智能化采矿技术在采矿工程中的应用与发展趋势

温　平
伊金霍洛旗九泰热力有限责任公司　内蒙古　鄂尔多斯　017200

摘　要：本文聚焦智能化采矿技术在采矿工程中的应用与发展。阐述了智能化采矿关键技术体系，涵盖感知、通信等五大维度及矿山机器人技术。介绍系统架构与集成，包括总体架构和数据采集传输层集成。随后分析露天矿、地下矿等典型应用场景。探讨了技术向融合化等方向发展，产业呈规模化等态势，旨在为采矿工程智能化发展提供参考。

关键词：智能化采矿；采矿工程；智慧矿山；无人开采

引言：采矿工程作为资源获取的关键领域，传统模式面临效率、安全等诸多挑战。随着现代信息技术飞速发展，智能化采矿技术应运而生，成为行业变革的核心驱动力。它将信息技术与矿业工程深度融合，推动矿山向“自感知、自学习、自决策、自执行”转型。深入探究智能化采矿技术的应用与发展趋势，对提升采矿工程效益、保障安全生产意义重大。

1 智能化采矿关键技术体系

1.1 智能感知与精确定位技术

智能感知与精确定位技术是智能化采矿的“感知器官”，核心是实现矿山全域、全要素的实时监测与精准定位，为后续决策和控制提供可靠数据支撑。该技术集成了多类型传感器、三维地质建模、卫星定位、UWB超宽带定位等核心技术，可实现对地质条件、开采环境、设备状态、人员位置的全方位感知。通过部署百万级传感器节点，实时采集煤层厚度、断层位置、瓦斯浓度、设备振动等参数，结合4D-GIS系统构建动态地质模型，实现地质条件的毫米级精度识别；采用UWB精准定位技术，实现井下人员、设备的厘米级定位，结合煤岩识别技术，通过AI驱动的多模态融合分析区分煤岩界面，为采煤机自动调整截割轨迹提供依据，从源头保障开采安全与精准度[1]。

1.2 智能通信与网络技术

智能通信与网络技术是智能化采矿的“神经脉络”，承担着各类感知数据、控制指令的高速、可靠传输任务，是连接矿山井上与井下、各系统与设备的核心纽带。该技术以5G URLLC专网、工业以太网为核心，融合边缘计算、星地融合通信等技术，构建起高可靠、低延迟、全覆盖的矿山通信网络。井下部署防爆基站实现全域覆盖，利用5G切片技术为调度指令、视频监控、控制信号分配专属通道，端到端延迟控制在20毫秒以内，丢包率低于0.01%；通过边缘计算节点实现数据本地预处理，减轻云端负载，提升系统响应速度，破解深部开采通信盲区难题。同时制定标准化通信协议，实现不同品牌、型号设备的无缝接入，确保感知层、控制层、决策层的数据互联互通，为全流程智能化调度提供通信保障。

1.3 智能控制与装备技术

智能控制与装备技术是智能化采矿的“执行手脚”，核心是实现开采设备的自动化、协同化运行，替代人工完成高风险、高强度作业，提升开采效率与安全性。该技术涵盖智能采掘、智能运输、智能支护等核心装备，集成电液控制、自适应调节、协同调度等关键技术。智能采煤机可基于地质模型与实时传感数据自主决策截割参数，液压支架群组实现协同控制，根据压力传感器反馈实时调整支撑状态；带式输送机实现自适应调速，根据煤流量自动调节速度，无人化辅助运输设备搭载雷达避障与远程控制技术，实现物料自动装卸与路径规划。通过智能控制算法，实现各装备的协同联动，减少人工干预，降低操作失误，同时提升装备运行稳定性，减少非计划停机时间，推动开采过程向无人化、高效化转型。

1.4 智能决策与管控平台技术

智能决策与管控平台技术是智能化采矿的“大脑中枢”，核心是整合矿山全流程数据，通过数据分析与智能算法，实现生产、安全、设备、能耗等全维度的智能化管控与科学决策。该平台集成大数据处理、人工智能、数字孪生、机器学习等技术，构建多源异构数据采集与处理体系，整合地质、设备、环境、生产等多维度信息，通过分布式ETL集群与流式计算引擎实现数据实时处理与分析。基于强化学习的采掘运协同调度算法，可动态调整生产节奏匹配仓储能力；数字孪生模型模拟开采方案，助力资源回收率提升10%以上；同时平台实现生产计划、设备运维、安全预警的可视化管控，支持管理人员实时掌握矿山运行状态，快速响应异常情况，实现从“被动应对”向“主动预判”的转变。

