

无人机航拍技术在高速公路监理现场巡查中的应用研究

鲁 美

云南省公路工程监理咨询有限公司 云南 昆明 650021

【摘要】：高速公路工程建设具有线路长、地形复杂、施工环节多等特点，传统监理现场巡查模式存在效率低、覆盖范围有限、隐患排查不全面等问题。在“智慧交通”“数字基建”等国家战略推进背景下，工程监理行业亟需向智能化、精准化转型。无人机航拍技术以其机动灵活、覆盖范围广、数据获取高效等优势，为高速公路监理巡查工作提供了全新解决方案。当前相关研究多停留在案例描述层面，缺乏系统性能评估与标准化框架构建，本文结合高速公路监理工作实际需求，通过量化对比分析无人机航拍技术的核心优势，阐述其在工程进度管控、质量隐患排查、安全文明施工监督等场景中的具体应用，明确技术应用关键要点并提出标准规范框架，旨在为提升高速公路监理工作质量与效率提供参考。

【关键词】：无人机航拍；高速公路；监理巡查；质量管控；进度监理；智能化转型

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.048

1 引言

传统监理模式难以适应现代高速公路建设的规模化、复杂化需求。无人机航拍技术可凭借高空视角、灵活机动的特点，突破传统巡查限制，实现施工区域全方位、高精度巡查。本文系统研究无人机航拍技术在监理现场巡查中的应用，构建“设备-流程-管理”全链条应用体系，为推动高速公路监理工作智能化发展提供实践借鉴。

2 无人机航拍技术核心优势与高速公路监理需求适配性

无人机航拍技术融合了无人机飞行控制、高清摄像、GPS定位、数据传输与处理等多项技术，其核心优势与高速公路监理巡查对质量、进度、安全的全方位管控需求高度契合，二者的适配性可通过技术优势与监理需求的直接对应关系清晰呈现。

(1) 机动灵活性强：精准适配监理巡查“全覆盖无盲区”需求。高速公路常穿越深山峡谷、高边坡等复杂地形，传统人工与车辆巡查难以抵达部分区域，形成巡查盲区。无人机可根据巡查需求，在不同地形条件下快速起飞、降落，轻松抵达人工与车辆难以进入的区域，实现对施工区域的全方位覆盖，有效破解传统巡查“覆盖不全”的痛点。

(2) 巡查效率高：精准适配监理“高频次常态化”巡查需求。高速公路线路长，传统人工巡查逐标段核查耗时耗力，难以实现高频次巡查。一架无人机单日可完成数十公里路段的巡查工作，是人工巡查效率的5-10倍，大幅缩短了巡查周期，既能满足常态化巡查需求，又能为问题整改预留充足时间，提升监理工作整体节奏。

(3) 数据获取精准：精准适配监理“精准化溯源”需求。工程监理需对施工细节进行精准把控，且需完整的数据支撑后续整改与追溯。无人机搭载的高清摄像头、红外热成像仪等设备，可实现对施工细节的高清拍摄与精准记录，结合GPS定位功能，能够准确标记问题位置与具体参数，为质量隐患排查、进度对比分析提供精准依据，解决传统巡查“数据模糊、溯源困难”的问题。

(4) 成本可控性：精准适配监理“低成本高效能”管理需求。传统巡查模式需投入大量人力、车辆成本，长期运行成本较高。无人机巡查仅需少量操作人员与设备维护成本，长期应用可显著降低监理工作成本，同时提升巡查质量，实现“降本增效”的监理管理目标。

3 无人机航拍技术在高速公路监理现场巡查中的具体应用

(1) 工程进度监理巡查。工程进度管控是高速公路监理工作的重要内容，传统进度巡查需监理人员逐标段实地核查，耗时耗力且易出现数据偏差。无人机通过定期对施工区域进行整体航拍，获取全景影像数据。将不同时期影像进行对比分析，可直观呈现路基、桥梁、路面等施工环节的进度推进情况。结合BIM技术，可快速识别进度滞后部位并及时督促整改。

(2) 工程质量监理巡查。①路基工程质量巡查：路基压实度、填挖坡度、边坡修整等是路基工程质量的关键控制点。传统巡查难以全面覆盖长距离路基路段，且对边坡坡度等数据的测量精度不足。无人机搭载高清摄像头与激光测距设备，可从高空对路基进行全景拍摄，通过影像分析判断裂缝、沉降等问题；利用激光测距精准测量填挖坡度、边坡坡率等参数，与

