

无人机遥感技术在铁路智能防洪中的应用

郝崇凯

国家能源集团运输安全监察中心，内蒙古 呼和浩特 010050

DOI:10.61369/ERA.2025070002

摘要： 铁路防洪工作责任重大，意义深远，防洪隐患排查是减少和防止铁路水害发生的最有效途径。针对铁路防洪面临的主要问题，研究无人机遥感技术在铁路防洪隐患排查中的应用，通过无人机倾斜摄影调查实现沿线隐患排查的智能识别和判断，提高巡检效率，可作为铁路部门防洪防灾的重要科技手段。

关键词： 铁路防洪；无人机航拍；智能化

Application of UAV Remote Sensing Technology in Intelligent Flood Control of Railway

Hao Chongkai

National Energy Group Transportation Safety Inspection Center, Hohhot, Inner Mongolia 010050

Abstract： Flood prevention in railways is a significant responsibility with far-reaching implications. Identifying flood risks is the most effective way to reduce and prevent water damage on railways. In response to the main challenges faced by railway flood control, this study explores the application of drone remote sensing technology in identifying flood risks along railway lines. By using oblique photography from drones, intelligent recognition and assessment of potential hazards can be achieved, enhancing inspection efficiency. This technology can serve as an important scientific tool for railway departments in flood prevention and disaster mitigation.

Keywords： railway flood control; UAV aerial photography; intelligence

铁路防洪工作坚持“安全第一、预防为主、综合治理”的原则，其基础是预防，而要做到有效预防，关键是要全面科学排查防洪隐患、识别风险源。北方地区普遍土体保水能力差，山区铁路地质、地貌构造复杂，依靠传统的人工徒步排查隐患，存在作业效率低、检查环境危险、测量精度低、有检测盲区等问题，无法快速系统、全面准确的排查到隐患。

无人机是由人为远程操控或由程序控制飞行的不载人飞行器，具有作业效率高、环境适应性好、测量精度高、机动性强的特点^[1]。近年，无人机应用技术快速发展，在应急救援、环境检测、灾害监测、航拍测绘等领域已广泛应用，电力、石油等行业已实现无人机代替人工进行电力巡线、管道巡查。在铁路行业，通过利用无人机采集影像配合铁路路桥设备检查、路外安全排查、搜山扫危等也取得了一定效果，在多次重大抢险中发挥了较好作用。

一、无人机遥感技术原理

遥感提供的是一种综合的信息，不仅表现在它反映的地学要素——地质、地貌、水文、土壤、植被、社会生态等的综合，它是由互相关联的自然及社会现象所构成的；而且表现在遥感信息本身的综合，即它是不同空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率的遥感信息的综合。无人机低空遥感是航空遥感的一种，一般运行在100米以上、1000米以下，由无人机飞行平台、遥控系统、地面信号接收站和主控制系统组成^[2]，将无人机遥感影像贴合到以卫星影像为底层影像的电子沙盘系统上，具有利用当前卫星定位、通信、网络、遥感等技术实时传输影像及获取数据等功能，

成本低且灵活度高。

运用无人机低空遥感技术采集现场影像与其他技术的区别主要在数据采集和数据处理阶段，其中数据采集阶段需采用倾斜摄影方式，在此过程中同时可引导地面检查人员现场查勘。在数据处理阶段，照片需交由数据中心，集中处理成多类型低空遥感影像，技术人员对影像分析、比对，如需要安排现场复核和处置，对监测结果做好数据记录。

二、现阶段铁路无人机运用情况

铁路作为大型线状构筑物，受周边环境影响较大，与周围的

作者简介：郝崇凯（1989-），男，呼和浩特人，工程师，硕士研究生，主要从事铁路安全管理工作。

环境密不可分。铁路防洪隐患的排查不能只是针对孤立的点，而是需要无人机对整条线路及其周边环境进行统一监测，生成铁路沿线环境的整体模型。通过引入无人机低空遥感技术用于铁路防洪隐患的排查，利用一种安全简单的飞行操作^[3]，获取格式统一、信息丰富、易分析、易存储的影像数据，针对检查问题能提取关键要素进行跟踪比对，以期实现“常态”“实时”“有效”应用的总体方案。

（一）运用现状

将无人机技术运用于铁路巡检，还处于起步阶段，大大提高了铁路设备检查、防洪隐患排查和路外环境监测的能力，但受制于设备造价、控制技术、操作水平等原因，虽然可完成重点地段的可视数据采集，但仍存在不足^[4]。

以国家能源集团铁路管内为例，利用无人机巡检的流程主要包括前期准备、数据采集和数据处理三个阶段。前期准备阶段是根据巡检对象及检测要求，预设控制点位置并规划巡检航线。数据采集阶段利用飞行控制软件实现无人机飞行模式控制和任务管理，利用机载检测设备获取地物信息。数据处理阶段主要是对拍摄结果进行分析。目前国内主要采用两种方式对无人机拍摄结果进行分析，一是通过人工识别或智能识别技术对拍摄影像进行分析，查看环境信息，识别结构状态，判断是否发生病害。二是建立三维模型，直观展示检查对象整体情况，可进行坡度、距离等查询^[5]，判断地质灾害规模，还可通过对比不同时段的模型，分析检查对象和周边环境的变化情况。

