

智能采矿技术在深部资源开采中的应用与挑战

王安豪

江西乐矿能源集团，江西省 景德镇 333000

DOI: 10.61369/ME.2024070020

摘要：随着矿产资源的不断开采，浅层资源逐渐减少，深部资源的开采变得越来越重要。智能采矿技术作为现代矿业发展的重要方向，为深部资源的高效、安全、可持续开采提供了可能。本文首先介绍了智能采矿技术的定义和特点，然后分析了智能采矿技术在深部资源开采中的应用，包括自动化设备、远程监控系统、大数据分析和人工智能等。接着，本文探讨了智能采矿技术在深部资源开采中面临的挑战，如技术难题、成本投入、人员培训和环境影响等。最后，提出了相应的对策和建议，以期为智能采矿技术在深部资源开采中的应用提供参考。

关键词：智能采矿技术；深部资源；自动化；大数据

The Application and Challenges of Intelligent Mining Technology in Deep Resource Exploitation

Wang Anhao

Jiangxi Lekuang Energy Group, Jingdezhen, Jiangxi 333000

Abstract : With the continuous exploitation of mineral resources, shallow resources are gradually decreasing, and the exploitation of deep resources is becoming increasingly important. Intelligent mining technology, as an important direction of modern mining development, provides the possibility for the efficient, safe and sustainable mining of deep resources. This paper first introduces the definition and characteristics of intelligent mining technology, and then analyzes the application of intelligent mining technology in deep resource exploitation, including automated equipment, remote monitoring systems, big data analysis and artificial intelligence, etc. Then, this paper discusses the challenges faced by intelligent mining technology in deep resource exploitation, such as technical difficulties, cost input, personnel training and environmental impact, etc. Finally, corresponding countermeasures and suggestions were put forward, with the expectation of providing a reference for the application of intelligent mining technology in the exploitation of deep resources.

Keywords : intelligent mining technology; deep resources; automation; big data

引言

随着全球工业化进程的加快，矿产资源的需求日益增长，而浅层资源的开采难度和成本逐渐增加，深部资源的开采成为矿业发展的必然趋势。深部资源开采面临诸多挑战，如复杂的地质条件、高风险作业环境、资源回收率低等问题。智能采矿技术的应用，能够有效提升深部资源开采的效率和安全性，降低环境影响，实现资源的可持续利用。

一、深部资源开采的环境与挑战

(一) 深部资源开采的地质环境特征

深部资源开采面临着极端的地质环境，其中最显著的特征是高温、高湿和高地应力。随着开采深度的不断增加，地温会逐渐升高，通常每向下深入100米，温度就会上升约3摄氏度。在数千米深的地下，温度甚至可能高达50–60摄氏度，甚至更高，这对于设备和人员都是巨大的考验。深部环境湿度高，加速设备腐蚀和故障。地应力随深度增加而增长，导致岩石变形、破裂，引

发岩爆等灾害，威胁开采安全。岩爆、突水、瓦斯等灾害风险增加，难以预测，带来安全风险。深部地质结构和矿体赋存条件复杂，岩石结构破碎、裂隙发育，矿体形态变化多端，增加了开采难度。深部矿产共生或伴生情况多，进一步增加开采和选冶的复杂性^[1]。

(二) 深部资源开采的技术挑战

传统的采矿方法，如空场法、崩落法等，大多是针对浅部或中深部矿体开发的，其设计理念和工艺流程难以适应深部开采的极端环境。例如，传统的支护方法在高地应力环境下可能失效，

导致巷道变形、垮塌；传统的通风系统在高温、高湿环境下效率低下，难以有效降低工作面的温度和湿度。针对深部开采，需开发新采矿方法、工艺和设备，以提升效率和安全。设备必须在恶劣条件下稳定运行，这对材质、结构和密封性能提出挑战。深部开采设备维护难度大，成本高，因此需研发高可靠性、易维护的专用设备，并建立维护管理体系。深部开采还面临通风、降温、排水等技术难题，需综合运用多学科知识和技术解决。安全监测与预警技术要求更高，需建立完善监测系统和预警模型，融合多种先进技术，建立智能化安全管理平台^[2]。

