焦智能化综采工作面采煤机与支架协同控制技术，阐述智能化综采工作面组成与特点，分析传感器、通信、控制算法及定位等关键技术，介绍协同控制系统设计，包括总体架构、硬件与软件设计，详细说明系统实现与测试过程。研究表明，通过优化关键技术与系统设计，可实现采煤机与支架高效协同，提升开采效率与安全性。

关键词：智能化综采工作面；采煤机；液压支架

1 智能化综采工作面概述

1.1 智能化综采工作面的组成与特点

智能化综采工作面是煤炭开采智能化转型的关键成果，融合先进技术与机械设备，构建高效安全的开采体系。其主要由采煤机、液压支架、输送机、监控系统、供电及供液系统组成。采煤机负责煤炭采装，液压支架保障作业安全，输送机承担运输，监控系统监测设备与环境，供电和供液系统提供动力。该工作面具备显著特点：高度自动化，实现设备自动作业，减少人工操作，提升开采效率；安全性强，依靠传感器和监控设备，实时监测瓦斯、顶板压力等，异常时及时报警处理；精准控制，运用定位与控制技术，实现设备精准动作，提高煤炭回收率；数据集成化，采集分析各类数据，为生产决策提供科学依据。

1.2 采煤机与支架在综采工作面中的作用

在智能化综采工作面中，采煤机与液压支架是核心设备，其协同作业关乎生产效率与安全。采煤机作为煤炭开采主力，配备截割滚筒、牵引和控制系统。截割滚筒依煤层特性优化设计，破碎煤壁；牵引系统驱动采煤机往复开采；控制系统自动调节截割高度与速度，保障开采质量^[1]。液压支架是安全生产的重要保障，承担支撑顶板、隔离采空区、推移输送机等任务。通过立柱升降维持作业空间，采煤机割煤时及时移架防止顶板垮落，利用侧护板隔离矸石，并推动输送机为下次截割做准备。其动作精准及时，对采煤机运行和工作面安全影响重大，与采煤机协同作业不可或缺。

2 采煤机与支架协同控制的关键技术分析

2.1 传感器技术

传感器技术是实现采煤机与支架协同控制的基础，它能够实时采集工作面的各种信息，为控制系统提供准确的数据支持。在智能化综采工作面中，常用的传感器包括位置传感器、压力传感器、倾角传感器、瓦斯传感

器等。位置传感器用于监测采煤机和支架的位置信息。支架上的位置传感器则可以检测支架的推移距离和姿态，确保支架的动作准确到位。压力传感器主要用于监测液压支架立柱的压力和工作面顶板的压力，通过实时采集压力数据，判断顶板的稳定性，为支架的自动控制提供参数。倾角传感器安装在采煤机和支架上，用于测量设备的倾斜角度，当设备出现倾斜时，控制系统能够及时调整，保证设备的正常运行。瓦斯传感器则用于监测工作面的瓦斯浓度，一旦瓦斯浓度超标，立即发出报警信号，并采取相应的安全措施。

2.2 通信技术

可靠的通信技术是实现采煤机与支架协同控制的关键，它确保了设备之间的数据传输和指令交互的及时性和准确性。在智能化综采工作面中，常用的通信方式有有线通信和无线通信。有线通信具有稳定性高、数据传输速率快、抗干扰能力强等优点，通常采用工业以太网作为传输介质。通过铺设专用的通信电缆，将采煤机、支架、监控系统等设备连接起来，实现数据的高速传输。然而，有线通信存在布线复杂、维护困难等问题，尤其是在工作面设备频繁移动的情况下，电缆容易受到损坏。无线通信则具有灵活性高、安装方便等特点，常见的无线通信技术包括Wi-Fi、ZigBee、5G等。Wi-Fi技术在煤矿井下已有广泛应用，能够满足一般的数据传输需求，但在信号覆盖和抗干扰能力方面存在一定局限性^[2]。ZigBee技术具有低功耗、自组织网络等优势，适用于对数据传输速率要求不高的传感器网络。5G技术凭借其高速度、低延迟、大容量的特点，为智能化综采工作面的通信带来了新的突破，能够实现设备之间的实时高清视频传输和远程控制，为采煤机与支架的协同控制提供更可靠的通信保障。

