

基于无人机遥感的水利防汛抢险应急监测技术优化研究

吴晨鹏 何春霖 董嘉晨

江苏省防汛防旱抢险中心（江苏省防汛抢险训练中心） 江苏 南京 210000

【摘要】提升防汛抢险应急监测能力，本文研究无人机遥感技术在该领域的应用。明确技术核心框架与工作原理，涵盖空中、地面控制及数据后处理系统，分析时效强、分辨率高、机动灵活的应用特性。立足现有应用现状，指明数据传输、环境适应性等技术瓶颈，从时效性、精度、适应性及数据共享角度提出优化方向。开展场景应用设计与效果验证，证实优化技术的效能提升，可支撑防汛决策全流程。相关研究显示，技术具备广阔推广前景，可成为水利防汛监测的核心技术保障。

【关键词】无人机遥感；防汛抢险；应急监测；技术优化；数据共享

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.051

我国洪涝灾害频发，汛期洪水易引发重大人员伤亡与财产损失，干旱等衍生灾害同样威胁水资源安全。传统防汛监测依托现场视察与卫星遥感，存在信息滞后、精度不足、复杂区域适配性差等缺陷，无法满足应急决策要求。无人机遥感技术凭借自身优势，为防汛抢险监测开辟全新路径。本文剖析技术基础，挖掘应用瓶颈，提出针对性优化方案，目标在于完善技术体系，增强防汛监测效能，为应急处置提供科学可靠的技术支撑。

1 无人机遥感防汛抢险应急监测技术基础

1.1 核心技术构成与工作原理

无人机遥感（Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing, UAV RS）防汛抢险应急监测技术核心包含空中控制系统、地面控制系统和数据后处理系统^[1]。空中控制系统涵盖遥感传感器系统与飞行平台，前者配备通信设备、影像获取设备，后者搭载垂直陀螺、全球定位系统（Global Positioning System, GPS）接收天线和微处理器，可维持稳定飞行姿态并实现定位功能；地面控制系统借助航迹规划子系统提前设定航摄路线，飞行阶段由地面控制子系统实时呈现电子地图、飞行参数及航迹，数据接收显示子系统同步记录并下传所有飞行与导航数据；数据后处理系统依靠派克斯 4D (PIX4d)、像素网格 (PixelGrid)、自动摄影测量系统 (APS)、交互式摄影测量系统 4.2 (IPS4.2)、ARC 影像处理软件 (ARC inpho)、数字摄影测量网格系统 (DPGRID)、map-at 等专业摄影测量软件及工作站，处理、建模并分析获取的遥感数据。技术工作原理整合无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通讯技术、GPS 差分定位技术和遥感应用技术，自动化、智能化快速获取防汛抢险所需空间地理信息，经数据处理后服务于应急决策。

1.2 防汛抢险场景下的技术应用特性

防汛抢险场景中，无人机遥感技术呈现鲜明应用特性（见

图 1）。时效性上，可针对重点河段、蓄滞洪区等关键区域定期定点航拍，动态实时传输影像数据，解决传统监测信息滞后难题，支撑汛期防洪排涝决策^[2]。分辨率上，能在 1000 米以下低空飞行，近距离采集高分辨率、高清晰度地面影像，清晰展现河道地形、堤防险工险段、洪水淹没范围等细节。机动灵活性上，可快速抵达偏僻、交通不便的出险空域，克服人员短缺等不利条件，立体观测防汛关键区域状况。适应性上，多雨多云的汛期环境下，可在满足一定亮度要求的前提下获取有效监测数据，契合防汛应急监测的特殊环境需求。