（三）深部资源开采的经济挑战

深部资源开采的成本显著高于浅部开采。首先，深部开采需要投入更多的资金用于购买先进的设备、建设完善的配套设施，如通风系统、降温系统、排水系统等。其次，深部开采的运输成本、提升成本、通风成本、降温成本等运营成本也远高于浅部开采^[3]。此外，深部开采的设备损耗更快，维护成本也更高。深部资源开采成本上升，经济效益受压。投资风险高于浅部开采，勘探难度大，地质资料不确定性高，投资决策风险增加。开采周期长，资金时间成本和风险增加。安全风险高，事故经济损失和社会影响大。需谨慎评估和决策。深部开采需高素质专业人才，如采矿、地质、安全、机械工程师等，但人才培养体系不完善，人才储备不足。恶劣工作环境和高安全风险导致人才不愿从事相关工作。企业需投入资金培养和引进人才，进一步增加成本。

（四）深部资源开采的安全挑战

深部资源开采的作业环境极其恶劣，高温、高湿、高地应力、高噪音、高粉尘等恶劣条件对作业人员的身心健康构成了严重威胁。长时间在如此恶劣的环境下工作，作业人员容易疲劳、中暑、患职业病，甚至引发安全事故。深部开采的安全风险高于浅部，面临多种灾害如岩爆、突水和瓦斯爆炸，这些灾害复杂且难以预测，对作业人员生命安全构成威胁。深部开采事故的应急救援难度大，因为作业地点远离地表，通信条件差，救援设备难以展开，且救援通道易堵塞。恶劣环境如高温、高湿、缺氧也威胁救援人员安全。因此，深部资源开采需建立完善的应急救援体系和配备先进装备，以提升救援效率和成功率^[4]。

二、智能采矿技术在深部资源开采中的应用

（一）采矿设备自动化技术在深部开采中的应用

在深部资源开采中，无人化采矿设备的应用日益广泛，极大地提高了开采效率和安全性。无人驾驶矿车能够自主导航、自动避障，并在无人干预的情况下完成矿石的运输任务，有效降低了人员在高危环境中的暴露时间。凿岩机器人则能够替代人工进行钻孔作业，精确控制钻孔参数，提高钻孔效率和质量，同时避免了人工凿岩带来的安全风险和劳动强度。无人化采矿设备体系，包括无人化铲运机和装卸设备，预示着深部资源开采的未来。远程操控技术允许操作人员在地面控制中心远程操作深井下的设备，如挖掘机和装载机，减少人员风险，提升设备效率和维护。设备状态监测与故障诊断技术通过实时监控关键部件，利用传感器、信号处理和人工智能算法，实现故障预警和精确诊断，避免停产事故，降低维修成本，延长设备寿命，增强开采的经济性和安全性^[5]。

（二）采矿过程信息化技术在深部开采中的应用

矿山信息化管理系统是深部资源开采实现现代化管理的重要工具。该系统涵盖了生产调度、设备管理、人员定位等多个方面。生产调度模块可以根据实时生产数据，优化生产计划，协调各生产环节，提高生产效率。设备管理模块可以记录设备的基本信息、运行状态、维护记录等，实现设备的全生命周期管理。人员定位模块实时监测井下人员位置，确保安全，并助于紧急疏散。集成应用提升了矿山管理的数字化和智能化水平。监测和数据采集技术是获取关键信息的手段，通过传感器监测多种参数预防灾害。这些数据支撑安全管理。通信与网络技术是信息化、智能化的基础，确保信息可靠传输。有线通信提供稳定高速通道，无线通信用于定位和通话，工业以太网实现设备互联，构建网络平台。这些技术为信息化建设提供坚实基础^[6]。