2.3 控制算法

控制算法是采煤机与支架协同控制系统的核心，它

决定了设备的动作准确性和响应速度。在协同控制过程中，常用的控制算法包括PID控制算法、模糊控制算法、神经网络控制算法等。PID控制算法是一种经典的控制算法，它通过比例（P）、积分（I）、微分（D）三个参数的调节，对系统进行闭环控制。在采煤机与支架的协同控制中，PID控制算法可以用于调节采煤机的牵引速度和支架的移架速度，使其保持协调一致。然而，PID控制算法对系统模型的依赖性较强，在复杂多变的工作面环境中，控制效果可能受到影响。模糊控制算法是一种基于模糊逻辑的控制方法，它不需要精确的数学模型，能够根据经验和规则进行推理和决策。在采煤机与支架协同控制中，模糊控制算法可以根据煤层厚度、顶板压力等参数的变化，自动调整采煤机的截割高度和支架的支撑力，具有较强的适应性和鲁棒性。神经网络控制算法是一种模拟人类神经网络的智能控制算法，它具有自学习、自适应性强的特点。通过对大量数据的学习和训练，神经网络控制算法可以建立采煤机和支架之间的复杂关系模型，实现更加精准的协同控制。例如，利用神经网络算法可以预测采煤机的截割负载，提前调整支架的动作，提高协同控制的效率和稳定性。

2.4 定位技术

定位技术对于实现采煤机与支架的精准协同控制至关重要，它能够为设备提供准确的位置信息，确保设备动作的协调性。目前，在智能化综采工作面中应用的定位技术主要有惯性导航定位技术、激光定位技术、UWB定位技术等。惯性导航定位技术通过安装在设备上的陀螺仪和加速度计，测量设备的角速度和加速度，经过积分运算得到设备的位置和姿态信息。该技术具有自主性强、不受外界环境干扰等优点，但随着时间的推移，会产生累积误差，需要定期进行校准。激光定位技术利用激光发射器和接收器，通过测量激光的传播时间和角度，确定设备的位置。该技术具有定位精度高、响应速度快等特点，但在煤矿井下粉尘较大的环境中，激光信号容易受到遮挡和衰减，影响定位效果。UWB（超宽带）定位技术是一种新兴的无线定位技术，它通过发送和接收超宽带脉冲信号，实现对设备的高精度定位。UWB定位技术具有穿透力强、抗多径干扰能力强、定位精度高等优点，能够在复杂的煤矿井下环境中实现对采煤机和支架的实时精准定位，为协同控制提供可靠的位置信息。

3 采煤机与支架协同控制系统的设计

3.1 系统总体架构设计

采煤机与支架协同控制系统的总体架构设计需要综

合考虑系统的功能需求、性能要求以及煤矿井下的特殊环境。该系统采用分层分布式架构，主要包括感知层、传输层、控制层和管理层。感知层由各类传感器组成，负责采集采煤机、支架以及工作面环境的各种信息，如设备位置、运行状态、顶板压力、瓦斯浓度等。传输层采用有线和无线相结合的通信方式，将感知层采集的数据传输到控制层，并将控制层的指令下发到设备。控制层是系统的核心，它通过控制算法对采集到的数据进行分析处理，生成相应的控制指令，实现采煤机与支架的协同控制。管理层主要用于对整个系统进行管理和监控，包括设备状态监测、生产数据统计分析、故障诊断与预警等功能，为生产决策提供支持。

3.2 硬件系统设计

硬件系统设计是实现采煤机与支架协同控制的基础，它主要包括传感器硬件、控制器硬件、通信硬件等部分。传感器硬件根据不同的监测需求选择合适的传感器，并进行合理的安装布局。控制器硬件是系统的控制中心，通常采用高性能的PLC（可编程逻辑控制器）或工业控制计算机^[3]。PLC具有可靠性高、抗干扰能力强、编程方便等优点，适用于实现设备的逻辑控制和顺序控制；工业控制计算机则具有强大的计算能力和数据处理能力，能够运行复杂的控制算法和软件系统。通信硬件根据通信方式的选择，配置相应的通信设备。对于有线通信，采用工业以太网交换机和通信电缆；对于无线通信，部署无线接入点和无线通信模块，确保设备之间的数据传输稳定可靠。

3.3 软件系统设计

软件系统设计是实现采煤机与支架协同控制的关键，它主要包括数据采集与处理软件、控制算法软件、通信协议软件和人机交互软件等部分。数据采集与处理软件负责与传感器进行通信，采集传感器数据，并对数据进行滤波、校准等处理，提高数据的准确性和可靠性。控制算法软件实现各种控制算法，根据采集到的数据和设定的控制目标，生成相应的控制指令。通信协议软件负责实现设备之间的数据通信协议，确保数据的正确传输和解析。人机交互软件为操作人员提供一个直观、便捷的操作界面，操作人员可以通过该界面实时监测设备运行状态，设置控制参数，进行远程操作等。