1.5 矿山机器人技术

矿山机器人技术是智能化采矿的重要支撑，核心是利用机器人替代人工在高风险、高粉尘、高瓦斯、高应力等恶劣环境下作业，降低人员安全风险，提升作业效率与质量。目前，矿山机器人已形成巡检、采掘、支护、应急救援等多品类系列，涵盖瓦斯巡检机器人、巷道修复机器人、锚索机器人、应急救援机器人等。瓦斯巡检机器人可实时监测瓦斯浓度、温度等参数，实现井下全域自主巡检，替代人工完成高危区域巡检任务；锚索机器人实现钻孔、注浆、张拉全自动化，缩小空顶距，提升支护安全性；应急救援机器人可在事故发生后快速进入危险区域，开展探测、搜救等工作，降低救援人员伤亡风险[2]。随着具身智能技术的发展，矿山机器人正向“自适应、自主决策”升级，逐步实现集群协作，成为推动矿山无人化开采的核心力量。

2 智能化采矿系统架构与集成

智能化采矿系统架构与集成是将智能化采矿关键技术有机融合，构建起“感知-传输-决策-执行”闭环的系统工程，核心是打破各技术、各设备、各环节的信息壁垒，实现矿山全流程、全要素的协同运行。

2.1 智能化采矿总体架构

智能化采矿总体架构采用“四层两体系”的分层设计，即感知层、传输层、平台层、应用层，配套安全保障体系与标准规范体系，构建起全方位、一体化的智能化采矿系统框架。感知层作为数据采集源头，部署各类传感器、智能终端与定位设备，实现矿山地质、环境、设备、人员等全要素的实时感知；传输层依托5G、工业以太网等通信技术，构建高可靠、低延迟的传输网络，实现数据与指令的高速传输；平台层整合大数据、人工智能、数字孪生等技术，构建数据中台与AI引擎，提供数据存储、处理、分析与决策支持；应用层聚焦矿山生产、安全、管理等核心场景，部署各类智能化应用系统，实现全流程智能化管控。安全保障体系与标准规范体系为架构稳定运行提供支撑，确保系统安全、合规、高效运行，适配不同类型矿山的差异化需求。

2.2 数据采集与传输层集成

数据采集与传输层集成是智能化采矿系统架构的基础，核心是实现多源异构数据的全面采集、规范传输与高效整合，为上层平台与应用提供高质量数据支撑。数据采集层集成地质探测设备、环境监测传感器、设备状态传感器、人员定位终端等各类采集设备，采用“固定采集+移动采集”相结合的方式，实现地质数据、环境参数、设备运行数据、人员位置数据等多维度数据的全方位采集，确保数据采集的全面性、实时性与准确性。传输层集成5G专网、工业以太网、边缘计算等技术，通过标准化通信协议，实现不同类型、不同来源数据的规范传输，解决多设备、多系统间的数据兼容问题；通过边缘计算节点实现数据本地预处理，过滤无效数据、压缩数据体量，提升数据传输效率，确保数据快速、安全传输至平台层，为后续数据处理与智能决策奠定基础。

3 智能化采矿典型应用场景

智能化采矿典型应用场景涵盖露天矿、地下矿、选矿厂、矿山安全与应急等矿山全产业链环节，是智能化采矿技术体系与系统架构的落地载体，旨在将核心技术转化为实际生产力，破解不同场景下的行业痛点。

3.1 露天矿智能化应用

露天矿智能化应用聚焦露天开采全流程，整合智能感知、智能控制、智能调度等核心技术，实现穿孔、爆破、挖掘、运输、排土等各环节的智能化运行。通过三维激光扫描、无人机巡检等技术，实现采场地形、矿岩分布的实时监测与建模，为开采方案优化提供支撑；智能穿孔设备实现孔位精准定位与参数自动调整，提升穿孔效率与精度；爆破作业采用智能精准爆破技术，优化爆破参数，减少爆破粉尘与震动影响[3]。挖掘环节采用智能挖掘机，实现自动挖掘、装载，结合L4级无人驾驶矿卡编组，实现运输环节的无人化调度与协同运行，大幅提升运输效率、降低人工成本。同时构建露天矿智能化管控平台，实现全流程可视化监控与智能调度，提升露天矿整体运营效率与安全水平。

3.2 地下矿智能化应用

地下矿智能化应用针对地下开采环境复杂、安全风险高、作业空间有限等特点，重点实现掘进、回采、支护、运输等核心环节的智能化与无人化。智能掘进系统实现掘进机自动截割、自动支护，锚索机器人完成钻孔、注浆、张拉全自动化作业，缩小空顶距，提升掘进效率与安全性；回采环节采用智能综采工作面，实现采煤机自主截割、液压支架协同跟机，结合煤岩识别技术，自动调整截割轨迹，提升回采率。井下运输采用智能轨道运输、防爆AGV等设备，实现物料自动装卸与路径规划，通过UWB定位技术实现设备与人员的精准定位。构建透明矿山系统，通过三维地质建模与实时监测，预判断层、陷落柱等地质风险，实现“可视化开采”，从根本上降低地下矿开采安全风险。