（三）采矿决策智能化技术在深部开采中的应用

基于大数据的矿山安全生产预测预警技术是利用大数据分析技术，对海量的监测数据进行深入挖掘和分析，从而实现对矿山安全状况的预测和预警。通过对历史数据、实时数据、环境数据等多源数据的融合分析，可以识别出潜在的安全隐患和风险因素。机器学习和深度学习等人工智能技术可用于构建安全预测模型，预测未来安全状况并预警。这种技术有助于提前识别安全隐患，为预防措施争取时间，减少事故发生。人工智能优化的采矿方案通过综合分析矿体条件、地质构造等因素，利用智能算法寻找最佳采矿方案，提高开采效率、降低成本、确保安全。专家系统和智能决策支持系统是矿山管理决策的辅助工具，专家系统基于专家知识解决生产问题，智能决策支持系统通过数据处理和分析提供决策支持。两者结合可提供更全面、准确的决策信息，提升决策科学性和有效性^[7]。

（四）智能采矿技术在深部开采中的集成应用

构建智能化开采平台是实现深部资源开采智能化的关键。该平台需要集成采矿设备自动化技术、采矿过程信息化技术、采矿决策智能化技术等多个方面的技术成果。建立统一数据中心以集中存储和管理数据。开发应用软件集成多种功能并实现协同作业。构建可视化界面以实时监控和远程操控开采过程。智能化开采平台通过数据共享和协同控制技术支持深部资源开采。统一的数据标准和接口促进不同系统和设备间的数据交流。开发的协同控制算法使设备如无人驾驶矿车能根据凿岩机器人进度自动调整运输，从而提高开采效率，降低能耗，并优化开采过程。智能采矿技术的集成应用提升了开采的自动化、信息化和智能化水平，减少了人工干预，优化了资源配置，提高了资源利用率和决策的科学性。这些技术将推动矿业行业的革命性变革和转型升级^[8]。

三、智能采矿技术在深部资源开采中面临的挑战与对策

（一）技术层面的挑战与对策

深部开采面临着高温、高压、高湿、强腐蚀等极端恶劣的环境，这些环境因素对智能采矿设备的性能和可靠性提出了极高的要求。例如，高温会导致设备元器件性能下降甚至失效，高压会影响设备的密封性能和结构强度，高湿和腐蚀性气体则会加速设备的老化和损坏。针对这些挑战，需要重点研发能够适应深部复

杂环境的智能采矿设备。深部开采设备应使用耐高温、高压、防腐材料，优化结构以提高可靠性和寿命。需加强散热设计，确保高温下正常工作。通信技术需应对信号衰减和电磁干扰，研究新技术如低频电磁波和光纤通信，优化网络架构，提升信号覆盖和稳定性。智能采矿技术产生的大数据需利用大数据和云计算技术进行挖掘和分析，建立高效数据管理系统，开发数据处理算法和挖掘模型，自动提取信息，优化开采过程和决策支持。智能采矿技术还需与现有工艺融合，优化和改造工艺，重新设计开采流程，升级设备，加强技术人员培训^[9]。

(二) 经济层面的挑战与对策

智能采矿技术的研发和应用需要投入大量的资金，包括设备采购、系统开发、维护升级等方面的成本。这些成本对于许多矿山企业来说是一个沉重的负担，尤其是在技术初期应用阶段，成本回收周期较长，投资风险较大。降低智能采矿技术应用成本需政府、企业和社会合作。政府可提供税收优惠和资金补贴，企业间应加强合作以降低成本。技术进步和规模化应用将使成本下降，提高经济可行性。智能采矿技术投资回报率受技术成熟度、市场接受度和矿石价格波动等因素影响，不确定性增加了投资决策难度。企业投资前需进行技术论证和风险评估，全面评估技术成熟度、可靠性、适用性，并深入分析市场前景和矿石价格走势。据此，企业可制定合理投资策略，如分阶段投资和风险共担，以降低投资风险，提高回报率^[10]。

