

# 矿山自动化控制技术在开采过程中的应用研究

项 聪

紫金矿业建设有限公司 福建龙岩 364200

**【摘要】**矿山开采过程中自动化控制技术的应用对提高开采效率、保障生产安全具有重要意义。通过对某铁矿自动化控制系统的实施应用研究，重点分析了开采环节中的采矿设备远程控制、智能监测预警、生产数据采集等关键技术。实验结果表明，采用自动化控制后，该矿区开采效率提升31.2%，安全事故发生率降低58.6%，经济效益显著提升。同时，建立了一套完整的矿山自动化控制评估体系，对控制系统的稳定性、可靠性和经济性进行了系统评估，为进一步优化矿山自动化控制技术提供了重要参考依据。

**【关键词】**矿山开采；自动化控制；远程控制；智能监测；评估体系

## 引言：

随着科技的快速发展，矿山开采过程中的自动化控制技术日益成熟。传统矿山开采存在人工操作强度大、安全隐患多、生产效率低等问题，而自动化控制技术的引入为解决这些问题提供了有效途径。国内外学者对矿山自动化控制技术进行了广泛研究，在设备远程控制、智能监测预警等方面取得了显著成果。然而，现有研究主要集中在单项技术应用层面，缺乏系统性的实施评估。基于此，有必要深入研究矿山自动化控制技术在开采过程中的应用效果，建立科学的评估体系，为推动矿山开采自动化发展提供理论和实践支撑。

## 1 工程概况

某大型铁矿位于华北地区，矿区面积达56平方公里，地质构造较为复杂，矿体埋深在450-780米之间，矿体厚度变化范围为15-45米。矿区采用地下开采方式，主要开采设备包括凿岩台车、铲运机、运输卡车等。矿区现有运输巷道总长度达85公里，采区标高分布在-350米至-650米。区域水文地质条件复杂，地下水补给来源主要为大气降水和基岩裂隙水，年均涌水量约为3200立方米/天。开采工艺采用分段崩落法，年开采规模为铁矿石1200万吨。采矿工艺流程包括穿孔、爆破、铲装、运输等环节，各生产系统配备相应机械设备。现有传统人工操作模式暴露出诸多问题：设备运行状态监控不及时，故障预警能力弱，维修响应滞后；生产环节衔接配合效率低下，资源调度存在盲区；安全管理难度大，危险作业环境人员暴露风险高；生产数据采集方式落后，统计分析不够准确。矿区具备实施自动

化控制技术的基础条件：地面建有工业以太网，地下建有漏泄电缆通信网络，双回路供电系统可靠；主要生产设备均配备传感器接口；技术人员具有自动化设备操作维护经验。地下环境温度常年保持在18-22摄氏度，相对湿度75%-85%，环境参数稳定。通过引入自动化控制技术，对设备远程操控、智能监测预警、数字化管理平台等方面进行全面改造，可实现生产过程的智能化管控，有效提升生产效率和安全保障水平<sup>[1]</sup>。

## 2 自动化控制技术应用

### 2.1 远程控制系统设计

矿山远程控制系统采用分布式控制架构，由地面控制中心、中继传输网络和井下控制终端组成。地面控制中心配备工控机、大屏显示系统和操作控制台，通过工业以太网与井下设备连接。控制指令采用TCP/IP协议传输，数据加密方式为AES-256位加密算法，确保指令传输安全可靠。井下控制终端包括凿岩台车控制器、装载机控制器和运输设备控制器，控制器采用西门子S7-1500系列PLC。控制系统设计中重点解决了井下复杂环境下的信号传输稳定性问题，采用双模切换技术，在光纤通信中断时自动切换到无线通信模式。远程控制功能涵盖设备启停、工作参数调节、运行状态监测等，操作界面采用组态王软件开发，实现了设备运行状态的实时可视化显示<sup>[2]</sup>。系统设计特别注重安全保护功能，设置了多重安全联锁，在通信中断或设备异常时自动进入安全状态。远程控制系统实现了采矿设备的无人值守运行，操作人员在地面即可完成井下设备控制。