3.3 选矿厂智能化应用

选矿厂智能化应用聚焦选矿全流程的提质、增效、降本，整合智能感知、智能控制、大数据分析等技术，实

现破碎、磨矿、浮选、脱水等各环节的智能化管控。通过智能传感器实时监测矿石品位、粒度、浓度等关键参数，结合AI视觉识别技术检测杂质，为选矿工艺优化提供数据支撑；智能破碎设备实现破碎粒度自动调节，提升破碎效率与产品质量；磨矿环节采用智能磨矿控制系统，自动调整磨矿浓度、介质充填率等参数，优化磨矿效果，降低能耗；浮选环节通过智能浮选控制系统，实时调整药剂用量、浮选时间等参数，提升浮选回收率。构建选矿厂智能化管控平台，实现全流程参数可视化监控、设备故障预测与智能调度，推动选矿厂从“经验操作”向“数据驱动”转型，大幅提升选矿效率与产品质量。

3.4 矿山安全与应急智能化

矿山安全与应急智能化是智能化采矿的重要保障，核心是构建“实时监测、智能预警、快速响应、科学处置”的全流程安全应急体系，从被动应对向主动预防转型。通过多源融合预警系统，整合微震、地音、瓦斯、粉尘等监测数据，生成“时-空-强”三维风险图谱，实现冲击地压、瓦斯突出等灾害的精准预警；AI视频安全管控系统采用YOLOv5算法，实时检测未戴安全帽、违规聚集等风险，实现设备状态与人员行为的实时监控。应急环节部署应急救援机器人、智能应急通信设备等，实现事故现场的快速探测、搜救与通信保障；构建应急指挥平台，实现应急资源的智能调度、应急方案的快速生成与应急处置的协同指挥，最大限度降低事故损失，保障人员生命安全。

4 智能化采矿发展趋势

4.1 技术发展趋势

智能化采矿技术将朝着“融合化、自主化、精准化、绿色化”方向持续演进，核心技术实现跨越式突破。一是技术融合更加深入，矿山大模型成为核心引擎，融合知识图谱实现“数据-知识-决策”转化，5G-A+星地融合通信技术突破深部开采通信瓶颈，时延降至1ms内；二是自主化水平持续提升，具身智能让装备“会思考、会执行”，矿山机器人实现集群协同作业，采掘装备向“自适应+自主决策”升级，逐步实现全流程无人化开采；三是精准化程度不断提高，量子传感提升地质探测精度，三维地质建模精度达0.1m级，实现“可视化、精准化”开采；四是绿色化融合发展，智能技术赋能节能减排，AI优化通风、排水系统降低能耗，结合碳足迹追踪技术，推动矿山向“零碳矿山”转型，实现开采与环保协同发展[4]。

4.2 产业发展趋势

智能化采矿产业将呈现“规模化、协同化、多元化、标准化”的发展态势，形成完整的产业生态。一是规模化应用加速推进，政策刚性驱动下，2026年智能化产能占比将达到60%以上，中小型煤矿智能化改造需求激增，“轻量化+低成本”解决方案成为市场热点；二是产业协同更加紧密，形成“装备制造商+技术服务商+矿山企业+科研院所”协同模式，工业互联网平台打通数据孤岛，实现跨矿山知识共享；三是产业业态多元化发展，市场规模快速扩张，预计2030年整体市场突破2.4万亿元，矿山大模型、智能传感器、无人矿卡等细分领域迎来黄金期，商业模式向“智能化改造+运维服务”一体化转变；四是标准体系逐步完善，智能化采矿相关技术标准、安全标准、数据标准加快制定，推动行业规范化、高质量发展，同时人才结构向“技术型+复合型”转型，为产业发展提供人才支撑。

结束语

智能化采矿技术为采矿工程带来深刻变革，从关键技术突破到系统架构搭建，再到多场景应用落地，成效显著。展望未来，技术融合、自主化等趋势将进一步推动行业升级，产业规模化、协同化发展态势良好。然而，实现全面智能化仍面临挑战，需各方持续努力，加强技术研发与创新，完善标准体系，为采矿工程智能化发展筑牢根基。

参考文献

[1]李东峰.采矿工程中的智能化技术应用与发展趋势研究[J].建筑工程与设计,2024,3(9):4-5.

[2]李长河,裴东伦,林涛.煤矿采矿工程中智能化设备的应用与发展趋势分析[J].中国设备工程,2025(11):43-45.

[3]陈洲.现代采矿工程中新技术的应用与未来发展趋势研究[J].中国金属通报,2024(20):7-9.

[4]刘世杰.采矿工程中的智能化技术应用与发展趋势研究[J].电脑校园,2023(42):66-68.