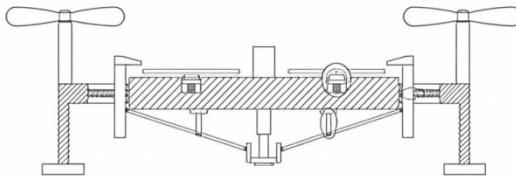


图 1 无人机遥感技术

1.3 现有技术应用现状与适配性分析

无人机遥感技术当前在防汛抢险应急监测中已形成一定应用基础，可完成洪水淹没区面积测算、洪涝受灾情况调查、堤防险段排查等核心任务。日常防汛检查工作中，可辅助开展蓄滞洪区地形地貌勘察、水库及堤防隐患排查等工作，为应急处置储备基础数据。适配性层面，快速响应能力契合防汛抢险应急事件的突发性需求，高分辨率影像满足险情细节识别标准，机动灵活特点适配复杂河段、偏远区域的监测场景。极端暴雨、强风等恶劣天气下，技术应用存在局限，针对干旱监测等防汛相关延伸场景的支撑能力较弱，2010 年西南五省特大干旱中，常规监测与卫星遥感未能全面覆盖干旱细节，无人机技术在此类场景的适配性需进一步强化。

1.4 无人机遥感与传统监测技术的对比优势

无人机遥感在防汛抢险应急监测中优势显著，传统防汛监测以现场视察、卫星遥感为主要手段。现场视察存在局部调查

片面性问题，地形复杂区域作业效率低、风险高；卫星遥感数据多为存档数据，时效性欠缺，难以满足应急决策的实时需求，且受天气影响明显，汛期多雨多云天气下难以获取清晰数据^[3]。无人机遥感技术时效性突出，可实时传输监测数据，弥补卫星遥感的滞后短板；分辨率更高，可提供近地面高清影像，捕捉险情细节，解决传统监测精度不足问题；效率优势显著，可快速完成大范围监测任务，降低人工劳动强度，尤其适用于交通不便、地形复杂的涉水区域；低空飞行可规避部分恶劣天气影响，获取更稳定的监测数据，为防汛抢险提供可靠技术支持。

2 水利防汛抢险应急监测技术现存问题与优化方向

2.1 应急监测中的技术瓶颈剖析

无人机遥感在水利防汛抢险应急监测中面临多项技术瓶颈。数据传输环节，数据链路传输能力不足，高分辨率影像和高清录像的实时下载、显示与测量难以高效开展，阻碍应急救助工作的快速推进；水环境信息提取技术尚未成熟，针对洪水期水体污染因子、地表植被状况、干旱指数等关键指标的提取能力有限，无法满足深层次监测需求；复杂环境适应性薄弱，强风、暴雨、浓雾等极端天气条件下，飞行稳定性和数据获取质量受干扰，无法有效完成监测任务；数据共享机制不健全，不同水利管理部门之间数据互通性差，难以凝聚监测合力；干旱监测等延伸场景中，技术应用深度不足，未形成完善的监测指标体系和数据处理流程。

2.2 数据获取时效性优化方向

数据获取时效性优化需从技术升级和流程优化双维度推进。技术维度，提升无人机飞行平台的机动性能和响应速度，优化航迹规划算法，实现监测区域的快速覆盖和重点区域的精准定位，压缩从任务启动到数据获取的时间周期；强化数据传输技术，采用更高效的通信模块和传输协议，提升数据链路的传输速率，实现高分辨率影像和实时视频的快速下传，匹配应急决策的即时性需求。流程维度，构建防汛抢险应急监测快速响应机制，提前预设重点河段、蓄滞洪区等关键区域的监测航线和任务参数，险情发生时可立即启动监测任务，减少准备耗时，保障数据获取的及时性。

2.3 监测分辨率与精度提升路径

监测分辨率与精度提升需依托设备升级和技术优化。设备维度，为无人机配备更高分辨率的可见光相机、高光谱传感器及激光雷达（Light Detection and Ranging,LiDAR）等先进设备（见图2），增强对水体边界、堤防裂缝、植被覆盖变化等细节的捕捉能力；优化飞行平台的姿态控制技术，提升飞行稳定性，降低飞行过程中抖动对影像质量的干扰，保障数据采集质

