基于人工智能的MG500/1130-WD型采煤机智能化控制系统研究

褚红义　梁国山　张　峰
枣庄矿业集团鲁南装备制造有限公司　山东 枣庄　277000

摘　要　为了提高采煤机的智能化水平，降低人工操作的误差与风险，本文将从人工智能技术概述出发，构建一套基于人工智能的MG500/1130-WD型采煤机智能化控制系统。该系统通过模块化架构设计、合理的功能模块划分以及可靠的通信设计得以实现。经半实物联合试验平台验证，该系统在数据采集传输、智能决策优化、控制执行性能和故障诊断等方面均优于传统系统，为提升井下采煤作业的安全性和效率提供了有效解决方案。

关键词　人工智能；采煤机；智能化控制

Research on Intelligent Control System of MG500/1130-WD Shearer Based on Artificial Intelligence

Chu Hongyi, Liang Guoshan, Zhang Feng
Zaozhuang Mining Group Lunan Equipment Manufacturing Co., Ltd., Zaozhuang 277000, Shandong Province, China

Abstract　To improve the intelligence level of shearers and reduce the errors and risks of manual operation, this paper starts from an overview of artificial intelligence technology and constructs an intelligent control system for the MG500/1130-WD shearer based on artificial intelligence. The system is realized through modular architecture design, reasonable functional module division, and reliable communication design. Verified by a hardware-in-the-loop joint test platform, the system outperforms traditional systems in data acquisition and transmission, intelligent decision-making optimization, control execution performance, and fault diagnosis, providing an effective solution for improving the safety and efficiency of underground coal mining operations.

Key words　Artificial Intelligence; Shearer; Intelligent Control

随着煤矿开采向深部延伸，开采条件愈发复杂，对采煤机控制系统的智能化要求也日益提高。然而，传统采煤机控制系统自动化程度低、智能化水平有限，存在诸多弊端。它难以精准感知复杂的煤层条件与开采环境，无法依据实时情况自动优化运行参数，导致采煤效率低下，还存在较大安全隐患[1]。人工智能技术的发展为解决这一问题带来了契机。通过引入人工智能算法，如机器学习、深度学习等，能让采煤机控制系统实现自主学习与智能决策。因此，开展基于人工智能的MG500/1130-WD型采煤机智能化控制系统研究具有重要现实意义。

1　人工智能技术概述

人工智能（artificial intelligence，AI）是融合计算机科学、数学、心理学等多学科的前沿技术领域，旨在赋予机器人类智能的某些特征，使其能模拟人类思维与行为，完成复杂任务。计算机科学提供算法设计、数据处理和编程语言等核心技术：算法设计，如搜索算法可在复杂状态空间中找到最优解，遗传算法借鉴生物进化原理优化参数；数据处理，将海量数据转化为有价值信息，包括清洗、特征提取和降维等，以提高模型性能与效率；Python凭借丰富库和简洁语法成为AI开发首选语言，TensorFlow、PyTorch等深度学习框架均基于Python构建。

数学提供理论支撑：线性代数中的矩阵与向量运算在神经网络计算中至关重要，能高效处理大规模数据并进行模型训练；概率论与统计学用于处理不确定性和数据分析，帮助模型学习数据分布规律，做出更准确的预测与决策[2]。心理学使AI更贴近人类思维，通过研究人类认知、学习和决策机制，发展更自然的交互方式与更智能的学习策略。例如，强化学习借鉴人类通过奖励与惩罚学习的机制，使智能体能在环境中自主学习最优策略。

2　基于人工智能的采煤机智能化控制系统构建

2.1　系统总体架构设计

基于人工智能的MG500/1130-WD型采煤机智能化控制系统的总体架构需遵循模块化、集成化和智能化原则。该架构主要由采集层、传输层、处理层以及控制层构成，如图1所示。

