

# 矿山用无人驾驶智能汽车关键技术、 功能及挑战分析

姜 昆

(国能新疆准东能源有限责任公司, 新疆 昌吉州 831700)

**摘 要:**随着人工智能、自动驾驶技术和矿山开采智能化的快速发展,矿山用无人驾驶智能汽车逐渐成为提升矿山作业效率、降低事故发生率和节约成本的重要工具。文章对矿山用无人驾驶智能汽车的关键技术、功能和面临的挑战进行了系统分析。首先,探讨了无人驾驶技术在矿山环境中的应用背景,分析了其在矿山作业中所需要的感知、决策、控制与通信等关键技术。其次,提出了无人驾驶智能汽车在矿山作业中的核心功能,包括自动巡航和路径规划、协同作业及安全性与异常处理功能等。最后,分析了在矿山复杂地理环境、恶劣天气和高负载工作条件下,无人驾驶智能汽车面临的技术挑战并给出了解决方案,展望未来无人驾驶智能汽车的发展趋势。文章旨在为矿山用无人驾驶智能汽车的研究与应用提供理论支持与技术参考。

**关键词:**无人驾驶;环境感知;计算平台;协同作业;路径规划

中图分类号:TH16

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2025)02-0059-09

## Analysis on Key Technologies, Functions and Challenges of Unmanned Intelligent Vehicles in Mines

Jiang Kun

(Xinjiang Zhundong Energy Co., Ltd. of China Energy Investment Corporation Co., Ltd.,  
Changji Prefecture 831700, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

**Abstract:** With the rapid development of artificial intelligence, automatic driving technology and intelligence of mining, unmanned intelligent vehicles in mines have gradually become the important tool for improving operation efficiency in mines, reducing accident incidence and saving costs. In this paper, the key technologies, functions and challenges faced of unmanned intelligent vehicles in mines are systematically analyzed. First, the application background of driverless technology in mine environment is discussed as well as such key technologies as perception, decision making, control and communication it needs in mining operations are analyzed. Second, the core functions of unmanned intelligent vehicles in mines including auto drive and path planning, collaborative operations, safety and exception handling are proposed. Finally, the technical challenges faced by unmanned intelligent vehicles under the working conditions of complex geographical environment, severe weather and high load are analyzed as well as the solutions are proposed and development trend of unmanned intelligent vehicles in the future is prospected. This paper is aimed to provide the theoretical supports and technical references for research and applications of unmanned intelligent vehicles in mines.

**Key words:** unmanned; environmental perception; computing platform; collaborative operations; path planning

随着自动驾驶技术的飞速发展,许多关键技术已经取得了显著进展,并在多个领域实现了应用。丁炳超<sup>[1]</sup>等人通过引入自适应反馈技术和神经网络 PID 控制器,研发出了一种新型的 MPC 车辆轨迹跟踪控制算法,该算法在降低稳态误差和提高跟踪精度方面取得了显著成果。赵金剑<sup>[2]</sup>提出了一种基于多传感器融合的图像识别与目标检测优化方法,通过整合红外传感器与可见光传感器信息,显著提升了目标检测的准确性和鲁棒性。黄炳林和刘政刚<sup>[3]</sup>基于北斗导航定位和多传感器融合技术,研发了智能导引车(IGV),实现了高精度定位和灵活的港口作业,满足了南沙四期码头水平运输需求。张志翔等<sup>[4]</sup>提出了一种基于深度学习的智能网联汽车无人驾驶障碍物检测方法,该方法在检测精度、实时性及鲁棒性方面均显著优于传统方法,为无人驾驶技术的发展提供了有力支持。魏超等人<sup>[5]</sup>通过优化 YOLO v5 网络、改进点云聚类方法和引入注意力机制,提高了无人车障碍物检测与跟踪的精度和稳定性。郭润兰等人<sup>[6]</sup>结合机器人工作原理和 CNN 技术,提出一种基于卷积神经网络的壁面障碍物检测识别算法,优化 VGG-16 网络后,识别准确率可达 99.0%。唐伦<sup>[7]</sup>提出基于数字孪生的多自动驾驶车辆分布式协同路径规划算法,通过可信度加权去中心化联邦强化学习优化路径规划,显著提升效率和安全性。胡学敏<sup>[8]</sup>提出基于深度时空 Q 网络的自动驾驶运动规划算法,结合长短期记忆网络提取时空信息,并引入全局导航信息实现定向导航,显著提升规划精度和稳定性。张燕咏<sup>[9]</sup>建立了智能小车自动驾驶系统 Sonic,提出了融合感知算法 ImageFusion 和计算优化框架 MPIInfer,以提升多模态感知精度和实时性。方景生<sup>[10]</sup>针对多机器人协同探索中的地图构建问题,提出了一种基于 ROS 的移动机器人平台搭建方法和优化策略。通过改进快速搜索随机树算法、均值漂移算法和动态任务分配策略,实现了高效的多机器人协同探索与地图融合,显著降低了重复探索率和机器人运动总路程。成英<sup>[11]</sup>提出基于多车协作优化的无信号交叉口冲突消解方法,通过多目标优化控制理论计算分配车辆期望速度,实现协作行驶,显著减少冲突消解时间和交叉口单车平均延误。

