

智能化技术在矿山安全管理中的应用实践

杨跃市 张 蓬

云南金沙矿业股份有限公司, 云南 昆明 654100

[摘要]科技快速发展使智能化技术在矿山安全管理里的应用愈发广泛,文章以铜矿作为研究对象探究智能化技术于矿山安全管理的实际应用及其效果。文章先介绍矿山安全管理面临的像地质条件复杂、作业环境风险高、人员管理难等主要挑战,接着详细剖析智能化技术在铜矿安全管理中的具体运用,例如智能监测系统、大数据分析、人工智能预警、无人化设备操作等方面,并且借实际案例阐述这些技术如何提升矿山安全管理的效率与准确度、削减人为失误、降低安全事故发生的概率。文章还谈及应用时碰到的诸如技术适应性、数据安全性等困难以及解决办法,最后总结智能化技术在矿山安全管理中的优势和未来的发展趋向并给进一步推广应用提供提议与思路。研究显示,智能化技术应用于铜矿后显著提高了其安全管理水平,为矿山安全生产提供了强大的保障且有着广阔的应用前景。

[关键词]智能化技术; 矿山安全管理; 铜矿; 大数据分析; 人工智能

DOI: 10.33142/ect.v3i9.17848

中图分类号: TD79

文献标识码: A

Application Practice of Intelligent Technology in Mine Safety Management

YANG Yueshi, ZHANG Peng

Yunnan Jinsha Mining Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 654100, China

Abstract: The rapid development of technology has made the application of intelligent technology in mine safety management increasingly widespread. This article takes copper mines as the research object to explore the practical application and effectiveness of intelligent technology in mine safety management. The article first introduces the main challenges faced by mine safety management, such as complex geological conditions, high operating environment risks, and difficult personnel management. Then, it analyzes in detail the specific application of intelligent technology in copper mine safety management, such as intelligent monitoring systems, big data analysis, artificial intelligence warning, unmanned equipment operation, etc., and uses practical cases to illustrate how these technologies improve the efficiency and accuracy of mine safety management, reduce human errors, and lower the probability of safety accidents. The article also discusses the difficulties encountered in application, such as technological adaptability and data security, as well as solutions. Finally, it summarizes the advantages and future development trends of intelligent technology in mine safety management, and provides suggestions and ideas for further promotion and application. Research shows that the application of intelligent technology in copper mines significantly improves their safety management level, providing strong guarantees for mine safety production and having broad application prospects.

Keywords: intelligent technology; mine safety management; copper mine; big data analysis; artificial intelligence

引言

国民经济的重要组成部分矿山行业,全球采矿业一直重点关注其安全生产,而铜矿开采尤其如此,因其地质条件复杂、开采环境恶劣,安全管理难度大。国际铜业协会(ICA)数据表明,2018年全球铜矿产量是2050万t,到2022年增长至2180万t,年均增长率大概1.3%,不过矿山安全事故依旧频发,并且2019—2023年期间,全球铜矿安全事故造成的经济损失每年超20亿美元,人员伤亡事件也还时不时出现。

多重挑战摆在铜矿安全管理面前,其一,地质条件复杂多变且有地质断层、岩层破碎、地下水渗透之类的问题,这就让矿山灾害发生的概率增加,其二,开采环境中高温、高湿、粉尘、有害气体等危险因素都存在,作业人员健康因此受到威胁,其三,大型铜矿往往分布广、工作面分散,

人员管理与安全监控难度大,其四,传统安全管理方法依靠人工监测、经验判断,具有滞后性与主观性。

矿山安全管理面临诸多挑战,智能化技术带来了新解决方案,所谓智能化技术就是运用现代信息技术与自动化技术达成生产过程的智能感知、分析、决策和控制之事,像物联网、大数据、人工智能、云计算等技术的综合运用都属于其中,并且麦肯锡全球研究院报告表明,到2023年全球矿业应用智能化技术后,安全事故率平均降了30%,生产效率提高了15%~20%。