据统计，2024年国家能源集团铁路板块有6处Ⅱ级防洪重点地段，近三年发生严重水害处所共计31处（无人机排查三级防洪点效果见下图1），沿线周边环境复杂多样、沟壑相连，其中高大护坡地段共计20处，分布主要集中在各管辖范围内山区铁路地段，主要特点为通行道路困难、深路堑及高路基地段；上游水库堤坝等重点地段共计72处，涉及桥涵56座，并形成了防洪关键处所分析报告，制作了隐患排查提示卡。根据当前状况^[6]，提示可能发生的灾害及日常检查重要项点并给予处理提示，结合防洪网格化精细管理的内容，将提示卡分发至各网格管理员，加强了隐患排查的科学性、针对性。通过无人机排查与人工巡检相结合的方式，大大节省了防洪隐患排查的时间，之前四人一组用时一天翻山越岭才能完成排查的防洪关键地点，现在只需15分钟就能完成排查任务，不仅提高了作业效率，也保障了作业人员的安全，保证了防洪排查的全覆盖^[7]。

（二）存在的问题

铁路防洪工作通过借助智能信息化技术改进了防洪工作内容和工作效率，体验到了高科技带来的便利，同时也发现了一些问题。一是无人机数据采集与更新不够，缺乏连续性、周期性，不能形成数据有效对比和信息系统管理；二是目前对结果主要采用人工分析、研判的方式，效率较低，易产生误判、漏判；三是应急响应不够^[8]，发现险情或发生灾情，不能立即采取无人机手段进行快速检视；四是数据利用率不够，采集数据无规范无标准分析方法，导致无人机规范化作业与管理难度较大。

三、无人机遥感技术在铁路智能防洪中应用实例

（一）针对场景编制飞行任务书

防洪隐患排查目的是及时发现路基、桥梁、隧道、涵渠等设施及周边环境的病害和不良状态，以便及时采取加固和安全防范措施，提高设施抗洪能力，确保汛期行车安全。管内包神铁路包神公司瓷窑湾站、三岔站附属设备风化较多，站内排水沟、护坡挡墙等地段年久失修情况较为突出；朔黄铁路原平分公司神池南—龙宫区域小半径曲线多线路、高挖深填、桥隧相连弯道最多、环绕山区依山傍河自然环境最为恶劣；新朔铁路点岱沟站、南坪站因多次站改影响，影响基础设备抗洪能力稳定。综合历年水害发生类型、区域及降雨频次等方面综合研判，2025年仍需重点朔黄铁路西柏坡—定西区域；新朔铁路南坪—点岱沟区域，包神铁路三岔—贺职区域^[9]。

根据桥路设备检查和地灾排查不同的环境条件、任务性质、检查要求进行应用场景分类，对每一种应用场景的目标区域制定飞行周期、飞行方式、完成状态等航拍标准和量化参数，据此开发专用飞控软件，编制飞行任务书，实现一键式起飞、自动定位绕避、自主定点拍摄、自动返航等“傻瓜式”操作，再次执行同区域、同类型任务时，只需调用任务书便可实现目标区域相同角度、相同参数的数据采集，减少飞行风险，降低操作难度。飞行任务书保存为飞控设置文件，根据任务目标选择调用。目前共设置了地质灾害排查、河岸和堑坡排查、路基和安防巡查、高大桥梁特殊部位检查、抢险应急直播等五类应用场景。

（二）组织开展飞行任务

飞行任务组织方式为任务规划→任务准备→任务执行→任务结束。站段由路桥科下达计划、由车间组织任务实施、检查（检测）工区执行飞行任务^[10]。

1. 任务规划。主要包括环境信息、飞行约束、任务目标以及理论结果四部分。依据应用场景，确立任务目标，设置采集影像数据区域，计算该任务模块飞行作业时间，保证其采集影像符合影像数据质量要求，以提高检查效率和专业化程度。

2. 任务准备。分内场、外场两步执行。内场准备：工区执飞人员对任务规划所设定的飞行路线在飞行模拟器或电子地图上推演操作，确定各起飞点到达路径，复核有无区域禁飞限制，需使用无人机和配套电池数量、后备电源、存储器等辅助设备，结合交通情况、气象预报、人员配置、特殊情况处置等编制上报车间具体作业计划。外场准备：现场复核起飞地点，普速区段距线路中心线50米、高速区段距线路中心线100米以外，上升、降落通道100米范围内不得有广播电视信号塔，无线通讯基站、变电站、高压线塔、建筑塔吊。起飞场地面积不小于2m×2m，选择地势平坦、无植被覆盖的地面铺设飞行毯以便于无人机自动返航寻点。天气情况应满足飞行条件，雷、雨、雪、大雾天气不得进行作业。

