

# 智能化综采工作面机电设备协同控制技术的实践与优化

闫艳超 李 毕

陕西彬长大佛寺矿业有限公司 陕西 咸阳 712000

**摘要:** 为提升智能化综采工作面作业效率与安全性,本文围绕机电设备协同控制技术展开研究。阐述核心机电设备组成,构建“感知-通信-决策-执行”四级协同控制体系,设计多设备协同控制策略,通过现场部署调试与工况验证开展实践应用,分析现存问题并提出优化方案。实践表明,该协同控制技术可实现设备精准联动,显著提升采煤效率、降低能耗,增强复杂工况适应性,为智能化综采工作面建设提供技术支撑。

**关键词:** 智能化综采;机电设备协同;控制技术;实践应用;优化方案

**引言:** 随着煤炭开采向智能化、规模化转型,综采工作面机电设备协同控制水平成为制约生产效率与安全的关键。当前井下复杂地质环境与异构设备兼容性问题,导致传统控制模式存在协同精度低、实时性差等不足。基于此,本文以陕西彬长大佛寺矿业实践工作面为依托,系统研究智能化综采工作面机电设备组成、协同控制体系构建与策略设计,通过实践验证与方案优化,旨在提升设备协同控制能力,助力智慧矿山建设。

## 1 智能化综采工作面核心机电设备组成

智能化综采工作面核心机电设备是协同控制的硬件基础,构成高效采煤闭环系统。采煤机作为核心采掘设备,承担破碎与装载任务,配备智能调高、定位及记忆割煤模块,通过传感器采集截割阻力、运行速度等参数;刮板输送机为运输枢纽,需与采煤机节奏匹配,配备变频驱动与链条张力监测装置保障连续输送。液压支架通过电液控制系统实现自动跟机、移架等动作,直接关联作业安全与效率;转载机、破碎机与皮带输送机构成后续运输系统,需与刮板输送机协同调速防堆积中断。各设备通过工业以太网与总线系统实现数据交互,支撑协同控制<sup>[1]</sup>。

## 2 智能化综采工作面机电设备协同控制体系构建

### 2.1 协同控制体系的整体架构设计

协同控制体系遵循分层递阶原则,构建“感知-通信-决策-执行”四级联动架构,精准划分功能实现高效协同。架构以数据驱动为核心,通过层级信息闭环保障指令落地,兼顾扩展性与兼容性适配不同规模工作面。同时满足实时、可靠、安全要求,依托冗余设计与容错机制提升复杂环境稳定性,为子系统集成提供统一支撑。

### 2.2 感知层:设备状态与工况信息采集系统

感知层为协同控制提供基础数据,核心是全面实时采集设备运行参数(转速、负载等)与工作面环境参数

(顶板位移、瓦斯等)。通过多类型传感器构建全域感知网络,采用标准化接口与统一格式处理多源异构数据,结合边缘计算预处理数据、提取关键特征,保障上层决策数据质量。

### 2.3 通信层:多协议融合的实时传输网络

通信层负责数据上传与指令下发,构建多协议融合传输网络。采用工业以太网与现场总线融合组网,高实时性指令用确定性协议保障低延迟可靠传输,海量数据用高速协议提升效率。通过优化拓扑减少节点、降低干扰,部署状态监测与冗余备份机制,确保网络持续稳定。

### 2.4 决策层:协同控制策略与算法模型

决策层是协同控制核心,基于感知数据生成决策与控制策略。通过统一决策引擎整合规则与约束,实现多设备任务调度。核心为构建协同算法模型,综合设备特性、工况规律与目标动态优化策略,建立设备协同关联模型明确动作时序与参数匹配,融入工况预测保障控制前瞻性与精准性。

### 2.5 执行层:设备协同动作控制接口设计

执行层实现决策指令向设备动作的精准转换,通过标准化接口实现与各设备系统无缝对接。接口兼顾协议差异,采用适配模块实现指令兼容转换,具备执行状态反馈功能。同时配备本地应急控制,确保协同体系故障时可独立完成基础采掘,保障作业安全<sup>[2]</sup>。

## 3 核心机电设备协同控制策略设计

(1)采煤机与刮板输送机协同:核心是截割与输送节奏动态匹配,基于采煤机截割阻力、位置及输送机负载反馈采用自适应调速,负载超阈值降采煤机速度,低于阈值提速;通过连锁控制保障输送机先启后停,避免煤炭堆积与空转。(2)液压支架与采煤机跟机协同:以采煤机实时位置与方向为触发信号,采用“超前预判+滞后跟机”模式,预设参数通过电液控制系统实现支架群