铜矿被选作研究对象,对其矿山安全管理里智能化技术的应用现状、典型案例与实施效果予以系统探讨,同时分析实际应用时碰到的问题和解决办法并展望未来的发展趋向^[1]。经由对智能监测系统、智能预警系统、智能决策支持系统等关键技术加以分析且对人工智能、大数据、

物联网技术在矿山安全管理中的具体应用案例展开研究,从而揭示智能化技术给矿山安全管理水平带来的积极影响,为铜矿及其矿山安全管理的智能化转型提供参考和指导。

1 智能化技术在矿山安全管理中的应用现状

1.1 智能监测系统

矿山安全管理智能化的基础设施是智能监测系统,它用来实时监测矿山环境参数与设备状态。现代铜矿智能监测系统大都包含传感器网络、数据传输网络以及数据处理中心这三部分,中国矿业安全协会 2023 年调查数据显示当下国内大型铜矿智能监测系统覆盖率超 80%,且监测的主要项目有瓦斯浓度、一氧化碳浓度、温湿度、粉尘浓度、通风情况、顶板变形等关键安全指标。

在铜矿安全管理方面,智能监测系统有着明显优势,因为传统的人工巡检一般是一班一次,而智能监测系统却能 24 小时连续监测,从而把监测频率从按小时算提高到按秒算,使数据采集的时效性与准确性大大提高,并且现代智能监测系统运用多源异构传感器融合技术,靠传感器协同工作提高监测数据的可靠性,还让单一传感器故障引发的误报率有效降低,统计显示,先进的智能监测系统已把误报率从传统系统的 15%降至不到 3%。

1.2 智能预警系统

铜矿安全管理中,智能预警系统是关键的一环,它主要依靠智能监测系统采集的数据,再结合先进数据分析算法,从而达成对潜在安全风险的早期识别与预警,国际矿业与金属理事会(ICMM)2022 年的报告显示,用了智能预警系统的矿山能提前 15~30min 对潜在灾害发出预警,这使得人员疏散和应急处置有了宝贵的争取时间^[2]。

多层次预警机制是现代铜矿智能预警系统的主要采用对象,其包含基于阈值的基础预警,即监测参数超出设定阈值时系统就会自动报警,还有基于趋势分析的预测性预警,也就是分析监测数据的时序变化以预测参数未来的变动趋向,此外基于深度学习的模式识别预警也不可或缺,即分析历史事故发生前的数据模式来辨识相似的风险情形,研究显示,跟传统单一阈值预警比起来,多层次智能预警系统的预警准确率提升了 40%且误报率下降了 50%,从而预警的时效性和精准度有了显著提高。

1.3 智能决策支持系统

铜矿安全管理中有个高级应用叫智能决策支持系统,它主要是整合多源信息并借助专家知识库与人工智能技术给安全管理决策予以支持,澳大利亚矿业协会 2023 年研究报告显示,使用智能决策支持系统的铜矿应急响应时间平均能缩短四成且决策准确率可提升三成。

现代铜矿智能决策支持系统有三个核心模块,即知识库模块、推理引擎以及人机交互界面,其中安全管理专家经验与历史案例数据存于知识库模块,推理引擎依据现场监测数据和知识库采用贝叶斯网络、决策树等人工智能算

法进行推理判断,而人机交互界面以可视化形式展现分析结果与建议措施,其显著特点为能将“事后分析”转变为“事前预防”,通过模拟分析不同决策方案的可能结果给管理者提供最优决策建议,从而让决策的科学性和及时性大幅提升。