量。技术维度，改进数据后处理算法，结合GPS差分定位技术和摄影测量软件升级，提高影像拼接、三维建模的精度，实现洪水淹没面积、受灾范围等数据的精准测算；建立监测数据校准机制，通过地面控制点校验和多源数据融合，修正监测误差，增强数据的可靠性。

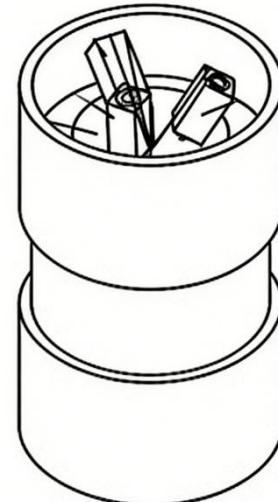


图2 激光雷达

2.4 复杂环境适应性优化重点

复杂环境适应性优化需聚焦飞行平台和监测设备的防护升级与技术适配。针对极端天气，研发具备抗风、防雨、防雾功能的无人机机型，强化机身稳定性和设备防护性能，确保强风、暴雨等恶劣条件下可安全飞行并获取有效数据；优化无人机导航系统，融合惯性导航、GPS导航等多模式导航技术，提升信号遮挡区域的定位精度，破解复杂地形下的导航难题。建立复杂环境监测应急预案，根据不同天气和地形条件，预设差异化的飞行参数和监测方案，山区河段调整飞行高度和航线密度，暴雨天气优化影像曝光参数，提升技术在复杂场景下的适配能力。

2.5 数据传输与共享机制优化思路

数据传输与共享机制优化需构建标准化、一体化的技术体系。传输维度，采用第五代移动通信技术（5th Generation Mobile Communication Technology,5G）等高速通信技术，结合边缘计算节点部署，降低数据传输延迟，实现监测数据的实时上传与分发；建立数据压缩与加密传输技术，在保障数据质量的前提下，提升传输效率，确保数据传输的安全性和完整性^[4]。共享维度，制定统一的水利防汛监测数据标准，规范数据格式、分类及存储方式，实现不同部门、不同设备采集数据的互通互认；搭建一体化数据共享平台，整合无人机监测数据、卫星遥感数据、地面监测数据等多源信息，设置分级访问权限，便于各级水利管理部门实时获取、查询和应用监测数据，形成防汛抢险

应急监测的协同合力。

3 优化技术的应用验证与实践价值

3.1 优化方案的防汛场景应用设计

优化后的无人机遥感监测技术针对不同防汛场景特性实施精准化、定制化设计，最大化发挥监测效能。洪水险情监测核心场景中，选用搭载 2000 万像素以上高分辨率光学相机与高精度激光雷达的工业级无人机机型，预设重点堤防迎水坡、蓄滞洪区进出口、河道卡口狭窄段等关键区域的自动化巡航航线，配合 AI 智能识别算法实时捕捉管涌、裂缝等险情，同时利用激光雷达数据快速构建三维地形模型，结合水位传感器数据精准测算洪水淹没范围、水深分布及地势低洼区域积水情况。干旱监测场景中，为无人机配置高光谱传感器，优化归一化干旱指数、植被供水指数及蒸发率等关键指标的提取算法，构建多维度干旱监测指标体系，动态追踪并量化评估土壤墒情、作物受旱程度及旱情发展趋势。应急抢险场景中，建立“指令接收-设备自检-起飞执行”的快速响应机制，无人机接到指令后 5-10 分钟内可完成起飞准备，通过 4G/5G 实时数据传输平台将高清险情影像和关键监测数据同步至防汛指挥中心，为抢险队伍调度、物资投放规划提供即时支持。针对跨区域防汛协同需求，设计多机协同监测方案，通过主从机数据互联实现大范围、高密度的监测覆盖，解决单一无人机监测范围有限的问题。