## 2.2 智能监测预警体系

智能监测预警体系覆盖采场环境、设备运行和生产安全三个层面。环境监测系统部署了甲烷、一氧化碳、温度、湿度等多参数传感器，采用RS485总线将数据传输至地面监控中心。传感器布设密度为每个采场不少于4个监测点，确保监测数据全面性。设备运行监测采用振动传感器、温度传感器和电流传感器等，实时采集设备运行参数。预警机制基于多层神经网络算法，建立了设备故障预测模型，可提前24-48小时预测设备潜在故障。系统设置了三级预警等级，分别对应注意、警告和危险状态。当监测参数超过预警阈值时，系统自动发出声光报警信号，并通过短信、移动终端推送预警信息<sup>[3]</sup>。针对不同类型预警，制定了相应的应急处置预案，明确了各岗位人员的应急职责。预警系统与远程控制系统联动，在出现重大安全隐患时可自动停止相关设备运行。

## 2.3 生产数据采集分析

生产数据采集系统采用分层分布式架构，在各生产环节部署数据采集节点。采矿工作面安装了智能化采集终端，采集爆破参数、采出量、矿石品位等数据；运输系统配备了电子标签识别装置，记录运输车辆运行轨迹和装载量；提升系统实时采集提升量、能耗等数据。数据传输采用OPC UA协议，确保数据传输的实时性和可靠性。数据处理采用分布式计算框架，通过数据清洗、标准化处理，建立统一的数据格式。数据分析平台采用SQL Server数据库存储历史数据，结合Python数据分析工具，建立了生产效率评估模型、设备效能分析模型和成本核算模型。数据可视化采用Power BI工具，实现了多维度数据展示，包括生产进度、设备利用率、能耗分析等专题图表。数据分析结果直接用于生产调度决策，实现了生产过程的精确管控<sup>[4]</sup>。

## 2.4 自动化控制系统实施

矿山自动化系统采用分布式控制架构，主要包含远程控制、智能监测和数据分析三个子系统。远程控制系统由地面控制中心、中继传输网络和井下控制终端组成，配备工控机、大屏显示系统和操作控制台。控制指令采用TCP/IP协议传输，数据加密方式为AES-256位加密算法，确保指令传输安全可靠。井下控制终端包括凿岩台车控制器、装载机控制器和运输设备控制器，控制器采用西门子S7-1500系列PLC。智能监测预警体系部署了甲烷、一氧化碳、温度、湿度等多参数传感器，采用RS485总线将数据传输至地面监

控中心。设备运行监测采用振动传感器、温度传感器和电流传感器等，通过多层神经网络算法建立设备故障预测模型。生产数据采集系统采用分层分布式架构，采矿工作面安装智能化采集终端，采集爆破参数、采出量、矿石品位等数据；运输系统配备电子标签识别装置，记录车辆运行轨迹和装载量；提升系统实时采集提升量、能耗等数据<sup>[5]</sup>。数据传输采用OPC UA协议，数据处理采用分布式计算框架，通过数据清洗、标准化处理建立统一格式。数据分析平台采用SQL Server数据库存储历史数据，结合Python数据分析工具构建生产效率评估、设备效能分析和成本核算模型，为生产决策提供数据支撑。

## 3 系统实施效果评估

### 3.1 技术性能评价

自动化控制系统在矿山开采过程中展现出显著的技术优势。系统通信稳定性达到99.8%，数据传输延迟控制在100ms以内，远程控制指令响应时间平均为0.8秒。设备运行效率提升明显，如表1所示，凿岩台车月均工作时间由原来的380小时提升至465小时，设备利用率由改造前的75.8%提高至92.6%，提升幅度达16.8%。智能监测系统的故障预测准确率达到92.5%，提前24小时预警成功率为95.8%。采矿工作面生产效率提升31.2%，采矿损失率从原来的8.5%降低到6.2%。设备运行状态监测精度提高，振动监测精度达到±0.01mm/s，温度监测精度达到±0.1℃。数据采集系统实现了生产数据的实时采集和分析，数据采集准确率由85.6%提升至99.5%，采集频率可达到1次/秒，数据处理分析结果及时性提升58%。自动化系统的稳定运行时间已超过300天，系统可靠性指标达到99.2%。通过对比分析，系统各项技术指标均处于国内领先水平，为矿山开采效率提升提供了强有力的技术支撑。

表1 系统技术性能指标对比表

性能指标	改造前	改造后	提升幅度
通信稳定性	92.5%	99.8%	7.3%
设备利用率	75.8%	92.6%	16.8%
数据采集准确率	85.6%	99.5%	13.9%
控制响应时间	2.5s	0.8s	68%
系统可靠性	90.5%	99.2%	8.7%

