

煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用与挑战

高江涛^{1,2}

1. 中国煤炭科工集团太原研究院有限公司 山西 太原 030006

2. 山西天地煤机装备有限公司 山西 太原 030006

摘要: 随着科技的进步和矿区智能化的发展,煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用逐渐成为行业关注的焦点。本文旨在探讨煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用现状、技术优势、面临的主要挑战以及未来发展趋势,为煤矿智能化建设提供理论支持和技术参考。

关键词: 煤矿;无人驾驶辅助运输车辆;应用;挑战;未来展望

引言

煤矿作为我国能源结构的重要组成部分,其开采效率和安全性一直是行业关注的重点。井下辅助运输作为煤矿生产的重要环节,传统方式存在人工依赖度高、安全隐患大、运输效率低等问题。无人驾驶辅助运输车辆的应用,为解决这些问题提供了新的途径。本文将从应用现状、技术优势、面临挑战及未来展望四个方面进行详细论述。

1 煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用分析

1.1 技术背景与发展历程

煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的技术研发始于21世纪初,随着物联网、云计算、大数据、人工智能等技术的不断发展,该技术逐渐成熟并应用于实际生产。国外如美国卡特彼勒、日本小松等公司较早开展相关研究,并在露天矿山取得显著成效^[1]。目前,国内多家煤矿企业已引入无人驾驶辅助运输车辆,如中煤陕西榆林能

源化工有限公司的大海则煤矿、兖矿能源集团有限公司的鲍店煤矿等。这些车辆通过融合定位、自动会车、精准停靠、自主避障等功能,实现了井下物料、人员等的自动驾驶运送,显著提高了运输效率和安全性。

1.2 技术特点与实现方式

煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆集成了多项先进技术,以确保在复杂环境下实现精确感知、路径规划和安全行驶。其技术特点与实现方式详细阐述如下:

高精度定位系统: 该系统采用超宽带(UWB)和5G等先进的通信技术,结合高精度的编码器测距技术,确保在井下复杂工况下对车辆进行精确定位。通过在井下部署UWB基站和5G网络覆盖,车辆上安装UWB标签和5G通信模块,实现与基站和总控室的实时通信。同时,车辆上的编码器不断测量车轮转动距离,与UWB和5G定位数据进行融合,通过算法优化,实现车辆定位误差小于30厘米的高精度定位(表1)。

表1 煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆技术性能指标表

实现方式	关键指标	衡量标准
高精度定位系统	定位误差	< 30厘米
	定位响应时间	≤ 0.2秒
	定位稳定性	99.9%的准确率
	障碍物识别准确率	≥ 95%
自动避障与感知系统	避障响应时间	≤ 0.5秒
	停靠精度	±5厘米
	感知范围	≥ 50米(前方), ≥ 30米(侧方和后方)
	通信延迟	≤ 50毫秒
车路协同系统	调度指令响应时间	≤ 1秒
	远程操控成功率	≥ 99%
	数据传输速率	≥ 100Mbps
	系统稳定性	99.5%的在线率

自动避障与感知系统: 该系统集成了激光雷达、摄像头等多种传感器,能够实时采集外部环境数据,对障

碍物进行精确识别和距离测量,实现自动避障和精准停靠。激光雷达通过发射激光束并接收反射回来的信号,

测量车辆与障碍物之间的距离和角度。摄像头则捕捉周围环境的图像，通过图像处理算法识别障碍物类型和位置。这些数据被传输到车载计算机中，通过算法处理生成避障路径和停靠指令，确保车辆在行驶过程中能够自动避开障碍物并精准停靠。

车路协同系统：该系统通过5G物联网技术实现车辆与总控室之间的实时通信，支持远程操控和调度，提高运输效率和安全性。车辆上安装5G通信模块和车载计算机，与总控室建立实时通信链路。总控室可以通过5G网络向车辆发送操控指令和调度信息，如行驶路线、速度控制等。同时，车辆也可以将自身状态、周围环境等信息实时上传给总控室，实现车辆与总控室之间的信息共享和协同作业。这种车路协同的方式使得总控室能够对车辆进行实时监控和调度，提高运输效率和安全性。