同步动作，结合顶板压力动态调整移架速度与步距，确保支护及时且不干扰采掘。（3）转载机、破碎机与刮板输送机协同调速：构建物料流量闭环调速系统，通过流量传感器采集数据，输送量超限则同步降速，不足则提速，保障破碎机转速与物料粒径适配防卡料，实现输送链路均衡流转。（4）多设备冲突消解与优先级调度：建立分级机制，液压支架支护为最高优先级，采掘输送为二级，辅助设备为三级；实时监测工况与动作时序，冲突时触发仲裁逻辑暂停低优先级动作调整时序，预留应急接口保障极端工况核心作业连续。

#### 4 智能化综采工作面机电设备协同控制技术实践应用

##### 4.1 实践工作面工程概况与设备配置

实践工作面选址深部缓倾斜煤层区域，地质条件较复杂，含局部断层与顶板破碎带，煤层厚度稳定、埋藏适中，采高与推进速度适配煤层赋存特征。工作面走向及倾向长度满足规模化开采要求，采用走向长壁后退式采煤法、全部垮落法管理顶板。设备配置遵循“智能化、协同化、高可靠性”原则，核心配置如下：（1）采煤机选用大功率电牵引机型，搭载高精度定位与多参数感知模块，具备自动截割、智能调高及故障自诊断功能；（2）刮板输送机采用中双链机型，配备变频调速驱动与链条张力监测装置，输送能力与采煤机截割能力匹配，机架采用高强度钢材；（3）液压支架选用电液控掩护式，间距与采煤机截割步距协同设计，具备自动跟机、移架、护帮及顶板压力监测功能；（4）转载机、破碎机选型匹配刮板输送机输送能力，配备智能调速与卡料检测装置；（5）协同控制系统核心含边缘计算网关、工业以太网交换机、分布式控制器等，保障设备数据交互与指令传输。

##### 4.2 协同控制系统的现场部署与调试

协同控制系统部署遵循“分层部署、分步实施、精准对接”原则，确保各层级高效协同。部署核心内容：（1）感知层：在核心设备关键部位安装温度、压力等传感器，工作面关键区域部署环境传感器，经精准标定保障数据采集有效；沿顺槽与巷道布设工业以太网交换机及无线基站，实现信号全覆盖。（2）通信层：采用工业以太网与现场总线混合组网，主干网选用高带宽低延迟工业以太网，分支通信采用现场总线，搭建设备与控制器、控制器与监控中心的通信链路，部署安全防护设备与冗余链路。（3）决策与执行层：边缘计算网关与分布式控制器部署于顺槽控制硐室，实现与设备控制系统的接口对接及协议适配；监控中心部署上位机平台与存储服务器，实现数据可视化与远程监控。调试分阶段开

展：（1）单机调试：核查各设备运行状态、传感器采集精度及执行机构动作准确性，确保单设备正常运行。

（2）分系统调试：验证感知层采集、通信层传输、决策层运算、执行层响应功能完整性。（3）协同调试：模拟多工况下设备协同场景，优化控制参数，验证协同逻辑合理性，解决通信延迟、指令响应滞后、参数匹配偏差等问题。

##### 4.3 实践场景下的协同控制效果验证

通过实时监测设备运行参数与协同动作状态，分正常与复杂工况验证协同控制效果。（1）正常工况验证：在煤层均匀、顶板稳定、无地质干扰场景下，重点验证核心协同功能：①采煤机与刮板输送机协同：监测两者速度匹配度，验证自适应调速机制有效性，杜绝煤炭堆积与设备空转；②液压支架与采煤机跟机协同：监测跟机延迟与移架步距精度，确保支护及时且不干扰采掘；③输送链路协同：监测刮板输送机、转载机、破碎机速度与物料流量匹配关系，保障物料均衡流转。（2）复杂工况验证：针对煤层厚度突变、顶板破碎、局部断层穿越等场景，验证系统适应性与稳定性：①煤层厚度突变：监测采煤机智能调高响应速度与精度，及刮板输送机、液压支架协同调整效果，保障效率与安全；②顶板破碎：监测支架顶板压力变化，验证支护强度调整及时性与准确性，及与采煤机节奏的适配性，防范顶板事故；③局部断层穿越：验证采煤机截割路径调整、支架加强支护、输送系统负荷调节的协同效果，确保设备平稳运行与作业连续。验证结果表明，系统在正常工况下控制精度与效率达标，复杂工况下具备良好适应性与稳定性。