设计标准对比发现超差。②桥梁工程质量巡查：桥梁墩柱、盖梁、箱梁等部位的施工质量直接关系到桥梁结构安全，传统巡查对于桥梁高空部位的检查需借助登高设备，存在效率低、安全风险高的问题。无人机可轻松抵达桥梁高空部位，通过高清航拍清晰呈现墩柱表面平整度、混凝土浇筑质量、钢筋保护层厚度、箱梁预应力管道布置等细节，及时发现蜂窝、麻面、露筋、裂缝等质量缺陷。对于已建成的桥梁，无人机可结合红外热成像技术检测结构内部隐蔽性缺陷，但该技术存在一定应用局限性：一是设备购置与维护成本较高，难以在中小监理项目中普及；二是检测效果受环境温度影响显著，需在低温环境或夜间无阳光直射条件下开展，且需避开雨雪、大雾等恶劣天气。实际应用中需结合项目规模与环境条件合理选用，必要时搭配传统检测手段提升准确性。③路面工程质量巡查：路面平整度、厚度、压实度以及面层裂缝、坑槽等是路面工程质量的核心指标。无人机航拍可实现对路面的大范围覆盖拍摄，通过影像处理技术分析路面平整度，识别路面裂缝、坑槽、车辙等病害，并精准标记病害位置与范围；结合激光雷达技术，可精准测量路面厚度与压实度，确保路面施工质量符合设计要求。为清晰呈现无人机在质量巡查中的应用效果，下表对比了传统人工巡查与无人机航拍巡查在质量隐患排查中的核心指标。表中数据基于某全长 86 公里高速公路项目 12 个月的实测统计，并结合《公路工程质量监理规范》相关文献数据校正得出，确保数据可靠性。

表 1 核心指标对比表

巡查指标	传统人工巡查	无人机航拍巡查	提升幅度
单公里巡查耗时(分钟)	45-60	8-12	75%-80%
隐患排查覆盖率(%)	65-75	95-98	25%-30%
隐蔽隐患发现率(%)	30-40	80-85	100%-183%
数据记录准确率(%)	85-90	98-99	9%-16%

(3) 安全与文明施工监理巡查：无人机可快速排查高空作业未系安全带、脚手架搭设不规范、临时用电乱拉乱接等安全隐患；通过多期影像对比分析边坡稳定性变化，预警地质灾害。在文明施工方面，无人机可检查围挡设置、材料堆放、渣土覆盖、扬尘控制等情况，督促施工单位整改并作为考核依据。

4 无人机航拍技术在监理巡查中应用的关键要点

(1) 设备选型与调试：设备选型是确保无人机航拍技术有效应用的基础，需结合高速公路监理巡查的

实际需求选择合适的无人机设备。具体选型时，应重点考虑以下因素：一是飞行续航能力，优先选择续航时间在 1 小时以上的无人机，确保能够完成长距离路段的巡查工作；二是影像拍摄质量，选择搭载高清摄像头（像素不低于 2000 万）、具备光学防抖功能的无人机，确保拍摄影像清晰、稳定；三是抗干扰与适应能力，选择具备良好抗风、防雨、防尘性能的无人机，以适应高速公路施工现场复杂的环境条件；四是定位精度，选择搭载 RTK-GPS 定位系统的无人机，确保能够精准标记问题位置；五是载荷扩展性，优先选择支持更换多光谱、气体检测等传感器的机型，为后续拓展生态监测、气体泄漏检测等功能预留接口。设备调试需在正式巡查前完成，重点检查飞行控制系统、定位系统、影像传输系统的稳定性，对摄像头参数、激光测距精度进行校准，结合施工区域地形规划飞行航线，确保巡查过程顺利开展。

(2) 飞行安全管理：飞行安全是无人机航拍技术应用的核心前提，需建立完善的飞行安全管理制度。一是严格遵守国家无人机飞行管理规定，提前向相关部门申请飞行空域，严禁在禁飞区域飞行；二是配备专业的操作人员，操作人员需经过系统培训，具备熟练的飞行操作技能与应急处置能力；三是做好飞行前的环境勘察，了解施工现场的天气条件、地形地貌、障碍物分布等情况，避免在恶劣天气下飞行；四是建立飞行日志制度，详细记录每次飞行的时间、路线、设备状态、巡查内容等信息，便于后续管理与追溯。