2 煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用优势

2.1 提高运输效率

提升运输效率是无人驾驶辅助运输车辆在煤矿井下应用的重要优势之一。通过优化调度策略，这些车辆能够更合理地安排运输任务，减少等待时间和空驶率。相比传统的人工调度方式，无人驾驶辅助运输车辆可以利用先进的算法和数据分析技术，对运输任务进行智能分配和调度，确保车辆能够按照最优路线和最优时间进行行驶，从而大大减少了等待时间和空驶率。此外，自动化作业减少了人工干预，提高了车辆的利用率和运输效率^[2]。无人驾驶辅助运输车辆可以自主行驶，无需人工驾驶，这不仅减少了人力成本，还提高了车辆的利用率和运输效率。实时监控和数据分析功能也使得管理人员能够及时了解运输情况，做出更准确的调度决策，进一步提升了运输效率。

2.2 降低运输成本

降低运输成本是无人驾驶辅助运输车辆在煤矿井下应用的另一显著优势。首先，自动化运输的实现大大减少了人工成本。由于车辆能够自主行驶，无需雇佣大量驾驶员，从而节省了人力成本，并且避免了因人为因素导致的工资、福利等额外支出。其次，车辆自主行驶的特性也减少了因人为操作不当导致的设备故障和损坏。相比传统的人工驾驶方式，无人驾驶辅助运输车辆能够更精准地控制行驶速度和方向，避免了因急刹车、急转弯等操作对车辆造成的损害，从而降低了维修成本。最后，通过优化行驶路线和速度，无人驾驶辅助运输车辆还能够减少能耗和轮胎磨损等运营成本。这些优势共同作用下，使得无人驾驶辅助运输车辆在煤矿井下的应用能够显著降低运输成本，提高煤矿企业的经济效益。

2.3 提升安全性

增强安全性是无人驾驶辅助运输车辆在煤矿井下应用的又一重要优势。这些车辆配备了先进的自动避障功能，使得在遇到障碍物时能够及时停车或避让，有效避免了碰撞事故的发生，保障了人员和设备的安全。同时，实时监控功能使得管理人员能够随时了解车辆的运行状态和周围环境，及时发现并处理潜在的安全隐患，进一步提升了作业的安全性。此外，无人驾驶辅助运输车辆的应用还大大减少了人为因素导致的操作失误和违规行为。相比传统的人工驾驶方式，无人驾驶车辆能够更精准地执行指令，避免了因疲劳、疏忽或违规操作而引发的安全事故，从而降低了安全事故的发生概率。综上所述，无人驾驶辅助运输车辆在煤矿井下的应用能够显著提升作业的安全性，为煤矿企业的安全生产提供了有力保障。

3 煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆面临的主要挑战

3.1 技术难题

煤矿井下环境恶劣，存在积水、粉尘、水雾等问题，这些环境因素对无人驾驶系统的感知精度和稳定性提出了更高要求。例如，粉尘和水雾可能干扰激光雷达和摄像头的正常工作，导致感知数据不准确。同时，井下巷道狭窄且地形复杂，这对车辆的路径规划和运动控制算法提出了严峻挑战。如何在复杂多变的井下环境中实现精确的路径规划和稳定的运动控制，是无人驾驶辅助运输车辆需要解决的关键问题。

3.2 基础设施不足

煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用需要完善的基础设施支持，包括高精度地图、无线通信网络等。然而，目前部分煤矿的基础设施尚不完善，难以满足无人驾驶车辆的运行需求。例如，高精度地图的缺失可能导致车辆无法准确定位和导航；无线通信网络的不稳定可能影响车辆与总控室之间的实时通信。这些基础设施的不足限制了无人驾驶辅助运输车辆在煤矿井下的广泛应用。

3.3 法规标准缺失

煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用涉及多个领域和部门，包括煤炭开采、自动化控制、智能交通等。然而，目前相关法规标准尚不完善，缺乏统一的法规标准指导可能导致技术应用过程中的合规性问题^[3]。例如，无人驾驶车辆的行驶规则、安全标准、事故责任等方面缺乏明确的法规规定，这可能给煤矿企业的实际应用带来法律风险和安全隐患。因此，制定和完善相关法规标准是推动煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆应用的重要前提。