(三) 安全层面的挑战与对策

智能采矿系统涉及到大量的自动化设备和软件系统，这些设备和系统的安全性和可靠性直接关系到开采过程的安全。一旦系统出现故障或被恶意攻击，可能会导致严重的安全事故。为了确保智能采矿系统的安全性和可靠性，需要在系统设计和开发阶段就充分考虑安全问题。这包括采用冗余设计、故障诊断、安全隔离等技术，来提高系统的可靠性和容错能力。建立系统维护保障体系，包括定期检查、更新升级和安全培训，确保系统稳定。加

强网络安全防护，使用防火墙和入侵检测技术防攻击。深部开采面临多种灾害风险，需利用智能化技术提高监测预警和应急处置能力。加强灾害机理研究，开发智能化监测预警技术如传感器网络和物联网，实时监测灾害前兆。开发智能化应急处置技术，如机器人和无人机，快速侦查和救援。建立灾害预警模型，预测灾害概率和影响范围，支持决策。

(四) 管理与人才层面的挑战与对策

传统的矿业管理模式往往是以人工经验为主，难以适应智能化生产的要求。智能采矿技术的应用需要对现有的管理模式进行变革，建立与之相适应的管理体系。为了适应智能采矿技术的发展，需要推进管理创新，建立适应智能采矿的管理体系。这包括建立以数据驱动、智能决策为核心的管理模式，例如利用大数据分析技术，对开采过程进行实时监控和优化。建立跨部门协同机制，促进信息共享与合作。加强员工培训，适应智能化生产。智能采矿是交叉学科，需多学科知识人才。目前人才缺乏，需加强培养与引进。在高校和科研机构设立相关专业，培养复合型人才。引进国外技术和人才，提升智能采矿技术。建立人才激励机制，提供发展空间，吸引和留住优秀人才。

四、结语

智能采矿技术的发展和应用是一个长期而复杂的过程，需要政府、企业、科研机构等多方面的共同努力。通过加强技术研发、人才培养、政策扶持等方面的工作，可以推动智能采矿技术的不断进步和应用，为深部资源开采提供更加安全、高效、可持续的解决方案。同时，也需要关注智能采矿技术可能带来的社会和环境影响，加强监管和评估工作，确保其可持续发展。展望未来，智能采矿技术将成为矿业行业转型升级的重要驱动力，为矿业行业的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 李弘. 露天采矿技术及其采矿设备的发展思考 [J]. 当代化工研究, 2022, (14): 159–161.
- [2] 吴英峰. 煤矿工程采矿新技术的应用研究分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (13): 75–77. DOI:10.13487/j.cnki.imce.022463.
- [3] 马玉龙. 金属矿山采矿技术与工艺的发展探讨 [J]. 世界有色金属, 2022, (13): 31–33.
- [4] 耿德永, 许朋德. 采矿工程中的采矿技术与施工安全探析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (12): 103–105. DOI:10.13487/j.cnki.imce.022235.
- [5] 张宝. 采矿技术在采矿工程中的运用与施工安全 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (11): 100–102. DOI:10.13487/j.cnki.imce.022362.
- [6] 王宁. 采矿工程中的采矿技术与施工安全研究 [J]. 矿业装备, 2022, (05): 176–177.
- [7] 郭晓龙, 常超. 我国金属矿山采矿技术现状与发展趋势 [J]. 中国金属通报, 2022, (09): 19–21.
- [8] 尚余星. 地下金属矿山采矿技术进展及研究方向 [J]. 世界有色金属, 2022, (17): 28–30.
- [9] 额尔登夫. 露天开采矿山采矿技术及安全 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (16): 115–117. DOI:10.13487/j.cnki.imce.022837.
- [10] 林训伟. 绿色开采技术在采矿工程中的应用 [J]. 福建冶金, 2022, 51 (05): 8–10. DOI:10.19574/j.cnki.issn1672-7665.2022.05.004.