

无人机倾斜摄影在城市道路标线检测中的应用

桂嘉伟^{1,2}

(1.国家发展和改革委员会综合运输研究所,北京 100038;2.中国宏观经济研究院,北京 100038)

【摘要】城市道路标线对保障行人和车辆安全至关重要,标线模糊、残缺会形成严重的交通安全隐患。相较于传统检测设备,无人机凭借其视野全面、作业高效等优势,逐渐成为城市规划与工程建设领域的重要辅助工具,已广泛应用于城市道路交通领域。基于此,梳理政策背景,通过山东省济宁市微山县 S104 部分路段道路标线无人机倾斜摄影检测案例,证实无人机可高效、准确完成道路标线检测作业。同时,指出应用无人机检测城市道路标线的限制,以期为推动无人机在交通领域的广泛应用提供参考。

【关键词】城市道路;道路标线;无人机倾斜摄影

【中图分类号】U412.2;P231

【文献标识码】A

【文章编号】2095-2066(2026)07-0137-03

DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2026.07.046

0 引言

城市道路标线及其作用包括停止线规范停车位置、单黄线分割车道、人行横道保障行人优先通行权等,对于保障行人和车辆安全尤为重要^[1],若标线模糊、残缺,将形成严重交通安全隐患。相较于传统检测设备,无人驾驶航空器(简称“无人机”)具有视野全面、作业高效等优势^[2],逐渐成为城市规划与工程建设领域的重要辅助工具。近年来,无人机倾斜摄影技术广泛应用于城市道路交通领域。国外,Saveliev 等^[3]基于无人机和深度学习模型提出了一套道路交通事故重建方案,Rahnamayiezekavat 等^[4]基于无人机和 k 均值聚类算法开发了一个城市停车场路面标线完整性评估平台;国内,冯子腾等^[5]提出了一种面向无人机影像的道路病害实时检测算法,卢静维^[6]将无人机应用于道路三维测量,訾山山等^[7]将无人机应用于城区道路规划。基于此,本文梳理政策背景,回顾山东省济宁市微山县 S104 部分路段道路标线无人机检测案例,并指出当前应用无人机检测城市道路标线存在的问题。

1 政策背景

1.1 国家政策

国家层面,无人机顶层设计正在逐渐完善。2022 年 11 月 3 日修正的《民用航空空中交通管理规则》指出,无人机飞行活动应遵守有关规定。2024 年 1 月 1 日起施行的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》夯实了无人机管理的法律基础。例如,第 8 条明确从事中型、大型民用无人机系统相关活动需取得适航许可;第 16 条明确小型、中型、大型民用无人机的操控员需经过培训考核、取得相应执照等。2025 年

12 月 11 日,市场监管总局等部门印发《低空经济标准体系建设指南(2025 年版)》,为系统推进低空经济高质量发展作出指引,提出涵盖低空航空器、低空基础设施、低空空域交通管理、安全监管、应用场景等五大领域的低空经济标准体系结构。2025 年 6 月 27 日修订的《中华人民共和国治安管理处罚法》划定了违反飞行空域管理规定行为的处罚尺度。例如,第 46 条明确违规情节较重的处五日以上十日以下拘留,非法穿越国(边)境的处十日以上十五日以下拘留,该条自 2026 年 1 月 1 日起施行。2025 年 12 月 27 日修订的《中华人民共和国民用航空法》在第 34 条、第 56 条、第 61 条、第 258 条分别新增了专门针对无人机的条款,自 2026 年 7 月 1 日起施行。

1.2 地方政策

部分地方先行先试,开展了大量有益的制度尝试。例如,2019 年 3 月 1 日起,深圳市施行《深圳市民用微轻型无人机管理暂行办法》,鼓励和支持行业协会建立无人机行业管理制度。2019 年 5 月 1 日起,浙江省施行《浙江省无人驾驶航空器公共安全管理规定》,要求省公安机关会同有关部门建立信息共享和通报制度。

部分地方迅速行动,明确了发展方向和建设方案。例如,2024 年 1 月 26 日,山东省工业和信息化厅等部门印发《山东省无人机产业高质量发展实施方案》,加快拓展无人机租赁、维修保养、培训等应用场景。2024 年 9 月 30 日,北京市经济和信息化局等 4 部门印发《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案(2024—2027 年)》,统筹规划建设无人机起降场等基础设施。

部分地方及时跟进,提出了无人机管理方法和具体细则。例如,2025年8月3日,北京市人民政府印发通告,将北京市行政区全域列为无人机管制空域。2026年2月1日起,上海市施行《上海市民用无人驾驶航空器飞行安全管理暂行办法》,要求市政府有关单位和各区政府加强民用无人机有关管理工作。2026年3月11日,江西省宜春市奉新县公安局发布了《加强民用无人驾驶航空器登记备案和安全管理的通告》,进一步规范了当地无人机飞行活动。