##### 4.4 实践过程中的数据采集与初步分析

数据采集遵循“全维度、全时序、高精度”原则，为效果评估与优化提供支撑。核心内容如下：（1）数据采集范围与方式：采集三类核心数据：①设备运行参数：含采煤机截割速度、功率等，刮板输送机运行速度、负载等，液压支架移架速度、支护压力等，转载机与破碎机运行参数；②工况环境参数：含工作面温度、瓦斯浓度、顶板位移等；③系统协同参数：含传输延迟、指令响应时间、协同控制误差等。数据经传感器实时采集后，由边缘计算网关预处理，通过通信网络传输至监控中心分布式存储服务器，采集频率按参数重要性设为10-60Hz。（2）数据预处理：开展数据清洗剔除异常数据、标准化转换统一格式、降维提取关键特征，降低数据冗余。（3）初步分析内容：①设备运行状态分析：通过参数趋势判断设备稳定性，识别故障隐患；②

协同控制效果分析：计算控制误差、响应时间等指标，评估设备协同匹配度与策略有效性；③工况影响分析：对比不同工况下参数与控制效果差异，梳理工况对系统的影响规律；④效率与能耗分析：统计采煤效率与设备能耗，评估系统提质降耗作用。初步分析表明，协同控制系统运行稳定，核心设备协同匹配度高，较传统模式显著提升采煤效率、降低能耗，且能有效应对复杂工况变化<sup>[3]</sup>。

## 5 智能化综采工作面机电设备协同控制中的问题与优化方案

### 5.1 智能化综采工作面机电设备协同控制中的问题

智能化综采工作面机电设备协同控制核心问题聚焦四大维度：（1）复杂环境适配性不足，复杂地质条件下煤层赋存突变、顶板压力波动易导致控制精度偏移，传统策略难快速适配工况动态变化；（2）设备协同兼容性差，不同厂商、型号设备的控制协议与接口标准不统一，形成异构协同壁垒，造成数据交互不畅、指令响应不一致；（3）控制实时性欠缺，井下巷道环境导致通信信号衰减干扰，网络传输延迟增加，削弱协同联动效果；（4）极端工况稳定性弱，设备负载突变、关键传感器故障易引发协同逻辑紊乱，影响作业连续性与安全性。

### 5.2 智能化综采工作面机电设备协同控制优化方案

（1）基于改进算法的协同控制策略优化：针对传统控制策略适配性不足的问题，引入模糊PID、模型预测控制等改进算法优化协同控制逻辑。通过融合设备运行特性与工况变化规律，构建自适应控制模型，实现控制参数的动态调整；基于模型预测控制提前预判工况变化趋势，预设多套协同控制预案，提升系统对复杂地质条件的适配能力。（2）异构设备协同的标准化接口与协议优化：建立统一的设备协同通信标准体系，规范接口类型、数据格式与通信协议。设计通用协议适配模块，实现不同厂商设备控制协议的兼容转换，打破异构设备协同壁垒；推行接口标准化改造，对现有设备接口进行升级适配，确保新增设备可直接接入协同控制系统。（3）低延迟通信网络的优化设计与部署：采用“主干网升级+分支网优化”的网络架构重构方案，主干网选用高带

宽、低延迟的工业以太网，提升核心数据传输效率；分支网采用无线与有线混合组网模式，结合井下巷道布局优化基站与交换机部署位置，减少信号传输节点，降低衰减与干扰；引入网络切片技术，为控制指令、数据采集等不同类型数据分配专属传输通道，保障控制指令传输的优先级。（4）融合多源感知数据的协同决策优化模型：构建多源感知数据融合框架，整合设备运行参数、工况环境参数、地质探测数据等多维度信息，通过数据清洗、特征提取与冗余剔除，提升数据质量；基于融合数据构建全域协同决策模型，建立设备运行状态、工况变化与协同动作的关联映射，实现决策逻辑的全面性与前瞻性；引入边缘计算技术，在井下控制硐室部署边缘节点，对多源数据进行本地实时处理与决策运算，减少数据上传延迟，提升决策效率；优化模型容错机制，融合多传感器数据交叉验证，降低单一传感器故障对决策准确性的影响<sup>[4]</sup>。

### 结束语

本文完成智能化综采工作面机电设备协同控制技术的实践与优化研究，明确核心设备组成，构建协同控制体系，形成针对性控制策略，经实践验证与问题优化，有效提升了系统协同性能。该研究成果已在实践工作面显现应用价值，但若进一步适配多元地质条件仍需深化。未来可结合数字孪生、AI算法持续优化决策模型，推动协同控制技术向更高精度、更全场景的智能化方向发展。

### 参考文献

- [1]袁明生,池振波.智能化综采工作面煤炭开采的自动化控制技术研究[J].中国高新科技,2025(12):106-108.
- [2]刘文华,净远.煤矿智能化工作面机电设备协同控制策略研究[J].今日自动化,2025(6):176-178.
- [3]欧会军,王占新,张海波,朱占虎.智能化综采工作面机电设备协同控制与能效提升策略[J].奥秘,2022(24):13-15.
- [4]原紫育.智能化综采工作面采煤机与液压支架智能化协同控制方法研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(2):096-099.