这些技术进步为矿山用无人驾驶智能汽车的应用提供了强有力的支撑,推动了矿山作业向更加智能化、自动化的方向发展,显著提升了矿山作业的效

率、安全性与可持续性。尽管智能驾驶技术取得了诸多进展,但仍面临许多挑战。安全性问题仍然是自动驾驶系统最为关键的挑战之一。随着技术的发展,如何确保系统在各种复杂环境下的鲁棒性和稳定性,尤其是在突发情况下的应急反应能力,仍需要大量的研究与创新。

## 1 应用背景

随着自动驾驶技术的迅猛发展,矿山作业的自动化和智能化成为提高作业效率、安全性和可持续性的关键。矿山作业通常面临复杂的地理条件、极端气候和危险作业环境,传统的人工操作存在诸多安全隐患和效率瓶颈。无人驾驶技术为矿山行业的转型升级提供了新的解决方案,并有效提升了作业效率和安全性。

如图 1 和图 2 所示,矿山环境的复杂性和高风险性使得传统人工操作面临极大挑战,崎岖的道路和恶劣的天气条件(如大雨、雾霾等)增加了事故发生的概率。但无人驾驶技术通过集成激光雷达、摄像头和毫米波雷达等多种传感器,能够实时感知周围环境,精准识别障碍物和路面状况,从而有效避免碰撞和滑坡等事故,提升作业安全性。无人驾驶技术还在提高作业效率方面表现突出。矿山作业涉及运输、装载等环节,传统人工操作效率较低,容易受到人员疲劳等因素影响。无人驾驶技术通过自动化调度和路径优化,提高了矿石和废料的运输效率,减少了空驶时间和等待时间。无人驾驶卡车能够进行长时间的连续作业,不受人工操作限制,大幅提升运输效率。同时,实时监控和数据分析使矿山管理人员能够动态调度作业车辆,进一步提升整体作业效率。无人驾驶技术还符合环保和可持续发展的需求。通过智能路径规划,减少不必要的能源消耗和碳排放,降低环境污染。自动驾驶技术还能够减少车辆空驶率,进一步提高资源利用效率,减少能源浪费。

尽管无人驾驶技术在矿山中的应用前景广阔,但仍面临一些挑战。例如,矿山环境复杂多变,传感器可能受到灰尘、雨雪等因素影响,导致感知精度下降。因此,如何提升传感器的适应性是技术发展的关键。另外,初期设备投资较高,尤其对于中小型矿山企业而言,成本问题可能成为应用障碍。此外,当前的法律法规尚不完善,如何在保障安全的前提下,制定相应的法规以确保无人驾驶矿山设备的合规

性,也需要进一步探索。



图1 常见矿山无人驾驶汽车



图2 复杂的矿山环境

## 2 关键部件

### 2.1 先进传感器

在矿山用无人驾驶智能汽车中,传感器是实现车辆智能化和自动化的核心部件,是智能汽车感知外部世界的关键部件,它们如同汽车的“感官器官”,能够实时感知并传输车辆运行中的各种信息,为车辆的控制系统和驾驶辅助系统提供精确的数据支持<sup>[12]</sup>。激光雷达能够实现高精度的距离测量,毫米波雷达在恶劣天气下表现出色,摄像头则负责识别视觉信息。这些传感器协同工作,为智能汽车提供了全方位、多维度的环境感知能力。

矿山无人驾驶智能汽车配备多种传感器,以确保其在复杂且多变的矿山环境中高效、安全地运行,见图3。激光雷达(LiDAR)通过扫描周围环境并生成三维点云数据,帮助车辆识别地形变化和障碍物,提供高分辨率的三维数据,适应各种复杂地形。毫米波雷达擅长在低能见度条件下工作,能够探测远距离的障碍物,并跟踪动态物体,特别适用于尘土、

烟雾等恶劣环境。摄像头结合计算机视觉技术,帮助识别近距离障碍物、交通标志和矿区设备,提供高分辨率图像数据,识别物体的颜色、形状和尺寸。惯性测量单元(IMU)通过测量车辆的加速度、角速度和方向,提供精确的动态数据,帮助进行姿态控制并提高定位精度,尤其在GPS信号丢失时发挥作用。全球定位系统(GPS)提供矿区内的基本位置定位,尽管精度有限,但在大范围内能帮助规划路径;实时动态差分(RTK)技术则通过高精度定位,将GPS误差控制在几厘米内,适用于高精度作业。超声波传感器用于短距离障碍物检测,尤其适用于低速行驶时的避障任务,具有较高的敏感度,特别适用于停靠和微调过程<sup>[13]</sup>。环境传感器,如气体传感器和温湿度传感器,实时监测矿山环境中的有害气体、温湿度等,确保设备在适宜环境下运行,并提供危险气体泄漏的报警,保障作业安全。通过这些传感器的协同工作,无人驾驶智能汽车能够全面感知周围环境,并精确执行路径规划、避障、定位等任务。