3.2 对防汛抢险决策的支撑作用

优化后的无人机遥感监测技术以“实时化、精准化、协同化”为核心优势，为防汛抢险决策提供全方位、多层次的技术支撑，显著提升决策的科学性与时效性。依托实时传输的 4K 高清影像和毫米级精度监测数据，防汛指挥部门可直观、清晰掌握洪水淹没范围的动态变化、堤防险工险段的具体分布、受灾区域的房屋及人员被困情况等关键信息，快速完成险情等级评定和发展趋势预判，规避传统监测“信息模糊、判断滞后”的问题。基于激光雷达构建的三维地形模型，结合水文动力学模型可精准模拟洪水演进路径和淹没时序，为分洪闸调度、蓄

滞洪区启用、人员转移安置路线规划等关键决策提供量化科学依据。干旱防治工作中，连续动态的旱情监测数据可帮助水利部门提前 15-20 天预判旱情发展趋势，为水库生态补水、跨区域水资源调度、抗旱灌溉措施制定提供精准数据参考。搭建的多源数据共享平台，打破水利、应急、气象等部门之间的信息壁垒，实现监测数据、气象数据、水文数据的实时融合共享，各级管理部门可协同开展数据研判，形成统一、高效的决策方案，减少决策的盲目性和滞后性，为最大限度降低防汛抗旱工作中的人员伤亡和财产损失筑牢保障。

3.3 优化技术的推广前景与应用建议

优化后的无人机遥感监测技术推广前景广阔，适用于全国各类江河、水库、蓄滞洪区的防汛抢险应急监测，地形复杂、交通不便的偏远地区可充分发挥其机动灵活、高效精准的优势，“十三五”水利信息化建设背景下，技术可逐步替代部分传统监测手段，成为水利防汛监测的核心技术之一^[5]。为推动技术推广应用，提出相关建议：加强技术培训，提升水利管理部门工作人员对优化后技术的操作能力和数据解读能力；加大资金投入，支持无人机设备升级、数据共享平台建设和技术研发，持续完善技术体系；建立试点应用机制，在重点流域和防汛关键区域开展试点应用，总结经验后逐步推广；完善相关技术标准和管理制度，规范技术应用流程和数据共享机制，保障技术应用的规范性和安全性，推动其在水利防汛抢险应急监测中释放更大效能。

4 结语

无人机遥感技术在防汛抢险应急监测中已彰显突出价值，多系统协同的技术架构有效弥补传统监测手段的不足。技术当前虽面临数据传输、复杂环境适配等瓶颈，但通过技术升级、流程优化与机制完善，已实现监测效能的显著提升。优化后的技术可精准支撑洪水、干旱等场景监测，为决策提供关键数据。未来，通过强化培训、加大投入与完善标准，技术将在水利防汛领域广泛推广，成为防汛抢险的核心技术力量，助力我国水旱灾害防御能力提升。

参考文献：

- [1] 何权堃.变电站无人机巡检工作及应用[J].中国科技信息,2025,(21):30-32.
- [2] 李航天.面对防汛新挑战交出安澜新答卷[N].中国应急管理报,2025-10-24(006).
- [3] 廖臻,廖明发.宁化县:无人机赋能,防灾减灾添“利器” [J].安全与健康,2025,(08):39-40.
- [4] 王蕾,梁达.无人机遥感技术在防汛救灾中的综合应用[C]//河海大学,北京水利学会,北京应急管理学会,天津市水利学会,天津市应急产业联盟.2024 首届水旱灾害防御与应急抢险技术论坛论文集.黄河水利委员会三门峡库区水文水资源局,2024:392-398.
- [5] 张洪浩,陈武奎.工程测绘中无人机遥感测绘技术的应用[C]//水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心,《中国防汛抗旱》杂志社,中国水利学会减灾专业委员会.第十四届防汛抗旱信息化论坛论文集.焦作市黄河华龙工程有限公司,2024:743-745.