

矿用重型汽车智能化技术应用探究

宋建华 齐 伟 韩志慧

内蒙古包钢钢联股份有限公司巴润矿业分公司 内蒙古 包头 014080

摘 要：矿用重型汽车智能化技术正通过多层次技术融合推动矿山作业变革，其核心应用主要体现在：环境感知与高精度定位，集成激光雷达、毫米波雷达、多光谱摄像头及超声波传感器，实现矿卡360°环境建模与实时障碍物检测。采用RTK差分定位（精度达厘米级）与三维矿山地图匹配，确保复杂坑道路况下的精准定位。智能决策与动态路径规划。基于深度学习算法，实时分析坡度、弯道曲率、车辆载荷等参数，动态优化行驶路线与速度策略。预见性巡航技术（如PCC系统）结合矿场工况预测能耗，实现节能驾驶。

关键词：矿用；重型汽车智能化技术；应用

当前技术已从单机智能化向“云-边-端”协同生态演进，未来需进一步打通数据壁垒，构建矿山全域智能运力网络。

1 矿用重型汽车智能化定义

1.1 技术基础定义。环境智能感知，搭载激光雷达、毫米波雷达等多源传感器，实时构建360°环境模型，精准识别障碍物与地形变化。融合RTK厘米级定位与三维矿图匹配，保障恶劣天气（沙尘、冻雾）下的定位可靠性。自主决策与适应能力，基于深度学习分析坡度、载荷等参数，动态优化路径与速度策略。具备预见性能耗管理功能（如智能启停系统），显著降低能耗与碳排放。网联协同控制，依托5G专网实现“车-路-云”实时交互，支持多车编队装卸、避让及集群调度。中央调度平台（如MineStar）动态分配任务，提升运输效率30%以上。

1.2 标准化定义依据。国家规范：符合《智慧矿山信息系统通用技术规范》（GB/T 34679-2017）对开放性架构与数据融合的要求。行业标准：满足《露天矿山车辆数据共享规范》（KSSJ/YY12-2023）的车载系统互联互通标准。典型范例：国产“国能智卡”集成纯电驱动、智能防溜坡及协同控制系统，实现采运全流程无人化；无人矿卡在西湾露天矿应用毫米波雷达与GNSS惯导融合技术，验证复杂工况适应性。

2 矿用重型汽车智能化技术变革

2.1 技术驱动变革。动力系统革新，电动化转型：纯电矿卡（如徐工XDE440）搭载3000马力级国产高压共轨电控系统，能耗降低15%，碳排放减少40%。能量回收技术：无人矿卡应用电缓行装置，实现下坡制动动能转化为电能，节能效率提升10%。感知与控制升级，多源融合感知：激光雷达+毫米波雷达+RTK厘米级定位，保障沙尘/冻雾等极端环境下的可靠运行。智能决策闭环：深度

学习算法实时优化路径与速度策略，动态调整坡度、弯道等工况参数。

2.2 产业生态演进。规模化集群应用，无人矿卡落地超1000台，支撑“采运排”全流程无人化作业（如国能准能集团）。中央调度平台（如MineStar）动态分配任务，整体运输效率提升30%。跨界技术融合，5G+边缘计算：48座基站覆盖矿区，实现无人卡车与推土机、液压铲协同作业。AI赋能设计：Vulcan系统构建三维地质模型，智能优化剥采比与排土规划。

3 矿用重型汽车智能化技术提高矿山作业安全性

3.1 主动安全防护技术。全域环境感知与避撞，多传感器融合（激光雷达+毫米波雷达+超声波）实现360°障碍物实时检测，有效识别人员、设备及地形突变风险，预警响应时间缩短至毫秒级。井下场景应用UWB人员接近预警系统，精准探测20米内人员位置，触发自动减速或停车，井下挤碰事故预防率超90%。动态风险决策控制，深度学习算法实时分析坡度、弯道曲率及车辆载荷，动态调整车速与行驶轨迹，避免侧翻、溜坡等事故。国产“国能智卡”配备智能防溜坡系统，通过电驱动扭矩控制实现坡道自动驻车与平稳起步。

3.2 特殊场景安全保障。露天矿无人运输，全流程无人化闭环消除人车混合作业风险，“启-装-运-卸-停”自动化降低人工干预，事故率下降70%。5G支撑多车协同避让，编队行驶间距动态优化，碰撞风险趋近于零。井下辅助运输，封闭巷道内采用UWB+红外热成像双重防护，误入作业半径自动断电。防爆设计适配瓦斯、粉尘环境，本质安全等级提升。智能化技术通过“感知-决策-执行”闭环重构矿山安全体系，从被动防护转向主动预防，为矿山作业筑起多层次安全防线。