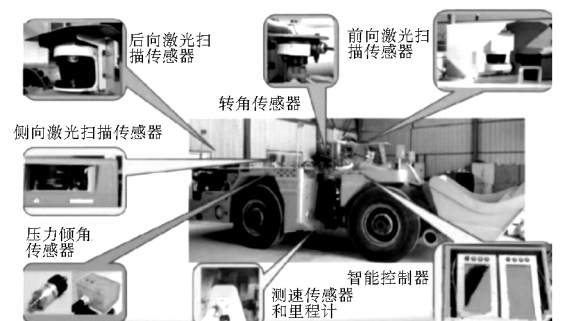


图3 车身传感器布局图

### 2.2 执行器

智能汽车中的执行器是一种小型智能电控系统的元件,可将ECU(汽车电子控制单元)传来的控制信号转换成某种机械运动或电器的运动,完成控制功能。执行器根据控制器的指令,控制车辆的行驶状态,如转向、制动和加速等。图4为智能汽车的动态响应示意图。

电动助力转向系统和制动执行器等是执行器的重要组成部分,它们的性能直接影响智能汽车的操控性和安全性<sup>[14]</sup>。具体应用实例包括:电子差速锁执行器,通过控制左右车轮的扭矩分配来优化车辆的牵引力和稳定性,提高车辆在各种路况下的通过性和操控性;扭矩矢量控制执行器,调整各车轮的扭矩输出以改善车辆的转向性能和稳定性,增强车辆

的弯道性能和动态响应;能量回收系统执行器,在制动时将动能转化为电能储存于电池中,用于辅助驱动,提高车辆的能源效率并延长电动车的续航里程;电控机械制动执行器,通过电子控制实现制动操作,取消了传统的液压传动,提高制动系统的响应速度和控制精度。这些执行器通过电子控制单元和传感器网络进行协调控制,确保车辆在各种驾驶条件下的最佳性能。

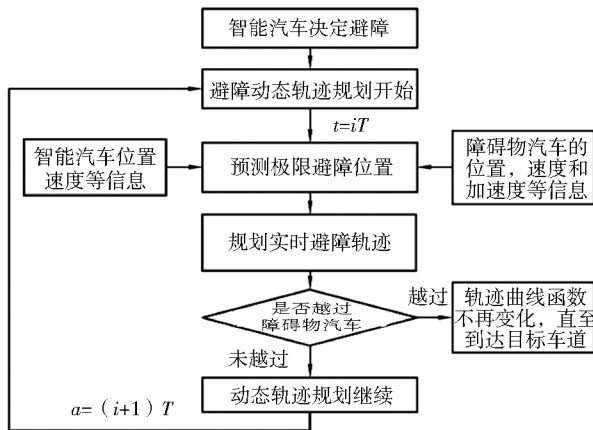


图 4 智能汽车的动态响应示意图

### 2.3 计算平台和应用算法

计算平台是指为特定应用提供计算支持的硬件和软件系统。它通常包括高性能的处理器、存储设备、通信接口以及操作系统和开发工具链。计算平台的核心目的是处理大量的数据和复杂的算法,支持各种高级功能。而矿山用无人驾驶汽车的计算平台和应用算法是确保车辆在复杂矿山环境中安全、高效自主运行的核心。无人驾驶汽车在矿山的应用环境非常特殊,往往包含崎岖的地形、恶劣的气候条件和动态的障碍物,因此它们需要一个高性能的计算平台以及精密的应用算法来处理各种传感器数据、进行决策制定并执行精准的控制。

矿山用无人驾驶智能汽车的计算平台负责处理来自多种传感器的大量数据,执行路径规划、环境感知、运动控制等关键任务,见图 5、图 6。计算平台通常包括几个重要组成部分。首先,中央处理单元用于执行基本的控制任务和决策逻辑,要求具备较强的多线程处理能力;图形处理单元则加速深度学习和计算机视觉算法,特别是在图像处理、物体检测和识别等计算密集型任务中的应用;嵌入式计算平台,如 NVIDIA Jetson 系列和英特尔嵌入式处理器,能够

