

# Application of mechatronics technology in mine production safety management

Xin Dang Chenggang liang

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

## Abstract

Current challenges in mining safety management include delayed monitoring systems, untimely risk alerts, and prominent human operational hazards. This study addresses comprehensive safety requirements throughout the mining process by integrating mechatronic technology with safety management, establishing a “real-time monitoring, intelligent early warning, coordinated control, and traceability analysis” safety management framework. Through the integration of sensors, industrial communication, and automated control technologies, the system enables 24/7 monitoring of critical safety indicators such as mine gas levels, roof pressure, and equipment operational status. Leveraging data processing and intelligent algorithms, a risk identification model is developed to enable early detection of potential hazards. By combining automated equipment with coordinated control logic, the system minimizes human intervention in high-risk operations, thereby reducing operational risks. This approach provides robust support for optimizing safety management strategies and facilitates the digital and intelligent transformation of safety management in the coal industry.

## Keywords

mechatronics; mining production; safety management; intelligent early warning; automatic control

# 机电一体化技术在矿山生产安全管理中的应用实践

党鑫 梁成刚

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西 榆林 719000

## 摘要

目前矿山生产中安全监测滞后、风险预警不及时、人工操作安全隐患突出等问题, 本文立足矿山开采全流程安全需求, 将机电一体化技术与安全管理深度融合, 构建“实时监测-智能预警-联动控制-追溯分析”的安全管理体系。通过集成传感器、工业通信与自动化控制技术, 实现对矿井瓦斯、顶板压力、设备运行状态等关键安全指标的全天候监测。依托数据处理与智能算法, 建立风险识别模型, 实现安全隐患的早期预警; 结合自动化设备与联动控制逻辑, 减少高危环节人工干预, 降低操作风险。为安全管理策略优化提供支撑, 助力煤炭行业安全管理数字化与智能化升级。

## 关键词

机电一体化; 矿山生产; 安全管理; 智能预警; 自动化控制

## 1 引言

矿山生产环境复杂, 安全管理始终是行业发展的核心议题。传统矿山安全管理以人工巡检与经验判断为依托, 面临安全监测覆盖不全、风险识别滞后以及高危作业环节人工干预多等方面的局限, 无法满足现代矿山高效开采与安全保障的双重需求。机电一体化技术可凭借洞察关键安全参数、剖析风险隐患、把控高危作业流程, 对传统安全管理的短板加以弥补。本研究梳理机电一体化技术的应用路径, 提高矿山安全管理的精准度、及时性及可靠性, 给予矿山安全生产技术支持。

【作者简介】党鑫(1987-), 男, 本科, 中国陕西渭南人, 工程师, 从事机电一体化研究。

## 2 矿山生产安全管理的核心挑战

### 2.1 安全监测覆盖不足, 隐患发现滞后

整个矿山生产涉及井下掘进、回采、运输等多个环节, 传统人工巡检模式的局限十分明显, 监测范围受限, 井下巷道分支繁杂、作业面零散。人工不能实时覆盖所有区域, 尤其是深部开采区域跟高危作业点, 易造成监测盲区的形成。监测参数屈指可数, 只能借助便携式设备检测瓦斯浓度、风速等少数指标, 难以同步取得顶板压力、设备温度、围岩变形等多维度安全数据<sup>[1]</sup>。另外, 人工记录的数据在汇总、上报后才可开展分析, 难以达成对安全隐患的实时识别, 或错失最佳处置时机。

### 2.2 风险预警依赖经验, 精准度低

矿山安全风险具备隐蔽性、突发性以及连锁性特点,

管理人员经验判断是传统风险预警模式的依赖,面临两大问题。一是风险识别存在欠缺,所能识别的常见隐患极为有限,对设备老化、围岩应力变化等隐性风险缺少有效判断手段;二是预警阈值设定很是僵化,未根据矿山实际地质条件与生产工况结合动态调整,容易引发“误预警”或“漏预警”,对生产效率造成影响,且不能切实防范安全事故。

### 2.3 高危环节人工干预多,操作风险高

矿山开采中的掘进、支护、瓦斯抽采等环节,作业环境恶劣,安全风险也高,传统作业模式借助人工作业运行。人工操作精度欠佳,如顶板支护时把控不准锚杆安装角度与预紧力矩,极易引发支护失效。人员身处高危环境,比如井下瓦斯突出风险区域的人工巡检工作及设备检修,导致人员伤亡风险加剧。作业流程协同欠佳,诸如掘进与支护工序衔接有误,易引发诸如顶板垮塌等事故。

