

浅析隧道工程机械设备无人化智能化发展趋势

马健 任彦东

新疆乌鲁木齐21信箱 新疆 巴音郭楞蒙古自治州 841700

摘要: 随着科技的飞速发展和城市化进程的加速,隧道工程在交通基础设施建设中扮演着越来越重要的角色。隧道工程机械设备的无人化、智能化已成为行业发展的必然趋势。本文旨在探讨隧道工程机械设备无人化智能化的技术背景、发展现状、关键技术以及未来发展趋势,为相关领域的研究与实践提供参考。

关键词: 隧道工程; 机械设备; 无人化; 智能化; 发展趋势

引言

隧道工程作为交通建设的重要组成部分,其建设效率与安全性直接关系到交通系统的整体效能。传统的隧道施工方式依赖大量人力及现场操作的机械设备,存在效率低、安全风险高、管理复杂等问题。随着物联网、云计算、人工智能等技术的成熟应用,隧道工程机械设备的无人化、智能化转型已成为行业共识,许多矿山、公路等隧道工程已大量应用,能够有效提高施工效率、降低安全风险、减少人力资源投入。

1 技术背景与发展现状

1.1 技术背景

无人化智能化隧道工程机械设备的崛起,是科技进步与行业需求深度融合的产物。

1.1.1 物联网技术

作为连接物理世界与数字世界的桥梁,物联网技术在隧道工程机械设备中扮演着至关重要的角色。通过嵌入各类传感器,设备能够实时采集运行状态、工作环境等关键数据,并通过无线网络传输至云端或数据中心,为远程监控、故障诊断与智能调度提供数据基础^[1],极大提升设备管理的便捷性,还为实现设备的自主决策与协同作业创造了条件。

1.1.2 云计算与大数据技术

随着隧道工程规模的扩大,产生的数据量呈指数级增长。云计算平台以其强大的计算能力与弹性扩展特性,为这些海量数据的存储、处理与分析提供了可能。结合大数据技术,平台可以对施工过程中的各种数据进行深度挖掘,发现潜在规律,优化施工方案,预测潜在风险,为智能决策提供科学依据。

1.1.3 人工智能与机器学习

人工智能技术的引入,使得隧道工程机械设备具备了“思考”与“学习”的能力。通过机器学习算法,设备能够根据历史数据自我优化,自动调整工作参数,提

高施工精度与效率。人工智能还能辅助进行复杂环境下的路径规划、障碍物识别等任务,确保施工安全与顺利进行。

1.2 发展现状

当前,隧道工程机械设备的无人化智能化发展已迈入快车道,展现出显著的规模效应与应用潜力。国内外众多知名企业积极响应行业趋势,纷纷投入研发,成功推出了多款智能掘进机、智能监测无人机、智能施工机器人等高科技产品,在隧道开挖、支护、监测等核心环节中发挥重要作用,不仅显著提升了施工效率,缩短了工程周期,还通过精准控制与自动化作业大大降低了人为因素导致的安全风险,保障了施工人员的生命安全。此外,智能设备的广泛应用还有效减少了人力成本,提高了资源利用效率,为隧道工程的可持续发展奠定了坚实基础。随着技术的不断成熟与市场的持续扩大,隧道工程机械设备的无人化智能化发展前景广阔,有望成为推动行业转型升级的重要力量。

2 关键技术分析

2.1 智能掘进技术

智能掘进机作为隧道施工的核心装备,配备了激光测距仪、陀螺仪、加速度计等先进传感器系统,能够实时、精确地测量掘进机的位置、姿态以及周围环境信息,为自主定位与导航提供可靠数据支持。基于测量数据,控制系统能够实时调整掘进方向与速度,确保掘进路径的准确性。在轨迹规划方面,智能掘进机采用先进的路径规划算法,能够根据隧道设计图纸与实时地质信息,自动生成最优掘进轨迹,算法也会综合考虑掘进效率、安全性以及设备磨损等多个因素,确保掘进过程的顺利进行。