在矿山这种恶劣环境下长时间稳定运行;为了保证高实时性,计算平台通常采用实时操作系统(RTOS),如 VxWorks 和 QNX,确保传感器数据的实时处理和系统响应。此外,矿山无人驾驶汽车需要集成多种传感器,通过数据融合算法(如卡尔曼滤波、粒子滤波)将各类传感器的数据融合为统一、精确的环境模型,生成三维环境感知图,并利用边缘计算设备减少与云平台之间的延迟,提高数据处理效率<sup>[15]</sup>。在网络通信方面,V2X 通信(车与车、车与基础设施的通信)可以提高车辆间的协作与安全性,而云计算平台则通过大数据分析提供精准的长期决策支持、优化算法的训练以及矿山的整体调度管理。矿山用无人驾驶智能汽车的算法体系涵盖了感知、路径规划、运动控制、行为决策和安全性等多个方面,确保车辆能够在复杂的矿山环境中高效、安全地执行任务。



图 5 计算平台组成部分图

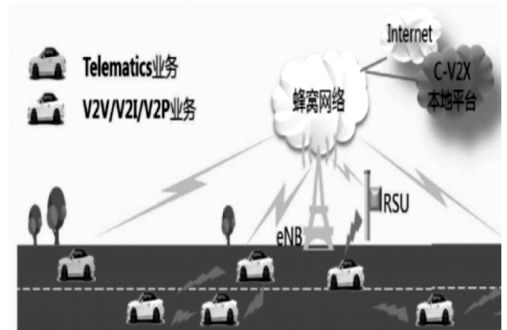


图 6 V2X 通信示意图

在感知与传感器数据处理方面,车辆通过传感器捕捉矿山环境中的物体,并使用深度学习技术,如卷积神经网络(CNN),进行物体检测与识别。这些物体可能是障碍物、矿山设备、其他车辆或人员。

LiDAR产生的点云数据经过处理后,生成矿山环境的三维地图,帮助车辆识别地形、坡度和障碍物等关键要素。同时,通过环境感知与融合技术,将来自不同传感器的数据进行整合,构建出精确的环境模型,以减少单一传感器故障或视野遮挡可能导致的误判。在路径规划与导航方面,当车辆获得实时的周围环境信息后,局部路径规划算法基于已有地图动态计算最优行驶路径,避免碰撞、选择更短路径、避开动态障碍物等。常用的算法有A算法、Dijkstra算法和动态窗口法(DWA)。全局路径规划则涉及更大范围的路径选择,常采用RRT(快速扩展随机树)和A算法,考虑矿山环境的地形特征和道路状态,优化路径规划。由于矿山环境的动态性,自适应路径规划算法能够在新出现的障碍物或突发情况(如岩石滑坡、设备故障等)下自动调整行驶路线。在运动控制与决策执行方面,PID控制算法适用于简单的速度和方向控制,而在更复杂的场景中,模型预测控制(MPC)通过预测未来的状态来优化控制策略,尤其适用于高精度运动控制。鲁棒控制算法则能够应对矿山环境中的不确定性,确保车辆即使面临突发障碍或环境变化时也能稳定运行。在安全性与异常处理方面,矿山作业中的潜在危险(如有害气体泄漏、设备故障、地质灾害等)通过传感器、环境感知和机器学习算法得以预测,车辆能够提前采取预防措施。应急响应算法能够在出现障碍物、传感器故障等异常情况时迅速做出决策,执行避障、停车或其他安全措施,确保矿山作业的安全性<sup>[16]</sup>。

这些算法的协同作用,使得无人驾驶汽车能够在复杂、动态的矿山环境中实现高效、安全的自主作业。

### 3 主要功能

矿山用无人驾驶智能汽车的核心功能主要是通过高度集成的计算平台、传感器和智能算法,实现自动化、智能化的作业。这些核心功能使得矿山无人驾驶汽车能够在复杂的环境中执行任务,提高生产效率并保障安全。

#### 3.1 自动巡航和路径规划

自动巡航与路径规划是矿山用无人驾驶智能汽车的核心功能之一,它确保车辆在矿山复杂且动态变化的环境中能够准确、安全地自主行驶。这一功能通常涉及多个技术和算法,结合传感器、计算平台和实时数据,使得车辆能够理解周围环境、制定行驶

路径并实时调整。

自动导航是指无人驾驶智能汽车在没有人工干预的情况下,依靠内置的传感器、计算平台和算法,自动决定行驶方向,控制车辆从起点到目的地。导航系统通常结合了定位技术、路径规划算法和环境感知系统,确保车辆能够安全行驶。其核心组成包括高精度定位、传感器与环境感知以及数据融合与建模。在高精度定位方面,全球定位系统(GPS)为无人驾驶汽车提供大致地理位置,但在矿山等复杂环境中,GPS的精度可能受到信号遮挡的影响。为提升定位精度,实时动态差分技术(RTK)被应用,能够将GPS定位误差控制在几厘米内,确保车辆精确定位。此外,SLAM(同时定位与地图构建)技术通过车辆上的传感器在未知环境中构建地图并进行精确定位,适应环境的动态变化。通过传感器数据融合(如卡尔曼滤波、粒子滤波等)将来自不同传感器的数据合并,生成更精确的环境模型,形成全面的三维环境图<sup>[17]</sup>。此外,车辆不断行驶过程中,需要根据实时环境动态更新地图,以应对矿山环境中障碍物和道路条件的变化。图7为RTK工作模式图。

