

Design and Application Analysis of Unmanned Aerial Vehicle Hydrological Emergency Monitoring System

Zhaoyu Ma

Xinjiang Uygur Autonomous Region Changji Hydrological Survey Center, Changji, Xinjiang, 831199, China

Abstract

The existing hydrological testing methods are not suitable for testing work in scenarios such as high flood hydrological emergency testing, barrier lakes, flood diversion breaches, and investigation of flood prone areas. By using drones for monitoring, a relatively complete aerial hydrological monitoring system can be constructed to quickly collect and transmit monitoring information. This article introduces the unmanned aerial vehicle hydrological emergency monitoring system from the aspects of system composition, system structure, workflow, testing software, etc. Taking the hydrological station of the material factory as an application example, the application analysis of data such as drone flight altitude, surface flow velocity, and fixed-point hovering accuracy comparison measurement is carried out. Comparative analysis shows that the system can meet the accuracy requirements of flow measurement in emergency rescue scenarios, and improve the safety and speed of hydrological emergency testing work.

Keywords

drone; Hydrological emergency response; monitoring system

无人机水文应急监测系统设计与应用分析

马钊钰

新疆维吾尔自治区昌吉水文勘测中心, 中国·新疆 昌吉 831199

摘要

现有的水文测验手段不适用于高洪水文应急测验、堰塞湖、分洪溃堤、洪灾区域调查等场景下的测验工作。利用无人机监测, 可以构建一个相对完善的空中水文监测系统, 快速采集并传输监测信息。本文从系统组成、系统结构、工作流程、测验软件等方面介绍无人机水文应急监测系统。以制材厂水文站为应用实例, 进行无人机飞行高度、表面流速与定点悬停精度比测等数据的应用分析。通过比测分析表明, 该系统能够满足应急抢险场景下测流精度要求, 提高水文应急测验工作的安全性与快捷性。

关键词

无人机; 水文应急; 监测系统

1 引言

常规的流量测验方法(如精测法、常测法等)仅适用于正常情况下的流量测验, 在洪涝灾害发生期间或汛情结束后, 损毁的水文测验设施恢复重建时期, 人员、测验仪器设备无法及时到达测流现场, 无法入水施测, 这将会影响灾情判断, 失去重要的现场水文资料, 此时有效的开展无人机水文应急监测系统应用研究尤为重要^[1]。

2 水文应急监测

2.1 水文应急监测

水文应急监测是指在发生洪涝灾害、堰塞湖形成、河道溃堤等突发水文事件时, 快速启动的水文数据采集与分析

工作。传统的水文监测方式主要依靠固定观测站点和人工巡测, 但在极端天气条件下, 这些方法面临诸多挑战。首先, 洪水期间水位暴涨、流速急剧增加, 现场作业存在极大安全风险; 其次, 交通中断、通讯受阻等因素严重影响数据传输效率; 再次, 部分偏远地区缺乏固定监测设备, 难以获取实时水文数据。应急监测要求具备快速响应、实时传输、高精度测量等特点, 需要在恶劣环境下保证监测工作的连续性和可靠性。

2.2 无人机在水文应急监测中的应用

无人机技术的快速发展为水文应急监测提供了全新的解决思路。相比传统监测手段, 无人机具有机动性强、部署迅速、作业安全等显著优势。在洪水监测方面, 无人机可搭载高分辨率摄像设备, 实现大范围水域的实时航拍监测, 快速获取洪水淹没范围、水位变化等关键信息。在流速测量方面, 通过图像识别和粒子图像测速技术, 无人机能够准确计

【作者简介】马钊钰(1996-), 女, 回族, 中国新疆昌吉人, 本科, 助理工程师, 从事水文水资源运行与管理研究。

算表面流速，为流量计算提供重要参数。在堰塞湖监测中，无人机可深入危险区域进行近距离观测，获取湖体容量、坝体稳定性等数据^[2]。

3 无人机水文应急监测系统方案设计

3.1 系统构成及功能

无人机水文应急监测系统是一套集成化的智能监测解决方案，通过融合无人机飞行平台与非接触式测量技术，实现对河流流速、水情参数、河道断面形态等关键水文要素的高效获取和分析。该系统架构采用双层级设计模式，主要包括空中作业单元和地面指挥单元两大核心模块。空中作业单元集成了多旋翼飞行器、专业测量载荷（包括雷达波流速传感器、雷达测距传感器）、高清影像采集装置以及数据传输模块等关键组件；地面指挥单元则配置了数据处理计算机、无线信号接收装置、文档输出设备和自动化气象观测站等设备，两个单元之间通过高频无线通信技术实现实时数据交互与指令传递。

系统核心功能体现在三个方面：首先是构建应急通信网络架构，能够同步传输多媒体信息和测量数据，实现水文要素的连续监测并通过网络链路及时向上级管理部门报送；其次是实施精确的地形测绘作业，获取详细的三维地理信息数据；最后是配备一键式自动化测流功能，系统可按照预先设定的作业方案，沿既定飞行路径自主飞行，实现定点悬停、自动化流量测定，全程无需人工干预即可完成整套测流作业程序。

3.2 设备选择

3.2.1 飞行平台的选型

水文应急监测对无人机平台的选择需要综合考虑载荷能力、飞行稳定性、续航时间和环境适应性等关键因素。多旋翼无人机凭借其出色的悬停精度和垂直起降能力，成为水文监测的理想选择。在具体选型中，建议采用六旋翼或八旋翼配置，确保在单个电机故障情况下仍能安全返航。飞行平台应具备不少于30分钟的有效作业时间，最大载荷能力不低于3公斤，以满足多种传感器设备的搭载需求。

