

城市轨道交通隧道清洁维护技术及设备创新

王 浩

重庆市第一轨道交通运营管理有限公司 重庆 430013

摘 要：城市轨道交通隧道清洁维护技术正朝智能化、多功能化及材料优化方向发展。智能化清洁机器人通过环境感知、自主导航与智能决策，提升清洁效率与精度。多功能集成清洁设备整合多种清洁方式，适应复杂作业需求。同时，设备材料轻量化与耐久性提升，减轻操作负担，降低能耗，延长使用寿命。这些创新举措共同推动隧道清洁维护行业的技术进步与可持续发展。

关键词：城市轨道交通；交通隧道；清洁维护技术；清洁维护技术

1 城市轨道交通隧道清洁维护概述

城市轨道交通隧道清洁维护是确保地铁、轻轨等轨道系统安全、高效运行的重要环节。隧道作为列车行驶的封闭空间，其内部环境的清洁度直接影响到列车的运行效率、乘客的舒适度及安全性。清洁维护工作主要包括日常清扫与定期深度清洁。日常清扫侧重于清理轨道两侧及隧道壁上的尘土、碎屑，防止其积累影响列车行驶安全及空气质量。工作人员利用专业设备，如吸尘器、清扫车等，在不干扰正常运营的前提下进行作业，确保隧道内部环境的基本清洁。而定期深度清洁则更为全面，除了上述内容外，还包括对隧道排水系统、照明设施、通风管道等进行检查与清理，预防因堵塞导致的渗水、照明不足或通风不畅等问题，还需对隧道结构进行安全检测，及时发现并修复裂缝、渗漏等潜在隐患，确保隧道结构安全稳定。通过科学规划与维护，城市轨道交通隧道清洁维护工作不仅提升了乘客的出行体验，也为轨道交通系统的长期稳定运行奠定了坚实基础。

2 隧道清洁维护工作的主要内容

2.1 隧道内部清洗

隧道内部清洗是城市轨道交通清洁维护工作的核心部分，它直接关系到列车的运行安全、乘客的乘车体验以及隧道结构的长期耐久性。隧道内部清洗主要包括对隧道壁、轨道两侧区域、以及隧道底部（如有需要）的彻底清洁。这些区域由于列车频繁运行，会积累大量的尘土、细小颗粒物、油污及其他杂物，若不及时清理，不仅会影响隧道的整体清洁度，还可能对列车运行造成安全隐患，如增加车轮与轨道间的摩擦力，影响列车制动性能^[1]。为了实现高效、彻底的清洗，隧道内部清洗工作通常采用专业机械化设备进行。清洗作业需严格遵循安全操作规程，确保在不影响列车正常运营的前提下进行，随着环保意识的提升，越来越多的隧道清洗工作开始采用环

保材料和技术，减少清洗过程中对环境的影响。除了日常清洗外，隧道内部还需进行定期的深度清洁。这通常涉及对隧道壁进行更彻底的清洗，去除长期积累的顽固污渍，以及对隧道底部进行必要的清理和修复。

2.2 排水系统清理

排水系统是城市轨道交通隧道中不可或缺的组成部分，它负责收集并排出隧道内的雨水、渗漏水及清洗产生的废水等。排水系统的畅通与否直接关系到隧道内部环境的湿度控制、结构安全以及列车的正常运行。定期对排水系统进行清理是隧道清洁维护工作的重要内容之一。排水系统清理主要包括对排水沟、集水井、排水管道等关键部位的检查和清理。清理工作首先需要检查排水设施是否完好，有无堵塞、破损或渗漏现象。对于发现的堵塞物，如泥沙、垃圾、杂物等，需及时采用专业工具进行清理，恢复排水畅通。同时还需对排水管道进行必要的疏通和冲洗，确保管道内部无积存物，避免长期积累导致管道堵塞或腐蚀。在清理过程中，还需注意对排水设施进行必要的维护和修复。例如，对于破损的排水沟盖板、集水井井盖等，需及时更换或修复，防止因设施损坏导致的安全隐患。此外，还需对排水系统的运行状况进行监测和评估，为后续的维护和改造提供依据。

2.3 轨道与线路维护

轨道与线路是城市轨道交通系统的核心组成部分，它们承载着列车的运行和乘客的出行需求。对轨道与线路的维护是隧道清洁维护工作中不可或缺的一环。轨道与线路维护的主要目的是确保轨道的几何尺寸、几何形位和线路平顺性满足列车安全、平稳运行的要求。轨道维护工作包括轨道几何尺寸的测量和调整、轨道部件的更换和修复、道床和路基的加固等。这些工作旨在消除轨道上的不平顺和缺陷，减少列车运行时的振动和冲击，提高列车的运行稳定性和乘坐舒适度。同时还需对