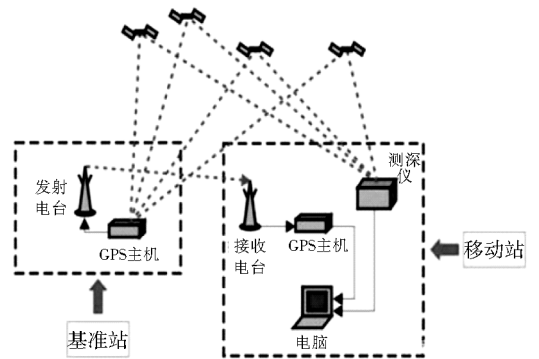


图7 RTK工作模式图

路径规划是指根据环境数据、任务目标和约束条件,计算出从起点到目标的最佳行驶路线。路径规划算法通常包括全局路径规划和局部路径规划两部分。全局路径规划的目标是计算从起点到终点的整体路径,通常是在事先已知的矿山地图上进行。局部路径规划主要解决在车辆行驶过程中遇到障碍物时如何快速调整路径的问题。车辆需要实时更新其路径,以避免碰撞和适应周围环境的变化。DWA是一种常见的局部路径规划算法,它通过评估车辆当前位置和速度以及周围环境,快速计算出可行的最优行驶路径。图8为DWA算法流程图。

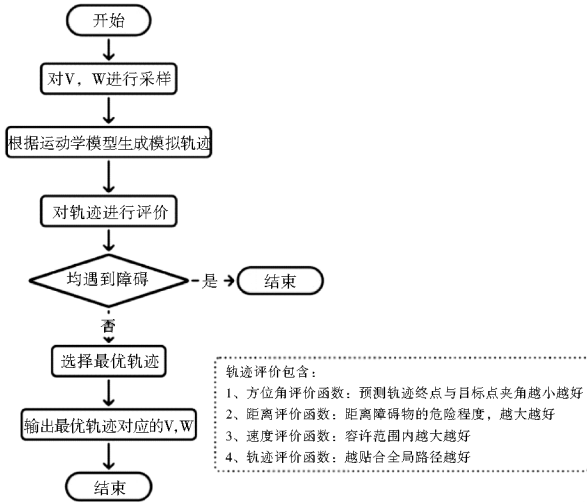


图 8 DWA 算法流程图

矿山环境常常存在动态变化(如地质灾害、设备故障等), 传统的路径规划方法可能无法应对突发事件。自适应路径规划通过实时感知和快速响应机制, 能够根据新的障碍物、地面变化或作业任务的变化, 动态调整路径。

### 3.2 协同作业

矿山无人驾驶智能汽车的协同作业功能是实现多个无人驾驶车辆高效、协调工作的重要部分。在矿山环境中, 通常需要多辆车同时执行任务, 如矿石运输、设备检查、资源调配等。协同作业功能不仅能提高作业效率, 还能确保安全, 避免不同车辆间的冲突和资源浪费。

矿山作业中的任务种类繁多, 例如运输矿石、卸货、设备检查等。协同作业系统需要根据任务的紧急程度、重要性和资源需求, 动态地为每辆无人驾驶汽车分配任务。任务的优先级、作业时间、设备可用性等因素都会影响分配结果。无人驾驶智能汽车可以根据当前的矿山环境、其他车辆的位置、作业进度等信息, 实时调整任务分配<sup>[18]</sup>。例如, 如果一辆车发生故障或遇到意外障碍, 调度系统会立即调整其他车辆的任务, 确保作业不受影响。同时, 系统需要综合考虑矿山资源(如矿石储备、设备维护情况、作业场地等)的利用, 优化作业效率。比如, 调度系统可以合理安排车辆之间的交接、装卸顺序, 以减少等待时间和无效移动。多辆无人驾驶智能汽车的协同作业需要在不同任务之间进行多目标优化, 可以提高运输效率、减少能源消耗、缩短作业时间等。通过

优化调度算法, 车辆可以在执行任务时平衡多个目标, 最大化整体矿山作业效率<sup>[19]</sup>。通过深度学习和数据分析, 系统可以根据历史作业数据不断优化任务调度策略。例如, 系统可以根据不同季节、天气、地形等因素优化车辆的作业顺序和路径, 确保高效运营。