### 2.4 安全数据碎片化,管理决策缺乏支撑

涉及矿山安全管理的有监测数据、隐患记录、处置报告等大量信息,于传统管理模式而言,数据存储分散,数据整合面临难题,各环节及设备的安全数据未整合为统一数据链,全流程安全状态追溯困难。数据分析能力欠佳,仅仅会进行简单数据统计,无法剖析数据背后的风险规律<sup>[2]</sup>。经验传承面临重重困难,安全管理经验多依靠个人积累,未采用数据化形式沉淀,无法为后续安全管理的优化提供参照。

## 3 机电一体化技术在矿山生产安全管理中的应用路径

### 3.1 实时监测:构建全维度安全感知网络

依照机电一体化技术中的传感器技术、工业通信技术跟数据采集技术,组建覆盖矿山生产全流程的安全感知体系,完成多维度安全参数实时监测之举,在井下作业面、巷道交叉口、采空区等关键区域开展多参数传感器的部署工作,实时对瓦斯浓度、一氧化碳浓度、风速、温度、湿度等环境指标进行采集。利用红外传感器与压力传感器检测顶板位移、围岩应力变化,即刻明晰顶板稳定性。利用液位传感器及流量传感器监测井下水位、涌水量,预防透水事故的出现。

在采煤机、刮板输送机、液压支架以及胶带输送机、提升机这些综采设备、运输设备的关键部件(电机、轴承、传动系统)上安装温度、振动、电流、压力传感器,实现对设备运行状态的实时监测。由编码器与位置传感器记录设备运行时的位置与动作幅度,让设备在安全范围之内运行<sup>[3]</sup>。为井下作业人员安设智能定位终端,构建人员定位系统并结合井下基站,实时把控人员位置及移动轨迹;终端具备心率、血氧等生理参数监测功能的集成,人员出现身体异常或者进入禁入区域之际,立刻触发提醒动作,保障人员的安全状态。工业以太网、无线射频(RFID)、ZigBee等通信技术用以实现相关数据传输,实现实时传输的传感器数据、设备数据、

人员数据。构建统一的安全数据平台,对各类数据开展标准化的处理及存储操作,构建起完整的安全感知数据链。

### 3.2 智能预警:建立风险动态识别模型

以机电一体化技术里的数据处理技术、智能算法与逻辑控制技术为基础,组建安全风险智能预警体系,整合隐患的早期识别与及时预警,历史安全数据(隐患记录、事故案例)与实时监测数据,采用故障树分析(FTA)、神经网络算法等,构建不同安全风险的识别模型,面对瓦斯风险,按照瓦斯浓度、风速、开采进度等参数,搭建瓦斯超限预警模型。针对有关顶板的危险,依靠顶板位移速度、应力变化率等参数,设立顶板垮塌预警模型。根据生产工况及矿山地质条件的变化情况,利用智能算法动态调节预警阈值,防止采用“一刀切”的阈值设定模式,在高瓦斯区域把瓦斯浓度预警阈值降低,针对顶板稳定性差区域缩短顶板位移监测的间隔时长。

按照风险等级(一般风险、较大风险、重大风险)构建分级预警机制。一般风险借助平台弹窗告知现场管理人员。较大风险被同步推送至矿里的调度中心,引起现场处置流程开启。重大风险一旦显现,应急响应立刻启动,发送到矿山应急指挥小组,带动相关设备实施停机、人员撤离等措施,持续对预警结果和实际隐患处置数据进行收集,实施风险识别模型的迭代优化,持续增进预警精准度。采用“人工复核”机制,对预警信息实施验证操作,杜绝误预警对生产造成影响。

### 3.3 联动控制:实现高危环节自动化作业

凭借自动化控制技术、PLC(可编程逻辑控制器)技术与设备联动技术等机电一体化技术手段,降低高危环节人工管控,让作业流程实现自动化及安全化,运用悬臂式掘进机及其配套自动化系统,利用激光导向技术把控掘进方向,按照围岩监测数据自动调整截割相关参数。促成掘进、支护工序联动,待掘进机完成一段进尺,带动锚杆钻机、锚索机实施支护作业,减少人工于掘进面的暴露时长<sup>[4]</sup>。搭建综采设备自动化控制系统,PLC使采煤机、刮板输送机、液压支架实现协同运行。采煤机按照煤层厚度调控采高数值,杜绝截割顶板及底板;液压支架依据采煤机位置自行跟机前行,实时调整护帮板及顶板支护强度,防范顶煤出现垮塌情形。倘若监测到瓦斯超限或顶板压力异常,系统自行实施停机操作,实现作业安全的保障。

在胶带输送机、提升机等运输设备部署速度、张力、跑偏传感器,依靠PLC控制系统实现设备安全运行目标。胶带输送机出现跑偏、打滑、过载之际,系统自动启动制动装置、停机或调整张紧力。提升机运行中实时监测提升高度及速度、钢丝绳张力,促使设备处在安全参数范围内运行,防止过卷、过放等此类事故。借助先进的机电一体化瓦斯抽采系统,凭借流量传感器、压力传感器监测有关抽采管路参数,凭借变频控制技术自动调校抽采泵转速,保证抽采效率

