

智能化采矿装备关键技术与系统集成应用

黄兆贞

江西贤友教育咨询有限公司 江西南昌 330000

摘要：本文聚焦智能化采矿装备关键技术与系统集成应用展开研究。首先阐述智能化采矿装备发展的重要意义，接着深入分析智能化采矿装备涉及的关键技术，包括自动化控制技术、传感器技术、通信技术等。然后探讨系统集成应用的模式、面临的挑战以及解决方案。最后通过实际案例验证智能化采矿装备关键技术与系统集成应用的效果和价值，为推动采矿业的智能化发展提供理论和实践参考。

关键词：智能化采矿装备；关键技术；系统集成应用

引言

随着科技的不断进步，传统采矿业面临着生产效率低下、安全风险高、资源浪费等诸多问题。智能化采矿作为未来采矿业的发展方向，能够有效解决这些问题，提高采矿的安全性、高效性和可持续性。智能化采矿装备作为智能化采矿的核心载体，其关键技术的研发和系统集成应用成为当前采矿业研究的热点。本研究旨在深入剖析智能化采矿装备的关键技术，探讨其系统集成应用的模式和方法，提高智能化采矿装备的性能和应用效果，推动采矿业向智能化、绿色化方向发展，具有重要的理论和现实意义。

一、智能化采矿装备关键技术分析

（一）自动化控制技术

自动化控制技术是智能化采矿装备的基础，它能够实现采矿装备的自动运行和远程控制。例如，在露天采矿中，通过自动化控制技术可以实现矿用卡车的自动驾驶，根据预设的路线和任务自动行驶、装卸矿料。在地下采矿中，自动化控制技术可以控制掘进机、采煤机等设备的自动截割、推进，提高开采效率和质量^[1]。自动化控制技术主要包括PID控制、模糊控制、神经网络控制等，不同的控制方法适用于不同的采矿装备和工况。

（二）传感器技术

传感器技术是智能化采矿装备获取外界信息的关键。通过安装各种传感器，如位移传感器、压力传感器、温度传感器、振动传感器等，采矿装备可以实时感知自身的运行状态和周围的环境信息。例如，在矿用提升机上安装振动传感器，可以实时监测提升机的振动情况，及

时发现设备的故障隐患。在矿井中安装瓦斯传感器、一氧化碳传感器等，可以实时监测矿井内的有害气体浓度，保障矿工的生命安全。传感器的精度、可靠性和稳定性直接影响智能化采矿装备的性能。

（三）通信技术

通信技术是实现智能化采矿装备数据传输和远程控制的桥梁。在智能化采矿系统中，需要将各个采矿装备的数据实时传输到控制中心，同时控制中心也需要将控制指令发送到各个采矿装备。常用的通信技术包括有线通信和无线通信。有线通信具有传输稳定、抗干扰能力强等优点，但布线复杂、成本高。无线通信具有安装方便、灵活性强等优点，但信号容易受到干扰。在实际应用中，需要根据采矿现场的具体情况选择合适的通信技术^[2]。例如，在露天采矿中，可以采用无线局域网、4G/5G等无线通信技术；在地下采矿中，可以采用漏泄电缆、光纤等有线通信技术和ZigBee、WiFi等无线通信技术相结合的方式。

（四）人工智能技术

人工智能技术作为现代智能化采矿装备实现自主决策和智能控制的核心支撑，其重要性不言而喻。通过运用一系列先进的人工智能算法，包括但不限于机器学习、深度学习、专家系统等，智能化采矿装备能够对海量的传感器数据进行实时分析和智能处理，从而实现故障精准诊断、生产优化决策等关键功能。具体来说，在故障预测方面，机器学习算法能够通过对采矿装备历史运行数据的深度学习和模式识别，构建出高精度的故障预测模型，这不仅能够准确判断设备当前的健康状态，还能预测未来可能发生的故障时间点，为预防性维护提供科

学依据。在矿石处理方面，基于深度学习算法的计算机视觉技术可以对采集到的矿石图像进行智能识别和分析，实现矿石类型的自动分类和品位含量的精确检测，大幅提升选矿效率和准确性。这些人工智能技术的综合应用，显著提升了智能化采矿装备的自主决策能力和环境适应能力，使其能够更好地应对复杂多变的采矿作业环境。