同作业任务调度系统通常会采用强化学习、遗传算法等智能算法, 模拟不同情况下的任务分配与调度决策。通过机器学习, 系统能够自我优化, 基于环境变化和作业需求进行决策。无人驾驶车辆不仅依赖于中央调度系统, 还具备一定的自主决策能力, 能够根据传感器数据、实时环境信息等自我调整任务和路径, 提高作业灵活性, 见图 9。

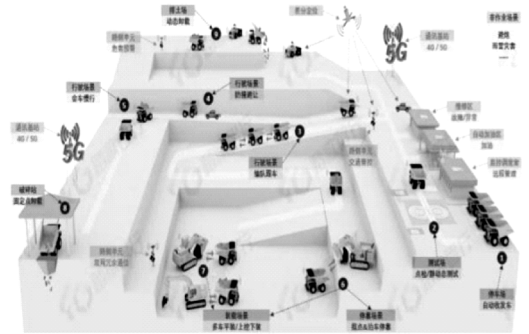


图 9 多辆无人驾驶矿车协同作业图

### 3.3 安全性与异常处理功能

矿山用无人驾驶智能汽车的安全性与异常处理功能是确保矿山作业安全、稳定进行的关键。由于矿山环境复杂且充满潜在危险, 保障无人驾驶车辆在执行任务时不发生事故、及时应对突发状况至关重要。

通过高精度的环境感知, 车辆能够提前识别前方的障碍物(如岩石、坑洼、设备等), 并根据实时数据调整行驶路径, 避免碰撞。激光雷达和毫米波雷达尤其擅长在低能见度或恶劣天气条件下工作, 确保在烟雾、尘土或夜间等情况下仍能准确避障<sup>[20]</sup>。通过传感器和实时数据分析, 矿山无人驾驶汽车能够识别和预测潜在的危险因素。例如, 系统可以检测到有害气体泄漏、温度异常、气候变化等因素, 并提前发出预警, 避免事故的发生。此外, 矿山环境可能突发一些自然灾害, 如岩石滑坡、矿坑塌方等。无人驾驶汽车通过实时监控地质变化和環境因素(如气象、空气质量等), 预测潜在危险, 并采取避險措

施。同时,车辆具备先进的预警系统,能够监测矿山环境中的各种危险因素,如高温、毒气泄漏、火灾等,及时通过语音、视觉或信号灯等方式提醒操作人员和车辆周围的工作人员,采取应急措施。无人驾驶汽车配备自诊断系统,能够实时监测车辆的硬件和软件状态。包括电池电量、发动机温度、传感器状态、制动系统、驱动系统等关键部件的健康状况。如果车辆出现故障或性能下降,系统会自动发出警告,并进行必要的自我修复或调整。为了防止单点故障导致重大事故,矿山无人驾驶智能汽车的关键系统(如传感器、控制单元等)通常具有冗余设计<sup>[21]</sup>。当主系统出现问题时,冗余系统可以接管工作,确保车辆继续安全运行。在遇到不可避免的风险时(如突然的障碍物出现或传感器故障),无人驾驶汽车能够立即启动紧急停车机制,确保车辆迅速停车,避免进一步的事故发生。这一功能依赖于高效的紧急响应算法和传感器的快速反馈。

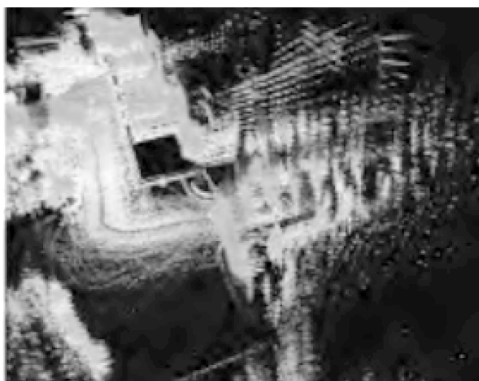
矿山无人驾驶智能汽车通常配备一个集中的远程监控平台(如图8),实时显示所有车辆的状态、位置、任务进度以及环境感知数据。如果系统检测到潜在的安全风险,监控中心能够立即查看数据并与车辆进行沟通。尽管车辆具备高度自动化的功能,但在极端情况下,人工操作员可以通过远程控制系统接管车辆,执行必要的操作。远程控制系统能够

进行车辆调度、路径修正、紧急停车等操作。

#### 4 智能汽车发展面临的挑战及发展趋势

矿山,作为一个高风险、低能见度且工作负荷极大的作业场所,无人驾驶汽车能够在提升工作效率、降低人工成本以及减少安全事故方面发挥重要作用。然而,矿山的复杂地理环境、恶劣天气和高负载工作条件为无人驾驶智能汽车的部署和运行带来了众多技术挑战和安全问题。