4 矿用重型汽车智能化技术提升作业效率

4.1 全流程无人化作业。闭环运输自动化,“启-装-运-卸-停”全流程无人操作,消除人工操作延迟,单次循环时间缩短15%。准能集团58台无人矿卡实现剥离量1230万立方米,累计运输里程超8万公里。多设备协同作业,5G专网支撑无人矿卡与电铲、推土机实时交互,装卸效率提升25%。国能准能项目验证:无人驾驶矿卡与129台工程设备协同,剥离效率同比提升25%。

4.2 运维与能源效率升级。预测性维护,车联网实时监测油压、温度等参数,故障响应时间缩至15分钟,设备综合利用率提升25%。智能诊断系统减少计划外停机,年有效作业时间增加1200小时。节能技术应用,纯电矿卡(如徐工XDE440)能耗降低15%,结合电缓行能量回收技术,节能效率再提10%。胜利能源无人矿卡应用动能回收系统,机械制动磨损降低40%,维保周期延长。

4.3 管理流程数字化。智能磅房系统:大社矿汽车磅房无人值守,车辆进出厂时间精准预约,信息核对效率提升50%。电子台班管理:自动生成作业时长、怠速占比等数据,减少人工记录误差,调度决策速度提升35%。规模化效益:内蒙古煤矿智能化覆盖率88%,产能居全国第一;准能集团无人矿卡编组运行效率达85%以上,验证技术成熟性。智能化技术已从单点突破转向系统性提效,推动矿山运输进入“少人化高产”时代。

5 矿用重型汽车智能化技术降低运营成本

5.1 能源成本优化。电动化转型,纯电/混动矿卡(如东风DF45E)应用新型锂电池与能量回收系统,重载工况下燃油消耗降低50%-70%,纯电模式运营成本较燃油车5年节省超355万元。电缓行技术将制动动能转化为电能,节能效率提升10%,同步减少机械制动磨损40%。智能能耗管理,车联网实时监测油耗与工况数据,AI算法动态优化行驶策略,单台矿卡年燃油成本降低15%。新能源矿卡集中式电池管理降低后期维护成本30%。

5.2 资产效率提升。智能调度增效,矿山之星(MineStar)系统动态分配运输任务,优化行驶路径与装卸时序,整体运输效率提升30%,设备利用率增加20%。多车编队协同控制减少等待时间,运输频次提升18%。全生命周期管理,数字化运维平台延长设备寿命:高强度合金钢车架抗压性提升30%,耐磨轮胎寿命延长40%。预防性维护减少计划外停机,年有效作业时间增加1200小时。

5.3 规模化降本实证。智能化煤矿:覆盖率70%以上,无人矿卡规模化运行推动吨矿运输成本下降25%。电动矿卡经济性:宇通纯电矿卡运营22.5万公里较燃油车节省355.9万元。换电模式创新:标准化换电接口与集中维护体系降低后期使用成本30%。智能化技术重构“能源-

人力-资产”成本结构,推动矿山运营从粗放式向精益化跃迁。

6 矿用重型汽车智能化技术关键技术

6.1 智能感知与控制技术。全域环境感知系统,多传感器融合(激光雷达+毫米波雷达+红外热成像)实现360°障碍物实时探测与地形建模,井下误入作业半径自动断电响应。UWB人员接近预警系统精准定位20米内人员位置,触发车辆自动减速/停车。动态决策控制算法,深度学习实时分析坡度、载荷与弯道曲率,动态调整车速与轨迹(如“国能智卡”防溜坡系统)。自适应巡航与编队协同控制,多车间距动态优化降低碰撞风险。

6.2 协同作业与调度技术。全流程无人化闭环,“启-装-运-卸-停”自动化作业链,单次循环时间缩短15%。无人矿卡与电铲智能交互(如矿山之星系统),装卸效率提升25%。智能调度平台,AI路径规划动态优化空驶路线,矿车利用率提升20%。电子台班管理系统自动生成作业数据,调度决策效率提升35%。

6.3 数字运维与安全技术。预测性维护体系,车联网实时监测油压/温度,故障响应缩至15分钟。高强度合金钢车架抗压性提升30%,耐磨轮胎寿命延长40%。主动安全防护,防爆型DMS疲劳监测系统降低疲劳驾驶事故率60%。无电触发自动灭火装置5秒内扑灭初期火灾。