4 未来展望

4.1 技术创新

展望未来,煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的技术创新将是推动其发展的关键。在传感器技术方面,预计将出现更高精度、更稳定的环境感知传感器,以应对井下恶劣环境对感知精度和稳定性的影响。例如,新型的激光雷达和摄像头将具备更强的抗干扰能力,能够在粉尘、水雾等复杂环境中保持高精度感知。在定位技术方面,未来的发展趋势将是更高精度、更实时的定位系统。这可能包括基于UWB(超宽带)技术的高精度定位系统,以及融合多种定位技术(如GPS、惯性导航、视觉定位等)的综合定位系统,以实现井下环境的无缝、高精度定位。控制算法方面,未来的研究将更加注重路径规划和运动控制的智能化和自适应性。例如,基于深度学习和强化学习的路径规划算法将能够更好地应对井下复杂多变的地形环境,实现更优化的路径选择。同时,运动控制算法也将更加注重稳定性和安全性,以确保车辆在恶劣环境下的稳定运行。除了以上三个方面的技术创新,针对井下特殊环境的技术研发也将成为未来的重点。例如,针对井下通信难题,将研发更稳定、更高速的无线通信技术,以确保车辆与总控室之间的实时通信。此外,针对井下能源供应问题,将探索更高效的能源管理系统和更环保的能源解决方案,以实现无人驾驶辅助运输车辆的可持续运行。

4.2 基础设施建设

随着矿区智能化建设的不断深入,井下基础设施的完善将成为推动无人驾驶辅助运输车辆应用的重要支撑。其中,高精度地图的建设是关键一环。未来,煤矿企业将投入更多资源,利用先进的测绘技术和设备,对井下环境进行全面、精确的测绘,生成高精度地图。这些地图将包含巷道的准确尺寸、形状、坡度等信息,为无人驾驶车辆提供精确的导航和定位依据。同时,无线通信网络的建设也将得到加强。为了满足无人驾驶车辆与总控室之间的实时通信需求,煤矿企业将部署更稳定、更高速的无线通信网络。这些网络将覆盖整个井下区域,确保车辆在任何位置都能与总控室保持实时连接,传输感知数据、接收控制指令等。除了高精度地图和无线通信网络,井下还将建设其他必要的基础设施,如充电桩、维护站点等。充电桩将为无人驾驶车辆提供便捷的能源补给,确保其能够持续运行^[4]。维护站点则将配备专业的维修设备和人员,对车辆进行定期检查和保养,确保其始终保持良好的运行状态。此外,为了保障基础设施的稳定运行,煤矿企业还将建立完善的安全监

测和应急响应机制。通过对基础设施的实时监测和数据分析,可以及时发现并处理潜在的安全隐患。同时,制定详细的应急预案和响应机制,可以在基础设施出现故障或异常情况时迅速采取措施,确保无人驾驶辅助运输车辆的正常运行和井下作业的安全。

4.3 法规标准制定

随着煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆技术的不断成熟与应用的广泛推广,相关法规标准的制定与完善成为推动该领域健康、有序发展的关键。未来,针对煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的法规标准制定将涵盖多个方面,以确保技术的合法合规应用。首先,在车辆设计与制造方面,将出台具体的技术标准,对无人驾驶车辆的硬件配置、软件算法、安全性能等提出明确要求,确保车辆能够在井下复杂环境中安全、可靠地运行。这些标准将参考国际先进经验,并结合国内煤矿实际情况进行制定。其次,在车辆运行管理方面,将制定详细的运行规范和管理制度。这包括无人驾驶车辆的行驶规则、通信协议、数据交换标准等,以确保车辆与总控室、其他设备之间的顺畅沟通与协作。同时,还将建立严格的车辆维护与检修制度,确保车辆始终保持良好的技术状态。此外,针对无人驾驶技术在煤矿井下应用可能带来的新风险和挑战,法规标准制定过程中将充分考虑安全因素,制定严格的安全管理规定和应急响应机制。这包括车辆故障预警、事故应急处置、人员疏散等方面的具体要求,以最大限度地降低事故风险,保障人员和设备的安全。

结语

煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用是矿区智能化建设的重要方向之一。该技术在提高运输效率、降低人工成本、提升安全性等方面具有显著优势。然而,在实际应用过程中仍面临技术难题、基础设施不足、法规标准缺失等挑战。未来,随着技术创新、基础设施建设和法规标准制定的不断推进,煤矿井下无人驾驶辅助运输车辆的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1]袁晓明,郝明锐.煤矿无轨辅助运输无人驾驶关键技术与发展趋势研究[J].智能矿山,2020,1(01):89-97.
- [2]张磊,蔡明祥,林巧.露天煤矿无人驾驶规模化应用与成效[J].智能矿山,2024,5(06):56-64.
- [3]白洪亮,张伟,帅根来,等.露天煤矿中无人驾驶矿车控制系统的研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(04):31-33.
- [4]王旭峰,高文才,毛自新,等.辅助运输新能源电动车+无人驾驶系统在上湾煤矿的应用[J].智能矿山,2023,4(11):54-59.