矿山往往位于偏远地区,地形起伏大,存在大量坡道、坑洼、障碍物和狭窄道路,这些因素给无人驾驶汽车的导航和路径规划带来了极大的挑战。在这样的环境中,传统的全球定位系统可能会因山脉、深坑和矿石堆等因素导致信号遮挡,从而影响定位精度。尽管实时动态差分技术可以提高GPS定位精度,但复杂地形依然可能影响系统的准确性。为了解决这一问题,可以采用同时定位与地图构建技术(SLAM),利用激光雷达、摄像头、惯性测量单元等传感器创建实时三维地图,并在此基础上进行精确定位,确保在矿山复杂环境中实现高精度导航和路径规划<sup>[22]</sup>。图10为基于三维激光雷达SLAM算法在矿山斜坡的建图效果图。



(a) 局部地图



(b) 全局建图效果

图10 基于三维激光雷达SLAM算法在矿山斜坡的建图效果图

此外,矿山环境中的恶劣天气会大大影响无人驾驶智能汽车的感知能力,尤其是在浓雾、风沙等低能见度环境下,激光雷达、毫米波雷达和摄像头等传感器的性能会受到限制。激光雷达的激光在雾霾或雨雪天气中可能会被散射,毫米波雷达也可能受到

干扰,从而降低物体识别和障碍物检测的精度。为应对这一挑战,使用多传感器融合技术(如卡尔曼滤波、粒子滤波等)能够结合不同传感器的数据,弥补单一传感器的不足。摄像头可以与雷达和LiDAR结合,通过数据融合提高低能见度环境下的物体识

别能力<sup>[23]</sup>。此外,深度学习算法可帮助系统提升对恶劣天气的适应性,通过学习历史数据,增强在不良天气条件下的执行能力。恶劣天气还可能导致道路滑坡、积水、冰雪覆盖等风险,增加驾驶的不确定性。因此,车辆需要快速、准确地做出反应,如调整路径、停车或减速等安全决策。为此,可以应用基于规则的决策系统和强化学习算法,实时评估天气影响,调整车速和路径,并采取避险措施,确保车辆安全行驶。

矿山无人驾驶智能汽车在高负载工作条件下面临着严峻的技术挑战。首先,高负载作业要求车辆具备强大的动力系统,以应对矿山环境中的崎岖道路、坡道以及重负荷的任务。车辆的电池、电动机和传动系统需要具有足够的耐用性和高效性,同时,能源管理系统必须根据实时作业需求调整,确保能源的合理利用。为解决这一问题,可以采用高效的电动动力系统和智能能源管理系统,帮助车辆在高负载作业时延长电池续航时间,并确保高效、长时间运行。此外,结合充电站、太阳能充电等多种能源补给方式,可以确保矿山作业连续性。其次,矿山的高温、尘土、湿气和冲击等恶劣环境对车辆的耐用性提出了更高要求,频繁的故障可能导致生产停滞并带来安全隐患。为应对这一挑战,无人驾驶智能汽车应配备自动故障检测和自我修复系统,实时监控车辆的各项性能指标(如电池电量、机械系统状态等)<sup>[24]</sup>。通过数据分析和智能预警系统,车辆能够提前发现潜在故障并进行修复,避免大规模故障的发生,确保车辆的高效与安全运行。

百年汽车工业正在迈向“新四化”的新征程。随着技术的不断进步,矿山无人驾驶智能汽车在未来将呈现出更加智能化、自动化和高效的趋势。未来的车辆将采用更为先进的定位和导航技术,结合 5G 通信和视觉 SLAM 等创新技术,实现厘米级甚至毫米级的定位精度,并解决矿山复杂地形中的定位问题。作业将实现全自动化,车辆能够根据地形变化、资源需求和环境状况动态调整作业策略,最大化作业效率。人工智能与深度学习技术将使车辆能够更智能地分析和处理环境数据,识别更复杂的地形和障碍物,做出精准决策。同时,多车辆协同作业将进一步提高矿山作业的整体效率,通过云计算、大数据分析和 5G 通信技术,实现智能调度和任务分配。安全性将得到增强,车辆配备智能传感器和安全算法,能够实时预测和应对风险,自动采取应急避险措

施。随着对环保和能源效率的关注,未来车辆将采用电动动力系统、太阳能充电等环保能源管理方式,延长电池续航并减少对化石燃料的依赖。车辆还将具备更强的自诊断和自修复能力,确保在复杂环境中的高效运行。此外,5G 与边缘计算将大幅提升数据传输和处理效率,实现更高效的实时决策。智能矿山管理系统和全局优化将进一步提高生产效率和资源利用率,而增强现实和虚拟现实技术的结合将提供更加直观的远程控制和监控体验,提升作业的准确性和安全性。这些技术进步将推动矿山无人驾驶智能汽车在矿山行业中的广泛应用,带来更高效、安全和环保的矿山作业解决方案。随着这些技术的不断突破,无人驾驶技术将成为矿山行业转型升级的重要推动力。