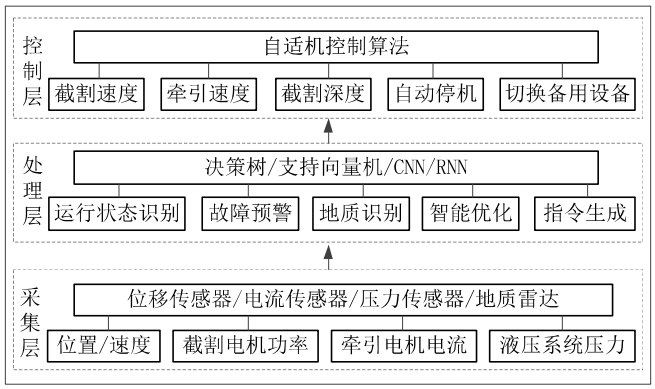


图1 系统总体架构

采集层负责采集采煤机运行中的各类数据，包括位置、速度、截割电机功率、牵引电机电流、液压系统压力等运行参数，以及煤层厚度、硬度、地质构造等环境参数。通过在关键部位和工作环境布置位移传感器、电流传感器、压力传感器、地质雷达等，实现多源数据实时采集[3]。处理层借助决策树、支持向量机等机器学习算法，对运行参数和环境参数进行分类与预测，判断工作状态和识别故障隐患；同时运用卷积神经网络（convolutional neural network，CNN）和循环神经网络（recurrent neural network，RNN）等深度学习算法，挖掘复杂特征与规律，实现煤层地质构造精准识别和采煤过程智能优化，并根据分析结果生成控制指令，为控制层提供依据。控制层根据处理层指令，运用自适应控制算法对截割速度、牵引速度、截割深度等参数进行精确控制，实现自动化、智能化作业；同时具备故障诊断和容错控制功能，检测到故障时可迅速响应，如自动停机、切换备用设备，确保采煤机安全稳定运行。

2.2 系统功能模块设计

为了实现基于人工智能的采煤机智能化控制系统的各项功能，需对系统进行合理的功能模块设计。该系统的功能模块主要包括数据管理模块、智能决策模块、控制执行模块和故障诊断模块。

数据管理模块负责存储、整理和维护采集层获取的多源数据，采用先进数据库管理技术高效处理海量数据，并提供查询、统计分析等功能，同时具备数据备份与恢复机制，防止数据丢失。智能决策模块是系统核心，基于处理层的数据分析结果，运用人工智能算法进行决策推理，通过实时监测和分析采煤机运行状态与环境参数，快速做出科学决策，如调整运行参数、规划采煤路径等，以提高采煤效率和质量[4]。控制执行模块根据智能决策模块指令，对采煤机各执行机构进行精确控制，采用自适应控制技术，根据实际情况自动调整控制参数，确保稳定运行，并具备远程控制功能，方便操作人员在不同地点操作。故障诊断模块利用机器学习和深度学习算法，实时监测和分析运行数据，及时发现潜在故障；一旦检测到故障，迅速定位故障位置并提供解决方案，同时记录故障信息，为后续维护和改进提供参考。

2.3 系统通信设计

基于人工智能的采煤机智能化控制系统通信设计需兼顾实时性、稳定性和安全性，以满足采煤机复杂工作环境下的智能化控制需求。因此，可以采用工业以太网结合控制器局域网（controller area network，CAN）总线进行数据传输。在连接过程中，需要对工业以太网和CAN总线进行合理组网。工业以太网部分，采用分布式架构，将各采集层的传感器节点通过交换机接入网络。对于处理层和应用层的设备，如服务器、智能终端等，也合理连接到工业以太网中，形成一个大数据传输的高速通道。同时，需对网络进行虚拟局域网（virtual local area network，VLAN）划分，以提高网络的安全性和管理效率，避免不同层次间数据的相互干扰[5]。

CAN总线的组网方面，根据采煤机各执行机构的物理位置和控制需求，合理布局CAN节点，并设置合适的波特率，以保证数据传输的实时性和准确性。同时，采用冗余设计，为关键的CAN节点配备备用线路，当主线路出现故障时能自动切换，确保通信的稳定性。为保障通信的安全性，在工业以太网和CAN总线上都要部署相应的安全防护措施。在工业以太网中，设置防火墙，对网络流量进行监控和过滤，防止外部网络攻击和非法数据入侵。采用加密技术对传输的数据进行加密，确保数据的机密性。在CAN总线方面，设置数据访问权限，只有授权的节点才能进行数据的读写操作，防止数据被篡改。

3 基于人工智能的采煤机智能化控制系统验证

3.1 验证环境搭建

为客观验证基于人工智能的采煤机智能化控制系统性能，搭建硬件实体+仿真软件联合半实物试验平台，模拟该采煤机井下综采工作面真实工况。平台分硬件、软件两大环境模块。

硬件环境选用MG500/1130-WD交流电牵引采煤机整机，其核心参数符合工业标准，配套原生执行机构，保留原机液压阀组和调速回路。多源感知采集硬件部署传感器形成双维度感知阵列；传输通信硬件搭建双链路；还有边缘处理和上层服务硬件；控制执行硬件由采煤机原生可编程逻辑控制器（programmable logic controller，PLC）等构成。

软件环境方面，底层驱动与通信软件实现多协议数据解析和数据互通；离线模型训练采用Python+TensorFlow/PyTorch框架，依托服务器开展模型训练，采用MySQL时序数据库与Redis高速缓存，并配有后台程序。

