

# Basic Research on Automation and Intelligent Technologies in Coal Mine Electrical Engineering

Ye Song

Fuxin Mining (Group) Co., Ltd. Inner Mongolia Baiyinhua Haizhou Open pit Coal Mine Co., Ltd, Xilingol League, Inner Mongolia Autonomous Region, 026200

## Abstract

With the advancement of energy structure transformation and the wave of industrial intelligence, the coal mining industry is confronted with multiple challenges, including enhancing production efficiency, ensuring safe operations, and reducing resource consumption. Traditional electrical engineering automation models, plagued by issues such as reliance on manual intervention and insufficient equipment coordination, struggle to meet the demands of efficient mining under complex geological conditions. Intelligent technologies, by integrating artificial intelligence, the Internet of Things, big data, and other means, endow coal mine electrical engineering with capabilities such as real-time monitoring, fault prediction, and adaptive regulation, driving the production system towards a direction characterized by fewer personnel, precision, and sustainability. This study focuses on the fundamental applications of intelligent technologies in coal mine electrical engineering, analyzing their technical architecture, functional characteristics, and implementation pathways, with the aim of providing theoretical support and practical references for the intelligent transformation of the industry.

## Keywords

Coal mine electrical engineering; Intelligent technologies; Automation control; Production efficiency; Safety assurance

## 煤矿电气工程自动化与智能化技术基础研究

宋野

阜新矿业(集团)有限责任公司内蒙古白音华海州露天煤矿有限公司, 中国·内蒙古 锡林郭勒盟 026200

## 摘要

随着能源结构转型与工业智能化浪潮推进, 煤矿行业面临提高生产效率、保障安全作业、降低资源消耗的多重挑战。传统电气工程自动化模式因依赖人工干预、设备协同性不足等问题, 难以适应复杂地质条件下的高效开采需求。智能化技术通过融合人工智能、物联网、大数据等手段, 为煤矿电气工程提供实时监测、故障预判、自适应调控等能力, 推动生产系统向少人化、精准化、可持续化方向发展。本研究聚焦智能化技术在煤矿电气工程中的基础应用, 分析其技术架构、功能特性及实施路径, 旨在为行业智能化转型提供理论支撑与实践参考。

## 关键词

煤矿电气工程; 智能化技术; 自动化控制; 生产效率; 安全保障

## 1 引言

煤炭作为我国基础能源, 其开采效率与安全性直接影响能源供应稳定性。传统煤矿电气工程自动化系统虽实现了设备集中控制与基础数据采集, 但存在以下局限: (1) 人工依赖度高: 故障诊断、参数调整依赖现场人员经验, 易因误判导致停机或事故; (2) 系统协同性弱: 采掘、运输、通风等子系统独立运行, 难以实现全局优化; (3) 环境适应性差: 井下高温、高湿、粉尘等恶劣条件影响设备稳定性, 增加维护成本。智能化技术的引入, 通过构建“感知-分析-

决策-执行”闭环, 可突破传统模式瓶颈, 实现生产流程的透明化、决策的智能化与管理的精细化。

## 2 智能化技术在煤矿电气工程中的核心功能

### 2.1 实时监测与动态调控

智能化系统通过在煤矿井下部署多类型传感器, 实现对环境参数与设备状态的全面感知。瓦斯浓度传感器可实时监测井下空气中的甲烷含量, 温度传感器能捕捉设备运行时的热变化, 振动传感器则用于分析机械部件的磨损情况。这些传感器构成的数据采集网络, 将原始数据传输至边缘计算节点进行预处理, 通过本地化分析减少数据向云端传输的延迟, 确保系统响应的及时性。<sup>[1]</sup>例如, 通风系统的智能调控依赖瓦斯浓度与风速的实时数据, 系统根据预设的安全阈值自动调整风机转速, 既避免因通风不足引发瓦斯积聚, 又防

【作者简介】宋野(1988-), 本科, 工程师, 从事电气工程及其自动化研究。

止过度通风导致能源浪费。动态调控的核心在于系统对环境变化的适应性，通过持续监测与实时反馈，实现通风、排水、供电等系统的协同运行，保障井下作业环境始终处于安全可控范围。这种基于数据驱动的调控方式，相较于传统人工调节，显著提升了环境控制的精准度与效率，为煤矿安全生产提供了基础保障。