### 3.2 经济效益分析

自动化控制系统的实施带来显著的经济效益。通过对比系统实施前后的生产指标变化,年度采矿成本出现全面下降。如表2所示,吨矿成本由132元降低到111元,降幅达15.8%,显著提升了矿山经济效益。设备维修费用减少26.5%,年节省维修成本达850万元,主要得益于设备预测性维护和智能诊断技术的应用。人工成本方面,一线操作人员减少185人,年节省人工成本1665万元,工作岗位结构得到优化调整。生产效率提升带来的经济效益更为显著,月均产量由96万吨提升至108万吨,提升幅度达12.5%,年增加产值约1.85亿元。能源消耗降低22.4%,由原来的1850万度/年降低至1435万度/年,年节省电费支出约420万元,体现了自动化系统在节能降耗方面的优势。设备使用寿命延长约25%,年均设备更新成本降低约680万元。辅助材料消耗降低18.6%,年节省材料成本约235万元。投资回收期分析显示,系统总投资额为8600万元,年均创造经济效益3080万元,投资可在2.8年内收回,投资回报率达到36.5%。通过经济指标的全面分析表明,自动化控制系统在降低生产成本、提高经济效益方面取得了显著成效,推动了矿山经济效益的持续增长。

表2 经济效益指标对比表

经济指标	改造前	改造后	变化率
吨矿成本(元)	132	111	-15.8%
月均产量(万吨)	96	108	+12.5%
维修成本(万元/年)	3205	2355	-26.5%
能源消耗(万度/年)	1850	1435	-22.4%
人工成本(万元/年)	5265	3600	-31.6%

### 3.3 安全指标评估

自动化控制系统的应用显著提升了矿山安全生产水平。如表3所示,事故发生频率由改造前的28次/年降低至11.6次/年,降幅达58.6%,重大安全事故实现零发生。人员伤亡率降低85.3%,设备事故率由8.5%降低至3.2%,降幅达62.7%。通过智能监测预警系统,成功预防各类安全隐患873次,其中重大隐患由原来的386次/年降低至128次/年,降幅达66.8%。环境监测数据显示,采场环境参数达标率由92.5%提升至99.2%,粉尘超标次数减少78.5%,有毒有害气体超标次数减少82.3%。危险作业环节人员暴露时间减少

65.8%,高危区域人员数量减少82.3%。应急响应时间从平均15分钟缩短至4分钟,缩短幅度达73.3%,应急处置成功率提升至98.5%。井下通风系统运行稳定性提高,通风异常报警次数减少56.2%。顶板监测预警准确率达到96.8%,及时发现并处理顶板异常285处。系统运行以来,安全生产标准化评级提升至一级,年度安全生产奖励增加320万元。设备检修计划完成率提升至98.5%,设备带病运行率降低85.6%。通过安全指标的系统分析可见,自动化控制系统在保障矿山安全生产、降低事故风险、提升应急处置能力等方面取得了显著成效,为矿山安全生产提供了有力保障。

表3 安全生产指标对比表

安全指标	改造前	改造后	改善率
事故发生率(次/年)	28	11.6	-58.6%
设备事故率(%)	8.5	3.2	-62.7%
环境达标率(%)	92.5	99.2	+6.7%
应急响应时间(分钟)	15	4	-73.3%
重大隐患数量(次/年)	386	128	-66.8%

### 结语

通过对矿山自动化控制技术的深入研究和实践应用,证实了该技术在提升开采效率、降低安全风险方面的显著效果。实验数据表明,自动化控制系统的应用使矿区生产效率得到大幅提升,经济效益和安全性能均达到预期目标。建立的评估体系为后续技术优化提供了重要依据。在未来研究中,需要进一步加强自动化控制技术与人工智能的深度融合,探索更加智能化的矿山开采模式,推动矿山开采技术的持续创新和发展。同时,还应注重技术标准化建设,为自动化控制技术的推广应用奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 勾瑞鹏. 电气自动化控制技术在煤矿开采作业中的运用[J]. 矿业装备, 2023, (08): 25-27.
- [2] 王辉, 万力玮, 朱应坤. 自动化控制技术在矿山机电中的应用与探究[J]. 中国设备工程, 2023, (14): 227-229.
- [3] 杨东. 中色非矿自动化采矿技术应用研究[J]. 中国有色金属, 2023, (S1): 177-179.
- [4] 白建军. 矿山自动化采矿技术应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (03): 52-53.
- [5] 甄帅, 王小东. 自动化技术在机械设备控制中的应用分析[J]. 内燃机与配件, 2019, (17): 222-223.