该半实物平台能全方位覆盖采煤机井下常规与极端工况，包括稳定中硬煤层截割等常规工况，薄煤区等复杂地质工况，电机过载等设备异常工况，以及高温高湿等环境干扰工况。

3.2 系统功能验证试验设计

依托搭建好的半实物联合试验平台，针对系统的四大核心模块精心设计分组对照试验。试验共分为4个组别，分别是数据采集传输试验、智能决策优化试验、控制执行性能试验、人工智能故障诊断试验。每组均设置传统采煤机控制系统为对照组，以人工智能系统作为试验组，对各项指标进行量化采集。

在数据采集通信验证试验中，持续24 h不间断收集采煤机设备参数与煤层地质数据，统计数据采集延迟情况、数据丢包率以及以太网/CAN总线切换响应时间。人为制造电磁干扰和线路故障，检验加密传输、冗余通信、VLAN隔离防护的实际效果。在智能决策模块验证试验中，系统分别在平稳煤层和复杂夹矸断层的工况下运行。对比传统固定参数采煤工艺与AI自主决策工艺的采煤效率和截割损耗，测试系统自动规划截割路径、动态调整牵引/截割速度的自适应能力。在控制执行模块验证试验中，系统下达智能决策指令，测试截割深度和牵引速度的动态调节精度。开展远程自动控制与本地手动控制的切换试验，模拟负载突变情况，验证自适应控制算法的抗扰动能力。在故障诊断模块验证试验中，通过人为注入电机过载、液压泄漏、传感器失效、总线短路等12类常见的采煤机故障，对比传统阈值报警与AI智能诊断的故障识别速度和定位精度，验证故障自动停机、备用支路切换等容错动作的有效性。

3.3 试验结果

依托半实物联合试验平台完成4组对照试验，试验结果表明，基于人工智能的MG500/1130-WD型采煤机智能化控制系统在各方面均展现出显著优势，如表1所示。

表1 基于人工智能的采煤机控制系统与传统系统试验指标对比

测试模块	检测指标	传统控制系统	AI 智能化控制系统	性能提升效果
数据采集传输	24 h 平均延迟 /ms、丢包率、总线切换时间	48.7 ms，0.82%，126 ms	11.3 ms，0.11%，32 ms	延迟降低 76.8%，冗余通信抗干扰无断传
智能决策优化	工作面回采效率、滚筒截齿月损耗量	826 t/h，117 颗 / 月	943 t/h，42 颗 / 月	采煤效率提升 14.1%，截割损耗下降 64.1%
控制执行性能	截深控制误差、负载突变调节时长	± 72 mm，1.82 s	± 16 mm，0.47 s	控制精度提升 77.8%，抗扰动响应大幅缩短
AI 故障诊断	故障识别耗时、故障定位准确率	3.7 s，68.3%	0.54 s，99.2%	识别速度提升 85.4%，可精准触发容错保护

由表1可以看出，数据传输上24 h平均延迟达到11.3 ms，丢包率低至0.11%，总线切换时间缩短至32 ms，较传统系统大幅降低，且冗余通信抗干扰能力强，无数据断传情况。智能决策优化方面，工作面回采效率提升至943 t/h，滚筒截齿月损耗量降至42颗，采煤效率和截割损耗控制效果显著。控制执行性能上，截深控制误差缩小到 ± 16 mm，负载突变调节时长缩短至0.47 s，控制精度与抗扰动响应能力俱佳。AI 故障诊断功能强大，故障识别耗时仅0.54 s，定位准确率达99.2%，能精准触发容错保护，为采煤机安全稳定运行筑牢基石。

4 结束语

综上所述，基于人工智能的MG500/1130-WD型采煤机智能化控制系统通过合理架构设计、功能模块划分、通信设计以及严格的验证试验，展现出了卓越性能。在数据采集传输、智能决策优化、控制执行性能和故障诊断等方面全面超越传统控制系统，有效提升了采煤效率、降低了运行损耗、增强了控制精度和抗干扰能力，为采煤机的安全稳定运行提供了有力保障。未来，可进一步深化人工智能技术在采煤机系统中的应用，持续优化系统性能，推动煤炭开采行业向智能化、高效化迈进。

参考文献

[1]牟海鹏,李志燕,马善磊.基于人工智能的采煤机智能化优化控制系统研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(5):34-36.

[2]陈晓晶,邢震,包建军,等.矿山“感知—通信—决策—控制”一体化框架下人工智能应用综述[J].煤炭科学技术,2026,54(5):62-79.

[3]贺新星.基于智能自动化的采煤机协同控制系统设计[J].中国新技术新产品,2021(11):5-8.

[4]王超.基于模糊控制的电牵引采煤机智能调速系统设计[J].矿业装备,2021(3):220-221.

[5]尹灵通.基于AI技术的采煤机和运输机双闭环自动调速控制系统[J].智能矿山,2023,4(11):44-48.

（本文编辑 曹 阳）