参数自适应控制是智能掘进技术的另一大亮点。通过集成人工智能算法,掘进机能够根据实时收集的掘进数据(如刀盘转速、推进力、扭矩等),自动调整工作

参数,以实现最优掘进效果。例如,基于端—边—云架构的TBM智能掘进控制系统,能够实时上传掘进数据至云端,通过云计算平台进行高效处理与分析,再将优化后的掘进参数下发至掘进机,实现闭环控制。此外,智能掘进机还具备远程监控与故障诊断功能,操作人员可以在远离施工现场的控制中心,实时监控掘进机的运行状态,一旦发现异常情况,便能迅速进行远程诊断与排查,确保施工安全与效率。

2.2 无人化施工机器人

无人化施工机器人是隧道工程无人化施工的重要组成部分,能够按照事先编制的程序智能运行,凿岩机器人、装药机器人和除尘机器人是应用最为广泛的几种。凿岩机器人集成了先进的导航定位系统和自动钻孔技术,具备智能避障功能,能够在复杂的隧道环境中自主移动,并精确地对准预定位置进行钻孔作业,其配备的高效率钻头和强大的动力系统,使得钻孔速度远超人工操作,同时钻孔精度也得到了显著提升^[2],并确保施工的安全进行。装药机器人则主要用于爆破作业前的炸药装填工作,一般适用于散装泵送类型的岩石乳化炸药,它能够根据预设的爆破方案,自动计算并分配炸药的用量和位置,然后准确地将炸药装入炮孔中,不仅提高了装药效率,还减少了人工操作带来的安全风险。除尘机器人能够自动巡航于隧道内部,通过高效的除尘系统收集并处理空气中的粉尘颗粒,从而保持隧道内的空气清新,有效改善施工人员的作业环境,降低职业病的发生概率。无人化施工机器人通过高精度的传感器、先进的控制系统以及智能化的算法,实现了自主作业和协同工作,大大提高了隧道工程的施工效率和安全性,还能够实时上传工作数据至云端或控制中心,为施工管理人员提供及时的施工进度和设备状态信息,有助于实现隧道工程的精细化管理。

2.3 智能监测技术

智能监测技术结合了智能监测无人机与地面监测系统,共同构成了全方位、多层次的监测网络。智能监测无人机凭借其高度的机动性和灵活性,能够迅速抵达隧道内部各个角落,进行全面、细致的检查。无人机上搭载的高清相机能够捕捉隧道内部结构的高清图像,红外热成像仪则能够检测隧道设施的温度分布,及时发现潜在的过热或故障点。地面监测系统是在隧道内关键位置布置各类传感器,如应力传感器、变形传感器、渗漏水传感器等,实时收集隧道结构的状态数据。相关监测数据能够通过无线传输技术实时回传至控制中心,为隧道维护人员提供直观、准确的监测结果,并经过处理与分

析,揭示隧道结构的应力分布、变形趋势以及渗漏水情况,为隧道的维护与管理提供科学依据。智能监测技术的应用,提高了隧道监测的效率和准确性,大大降低了人工监测的风险和成本,能够为隧道的养护维修提供精准指导,延长隧道的使用寿命,降低维护成本。

3 未来发展趋势

3.1 技术持续创新

隧道工程机械设备的无人化智能化发展,将随着物联网、云计算、人工智能等前沿技术的不断进步而持续深化。5G及更先进通信技术的广泛应用将为隧道施工领域带来革命性的变化,其高速、低延迟特性将使设备间的数据传输更加高效、稳定,为实时远程监控、智能调度以及应急响应提供强有力的支持。同时,边缘计算技术的融入将进一步提升隧道工程机械设备的智能化水平,主要通过设备端部署边缘计算节点,实现对数据的实时处理与分析,减少数据传输的延迟,提高决策的时效性与准确性,使隧道施工过程中的问题能够得到更加迅速、有效的解决。此外,随着人工智能技术的不断发展,设备将能够根据施工环境、任务需求等因素,通过数据分析与挖掘,自动调整工作参数,实现更精准、高效的施工^[3],设备自主学习、自我优化能力将得到进一步提升。随着新技术的不断融入与应用的深入拓展,未来隧道工程机械设备的无人化智能化发展将呈现出技术持续创新、融合应用的趋势,隧道施工的效率、安全性以及智能化水平将得到全面提升。