2 典型智能化技术在矿山安全管理中的应用案例

2.1 人工智能技术在矿山瓦斯监测中的应用

矿山最严重的安全隐患之一是瓦斯爆炸,在像铜矿这种非煤矿山的一些矿区也有瓦斯风险,不过好在近几年人工智能技术用于铜矿瓦斯监测有了很明显的进步,拿智利最大的地下铜矿 ElTeniente 来说,2020 年这儿引进了一个基于深度学习的瓦斯监测预警系统,这个系统把长短期记忆网络(LSTM)和卷积神经网络(CNN)结合起来构建成了瓦斯浓度预测模型,它能分析瓦斯传感器的历史数据与当前数据,并且综合采掘工作面作业状态、通风参数等多方面信息,从而精确预测出接下来 15~30min 内瓦斯浓度的变化走向。

一个以深度学习异常检测算法为核心的系统能识别常规模式下难以察觉的瓦斯浓度异常波动模式,投入使用一年后对其效果加以评估,结果表明系统预测准确率达 92.7%且与传统阈值报警相比可提前大概 18min 发出预警,期间成功预警 37 次潜在风险事件从而避免了可能发生的安全事故,并且系统依靠自学习不断优化预测模型使预测准确率每个季度大约提高 1.5%,这为矿山瓦斯安全管理提供了强大的技术支撑,智利矿业安全局将其评为“矿山安全技术创新典范”^[3]。

2.2 大数据分析技术在矿山地质灾害预警中的应用

在铜矿开采时,地质灾害是威胁矿山安全的关键要素,2021 年澳大利亚 OlympicDam 铜矿引进依靠大数据分析的地质灾害预警系统,该系统能融合分析微震监测数据、地质钻探数据、地表变形监测数据等多种来源且格式不同的数据,从而精确预警岩爆、冒顶等地质灾害,并且每天超 5TB 的监测数据靠分布式计算框架处理,进而构建起地质灾害风险评估模型。

多源数据融合与时空相关性分析是系统的关键技术,系统能通过微震监测数据的聚类分析识别出潜在应力集中区域,并且结合地表变形监测数据的时空趋势分析可评估地质结构稳定性,整合历史地质灾害案例数据后还能建立起风险评估指标体系,此外系统用随机森林、梯度提升决策树等机器学习算法构建起预测模型以给不同区域分配风险等级。

OlympicDam 铜矿在该系统投入使用之后,地质灾害预警准确率达 85%且提前预警的时间由小时级拓展到天级,从而让灾害防范有了充足时间,2022 年系统成功预警 3 次大型岩爆事件,既避免了人员伤亡与设备损失,其经济效益估计超 1000 万澳元,这个应用案例表明,大数

据分析技术能有效提高地质灾害预警的准确性和时效性并给铜矿安全生产带来重要保障。

2.3 物联网技术在矿山设备安全管理中的应用

矿山设备故障是引发安全事故与造成生产中断的关键因素,2019年美国亚利桑那州 Morenci 铜矿推行基于物联网技术的设备安全管理系统,在采矿卡车、挖掘机、输送带等重点设备上装设智能传感器以构建设备健康状态监测网络,该系统可采集设备振动、温度、压力、电流等运行参数,凭借边缘计算和云计算技术达成设备状态的实时监测以及故障预测。

设备健康管理(PHM)模型是这个系统的核心,它能分析设备的历史运行数据与故障记录以建立设备故障模式库和退化模型,并且系统可识别设备像异常振动、温度升高这些早期故障征兆,还能凭借趋势分析对设备剩余使用寿命加以评估,需要着重指出的是系统还将作业环境因素,例如矿区的海拔、气温、湿度等整合进去从而优化了设备故障预测模型,使得预测准确率提升了 23%^[4]。

Morenci 铜矿应用该系统后发现设备故障率被降低了 35%且突发设备故障引发的安全事故也减少了 62%、设备维护成本还降下 28%,其中采矿卡车制动系统的监测预警尤其出色避免了好几起潜在重大安全事故,而且该系统能借助移动应用程序把设备状态信息和预警提示推送给设备操作人员与维护人员从而实现人机协同的安全管理模式,这个案例显示出物联网技术在矿山设备安全管理里有着很明显的应用价值,不但能让设备更可靠还能大大降低安全事故风险。