轨道进行定期检查和评估,及时发现并处理潜在的安全隐患。线路维护则侧重于对线路沿线的设施进行保养和修复。还需对线路沿线的安全设施进行检查和修复,如防护网、隔离栏等,防止外部因素对线路运行造成干扰和破坏。

2.4 通风与照明系统维护

通风与照明系统是城市轨道交通隧道中重要的辅助设施,它们为乘客和工作人员提供了良好的乘车和工作环境。通风系统负责调节隧道内的空气温度和湿度,排除有害气体和异味,保持隧道内部空气的清新和流通。照明系统则提供充足的照明光线,确保乘客在隧道内能够清晰地看到前方路况和周围环境。通风系统的维护主要包括对风机、风道、风阀等设备的检查和维修。这些设备需要定期进行清洗、润滑和更换易损件,确保其正常运行和通风效率。同时还需对通风系统的运行状况进行监测和评估,及时调整和优化通风方案,以适应不同季节和客流量的需求^[2]。照明系统的维护则侧重于对照明灯具、电线电缆等设备的检查和更换。照明灯具需要定期进行清洁和更换灯泡或光源,确保其发光亮度和照明范围满足要求。电线电缆则需要检查其绝缘性能和连接情况,防止因老化或损坏导致的短路和火灾等安全隐患。还需对照明系统的运行状况进行监测和评估,及时调整和优化照明方案,提高照明效果和节能效果。

3 城市轨道交通隧道清洁维护技术及设备创新需求

3.1 提高清洁效率与质量的需求

在城市轨道交通隧道的清洁维护工作中,提高清洁效率与质量是技术创新的首要需求。随着城市轨道交通网络的不断扩展和运营负荷的增加,隧道清洁任务日益繁重,传统的人工清洁方式已难以满足高效、高质量的需求。对于提高清洁效率,需要研发和应用更先进的自动化、智能化清洁设备。例如,智能清扫机器人可以自主导航,精准识别并清理隧道内的各类污染物,大幅减少人工干预,提高作业效率。高压水射流清洗技术、超声波清洗技术等新型清洁技术的应用,也能在更短时间内实现更深层次的清洁效果。提高清洁质量则要求清洁设备和技术具备更高的精准度和适应性,隧道内部环境复杂多变,不同区域、不同污染程度的清洁需求各异。清洁设备应具备智能识别功能,能够根据实际情况调整清洁模式和参数,确保清洁效果的一致性和高标准。对于难以触及的角落和缝隙,也需要开发专用的清洁工具和技术,确保全面无死角地清洁。

3.2 降低维护成本与环境影响的需求

在追求高效清洁的同时,降低维护成本与环境影响

也是城市轨道交通隧道清洁维护技术创新的重要方向。降低维护成本要求技术创新能够减少人力、物力和财力的投入,通过引入更高效的清洁设备和技术,可以减少人工清洁的依赖,降低人工成本。优化设备结构和材料选择,提高设备的耐用性和可靠性,减少故障率和维修成本。开发智能化管理系统,实现清洁作业的远程监控和智能调度,也能进一步提高维护效率,降低管理成本。降低环境影响是城市轨道交通可持续发展的必然要求,在清洁维护过程中,应尽量减少对环境的负面影响^[3]。例如,采用环保型清洁剂和材料,减少有害物质的排放;优化清洁作业流程,减少水、电等资源的消耗;开发循环利用技术,对清洗产生的废水、废渣等进行回收处理,实现资源的再利用。这些措施不仅能够降低对环境的污染,还能提升城市轨道交通的绿色形象,促进可持续发展。

3.3 设备创新需求

3.3.1 智能化、自动化设备的研发

智能化、自动化设备的研发是当前设备创新的首要方向。智能化设备能够借助先进的传感器、人工智能算法和物联网技术,实现自主导航、精准识别、智能决策等功能,从而大幅提升清洁维护的效率和精准度。例如,智能清扫机器人可以根据隧道内的实际情况,自动规划清扫路径,避开障碍物,精准清理污染物。通过数据分析与反馈,智能化设备还能不断优化作业策略,提升整体清洁效果。

3.3.2 高效、环保设备的设计与制造

高效、环保是设备设计与制造的重要原则。高效设备意味着在相同时间内能够完成更多工作量,减少作业时间和人力成本。例如,高压水射流清洗机通过高压水流冲击,能够迅速剥离并清除隧道壁上的顽固污渍,提高清洁效率。环保设备则要求在清洁过程中尽量减少对环境的影响。这包括采用低能耗、低噪音的驱动系统,使用环保型清洁剂和材料,以及设计合理的废水、废渣回收处理系统等。通过高效、环保设备的应用,可以推动城市轨道交通隧道清洁维护工作的绿色、可持续发展。