## 2.2 故障预判与自适应修复

基于机器学习算法的故障诊断模型，通过对设备运行数据的深度挖掘，能够识别异常模式并预测潜在故障。电机电流的波动可能反映负载异常，轴承温度的持续升高则暗示润滑不足或部件磨损，这些数据经过算法分析后，可形成设备健康状态的评估报告。故障预判的关键在于对历史数据与实时数据的综合分析，模型通过学习正常与故障状态下的数据特征，建立分类边界，当实时数据偏离正常范围时，系统即发出预警。自适应修复机制则进一步将预警信息转化为维护指令，指导维护人员针对性地更换部件或调整参数。例如，采煤机液压系统的密封件老化问题，可通过分析压力波动与温度变化的趋势提前发现，避免因密封失效导致的液压油泄漏或系统瘫痪。这种预防性维护模式，减少了非计划停机时间，延长了设备使用寿命，同时降低了突发故障对生产的影响。

## 2.3 生产流程优化与资源协同

智能化系统通过集成采掘、运输、供电等子系统的数据，构建数字孪生模型，模拟不同工况下的生产效率与能耗。数字孪生技术将物理系统的运行状态映射至虚拟空间，通过算法优化设备调度策略，实现资源的高效配置。例如，主煤流运输系统根据采煤机的实时产量动态调整皮带机速度，当采煤机产量增加时，皮带机加速运行以避免煤流积压；当产量减少时，皮带机减速以减少空载运行时间。这种基于生产需求的动态调整，显著降低了电能消耗，同时提高了运输系统的吞吐能力。资源协同的核心在于打破子系统间的信息孤岛，通过数据共享与算法联动，实现采掘、运输、供电等环节的协同优化。例如，供电系统可根据采掘设备的负载变化调整输出功率，避免因功率不足导致的设备停机或因功率过剩造成的能源浪费。这种全局优化模式，提升了煤矿生产的整体效率与资源利用率。

## 2.4 安全风险管控与应急响应

智能化安全监控平台通过整合人员定位、视频监控、环境监测等数据，构建三维安全模型，实时评估作业风险。人员定位系统可精确追踪井下作业人员的位置与移动轨迹，视频监控则提供作业现场的实时画面，环境监测数据反映瓦斯浓度、温度等关键参数。三维安全模型将这些数据融合，形成对作业环境的全面感知，当检测到违规操作（如人员进入危险区域）或环境超限（如瓦斯浓度超过安全阈值）时，系统自动触发警报并启动应急预案。例如，关闭危险区域电源可防止电气火花引发爆炸，引导人员撤离则通过语音提示

或灯光信号指引安全路线。应急响应的速度与准确性依赖于数据的实时性与算法的可靠性，智能化系统通过预设的响应规则，将风险管控从被动应对转变为主动预防，显著提升了事故处理的效率与安全性。这种基于数据驱动的安全管理模式，为煤矿作业人员提供了更可靠的安全保障。

## 3 智能化技术实施的关键路径

### 3.1 基础设施升级

煤矿智能化技术的实施依赖稳定、高效的基础设施支撑，其中工业以太网与5G专网的建设是核心环节。工业以太网通过高速、低延迟的通信能力，实现井下设备与地面控制中心的数据实时交互，确保监控指令与反馈信息的及时性。<sup>[2]</sup>5G专网则进一步扩展了通信带宽与覆盖范围，支持高清视频传输、远程操控等高带宽应用，为井下复杂环境下的数据传输提供可靠保障。例如，在采煤机远程操控场景中，5G网络的低延迟特性可确保操作指令与设备响应同步，避免因通信延迟导致的作业误差。同时，高精度传感器与执行机构的部署是数据采集与控制精度的基础。瓦斯浓度传感器、温度传感器、振动传感器等需具备高灵敏度与抗干扰能力，以准确捕捉井下环境与设备状态的细微变化；执行机构如电动阀门、变频器等则需实现精准控制，确保系统对环境变化的快速响应。基础设施升级还需考虑井下特殊环境的适应性，如防爆设计、耐腐蚀材料等，以保障设备在高温、高湿、粉尘等条件下的长期稳定运行。