3. 任务执行。一是倾斜摄影工程设定与调用。除高大桥梁检查和应急直播两个应用场景采用手控飞行，以及其他应用场景需抵近精细观察部位手控飞行外，其余飞行任务都可使用专用飞控

软件设置倾斜摄影航拍,实施自动飞行。飞控软件具有拍摄完成自动返航、工程手工终止及返航、低电量自动返航、飞控信号丢失自动返航、自主避障悬停、超5级风速自动返航等功能。二是严格做好三项确认。目标确认:必须确认调用的工程存档文件是否匹配当前任务区域。高度确认:无论首次或历次执行前,必须手控将无人机拉升到设置的飞行高度,环视地形或沿工程边界巡视一周,确认是否有建筑物、高压线缆、地形地貌变化等造成飞行安全高度不足的情况。起飞点确认:飞行高度和区域是按当时的起飞点计算并自动执行的,不得任意改变,固定起飞点应采取编制台账、记录坐标数据,电子地图标注,设置固定标识等方式,便于飞行组查找、核对。三是飞行质量卡控。每次飞行后,检查任务执行情况,将存储卡取出,影像拷贝至平板电脑上,避免下次飞行时已拍摄影像丢失或被覆盖。检查拍摄影像效果,如出现漏拍或影像不清晰,应安排重新补拍。

4. 任务结束。飞行任务后及时整理飞行日志,详细记录当日飞行作业的起止时间、飞行架次、飞行时间、天气状况、作业过程、数据采集量、环境变化等情况。整理采集数据,检查当日拍摄的影像,编写影像处理注意事项文档,将拍摄的影像以及影像处理文档按任务分组打包压缩后,上传至数据处理中心。飞控设置文件如有改变,及时上传替换飞控文件库原文件。

(三) 飞行数据分析应用

通过采用无人机建立了部分防洪重点地段影像数据库,获取

了该区段山体激光雷达点云图,直观观察到山体危岩、滑坡灾害的整体情况,同时建立三维地质模型,进行落石、滑坡灾害的定性、定量分析,明确可能发生灾害的区域范围,对存在落石隐患的处所采用增设主被动护网的方式消除隐患,同时地面数字模型为方案的制定及实施提供了支撑。

四、结论

铁路无人机应用技术拓展了铁路防洪隐患排查的宽度和深度,提高了铁路防洪的智能化水平。经过多年的经验积累,已实现无人机巡检结果与遥感相结合的图像处理模式,对无人机航拍区段、航拍周期、现场操控方案、数据分析处理等环节进行了逐步规范。未来,应在数据与模型融合技术、智能识别技术、建立铁路无人机巡检系统、统一巡检标准等方面开展进一步研究。采用统一平台对铁路桥梁、轨道、路基及沿线地质灾害、周边环境的高清图像数据、激光雷达点云数据以及三维数字化模型进行处理,提高铁路安全隐患与风险源的智能辨识能力,同时将有关技术、方法进行归类汇总编制成作业指导书,全面提高一线职工的业务技能水平,促使全员防洪业务素质和技术水平得到提升。

参考文献

- [1] 侯海方. 无人机在高铁桥隧设备检查中的应用与展望 [J]. 铁道运营技术, 2020, 26(3):44-46.
- [2] 耿小平, 王波, 马均鑫, 等. 无人机倾斜摄影测量技术在桥梁施工现场中的应用研究 [J]. 现代测绘, 2017, 40(4):27-31.
- [3] 王栋, 张广泽, 徐正宣, 等. 基于时间序列 InSAR 技术的铁路地质灾害识别研究 [J]. 地质灾害与环境保护, 2019, 30(3):85-91.
- [4] 邓继伟. 无人机航拍在铁路工程中的应用 [J]. 铁道勘察, 2020, 59(3):23-27.
- [5] 武岳龙, 钟凡, 高月, 等. 无人机航拍在铁路日常巡查中的应用 [J]. 科学技术创新, 2023(8):24-25.
- [6] 李斌, 张俊武, 王爽. 铁路防洪防灾无人机智能巡检关键技术应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2025, 22(03):1-8.
- [7] 石越峰, 危凤海, 付卫霖, 等. 面向防洪管理的铁路无人机巡检体系研究与应用 [J]. 铁道建筑, 2022, 62(04):120-125.
- [8] 段炼. 铁路防洪安全监控管理系统及应用 [J]. 湖南科技学院学报, 2018, 39(10):52-53. DOI:10.16336/j.cnki.cn43-1459/z.2018.10.022.
- [9] 张翠兵. 铁路防洪应急管理系统研究与应用 [J]. 中国铁路, 2015, (03):66-70.
- [10] 陈显行, 高至飞, 胡朝鹏, 等. 基于无人机多模态数据的铁路防洪隐患排查系统研发 [J]. 铁道勘察, 2024, 50(05):156-162.