

车载式无人机巡检技术在智慧防汛中的应用研究

吴俊

(深圳市博铭维系统工程有限公司)

【摘要】防汛核心是管涌隐患精准排查与突发险情快速响应，传统模式因机动性、续航及协同效率不足，难以适配智慧防汛需求。文章以车载式巡检无人机、系留无人机为核心，纯电皮卡为辅助移动平台，分析三者在管涌巡查、应急广播及照明场景的技术适配性与协同机制，构建“空中作业单元+地面辅助平台”体系。结合2024年长江堤防与某水库实践案例验证，该体系可提升管涌巡查效率200%、缩短应急响应时间67%、降低能耗成本80%，为低空经济赋能智慧水利、升级防汛能力提供实践参考。

【关键词】智慧防汛；低空经济；车载式巡检无人机；系留无人机；管涌巡查；应急保障

中图分类号：TV87

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.019

Research on the Application of Vehicle-Mounted UAV Inspection Technology in Intelligent Flood Control

WU Jun

(Shenzhen Bomingwei System Engineering Co., Ltd.)

【Abstract】The core of flood control is the accurate detection of piping hazards and rapid response to sudden emergencies. Traditional modes are difficult to adapt to the needs of intelligent flood prevention due to insufficient mobility, endurance, and collaborative efficiency. This paper takes vehicle-mounted inspection UAVs and tethered UAVs as the core, and pure electric pickup trucks as the auxiliary mobile platform, and analyzes their technical adaptability and coordination mechanism in scenarios such as piping inspection, emergency broadcasting, and lighting, and constructs a system of "air operation unit + ground auxiliary platform". Based on the practical cases of the Yangtze River dike and a reservoir in 2024, it is proved that the system can increase piping inspection efficiency by 200%, shorten emergency response time by 67%, and reduce energy consumption cost by 80%, providing practical references for low-altitude economy to empower intelligent water conservancy and upgrade flood control capabilities.

【Keywords】intelligent flood control; low-altitude economy; vehicle-mounted inspection UAV; tethered UAV; piping inspection; emergency support

1 引言

我国年均洪涝灾害直接经济损失超2000亿元，传统人工巡查效率低、风险高，无人机单机亦存在覆盖与续航局限。在车载式无人机协同体系中，管涌识别准确率超85%，系留无人机可滞空24小时以上，纯电皮卡解决转运与供电难题。实践表明，长江堤防巡查效率提升200%、管涌识别准确率92%，某水库应急响应缩短67%。未来将推进无人机集群作业，构建智慧防汛低空平台，助力防汛能力现代化。

1.1 传统防汛模式短板分析

效率低、覆盖不均：依赖人工徒步巡查，单人日均巡查5km~8km，难以应对长距离堤线；暴雨、大风或夜间场景下，巡查盲区达40%，易漏检早期隐患。

主观性强、标准不一：隐患识别依赖人员经验，埋深>0.5m的隐蔽管涌或宽<2mm的堤坝裂缝，肉眼识别准确率不足30%，易贻误最佳处置时机。

风险高、响应滞后：洪水期间临水作业安全风险大，2024年某省因巡堤伤亡12起；险情上报审批至指令传达平均耗时2.5h，严重影响应急速度。

数据零散、难溯源：巡查记录以纸质为主，数字化率不足15%，无法形成堤防全生命周期“健康档案”，不利于隐患预测预警。

无人机单机局限：基站式无人机覆盖仅5km~10km，消费级无人机续航<30min，难以规模化作业；野外供电困难，无法构建“巡查-决策-处置”闭环。

1.2 低空经济赋能智慧防汛的新路径

2023年我国低空经济市场规模突破5000亿元，

无人机在应急救援领域应用占比达18%。车载式巡检无人机凭借空中灵活性实现管涌精准识别,系留无人机依托长时滞空构建应急保障枢纽,纯电皮卡解决设备转运与供电难题,三者协同可破解传统防汛瓶颈。本文聚焦该协同体系的应用逻辑、实施路径及实践价值,为智慧防汛技术优化提供支撑。