3.2 标准化与规范化

随着无人化智能化隧道工程机械设备的广泛应用,行业标准化与规范化建设的重要性日益凸显。为了保障设备性能、施工质量以及行业健康有序发展,必须制定统一的技术标准、操作规范与评价体系。在技术标准方面,应针对隧道工程机械设备的无人化智能化特点,制定涵盖设备设计、制造、安装、调试、运行及维护等全生命周期的技术标准。这些标准应明确设备的技术要求、性能指标以及测试方法,确保设备的安全可靠与高效运行。在操作规范方面,应制定详细的操作规程与作业指导书,明确设备的操作流程、注意事项及应急处理措施。通过规范操作行为,减少人为失误,提高施工效率与安全性。在评价体系方面,应建立科学的评价体系,对设备的性能、施工质量及经济效益进行全面评估。通过定期检测与评估,及时发现设备存在的问题与不足,为设备的改进与优化提供依据。标准化与规范化建设是无人化智能化隧道工程机械设备广泛应用的基础保障。通过制定统一的技术标准、操作规范与评价体

系,可以确保设备性能与施工质量的稳定可靠,促进行业的健康有序发展。

3.3 产业链协同发展

隧道工程机械设备无人化智能化的发展,势必将引领整个产业链的协同进步。在这一过程中,上游零部件供应商、中游设备制造商与下游应用服务商将构建起紧密的合作关系,共同致力于技术创新与产业升级。上游零部件供应商聚焦于高精度传感器、智能控制系统等核心零部件的研发与生产,通过提升零部件的性能与质量,为中游设备制造商提供有力支持,进而推动整机性能的优化与升级。中游设备制造商则在整合上游优质资源的基础上,专注于隧道工程机械设备的整机设计与制造,通过引入先进技术,提升设备的无人化智能化水平,满足下游应用服务商的多样化需求。下游应用服务商依托中游提供的先进设备,为隧道施工领域提供专业化的服务,通过积累实践经验,反馈市场需求,引导上游与中游的技术创新与产品改进,形成良性循环。通过产业链上下游的紧密沟通与协作,共同制定行业标准与规范,将有力推动隧道工程机械设备无人化智能化水平的持续提升,为隧道施工领域的发展注入新的活力。

3.4 政策与市场驱动

政策支持与市场需求是隧道工程机械设备无人化智能化发展的两大核心驱动力。随着城市化进程的加速,政府对城市交通改善的重视程度不断提高,对施工安全的管控愈加严格,为隧道工程机械设备无人化智能化发展提供了有力的政策保障。政府通过出台相关政策,鼓励企业加大技术创新力度,推动隧道工程机械设备的

无人化智能化升级,政府还加大对隧道建设项目的投资力度,为隧道工程机械设备的应用提供了广阔的市场空间。市场需求方面,随着隧道建设规模的不断扩大,施工难度与安全风险的增加,市场对高效、安全施工方式的需求日益迫切^[4],无人化智能化隧道工程机械设备以其高效、精准、安全的施工特点,将逐渐成为市场的优先选择。在未来发展中,政府须继续发挥政策引导作用,市场持续释放需求动力,共同推动隧道工程机械设备无人化智能化水平的不断提升。

结语

隧道工程无人化智能化设备通过集成先进技术与创新应用,能够显著提高隧道施工效率与安全性,降低人力资源投入,是行业发展的必然趋势。未来,随着技术的持续创新、标准的不断完善以及产业链的协同发展,隧道工程机械设备无人化智能化将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]郭鹏飞,郭钊,梁策,等.施工机械数据驱动下的铁路隧道工程智能建造数据共享方案[J].铁路计算机应用,2023,32(08):32-37.
- [2]咎陈.公路隧道大机配套技术的发展趋势与创新研究[J].汽车周刊,2024,(10):220-222.
- [3]张云川.基于人工智能的隧道掘进机自动化控制技术优化[J].中国机械,2024,(08):89-92.
- [4]崔步云.智能建造技术在铁路隧道施工中的技术应用[J].铁道建筑技术,2023,(08):151-154+164.