

无人驾驶技术在环卫车领域中的应用研究

张 玄

鸿灌环境技术有限公司 江苏苏州 215200

摘要：无人驾驶技术在环卫车领域的应用是智慧城市建设的重要方向。该技术通过感知、决策、执行系统实现环卫作业自动化，能够有效提升作业效率、降低人力成本、增强作业安全性。当前应用仍面临技术适配性不足、协同机制欠缺、环境适应性短板等挑战。需通过优化专用算法、分场景试点推广、完善保障体系等策略，推动技术落地，最终实现环卫作业的智能化转型升级。

关键词：无人驾驶技术；环卫车；环境感知；作业协同；成本控制

引言

随着智慧城市建设的深入推进，环卫作业的智能化转型成为重要趋势。无人驾驶技术凭借在环境感知、路径规划和自动化控制方面的优势，为环卫车领域带来新的发展机遇。通过替代传统人工作业模式，该技术有望显著提升环卫作业的标准化程度与运营效率。然而，环卫作业场景的复杂性、环境多变性以及高成本压力，对无人驾驶技术的实际应用提出了特定要求。系统分析技术适配性、现存问题及落地策略，对推动该技术成熟应用具有现实意义。

一、无人驾驶技术与环卫车的适配性

（一）无人驾驶技术的核心构成

感知层技术依赖激光雷达、摄像头、毫米波雷达、组合导航等设备实现环境信息采集。激光雷达可精准获取周围物体三维坐标，摄像头捕捉图像细节识别物体类别，毫米波雷达在复杂天气条件下仍能稳定探测目标距离与速度，组合导航通过融合惯导和卫导系统实现厘米级定位，这些设备通过数据交互与互补，构建全面的环境感知网络，为后续决策提供准确信息支撑^[1]。决策层技术承担行为决策和路径规划并输出控制指令的功能。路径规划技术依据作业区域地图与任务要求，规划最优行驶与作业路线；障碍物识别与避让技术对感知层获取的信息进行分析，判断障碍物类型与运动趋势并制定避让方案；作业任务调度算法根据区域清洁需求、车辆状态等因素，合理分配作业任务与顺序，确保作业效率与质量。执行层技术负责将决策指令转化为实际动作。整车集成控制模块调节车速、转向、制动以及灯光、语音

等交互系统，保障车辆按规划路线稳定行驶；作业装置自动化操控模块控制扫刷电机、垃圾装卸机构运行等，使环卫车在行驶过程中同步完成清洁作业，实现行驶与作业的协同配合。

（二）环卫车作业的核心需求与技术匹配点

道路保洁作业具有作业路线相对固定、作业速度低等典型特点。无人驾驶路径规划技术可预先录入固定路线信息，结合实时环境调整细节路线，确保车辆沿设定路径精准作业，减少人工驾驶的路线偏差，提升作业覆盖率与一致性，满足固定区域常态化清洁需求。动态环境作业中，垃圾清运等场景面临行人、车辆、临时障碍物等动态因素，无人驾驶障碍物识别技术能实时探测周边动态目标，实时避障技术快速响应并调整局部行驶轨迹，避免与障碍物发生碰撞，保障作业过程中的人员与设备安全，适应动态变化的作业环境。环卫车需在道路、小区、园区等多场景切换作业，不同场景的道路宽度、障碍物类型、作业要求存在差异。基于高精度地图的智能调度及作业任务管理功能可根据场景特点自动调整感知参数、行驶速度、作业模式等，例如在小区场景降低车速、增强近距离感知，在道路场景提升行驶效率，实现多场景作业的顺畅衔接，满足不同区域的清洁需求。

（三）人驾驶环卫车的核心优势

在提升作业效率方面，无人驾驶环卫车能突破人工作业时间限制，摆脱人工疲劳、作息规律等因素影响，实现全天时、全天候连续作业，尤其在凌晨、深夜等低人流时段可正常开展清洁工作，大幅延长每日有效作业时长，提升单位时间内作业覆盖面积，如原本人工每日8小时作业，无人驾驶可实现7*24小时。降低运营成本

层面，无人驾驶环卫车减少对人工的依赖，可显著降低长期人工薪酬支出，如一台车清扫效率可达人工的8-10倍；同时能通过智能算法优化行驶路线与作业节奏，减少不必要的能耗消耗，还可实时监测设备状态，提前预警潜在故障，如提前发现清扫刷磨损并及时更换，减少突发维修成本，实现整体运营成本优化^[2]。保障作业安全上，无人驾驶环卫车可规避人工在高危场景中的作业风险，在高速路清扫场景中能精准控制与车流距离，保持安全缓冲空间，避免人工驾驶可能出现的操作失误；在夜间作业时，依托精准环境感知技术，可有效对光线不足带来的视野局限，降低事故发生概率，保障作业安全，如夜间识别突发横穿道路的小动物并及时避让。