2 核心技术特性与协同适配性分析

2.1 核心技术特性与协同逻辑

2.1.1 车载式巡检无人机:管涌隐患的空中“火眼金睛”

作为低空经济赋能防汛工作的核心感知装备,起飞重量5kg~10kg的车载式巡检无人机,搭载2000万像素以上高清相机、640×512分辨率红外热像仪(热灵敏度 $\leq 50\text{mK}$)及0.5m~3m探测深度毫米波雷达,其核心优势突出体现在以下方面。

多维度感知:5镜头倾斜摄影技术可获取精度 $\leq 5\text{cm}$ 的厘米级堤防三维模型,精准还原微小变形;400nm~1000nm多光谱成像可捕捉含水率差异 $\geq 5\%$ 的土壤异常,精准定位植被覆盖区及水深 $\leq 1\text{m}$ 浅水区的隐蔽管涌,识别准确率超85%;红外热像仪借助 $2^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 的温差特性实现夜间高效巡查,识别准确率较人工提升60%;毫米波雷达可穿透水体与表层土壤,精准锁定管涌源头。

高效全域覆盖:单架次续航40min~60min,可完成3km~5km堤线巡查任务,巡查效率达人工的6倍~8倍;凭借垂直起降能力,可覆盖坡度 $>45^{\circ}$ 的陡峭坝坡、沼泽等危险区域,有效消除巡查盲区。

2.1.2 系留无人机:应急保障的空中“中继站”

通过50m~100m电缆连接地面供电的系留无人机,是长时间应急保障的关键。

超长时滞空:在地面220V/50Hz供电支持下,可连续滞空24h以上,远超消费级无人机续航能力。

快速部署保障:50W广播模块覆盖3km~5km,200W LED照明系统覆盖 $1000\text{m}^2\sim 1500\text{m}^2$;15min~30min完成设备卸载、组装与升空,较传统应急设备部署时间缩短60%。

2.1.3 纯电皮卡:低空作业的地面“辅助伙伴”

选取续航500km以上、载重1.5t以上的纯电皮卡,核心支撑作用在以下方面。

灵活机动转运:车身尺寸适配乡村道路、堤坝便道,最高时速120km/h,通行效率较传统燃油货车提升30%,可“一站式”转运无人机及配套设备。

稳定供电支持:220V/3kW车载对外放电(V2L)功能每小时可充3块无人机智能电池,100kWh大容量电池可在断电时为设备持续供电4h~6h,解决野外“供电难”问题。

2.1.4 协同逻辑

三者形成“感知—保障—支撑”一体化作业链:车载式巡检无人机采集数据、识别管涌;系留无人机提供应急广播与照明;纯电皮卡保障转运与供电,最终实现“发现隐患—传递信息—快速处置”闭环。

2.2 防汛场景适配性分析

2.2.1 管涌巡查场景

纯电皮卡日均支持10架~12架次无人机作业,作业频次较“人工+燃油车”模式提升3倍;无人机数据经5G网络实时回传至皮卡AI终端,现场完成分析(避免传统模式4h实验室处理延迟);暴雨、大风环境下,设备可正常作业。

2.2.2 应急保障场景

险情发生时,纯电皮卡30min内完成设备装载并按最短路线赶赴现场,货箱作为作业平台缩短部署时间;车载供电为系留无人机提供备份,避免断电中断保障;三者协同实现险情监控、广播照明与人员调度一体化。

3 协同应用实施流程与场景落地

3.1 管涌巡查全流程协同作业

3.1.1 作业准备

①设备装载与路线规划:纯电皮卡装载无人机(含3组智能电池)、AI操控终端、三维建模工作站;技术人员按堤防长度(如30km)划分6个区段(每段5km),用GIS规划航迹(重叠率 $\geq 80\%$)。