## 参 考 文 献

- [1] 丁炳超,王立勇,苏清华,等. 基于自适应反馈的 MPC 车辆轨迹跟踪控制算法[J]. 传感器与微系统,2024,43(12):150-154.
- [2] 赵金剑,刘蓓蕾,赵勇. 基于多传感器融合的图像识别与目标检测研究[J]. 无线互联科技,2024,21(18):31-34.
- [3] 黄炳林,刘政刚. 基于北斗导航定位多传感器融合的智能导引车[J]. 港口科技,2024,(8):26-29,42.
- [4] 张志翔,吴继璋. 基于深度学习的智能网联汽车无人驾驶障碍物检测研究[J]. 时代汽车,2024,(23):27-29.
- [5] 魏超,吴西涛,朱耿霆,等. 基于视觉相机和激光雷达融合的无人车障碍物检测与跟踪研究[J]. 机械工程学报,2025,61(2):296-309,320.
- [6] 郭润兰,史方青,范雅琼,等. 基于卷积神经网络的壁面清洗机器人障碍物检测识别算法[J]. 兰州理工大学学报,2022,48(4):83-89.
- [7] 唐伦,戴军,成章超,等. 基于数字孪生的多自动驾驶车辆分布式协同路径规划算法[J]. 电子与信息学报,2024,46(6):2525-2532.
- [8] 胡学敏,成煜,陈国文,等. 基于深度时空 Q 网络的定向导航自动驾驶运动规划[J]. 计算机应用,2020,40(7):1919-1925.
- [9] 张燕咏,张莎,张昱,等. 基于多模态融合的自

- 动驾驶感知及计算[J]. 计算机研究与发展, 2020, 57(9): 1781-1799.
- [10] 方景生. 基于 ROS 的多车协作建图系统设计与实现[D]. 浙江: 杭州电子科技大学, 2023.
- [11] 成英, 赵建有, 汪磊. 基于多车协作优化的冲突消解模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(6): 205-211.
- [12] 冯健, 李娜. 智能控制技术在车辆工程中的应用分析[J]. 汽车维修, 2024(1): 18-20.
- [13] 崔明阳, 黄荷叶, 许庆, 等. 智能网联汽车架构、功能与应用关键技术[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(3): 493-508.
- [14] 赵津杨. 基于模型预测控制的电动汽车纵横垂向力集成控制研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2020.
- [15] 方阳. 基于云计算的自动驾驶环境感知关键技术研究[D]. 江苏: 东南大学, 2019.
- [16] 马忠贵, 李卓, 梁彦鹏. 自动驾驶车联网中传感算融合研究综述与展望[J]. 工程科学学报, 2023, 45(1): 137-149.
- [17] 谢志萍, 雷莉萍. 智能网联汽车环境感知技术的发展和研究现状[J]. 成都工业学院学报, 2016, 19(4): 87-92.
- [18] 彭湃, 耿可可, 王子威, 等. 智能汽车环境感知方法综述[J]. 机械工程学报, 2023, 59(20): 281-303.
- [19] 贺红春. 基于多传感器融合的智能汽车环境感知技术研究[D]. 吉林: 长春工业大学, 2023.
- [20] 胡益恺, 王春香, 杨明. 智能车辆决策方法研究综述[J]. 上海交通大学学报(自然版), 2021, 55(8): 1035-1048.
- [21] 胡满江, 杨智元, 李洋, 等. 智能汽车人机协同决策关键技术综述[J]. 中国公路学报, 2024, 37(3): 98-116.
- [22] 张清宇, 崔丽珍, 杜秀铎, 等. 矿山环境三维激光雷达 SLAM 算法建图与定位[J]. 测绘通报, 2023(5): 72-77.
- [23] 台风. 当摄影测量遇到激光雷达: 迈向机载混合时代机载摄像头和激光雷达传感器的结合推动制图领域向前迈进[J]. 中国测绘, 2020(1): 80-82.
- [24] 朱家豪. 智能网联汽车的法律规制结构研究[J]. 北京科技大学学报(社会科学版), 2023, 39(5): 634-644.

(上接第 38 页)

部调整, 集卷盘形质量控制措施。通过以上技术的分析和总结, 对于实际生产过程中出现的问题, 可以采取相应的措施加以解决。实际生产中还会遇到各种情况, 还需要分析总结具体情况, 不断改进, 最终使生产更加顺行, 全面提升产品质量效益。

### 参 考 文 献

- [1] 强十涌, 乔德勇, 李曼云. 高速轧机线材生产

[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.

- [2] 孙汝林. 高速线材吐丝异常原因分析与控制[J]. 轧钢, 2010, 27(5): 64-67.
- [3] 余乐. 提高高速线材吐丝质量的措施[J]. 鄂钢科技, 2013(1): 28-29.
- [4] 陈鹤飞, 廖映明. 高速线材吐丝机吐圈质量的探讨[J]. 轧钢, 2005, 22(3): 51-52.