二、人驾驶技术在环卫车领域应用的现存问题

（一）技术适配性不足

现有无人驾驶技术在应对复杂环卫场景时能力存在明显局限。环卫作业常涉及狭窄道路场景，部分老旧小区、背街小巷的道路宽度仅能容纳单车道，且两侧频繁停放私家车、堆放杂物，无人驾驶系统难以及时、精准测算通行空间及障碍物类型，易出现行驶速度骤降、路线偏移等情况，甚至可能因判断失误导致车辆刮蹭。突发障碍物场景更凸显技术短板，作业过程中可能遇到行人随意丢弃的建筑垃圾、临时横穿道路的电动三轮车等突发状况，现有感知系统对这类非标准障碍物的识别准确率，决策系统也无法快速生成最优避让方案，往往需要人工远程干预，不仅影响作业连续性，还增加安全隐患，难以完全匹配环卫场景的复杂需求。

（二）作业协同性欠缺

无人驾驶环卫车与人工保洁、其他市政车辆的协同作业机制尚未完善，导致整体作业效率受限。环卫作业并非单一环节，无人驾驶清扫车完成道路大面积清扫后，仍需人工环卫处理路缘石缝隙、绿化带边缘等局部细节区域的垃圾，但目前缺乏明确的作业衔接流程，无人驾驶车辆无法及时将未清扫死角信息同步给人工团队，易出现责任空白区域；若人工团队未及时清理细节垃圾，又可能导致无人驾驶车辆重复作业，造成资源浪费及监管问题。与市政洒水车、垃圾转运车等协同作业时，各车辆分属不同调度体系，缺乏统一的信息交互平台，作业路线、时间安排缺乏统筹规划，可能出现无人驾驶清扫车刚完成清扫，洒水车就因路线重叠再次冲刷路面，或垃圾转运车未能及时对接无人驾驶车辆导致垃圾堆积，最终无法形成高效协同的作业体系。

（三）环境适应性短板

极端天气会对无人驾驶环卫车的感知设备精度与车辆操控性能产生显著影响。暴雨天气中，雨水会附着在摄像头镜头表面形成水雾，遮挡图像采集视野；激光雷达的探测信号会被密集雨滴干扰，导致对障碍物距离、速度的测算出现偏差，甚至无法识别低矮障碍物^[3]。大雪天气下，路面积雪会改变车辆行驶阻力，影响动力控制模块对车速与制动的调节精度，可能出现刹车距离延长的情况；同时积雪覆盖路面标线与障碍物，感知系统难以区分路面与障碍物边界，增加行驶风险。浓雾天气会大幅缩短感知设备的有效探测距离，原本可提前80米识别的障碍物，在浓雾中可能仅能提前10米发现，导致车辆操控响应时间不足，难以在极端天气下稳定开展作业。

（四）成本与运维压力

无人驾驶环卫车面临较高的初始投入与核心部件维护难度，制约大规模推广应用。相较于传统环卫车，无人驾驶环卫车需搭载激光雷达、高精度GNSS定位设备、摄像头、域控等高价核心零部件，单台车初始采购成本远超传统车辆，对环卫部门的资金预算构成较大压力。核心部件维护同样存在难题，激光雷达内部结构精密，包含大量微机电系统，一旦出现故障，需专业技术人员使用专用设备检测维修，维修费用高昂；部分核心部件依赖进口，配件供应周期长，若车辆关键部件损坏，可能导致车辆长期闲置，影响作业进度。此外，无人驾驶系统的感知数据标注以及软件升级也需持续投入研发资金，进一步加重整体运营成本负担。

（五）数据安全与隐私风险

无人驾驶环卫车在作业过程中采集的各类数据存在安全泄露隐患，引发信息安全与隐私保护问题。车辆行驶与作业时持续采集环境数据，包括道路布局、交通流量、周边建筑外观特征等地理信息，这些数据若未采取严格的加密存储措施，可能被非法获取，对城市基础设施安全构成威胁。作业路径信息记录车辆的行驶轨迹、停留时间，若泄露可能暴露环卫作业规律，影响作业规划的保密性。部分场景下，摄像头采集的环境图像可能包含行人影像、居民小区外观等信息，若数据管理不当，未对敏感信息进行脱敏处理，易出现个人隐私泄露问题，侵犯公民权益，引发社会信任风险。