②现场部署:皮卡货箱铺设防滑垫作为起降平台,通过V2L功能确保无人机电池电量 $\geq 90\%$ 。

③设备调试:调试无人机高清相机、红外热像仪等参数,确保终端与无人机信号强度 $\geq -85\text{dBm}$ 。

3.1.2 空中巡查

无人机按航高50m、航速3m/s自动飞行,高清相

机每秒拍摄1张图像,红外热像仪与毫米波雷达同步采集数据;AI算法自动识别隐患,标注位置(经纬度误差 $\leq 1\text{m}$)、类型及等级。

3.1.3 隐患处置与复核

终端自动生成管涌巡查报告,1分钟内推送至防汛指挥中心;处置人员按报告采取反滤围井、压渗盖重等措施,无人机复核后生成隐患处置复核报告,形成闭环管理。

3.2 突发险情应急保障协同作业

3.2.1 应急响应

皮卡接到指令后10分钟内完成系留无人机、供电设备装载,按导航赴现场;选择高于历史最高洪水位0.5m的无遮挡区域为部署点,5min内卸载设备。

3.2.2 空中保障

系留无人机30min内升空至50m~100m,调试广播频段与照明角度;每30min播报险情与转移指令,实时回传现场画面;供电故障时切换车载供电。

3.2.3 协同收尾

回收设备并维护充电,汇总数据生成应急保障作业报告,分析问题并反馈至指挥中心,优化流程。

4 实践案例与成效分析

4.1 某长江堤防管涌巡查案例

4.1.1 背景

某30km长江堤防保护着12万群众及20万亩耕地,2024年汛期引入协同体系开展2个月专项巡查。

4.1.2 实施

投入2台车载式巡检无人机、1台系留无人机、2辆纯电皮卡,分2组巡查;每日8:00-18:00作业,无人机按航高50m、航速3m/s飞行,发现一级隐患实时广播并推送指挥中心。

4.1.3 成效

效率:日均覆盖180km公里堤线,较传统模式(60km)提升200%,单公里耗时从12min缩至4min。

精度:发现12处隐蔽管涌(9处为人工未察觉的深层管涌),识别准确率达92%,定位误差 $\leq 0.8\text{m}$ 。

成本:纯电皮卡百公里能耗成本仅15元,两个月内节约能耗费用2.4万元;通过高效作业模式实现

减员12人,综合降本达65%。

安全:实现“人机分离”,无巡查人员安全事故。

4.2 某水库应急保障案例

4.2.1 背景

某库容1.2亿 m^3 水库水位超汛限1.2m,坝脚出现3处管涌(最大涌水量1.2L/s),下游120名群众需转移,启动III级应急响应。

4.2.2 实施

应急小组30min内完成设备装载,皮卡行驶25km后25min完成系留无人机升空;无人机滞空48h,期间遭遇停电时,通过车载V2L供电2h。

4.2.3 成效

从指令到保障仅55min,较传统应急团队(165min)缩短67%。广播协助120人1小时内安全转移(效率提升40%),无人机照明保障使管涌处置施工效率提高40%,仅用12h便成功控制管涌险情。通过多环节协同调度,抢险成本节约20%,全程供电可靠性达100%。

5 结语

车载巡检无人机系统技术协同优势显著,车载平台、无人机及配套技术构建的“感知—保障—支撑”协同体系,互补解决传统防汛“发现难、保障短、支撑弱”的痛点,形成高效作业模式。

实践成效突出:管涌巡查效率提升200%、识别准确率达92%、应急响应时间缩短67%、综合降本65%,实现“零风险”作业。该系统适配各类水利工程,部署灵活、成本可控,具备全国推广价值。

未来将持续推进技术升级:一是发展无人机集群作业,研发多机协同控制技术,实现5架~10架无人机集群协同巡查,单日可覆盖500km以上堤线,识别误差 $\leq 0.5\text{m}$;二是优化智能对接技术,开发无人机自动起降、换电及数据同步系统,结合边缘计算终端,将“巡查—决策—处置”闭环时间缩短至30min内;三是建立标准体系与管理平台,制定设备选型、飞行参数等技术规范,构建全国智慧防汛低空协同平台,实现跨区域高效调度。该协同模式将成为智慧水利建设的重要支撑,助力我国防汛抗灾能力现代化升级。