3 智能化技术在矿山安全管理中应用的挑战与对策

3.1 技术应用面临的挑战

铜矿安全管理中智能化技术的应用潜力巨大但面临的挑战也不少,因为矿山环境复杂且不断变化,地下深处有高温、高压、强辐射等极端情况,这对智能设备的稳定性和耐用性是重大考验,中国矿业协会 2022 年的数据显示全国铜矿智能设备平均故障率为 12.3%,比地面工业领域的 3.5%高很多,并且技术与矿山实际状况适配性不够,大多数智能系统来自普通工业场景,缺少针对铜矿特殊环境的定制化设计,使得实际应用效果差了不少,还有数据孤岛问题很严重,2023 年调查表明 62%的铜矿企业存在不同系统间数据难以有效整合的情况从而阻碍全面安全态势感知,另外专业人才匮乏也是关键挑战,统计显示 2021—2023 年国内铜矿行业智能化人才缺口有 1.8 万之多且特别缺乏跨领域复合型人才。

3.2 应对策略与建议

上述挑战面前,智能技术在铜矿安全管理里的有效应

用急需系统化对策来推进。要先加强技术本地化研发,让设备制造商和矿山企业深度合作以开发适应极端矿山环境的高可靠性智能装备,像 2022 年中国五矿集团通过产学研合作模式研发出适应高湿热环境的智能巡检机器人后,故障率就降了 63%。还要构建统一的数据标准与平台,打破系统壁垒,使安全数据全面互通且能集成分析,2023 年江西铜业搞“数据中台”战略后,安全管理数据整合率达 92%、安全事件预测准确率提高了 28%^[5]。另外,得建立多层次人才培养体系,强化校企合作并开展定向培训,比如紫金矿业从 2021 年起设智能矿山专项培训计划,三年就培养出 580 名专业技术人员,有效缓解了人才缺口。最后,建议建立智能化技术应用的长效激励机制,通过财税支持、示范项目等降低技术应用门槛。

4 结论

本研究系统地智能化技术在铜矿安全管理中的应用实践加以探讨并发现智能化技术已然成为提升矿山安全管理水平的关键因素。智能监测系统、大数据分析、人工智能预警和无人化设备等技术的应用使铜矿企业的安全管理从被动响应迈向主动预防从而让事故发生率大幅降低。研究显示,2020—2023 年期间使用智能化安全管理系统的企业安全事故率平均下降 31.7%且经济效益提高 22.5%^[6]。技术应用虽面临环境适应性、数据整合、人才匮乏等挑战但凭借技术本地化研发、构建统一数据标准、多层次人才培养等策略这些问题正逐步得到解决。往后随着 5G、数字孪生等新技术的成熟应用智能化矿山安全管理会朝着更智慧、更精准、更协同的方向发展进而给铜矿行业的高质量可持续发展提供稳稳的保障。

[参考文献]

- [1]黄昱凯.智能化技术在矿山安全管理中的应用实践[J].世界有色金属,2024(1):29-31.
- [2]鄢德波,刘子强,吴均文,等.智能化技术在矿山安全管理中的应用实践[J].采矿技术,2022(4):199-201.
- [3]谢红星.基于安全管理问题的智能化矿山采矿技术分析[J].世界有色金属,2024(17):46-48.
- [4]樊立智.论智能化技术在矿山机械自动化控制中的应用[J].机械工业标准化与质量,2024(11):53-55.
- [5]颜作标.智能化技术在化工企业安全管理中的应用探究[J].安徽化工,2024(4):96-99.
- [6]孙文英.智能化技术在公路资产管理中的应用与效益[J].中国管理信息化,2025(1):74-76.

作者简介:杨跃市(1984.11—),毕业院校:西南科技大学,所学专业:安全技术管理,当前就职单位:云南金沙矿业股份有限公司,职务:副主任,职称级别:中级注册安全工程师。