2 实践案例

2.1 案例概述

山东 S104 省道途径济宁市,是山东省中西部的一条省级干线公路。运用无人机倾斜摄影调研山东省济宁市微山县 S104 滨湖路、红荷路沿线约 10 km 的路段,调研路段如图 1 所示。从图 1 可看出,调研路段依次途径 11 个交叉路口。

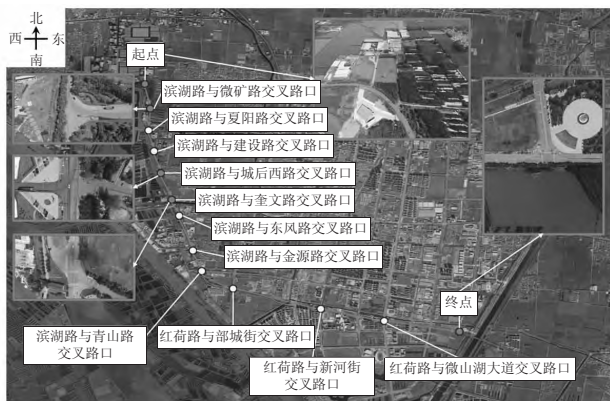


图 1 山东省济宁市微山县 S104 调研路段示意图

2.2 检测情况

无人机倾斜摄影结果表明,部分交叉路口地面标线出现不同程度的模糊、残缺情况,形成严重的交通安全隐患。以下 3 个交叉路口的情况尤为突出:①滨湖路与微矿路交叉路口,共有 3 处停止线标线、1 处单黄线标线、3 处人行横道标线存在不同程度模糊情况,如图 2 所示。②滨湖路与城后西路交叉路口,共有 4 处停止线标线、4 处单黄线标线、4 处人行横道标线存在不同程度模糊情况,如图 3 所示。③滨湖路与奎文路交叉路口,共有 1 处停止线标线、3 处单黄线标线、4 处人行横道标线存在不同程度模糊情况,如图 4 所示。

2.3 反馈及处理

基于无人机倾斜摄影道路标线检测结果,通过政务服务便民热线向济宁市人民政府反映情况。2026年3月13日,经交警支队调查,证实问题存在,

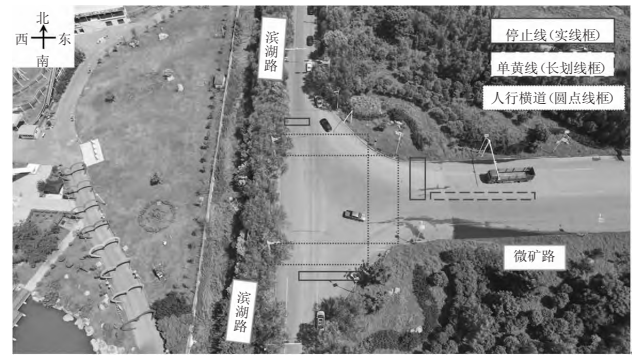


图 2 滨湖路与微矿路交叉路口标线情况

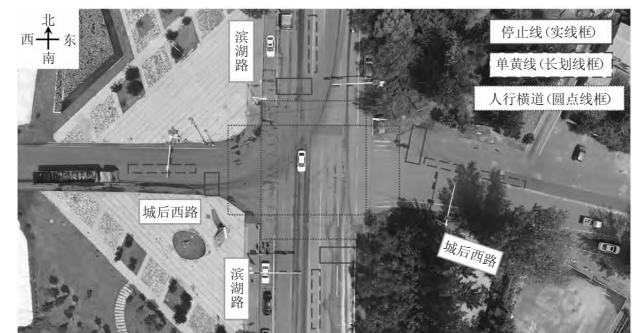


图 3 滨湖路与城后西路交叉路口标线情况



图 4 滨湖路与奎文路交叉路口标线情况

相关部门迅速响应,已将该路段纳入下一批交通管理整改清单。

3 技术应用现存问题

3.1 空域管理限制

当前,城市空中交通管理制度尚不完善,空域管理限制对无人机城市道路巡检影响重大。根据相关法律法规,未经空中交通管理机构(简称“空管机构”)批准,严禁在管制空域飞行。此规定旨在保障城市空中交通安全、有序,避免无人机与各类飞行器碰撞引发事故,是必要的安全保障措施。然而,随着城市重要基础设施安全保障力度增大、低空空域管理逐渐规范,部分城市管制空域呈现数量繁多、分布密集的特征。这导致部分城市道路上方的适飞空域被压缩,限制了无人机的巡检范围和工作效率。在管制空域飞行,须提前向空管机构提交详细飞行计划,包