二、智能化采矿装备系统集成应用

（一）系统集成模式

智能化采矿装备系统集成主要有集中式集成和分布式集成两种模式。集中式集成模式是将所有的采矿装备数据集中到一个控制中心进行处理和控制在，适用于大型标准化矿山。例如某年产1500万吨的露天煤矿采用该模式，控制中心可同时接入500+台套设备的实时数据，数据处理延迟控制在50ms以内，统一调度响应速度较传统模式提升60%；但该模式对控制中心硬件性能要求极高，核心服务器需具备每秒10万次的运算能力，且单点故障可能导致系统30分钟以上的瘫痪风险。分布式集成模式则将数据分散到各子系统处理，子系统通过工业以太网实现协同，在某多煤层地下矿井应用中，12个掘进子系统的自主决策响应时间缩短至200ms，单个子系统故障对整体生产的影响控制在5%以内，尤其适合地形复杂、设备分散的矿山场景^[3]。

（二）系统集成应用案例分析

以某年产2000万吨的大型露天煤矿为例，其智能化系统集成方案涵盖“感知-决策-执行”全链条。在执行层，15台自动驾驶矿用卡车（载重300吨级）通过毫米波雷达与激光雷达融合定位，实现厘米级路径跟踪，单车日均作业量从18车次提升至25车次，空驶率降低35%；8台电铲搭载视觉识别与力控算法，自动挖掘准确率达92%，大块矿石识别精度提升至98%，无效挖掘动作减少40%。感知层部署1200+个传感器，实时监测设备轴承温度（精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）、液压系统压力（误差 $\leq 2\%$ ）及矿区风速（采样频率10Hz），异常数据预警响应时间 ≤ 3 秒。决策层采用深度学习模型进行生产调度，每日最优开采计划生成时间从4小时缩短至45分钟，设备利用率提升28%；AI故障诊断系统对电机、变速箱等关键部件的故障识别准确率达91%，平均提前72小时预警潜在故障。系统集成后，该煤矿年增产200万吨，综合能耗降低12%。

（三）系统集成面临的挑战与解决方案

系统集成面临的核心挑战包括：不同厂家设备兼容

性差，某矿初期接入的6个品牌设备中，跨品牌数据交互成功率仅68%；数据标准化程度低，设备运行数据格式达15种，导致数据共享效率不足50%；网络安全风险突出，2023年行业内监测到针对采矿系统的网络攻击事件同比增长40%。解决方案方面，通过建立《智能化采矿装备数据接口规范》，统一通信协议与数据格式，跨品牌设备交互成功率提升至96%；部署“防火墙+入侵检测+数据加密”三级防护体系，某矿应用后网络攻击拦截率达99.2%；搭建边缘-云端协同数据平台，实现日均1.2TB数据的实时处理与分析，数据共享效率提升至85%。

三、实际应用效果评估

在实际应用中，智能化系统在矿山领域发挥了重要作用，下面将从生产效率、安全性能和经济效益三个方面进行详细评估。

（一）生产效率评估

生产效率评估需要综合考虑开采工艺的特点以及所使用的设备类型，进行细致的分析。不同的开采工艺和设备类型会对生产效率产生显著影响，只有结合具体情况，才能准确评估智能化系统对生产效率的提升效果。

在地下硬岩矿方面，某地下硬岩矿引入智能化系统后，取得了显著的成效。凿岩台车实现了自动定位功能，其定位精度能够达到 $\pm 50\text{mm}$ 。高精度的定位使得钻孔作业更加精准，减少了因定位不准确而导致的重复作业和时间浪费，从而使钻孔效率大幅提升了55%。随着钻孔效率的提高，每月的掘进进尺也从原来的800米增加到了1300米。掘进进尺的增加意味着矿山在相同时间内能够开采更多的矿石，进一步提高了整个矿山的生产能力。

在薄煤层矿井的智能化综采工作面，通过对支架与采煤机进行协同控制，实现了两者之间的高效配合^[4]。支架能够根据采煤机的工作状态及时调整位置和支撑力度，为采煤机的稳定运行提供了有力保障。这种协同控制使得开机率从原本的65%提升至88%。开机率的提高意味着采煤机能够更长时间地处于工作状态，从而增加了煤炭的开采量。同时，回采率也提高了3.2个百分点，这意味着在开采过程中能够更充分地回收煤炭资源，减少了资源的浪费。

在露天矿领域，某铁矿采用了智能化爆破系统。该系统能够精确控制布孔位置，将布孔误差严格控制在10cm以内。精准的布孔使得爆破效果更加理想，爆破块度的均匀性提升了40%。爆破块度均匀性的提高使得后续