7 矿用重型汽车智能化技术的应用

7.1 露天矿区无人驾驶规模化应用。某煤矿,技术部署:58台无人矿卡与电铲、推土机通过5G专网协同作业,实现“启-装-运-卸-停”全流程自动化。核心效能:累计运输里程超8万公里,剥离量1230万立方米;无人编组运行效率85%以上,混编作业时效提升25%。国能ZN300级无人矿卡,技术亮点:国产化300吨级矿卡,搭载智能防溜坡系统与自适应巡航;高强度合金钢车架抗压性提升30%,耐磨轮胎寿命延长40%。运行表现:连续高强度作业通过严苛考核,故障率降低60%。

7.2 井下作业安全升级案例。人员定位防护系统,UWB技术精准定位20米内人员,触发矿卡自动减速/停车,井下误入作业半径事故率下降90%。矿用机械自动灭火装置,无电触发纯机械灭火系统,5秒内扑灭初期火灾,机械火灾损失减少70%。露天煤矿(极寒环境),5G+无人驾驶矿卡在严寒中自动对位装车,配合无人机雷达测量,实现-30℃工况稳定运行。

7.3 智能调度系统实证。矿山之星(MineStar)调度平台:动态优化空驶路线,矿车利用率提升20%;煤炭公司应用后,调度决策速度提升35%。露天矿车载系统:激光雷达+毫米波雷达融合感知,GNSS惯导定位精度达厘

米级，复杂地形误判率趋近于零。区域规模化成效：矿区智能化覆盖率88%，无人驾驶规模化应用推动吨矿运输成本下降25%；国能准能项目验证无人矿卡累计安全运行21万小时，达成“零死亡”安全纪录。

8 矿用重型汽车智能化技术未来发展趋势

8.1 新能源技术主导降本增效。纯电路线规模化应用，纯电矿卡运营成本较柴油车8年降低45%-55%，电池成本年均降15%，预计2026年购置成本与燃油车持平。换电模式普及：柔性吊装换电系统（如TLE105）实现5分钟能源补给，保障连续作业能力。混合动力与氢能演进，混动技术油耗降低30%-40%，适应重载爬坡工况；氢燃料矿卡补能3-5分钟，低温性能稳定，随绿氢成本下降或成长期主流。能量回收技术节能效率再提10%，机械制动磨损减少40%。

8.2 安全与寿命管理技术升级。主动防护系统，UWB人员定位触发自动停车，井下误入事故率降90%；无电触发灭火装置5秒扑灭初期火灾。防爆型DMS疲劳监测降低事故率60%，高强度车架抗压性提30%。预测性维保体系，车联网实时监测油压/温度，故障响应缩至15分钟；耐磨轮胎寿命延长40%，年有效作业时间增1200小时。

8.3 经济性与环保协同突破。成本结构重构：矿区吨矿运输成本降25%，宇通纯电矿卡22.5万公里省355.9万元。碳中和贡献：新能源矿卡全生命周期碳排降70%-90%，助力矿山碳达峰目标。技术集成路径：从“单一电动化”向“全场景低碳化”转型，2030年新能源矿卡全

周期成本优势或扩至60%。

8.4 未来智能矿车发展趋势。无人驾驶迈向全场景闭环，规模化编组作业，“启-装-运-卸-停”全流程自动化，5编组系统落地，剥离效率提升25%；高原矿区（如某铜矿）实现5000米海拔无人驾驶常态化作业。AI深度调度，动态路径规划压缩空驶率，矿车利用率提升20%；电子台班系统调度决策效率升35%；云控平台实现80%以上“采运排”无人化率，支持24小时连续作业。本质安全与寿命革命，主动防护：UWB人员定位触发自动停车，井下误入事故率降90%；无电触发灭火装置5秒扑灭初期火灾；预测性维保：车联网实时诊断故障响应缩至15分钟；耐磨轮胎寿命延长40%；极端适应：-30℃极寒工况稳定运行，厘米级定位精度趋近零误判（如宝日希勒矿）。数字化生态重构，智能管理中枢，矿山管控系统实时监测100+参数，燃油异常损耗预警降低单月损失百万元级；机械指挥官系统自动生成电子台班单，终结人工记录纠纷。绿色合规驱动，新能源矿卡全生命周期碳排降70%-90%，助力矿山碳达峰；2026年政策目标：煤矿智能化产能占比超60%，常态化运行率超80%。

总之，矿用重型汽车智能化是以“感知-决策-执行”为技术闭环，通过网联化实现集群协作，最终达成矿山作业安全、高效、低碳目标的系统性解决方案。

参考文献

- [1]张旭，矿用重型汽车智能化技术应用分析.2022.
- [2]魏丽萍，矿用重型汽车智能化技术应用探讨.2023.