与瓦斯浓度的稳定性。若瓦斯浓度超出安全范围，自动增大抽采力度或触发相关区域设备停止运行，预防瓦斯爆炸事故发生。

### 3.4 追溯分析：搭建安全数据管理平台

凭借机电一体化技术中的数据存储技术、数据库技术以及数据分析技术，搭建安全数据管理平台，实现全流程安全数据追溯与分析，对管理决策起到支撑作用，平台以“环境-设备-人员-隐患”为序分类存储安全数据，囊括实时监测数据、预警记录、隐患处置报告、设备检修记录、人员培训记录等；构建数据关联体系，实现不同类型数据相互追溯关联。

依靠数据可视化技术，呈现安全监测数据、设备运行状态、人员位置等信息的直观形式，管理人员实时掌握矿山整体安全状态这一情况可实现；针对重点区域（如高瓦斯作业面、顶板不稳定区域）构建三维可视化模型，展示安全参数变化以及风险分布动态。采用大数据分析办法，对历史安全数据予以深度钻研，剖析安全风险规律；借助不同作业面及不同时间段安全数据的对比，审定安全管理措施的有效性，成为安全管理策略优化的支撑。平台借助预设模板，日报、周报、月报等安全管理报告被自动生成，其内容是否涵盖监测数据统计、隐患处置情况、风险预警分析等呢；支持对报告维度进行自定义，满足不同层级安全管理需求，如现场班组的日常安全报告、矿山管理层的月度安全分析报告。

## 4 机电一体化技术应用的实施保障

### 4.1 技术保障：完善硬件与软件体系

基于矿山地质条件以及生产需求，挑选具备防爆、防尘、耐高低温特性的传感器、控制器与通信设备，保障设备在井下恶劣环境稳定运行得以实现。将设备兼容性视为重点，选择产品需支持统一通信协议以及数据格式，防止不同设备间出现数据壁垒。构建适配矿山安全管理需求的软件平台，涉及数据采集软件、预警分析软件、自动化控制软件、数据管理软件。按照周期推进软件系统升级维护事宜，完成漏洞修复及功能优化，让系统稳定性与安全性无虞。技术应用前，如监测系统与预警系统的联动测试、预警系统与控制系统的协同测试，开展多系统集成测试，对各系统间兼容性与协同性加以验证<sup>[5]</sup>。靠现场试点运行，调校技术参数及运行逻辑，让技术应用与矿山实际安全需求相符。

### 4.2 组织保障：构建协同管理架构

构建机电一体化技术应用专项团队，成员由机电技术、安全管理、数据分析等领域专业人员组成，开展技术应用的规划、实施、维护与优化工作，清晰界定团队职责分工，使得技术应用各环节，如设备安装、系统调试、数据管理等有专人司职。明确机电、安全管理、生产部门协同工作机制，机电部门承担技术设备的运维及技术支持工作，安全管理部门承担风险评估与隐患处置工作，生产部门承担技术应用与生产流程衔接的工作，按时举行协同会议，交流技术应用状况、安全管理问题与解决途径。制定分层培训计划，设备操作、安全监测终端使用培训针对井下作业人员开展，促使人员正确运用机电一体化设备，对管理人员实施数据平台操作、风险预警分析培训，提高管理人员凭借数据的决策水平，招致技术专家进行专项培训，增进人员对技术的认知，贴合智能化安全管理模式。

## 5 结语

机电一体化技术为矿山生产安全管理提供了系统性解决方案，依靠构建全维度安全感知网络、自动化联动控制机制、智能风险预警体系以及数据化追溯平台，切实攻克了传统安全管理中监测滞后、预警不准、操作风险高、决策缺乏支撑等问题。推动矿山安全管理在从“经验驱动”迈向“数据驱动”、从“被动应对”迈向“主动防控”方面转型。未来可对机电一体化技术与人工智能、数字孪生等技术的融合合作进一步深化，助力矿山安全管理迈向更智能、更精准的境地。

### 参考文献

- [1] 於德通,薛维兵.矿山机电一体化控制系统在矿井安全生产中的应用研究[J].科技资讯,2024,22(12):190-192.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2404-5042-8473.
- [2] 郝建坤,李连祥.煤矿机电一体化产品在煤炭生产中的应用研究[J].当代化工研究,2021,(16):65-66.
- [3] 张颖辉,王勇.煤矿机电一体化技术应用探究[J].当代化工研究,2021,(15):73-74.
- [4] 段晓鑫.“机电一体化”技术在晋神磁窑沟煤矿中的应用[J].煤炭工程,2019,51(S2):103-105.
- [5] 李文龙.浅谈煤矿机电一体化技术应用研究[J].化工管理,2020,(03):94-95.