的铲装作业更加高效，因为铲装设备能够更方便地对大小均匀的矿石进行铲装，从而使后续铲装效率提高了25%。

（二）安全性能评估

安全性能的提升主要体现在危险区域替代和风险预警这两个关键方面。通过智能化系统的应用，能够减少人员在危险区域的暴露时间，同时及时发现并预警潜在的安全风险，从而有效保障矿山的安全生产^[5]。

在高瓦斯矿井中，某高瓦斯矿井引入智能化掘进系统后，取得了显著的安全成效。该系统实现了部分作业的自动化，使得井下作业人员数量减少了60%。人员数量的减少直接降低了人员暴露在高风险区域的概率，同时人员暴露在高风险区域的时间也从日均4小时大幅降至1.2小时。此外，设备安全监测系统发挥了重要作用，它能够对电缆磨损、液压泄漏等各种设备隐患进行实时监测，其识别覆盖率高达98%。通过及时发现设备隐患并进行处理，有效避免了因设备故障引发的安全事故。在2024年，该矿因设备故障引发的安全事故仅1起，相较于上一年减少了8起，安全状况得到了极大改善。

在露天矿方面，某露天矿的边坡监测系统采用了北斗定位与InSAR技术，实现了对边坡毫米级的位移监测。这种高精度的监测系统能够实时掌握边坡的位移情况，一旦发现异常位移，能够及时发出预警。该系统成功预警了3次边坡滑塌风险，为矿山及时采取措施避免了边坡滑塌事故的发生，避免了直接经济损失超过2000万元。

（三）经济效益评估

经济效益主要体现在成本节约和产值提升这两个方面，智能化系统的应用为矿山带来了双重增益。

对于某年产1000万吨的煤矿，在进行智能化改造后，取得了显著的经济效益。在成本节约方面，人工成本降低了45%，这主要是通过减少作业人员数量实现的，共减少作业人员120人。同时，设备维护成本降低了28%，年节约备件费用达到800万元。通过智能化系统对设备的实时监测和精准维护，减少了设备的故障发生率，降低了维修成本和备件更换费用。在产值提升方面，由于生产效率的提高，该煤矿年增产值达到1.2亿元。综合考虑成本节约和产值提升，该煤矿的投资回收期约为3.5年，这表明智能化改造在经济上具有较高的可行性和回报率。

某金属矿的智能化选厂通过引入AI技术优化分选参数，取得了良好的经济效益。在产品质量提升方面，精矿品位提升了1.5个百分点，这使得产品的市场价值更高，从而年增销售收入4500万元。在成本节约方面，药剂消耗降低了12%，年节约成本300万元。AI技术的应用使得选厂能够更加精准地控制分选过程，提高了分选效率，减少了药剂的浪费。

四、结论与展望

本文对智能化采矿装备的关键技术和系统集成应用进行了深入研究。研究表明，自动化控制技术、传感器技术、通信技术和人工智能技术是智能化采矿装备的关键技术，通过系统集成应用可以实现采矿装备的智能化运行和高效协同。系统集成应用可以提高采矿生产效率、保障安全性能、降低生产成本，具有显著的经济效益和社会效益。

未来，智能化采矿装备关键技术将不断发展和创新。自动化控制技术将向更加智能化、自适应方向发展；传感器技术将向高精度、多功能、微型化方向发展；通信技术将向高速、稳定、低延迟方向发展；人工智能技术将在智能化采矿中得到更广泛的应用。同时，智能化采矿装备系统集成将更加注重开放性、兼容性和安全性，实现不同厂家设备的深度融合和协同工作。此外，智能化采矿还将与绿色采矿、无人采矿等理念相结合，推动采矿业向更加可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 王海军, 王洪磊. 带式输送机智能化关键技术现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(12): 225-239.
- [2] 袁烽, 李云贵, 汤朔宁. 多模态建造机器人成套装备关键技术与应用[J]. 建设科技, 2022(7): 55-58+61.
- [3] 冯国庭. 智能薄煤层等高综采工作面关键技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(S01): 264-268.
- [4] 冷雪莹, 孟凡超, 陈松强. 智能化电力施工装备集成应用与施工效率提升策略研究[J]. 葡萄酒, 2022(1): 0157-0158.
- [5] 常建龙, 段心磊, 武瑞文, 潘玉田, 赵永娟, 李强. 无人智能化关键技术及其在火炮系统中的应用[J]. 火炮发射与控制学报, 2021, 42(3): 100-105.