括操控模式、飞行模式、预计开始时间、预计结束时间、最大飞行高度、通信联络方法、起降及备降场地、应急处置程序、特殊飞行保障需求、通信导航和被监视能力、飞行速度和进出空域方法、指挥控制链路无线电频率及占用带宽、二次雷达应答机或有关自动监视设备代码等大量信息。空管机构对飞行计划进行全面审核评估,其流程烦琐,审核评估通过,获得许可后无人机方可按计划飞行。综上,城市超低空空域管理制度严格、开放空域有限、管制空域飞行申请手续烦琐,空域使用效率亟待提升。

3.2 操控技术限制

城市超低空空域环境复杂,架空线缆、广告牌等静态障碍物众多,对操控员技能要求严苛,具体包括两方面:①空间感知能力和避障技术。操控员需具备卓越的空间感知能力,在脑海中构建大致的三维环境模型,准确判断无人机与障碍物的距离,并执行避障动作,这需要经过大量实操训练积累经验。城市空域内,架空线缆材质多样,操控员通过显示屏难以肉眼分辨其方位;广告牌等障碍物大小形状各异,进一步提升了操控员避障难度。在安全距离有限的情况下,操控员必须精确判断安全距离,时刻警惕,提前规划避障路线并准确操作,确保无人机安全、快速通过。②应急能力和调试技术。无人机飞行途中随时可能出现图传信号中断、无人机动力失控等情况,操控员要冷静迅速决策,例如,信号中断时,快速判断无人机位置状态,立即执行返航或悬停操作,避免发生坠机事故。在飞行前、后应检查、调试设备,飞行中设备出现异常需迅速修复,例如,传感器数据不准时及时校准。为确保无人机在城市超低空空域安全作业,操控员亟须掌握多项技能,提升自身技术水平。

3.3 环境干扰限制

城市低空空域内环境干扰众多,进一步提升了无人机城市道路标线检测的作业难度。常见干扰包括两方面:①静态光照条件变化干扰。清晨或傍晚光照不足,在昏暗背景中无人机难以捕捉反光微弱的道路标线,易出现漏检现象;正午光照过强,白色道路标线容易过度反光,与路面背景融为一体、轮廓模糊,难以分辨,影响作业效果。此外,受季节、天气、湿度等条件影响,光照条件的变化会提升无人机识别的复杂性与难度。②动态障碍物干扰。密集车流中,车辆移动将遮挡标线,同时尾气扬尘会降低能见度,进一步影响检测效果。在阳光照射下,车辆投下的阴

影与标线相似,容易被误识,影响识别准确性。阳光透过路侧树木枝叶在路面形成光斑,其尺寸、形状、位置不断变化,将提升标线检测难度。环境干扰提升了城市道路的不确定性,亟须降低环境不确定性对无人机作业的干扰。

4 结语

城市道路标线是保障行人和车辆安全的生命线,应定期检测,及时排除安全隐患。实践结果表明,无人机倾斜摄影在城市道路标线检测中具有独特的优势与潜力。然而,仍存在空域管理、操控技术、环境干扰等限制,制约无人机应用及低空经济的进一步发展。未来,需持续完善政策法规,加强技术创新,提升无人机应对复杂环境的能力,推动无人机在城市道路标线检测领域的广泛应用,为城市道路交通安全与低空管理提供有力支撑。

参考文献

- [1] 梁先登,祝伟峰.浅谈道路交通安全设施隐患排查与治理[J].低碳世界,2025,15(8):139-141.
- [2] 桂嘉伟.无人机和人工智能在高速公路车流量分析中的应用[J].中国交通信息化,2025(9):97-100,105.
- [3] Saveliev A, Lebedeva V, Lebedev I, et al. An approach to the automatic construction of a road accident scheme using UAV and deep learning methods [J]. Sensors, 2022, 22(13): 4728.
- [4] Rahnamayiezekavat P, Wang Di, Chai Jian, et al. Automated pavement marking integrity assessment using a UAV platform: a test case of public parking[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2025, 24(3): 1594-1605.
- [5] 冯子腾,高焕兵,刘行俊,等.面向无人机影像的轻量化道路病害实时检测算法[J].遥感信息,2025,40(6):104-114.
- [6] 卢静维.基于地面激光扫描与无人机的三维道路测量方法研究[J].科技资讯,2025,23(23):46-48.
- [7] 瞿山山,刘燕飞.无人机测绘技术在市政道路勘测中的应用研究[J].科技与创新,2025(24):208-210,217.

基金项目:中国工程院科技战略咨询项目“综合交通运输体系效率提升战略(二期)”(2025-PP-09);国家发展和改革委员会综合运输研究所基础课题“无人驾驶航空器操控员管理政策研究”(026010)。

作者简介:桂嘉伟(1993—),男,汉族,浙江杭州人,博士研究生,助理研究员,主要从事城市交通、低空经济研究工作。