三、推动无人驾驶技术在环卫车领域落地的策略

（一）技术优化

研发环卫场景专用感知算法需聚焦实际作业需求。

针对马路牙、电线、水管、饮料瓶等小型障碍物，通过大量场景数据训练算法，强化对这类低辨识度目标的识别精度，避免因感知遗漏造成清扫死角或设备磕碰；针对无清晰标线的城乡道路、狭窄小区通道等非标准道路，优化算法对道路边界、通行空间的判断逻辑，确保车辆在复杂路况下仍能保持稳定行驶轨迹，提升技术对多样化环卫场景的适配性^[4]。优化作业决策逻辑要深度结合环卫作业流程。根据不同区域清洁需求差异，调整清扫强度调节逻辑，在商业区等人流密集区域自动提升清扫频率与力度，在居民区则通过降低作业噪音减少对居民生活干扰；针对垃圾倾倒地停靠环节，优化车辆定位与停靠控制逻辑，确保车辆精准停靠在指定位置，减少人工辅助操作，让决策模型更贴合实际作业节奏，提升整体作业效率。增强环境适应技术可改善极端天气作业稳定性。对激光雷达、摄像头等感知设备进行防护升级，降低雨雪、风沙等对探测信号的干扰，让无人驾驶环卫车在复杂天气条件下仍能保持可靠的感知与操控性能。

（二）场景落地

优先在标准化场景试点能降低初期应用风险。封闭、半封闭场景，如公园、工业园区、广场等区域环境简单，道路条件规范且障碍物类型少，作业路线相对固定，适合作为首批试点区域。在这些场景开展应用，既能验证技术稳定性，又能积累实际作业数据，为后续技术优化与场景拓展奠定基础，逐步提升无人驾驶环卫车的实际应用能力。待技术成熟后逐步拓展复杂场景应用。随着技术适配性与稳定性提升，将应用范围向背街小巷、非机动车道、人行道、城乡结合部等复杂环境延伸。针对背街小巷、非机动车道、人行道行人多、道路窄的特点，优化车辆避障与速度控制策略；针对城乡结合部道路状况复杂的情况，强化设备对非标准道路与突发障碍物的应对能力，通过分阶段推进实现技术在不同场景的有效落地。

构建协同作业体系是提升整体效率的关键。建立无人驾驶环卫车与人工调度中心、其他市政车辆的信息互通机制，人工调度中心可实时获取车辆作业状态与位置信息，根据需求调整任务分配；无人驾驶环卫车与市政洒水车、垃圾转运车等共享作业路线与时间安排，避免作业冲突与区域遗漏，形成高效协同的作业模式。

（三）保障支撑

成本控制可通过多路径实现。推动核心部件国产化，减少对进口部件的依赖，降低核心组件采购成本；探索“车路协同”模式，借助路侧设备辅助车辆感知与决策，减少单车上高精度传感器与计算设备的投入，从硬件成本与技术架构两方面降低初始投入，减轻环卫部门资金压力。运维体系建设能保障车辆长期稳定运行。建立专业运维护团队，团队成员需掌握无人驾驶系统与核心部件的维修技术，快速响应故障维修需求；制定核心部件定期检测与更换标准，明确激光雷达、智能控制系统等关键部件的检测周期与更换阈值，提前排查潜在故障，减少车辆闲置时间，保障作业连续性。数据安全保障可防范信息泄露风险^[5]。搭建加密数据传输通道，对车辆采集的环境数据、路径信息进行加密处理，防止传输过程中被非法获取；明确数据存储与使用的安全规范，限定访问权限、规范使用范围，避免数据滥用或泄露，既保障城市基础设施信息安全，又保护个人隐私。

结束语

无人驾驶技术为环卫车领域带来效率与安全的双重提升，是行业智能化发展的必然趋势。虽当前面临技术、协同、成本、数据等多方面挑战，但通过针对性技术优化、分阶段场景落地与完善保障支撑，可逐步破解这些难题。未来随着技术迭代与体系完善，无人驾驶环卫车将实现更广泛场景覆盖，推动环卫作业向智能化、无人化转型，为构建高效、低碳、安全的城市环卫体系注入动力，助力智慧城市建设。

参考文献

- [1] 郑磊, 何昱琪, 杨晶晶. 无人驾驶技术在环卫车领域中的应用研究[J]. 专用汽车, 2025(1): 71-73.
- [2] 刘丽娜. 无人环卫管理模式的应用发展趋势分析[J]. 城市管理与科技, 2022, 23(6): 62-63
- [3] 陈凯. 无人驾驶技术在环卫行业的应用[J]. 专用汽车, 2021(7): 74-77.
- [4] 张智会, 刘璇. 无人驾驶技术在环卫行业应用探讨[J]. 丝路视野, 2021(15): 120-122.
- [5] 成彬. 新时代无人驾驶清扫环卫车的应用[J]. 中国战略新兴产业, 2021(22): 37, 39.