4 智能化协同控制系统的实现与测试

4.1 系统实现

在完成系统设计后，进入系统实现阶段。首先进行硬件设备的安装与调试，按照设计要求将传感器、控制器、通信设备等安装到相应位置，并进行接线和通电

测试,确保硬件设备正常工作。然后进行软件系统的开发与部署,根据软件系统设计方案,编写数据采集与处理程序、控制算法程序、通信协议程序和人机交互程序等,并将软件程序下载到控制器和监控计算机中。在软件部署过程中,需要进行软件的配置和优化,确保软件系统能够稳定运行。最后进行系统联调,将采煤机、支架、监控系统等设备连接起来,进行整体测试。在联调过程中,检查设备之间的数据传输是否正常,控制指令是否能够准确执行,采煤机与支架是否能够实现协同作业,对发现的问题及时进行调整和优化。

4.2 测试方案设计

为了全面评估智能化协同控制系统的性能,需要设计科学合理的测试方案。测试方案主要包括功能测试、性能测试、可靠性测试和安全性测试等方面。功能测试主要验证系统是否能够实现设计的各项功能,如采煤机自动截割、支架自动跟机移架、数据采集与传输、故障预警与诊断等。通过模拟不同的工况,检查系统功能的完整性和准确性。性能测试主要评估系统的性能指标,如控制精度、响应时间、数据传输速率等。通过在不同负载和环境条件下进行测试,获取系统的性能数据,分析系统的性能表现。可靠性测试主要检验系统在长时间运行过程中的稳定性和可靠性。通过连续运行系统,记录系统的故障次数和故障类型,评估系统的平均无故障时间(MTBF)等可靠性指标。安全性测试主要验证系统在保障人员和设备安全方面的能力。通过模拟瓦斯超限、顶板冒落等安全事故场景,检查系统的安全保护措施是否有效,如报警功能、紧急停机功能等。

4.3 性能测试与分析

在性能测试过程中,采用专业的测试设备和工具,对系统的各项性能指标进行测量和分析。以控制精度测试为例,通过在不同煤层条件下运行采煤机和支架,测量采煤机的截割高度误差和支架的移架位置误差,分析控制算法的准确性和稳定性。对于响应时间测试,模拟设备出现异常情况,如采煤机过载、支架压力超限等,测量系统从检测到异常到发出控制指令的时间,评估系

统的实时性。在数据传输速率测试中,通过向系统发送大量数据,测量数据传输的时间和丢包率,分析通信系统的性能。通过对性能测试数据的分析,发现系统在某些工况下存在控制精度不够高、响应时间较长等问题。针对这些问题,对控制算法和通信系统进行优化,如调整PID控制参数、改进模糊控制规则、优化无线通信协议等,再次进行性能测试,直至系统性能满足设计要求。

4.4 故障预警与诊断功能测试

故障预警与诊断功能是智能化协同控制系统的重要功能之一,它能够及时发现设备故障,采取相应的措施,减少设备停机时间和生产损失。在故障预警与诊断功能测试中,通过模拟各种故障场景,如采煤机截割滚筒卡死、液压支架立柱泄漏等,检查系统的故障预警和诊断能力^[4]。当模拟故障发生时,观察系统是否能够及时发出报警信号,并准确判断故障类型和故障位置。同时检查系统是否能够提供相应的故障处理建议,如停机维修、调整参数等。通过多次模拟不同类型的故障,验证系统故障预警与诊断功能的准确性和可靠性。对测试过程中发现的问题进行分析和改进,完善系统的故障预警与诊断算法和知识库,提高系统的故障处理能力。

结束语

智能化综采工作面采煤机与支架协同控制技术对煤炭高效安全开采意义重大。本研究虽构建了协同控制体系,但井下环境复杂多变,技术仍有提升空间。未来需持续探索新技术,优化系统性能,提高协同控制精准度与可靠性,推动煤炭开采智能化向更高水平发展。

参考文献

- [1] 王国法,任怀伟.煤矿智能化开采模式与技术路径[J].采矿与岩层控制工程学报,2020,2(1):5-19.
- [2] 徐志强.煤研智能分选的机器视觉识别方法与优化[J].煤炭学报,2020,45(6):2207-2216.
- [3] 张锦旺.液体介入提升煤研识别效率的试验研究[J].煤炭学报,2021,46(3):1-14.
- [4] 史翔峰.综采工作面采煤机智能化拖缆系统的设计及模拟试验研究[J].机械管理开发,2021,36(12):260-262.