(3) 数据处理与应用：无人机航拍获取的影像数据量大，需建立科学的数据处理与应用体系，构建“采集-处理-分析-决策-整改-复核”的完整闭环，确保数据发挥最大价值。具体流程为：原始影像采集→通过 Pix4 Dmapper、Agisoft Metashape 等软件进行拼接、校正、建模→生成高清全景影像、DSM（数字表面模型）、DOM（数字正射影像图）→与 BIM 模型、设计图纸进行比对→结合 AI 算法自动/半自动识别异常问题→生成问题报告单并精准定位→推送至移动监理端→施工单位整改→无人机复核整改效果→数据归档。同时，需重视数据管理的关键要点：一是建立数据管理平台，将处理后的影像数据、问题记录、整改情况进行分类存储，形成标准化的监理巡查台账，实现数据的快速查询、分析与追溯；二是加强数据共享与协同，将航拍数据与监理管理系统、施工管理系统进行对接，实现监理单位、建设单位、施工单位之间的数据共享，提升协同管理效率；三是强化数据安全与隐私保护，制定数据访问权限管理制度，对涉及施工核心信息、

地理信息的航拍数据进行加密存储, 严禁违规外传, 符合数据安全相关法律法规要求。

5 应用效果与优化建议

(1) 应用效果分析: 以某 86 公里高速公路项目为例, 应用无人机巡查一年后, 单公里巡查耗时从 50 分钟缩短至 10 分钟, 效率提升 80%; 隐患排查覆盖率从 70% 升至 96%, 隐蔽隐患发现率从 35% 升至 82%; 累计发现并整改质量安全隐患 126 处, 减少返工成本约 180 万元, 且未发生监理巡查安全事故。航拍影像为责任界定提供精准依据, 推动监理工作向“数据型”转型。

(2) 优化建议: 尽管无人机航拍技术在高速公路监理巡查中取得了良好的应用效果, 但仍存在一些不足, 需从技术、设备、标准、人才等多方面优化完善。

一是深化技术融合应用, 构建智能化监理体系。将无人机航拍技术与 BIM、大数据、人工智能等技术深度融合, 例如结合 AI 图像识别技术, 自动识别施工现场安全帽佩戴、裸土覆盖、高空作业防护不到位等违规行为, 实现问题自动预警; 搭建基于数字孪生的监督管理平台, 将航拍数据与施工动态数据实时联动, 实现施工过程的可视化、智能化管控。

二是提升设备性能, 适配复杂施工环境。加大对无人机设备的研发投入, 研发适应极端环境(如强风、高温、高海拔)的无人机设备, 提升设备的续航能力与影像拍摄精度; 优化传感器集成技术, 降低多光谱、红外热成像等高端传感器的成本, 推动其在中小监理项目中的普及应用。

参考文献:

- [1] 范燕波. 高速公路沥青路面施工监理关键技术与实践[J]. 建设监理, 2025, (11): 55-58.
- [2] 彭子淇. 精细化管理模式在高速公路工程监理中的运用[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(18): 179-181.
- [3] 戴清会, 钱晔. 高速公路桥梁工程监理中的常见问题及对策[J]. 智慧中国, 2025, (08): 42-43.
- [4] 马洪国. 精细化管理理念在高速公路工程监理中的应用[J]. 运输经理世界, 2025, (24): 22-24.
- [5] 张于会. 高速公路监理工作中应急管理机制研究[J]. 湖北应急管理, 2025, (16): 28-30.

三是完善标准规范, 提升技术应用规范性。制定无人机在高速公路监理巡查中的操作规范、数据标准、质量评价体系, 明确设备选型标准、飞行安全要求、数据处理流程、成果验收标准等; 将无人机巡查成果纳入监理正式文件体系, 统一报告模板与归档要求, 提升技术应用的标准化水平。

四是加强人才队伍建设, 推动组织流程变革。建立“飞手+监理工程师”复合人才培养体系, 定期开展无人机操作、数据处理、AI 技术应用等专项培训, 提升监理人员的综合技能; 重塑监理工作流程, 制定标准的无人机巡查计划, 明确巡查周期、覆盖范围、问题处置流程, 将无人机巡查与传统巡查有机结合, 形成“空中+地面”协同巡查模式。

五是强化政策支持, 推动行业智能化转型。相关部门应出台鼓励无人机技术在工程监理领域应用的政策措施, 加大资金投入, 对监理单位购置无人机设备、开展技术研发给予补贴; 搭建行业交流平台, 推广无人机航拍技术的优秀应用案例, 推动监理行业整体向智能化、高效化转型。

6 结论

无人机航拍技术可有效破解传统监理巡查的痛点, 显著提升巡查效率与隐患发现能力, 降低返工成本与安全风险。其成功应用需技术、管理、标准协同推进。未来, 通过与物联网、数字孪生等技术深度融合, 无人机将助力构建“空天地”一体化智能监理体系, 为智慧交通建设与高速公路工程品质提升提供有力支撑。