### 3.2 数据平台构建

煤矿大数据中心是智能化技术的数据核心，其功能涵盖数据存储、处理、分析与共享。数据整合需覆盖设备运行数据（如电机电流、轴承温度）、环境监测数据（如瓦斯浓度、风速）、生产管理数据（如产量、能耗）等多维度信息，形成全面的数据资产。统一的数据模型与接口标准是数据交互的关键，通过定义标准化的数据格式与传输协议，消除子系统间的数据壁垒，实现多源数据的无缝对接。例如，设备运行数据与环境监测数据可通过统一接口传输至大数据中心，为后续的算法分析提供综合数据源。数据平台还需具备高效的数据处理能力，通过分布式存储与并行计算技术，支撑海量数据的实时分析与历史回溯。在数据安全方面，平台需采用加密传输、访问控制等技术，防止数据泄露与非法篡改。

### 3.3 算法模型开发

针对煤矿场景的专用算法是智能化决策的核心，其开发需紧密结合实际业务需求与数据特性。基于深度学习的设备故障诊断模型通过分析设备运行数据的时序特征，可识别异常模式并预测故障类型。<sup>[3]</sup>例如，电机电流的波动、轴承温度的升高等数据经过深度神经网络处理后，可形成设备健康状态的评估报告，指导维护人员提前干预。基于强化学习的生产调度优化模型则通过模拟不同调度策略下的生产效率与能耗，动态调整设备运行参数。例如，主煤流运输系

统可根据采煤机产量实时调整皮带机速度，避免空载运行，降低电能消耗。算法模型的开发还需考虑煤矿环境的复杂性，如数据噪声、非线性关系等，通过特征工程、模型融合等技术提升算法的鲁棒性。

### 3.4 系统集成与测试

系统集成是智能化技术落地的关键环节，其目标是通过模块化设计实现子系统的解耦与协同。模块化设计将复杂系统分解为独立的功能模块，如数据采集模块、控制执行模块、算法分析模块等，每个模块通过标准接口与其他模块交互，降低集成复杂度。例如，传感器模块负责数据采集，控制模块负责指令执行，算法模块负责决策生成，各模块间通过定义好的协议完成数据传递。在模拟环境中进行系统联调是验证功能稳定性与兼容性的重要手段，通过构建与实际生产环境相似的测试场景，模拟不同工况下的系统运行，检测数据传输的准确性、控制指令的及时性以及算法决策的合理性。通过模块化设计与模拟测试，智能化系统可实现高效集成与可靠运行，为实际生产提供稳定支持。

### 3.5 人员培训与制度完善

人员培训是智能化技术推广的关键，其内容涵盖系统操作、数据解读、故障处理等多方面技能。操作人员需掌握远程操控终端的使用方法，理解算法决策的逻辑，能够根据系统提示完成设备调整与维护。例如，远程操控采煤机时，操作人员需熟悉三维界面的操作方式，准确解读振动传感器数据，判断设备运行状态。数据解读能力的培养可帮助人员从海量数据中提取关键信息，支持生产决策。故障处理培训

则侧重于系统常见问题的排查与解决，提升人员对突发状况的应对能力。<sup>[4]</sup>制度完善是系统安全运行的保障，需制定数据安全管理制度、应急处理流程等规范。数据安全管理制度规定数据的访问权限、传输加密、备份恢复等要求，防止数据泄露与丢失。应急处理流程明确系统故障、环境超限等场景下的响应步骤，如关闭危险区域电源、引导人员撤离等。通过人员培训与制度完善，煤矿可构建起智能化技术应用的完整体系，确保系统从部署到运行的全程可控，推动煤矿生产向安全、高效、智能的方向发展。

## 4 结论

智能化技术通过重构煤矿电气工程的感知、决策与执行体系，显著提升了生产效率、安全水平与资源利用率。随着人工智能、数字孪生等技术的深化应用，煤矿电气工程将向全流程自主化、决策智能化方向演进，为能源行业高质量发展提供关键支撑。

### 参考文献

- [1] 李英. 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用分析[J]. 模具制造, 2025, 25(08): 183-185.
- [2] 王二云. 煤矿电气工程自动化中智能技术的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (19): 121-123.
- [3] 张雅婕, 杨洁. 智能技术在煤矿电气工程自动化中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(08): 149-151.
- [4] 牛卿懿. 基于智能化技术的煤矿电气工程自动化控制系统研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (08): 216-218.