3.3.3 设备的易操作性与维护性提升

设备的易操作性与维护性直接关系到其在实际应用中的效果和寿命。易操作性要求设备设计符合人体工程学原理,操作界面简洁明了,便于操作人员快速上手和熟练使用,设备还应具备智能化的故障诊断和报警功能,能够及时发现并提示潜在问题,降低故障率。维护性方面,则要求设备结构设计合理,易于拆卸和维修,同时提供详尽的维护手册和技术支持服务。通过提升设备的易操作性和维护性,可以降低操作人员的技术门槛

和劳动强度,提高设备的可靠性和使用寿命,从而进一步降低维护成本和提高工作效率^[4]。

4 城市轨道交通隧道清洁维护设备创新方向

4.1 智能化清洁机器人的设计与研发

在城市轨道交通隧道清洁维护领域,智能化清洁机器人的设计与研发正成为引领技术创新的重要方向。智能化清洁机器人需具备强大的环境感知能力,通过集成高清摄像头、激光雷达、红外传感器等多种传感器,机器人能够实时获取隧道内的三维环境信息,包括障碍物位置、污渍分布等,为后续的路径规划和清洁作业提供精确数据支持。先进的导航与定位技术是智能化清洁机器人的核心,利用SLAM(即时定位与地图构建)技术,机器人能够在无预设路径的情况下,自主规划并优化清扫路线,确保全面覆盖且避免重复作业。结合GPS、惯性导航系统等辅助定位手段,机器人能在复杂多变的隧道环境中实现精准定位,确保作业精度。智能化清洁机器人还需具备强大的智能决策与学习能力,通过深度学习算法,机器人能够不断学习和适应隧道内的清洁需求变化,优化作业策略,提高清洁效率。人机交互界面的优化也是智能化清洁机器人研发的重要方向,简洁直观的操作界面和远程监控功能,使得操作人员能够轻松掌握机器人状态,进行远程控制和故障排查,进一步提升了设备的易用性和可靠性。

4.2 多功能集成清洁设备的创新

随着城市轨道交通隧道清洁维护需求的日益多样化,多功能集成清洁设备的创新成为了满足复杂作业需求的必然选择。这类设备通过整合多种清洁功能于一体,实现了清洁效率与作业灵活性的双重提升。一方面,多功能集成清洁设备需具备高效的清洁能力。通过集成高压水射流、吸尘、刷洗等多种清洁方式,设备能够针对不同的清洁对象(如隧道壁、轨道、排水沟等)和污染程度,提供定制化的清洁解决方案。优化的清洗头设计和动力分配系统,确保了清洁效果的最大化^[5]。另一方面,多功能集成清洁设备还需具备良好的适应性和灵活性。设备需具备可伸缩、可旋转等调节功能,以便在狭窄或复杂的隧道环境中灵活作业,模块化设计的应

用也使得设备能够根据不同需求进行功能模块的快速更换和升级,提高了设备的通用性和可扩展性。

4.3 设备材料的轻量化与耐久性提升

在城市轨道交通隧道清洁维护过程中,设备材料的轻量化与耐久性提升对于减轻操作人员负担、降低能耗以及延长设备使用寿命具有重要意义。轻量化设计是提升设备便携性和减少能耗的关键,通过采用高强度、轻质的新型材料(如铝合金、碳纤维等),可以有效降低设备整体重量,减轻操作人员的劳动强度,并提升设备的运输和安装效率。轻量化设计还有助于减少设备运行时的能耗和噪音,提升环保性能。耐久性提升则是确保设备长期稳定运行的基础。隧道清洁维护设备在恶劣的工作环境中需承受高强度、高频率的作业压力,因此必须具备优异的耐磨、耐腐蚀、抗疲劳等性能。通过优化材料配方、加强表面处理和采用先进的制造工艺等手段,可以显著提升设备的耐久性和可靠性,降低故障率和维修成本。

结束语

随着城市轨道交通网络的不断拓展,隧道清洁维护技术面临着更高要求。智能化、多功能化及材料优化的创新方向,不仅提升清洁效率与质量,也降低维护成本与环境影响。未来,期待更多创新技术的应用,为城市轨道交通的安全、高效运行保驾护航,共创绿色、智慧的出行环境。

参考文献

- [1]巨邦盛.城市轨道交通车辆段规模影响因素的相关研究[J].建材与装饰,2017(38):243-244.
- [2]汪亚繁.浅谈城市轨道交通车辆段检修设备的有效维修策略[J].科技与创新,2017(15):82+85.
- [3]张志强.李明.城市轨道交通隧道清洁维护技术的现状与发展趋势[J].铁道标准设计,2023(8):123-127.
- [4]王晓红.王刚.城市轨道交通隧道清洁设备创新研究[J].机械工程与自动化,2023(3):14-17.
- [5]赵翔.孙磊.智能化清洁机器人在城市轨道交通隧道维护中的应用研究[J].自动化与仪表,2023(7):22-26.