3.2.2 断面地形测量

河道断面地形数据是流量计算的重要基础参数，其测量精度直接影响水文监测结果的可靠性。无人机断面测量主要采用激光雷达和摄影测量两种技术路径。激光雷达技术能够穿透一定深度的水体，获取水下地形信息，测量精度可达厘米级，但设备成本较高。摄影测量技术通过多角度高分辨率影像构建三维模型，成本相对较低，但受水体浑浊度影响较大。在实际应用中，建议结合两种技术的优势，在枯水期利用摄影测量建立基础地形模型，在洪水期使用激光雷达补充关键断面数据。测量过程中需保证飞行高度稳定，相邻航带重叠度不低于60%，确保数据的完整性和连续性。

3.2.3 表面流速测量

表面流速是计算河流流量的核心参数，无人机平台可

搭载多种流速测量设备实现非接触式测量。雷达波流速仪是目前最成熟的技术方案，通过发射微波信号并接收水面反射信号，根据多普勒效应原理计算流速，测量精度可达 $\pm 2\%$ ，不受光照和天气条件影响。图像测速技术通过追踪水面漂浮物或人工投放示踪粒子的运动轨迹计算流速，成本较低但精度受环境因素影响较大。声学多普勒流速剖面仪可同时测量多个深度的流速分布，但重量较大，对无人机载荷要求较高。在设备选择时，需根据测量精度要求、作业环境条件和成本预算进行综合权衡，通常建议以雷达波流速仪为主，其他技术作为辅助验证手段。

3.3 断面流量计算

无人机水文应急监测系统采用非接触式表面流速测量技术，由于只能获取河流表面流速数据，因此需要建立科学的计算模型实现断面流量的准确推算。该计算模型基于流体力学原理，通过引入表面流速系数这一关键参数，建立表面流速与垂线平均流速的转换关系，进而完成断面流量计算。

计算过程首先需要根据《河道流量测验规范》和实际河道条件合理布设测速垂线。垂线布设遵循主槽区域加密、滩地区域适当稀疏的原则，确保能够准确捕获流速分布特征。无人机搭载的雷达波流速仪和激光测距仪分别测量各垂线的表面流速 V_i 和对应水位 H ，每个测点连续观测60秒以上，获取稳定可靠的测量数据。根据实测水位结合河道断面资料计算过水断面面积，为流量计算提供几何参数基础。

表面流速系数的准确率定是确保计算精度的核心环节。该系数定义为垂线平均流速与表面流速的比值，计算公式为 $K=V_{\text{垂}}/V_{\text{表}}$ ，数值通常在0.70-0.95之间变化。系数大小受断面形状、水深分布、河床糙率、水面比降、水流流态等多种因素综合影响。对于具备历史水文资料的河段，应通过统计分析既往实测数据建立专用的系数率定成果，并考虑系数的季节性变化和水位相关性。对于缺乏资料的新建监测断面，可采用相似河段移用、浮标系数替代或理论计算等方法确定初值，在实际应用中逐步修正完善。

垂线平均流速计算通过表面流速与流速系数相乘获得，即 $V_{\text{垂}}=V_{\text{表}} \times K$ 。计算过程中需要对表面流速数据进行质量控制，包括异常值识别和数据平滑处理。流速系数的选取应考虑实时水文条件，水位变化较大时需要采用分级率定的系数值。

断面流量计算采用分段求和的数值积分方法，将过水断面划分为若干计算单元分别计算后汇总。以10条垂线为例，断面分为11个梯形或三角形单元，每个单元流量等于单元平均流速与过流面积的乘积。单元平均流速通过相邻垂线平均流速插值获得，过流面积根据相邻垂线水深和间距按几何公式计算。断面总流量为各单元流量之和，即 $Q=\sum(V_i \times A_i)$ 。为确保计算精度，系统配置了多重质量控制措施，包括流量结果的水力学合理性检验、历史数据对比分

析和不同计算方法的交叉验证,确保监测成果的准确性和可靠性。

3.4 测流控制软件

无人机水文应急监测系统的测流控制软件是整个系统的核心控制平台,采用模块化架构设计,集成了飞行控制、数据采集、实时处理和通信传输等多项功能。软件界面采用无人机友好的图形化设计,支持触屏操作和快捷键操作两种模式,便于现场应急操作人员快速上手。主控制模块负责无人机的航线规划与飞行状态监控,操作人员可通过电子地图设定测流断面位置、飞行高度、悬停时间等参数,系统自动生成最优飞行路径。数据处理模块实时接收并解析来自各类传感器的原始数据,通过内置的水文计算算法,自动完成流速校正、断面面积计算、流量估算等复杂运算过程。软件还具备数据存储与回放功能,支持多种格式的数据导出,便于后续分析和报告生成。

3.5 工作模式及流程

无人机水文应急监测系统设计了三种工作模式,以适应不同的应急监测需求。自动模式是系统的核心工作方式,操作人员只需在控制软件中输入测流断面的地理坐标和基本参数,系统即可自主完成整个测流过程,包括自动起飞、按预设航线飞行、精确定位悬停、数据采集、自动返航等全套流程。半自动模式适用于复杂地形或特殊测流要求的场景,操作人员可在关键节点进行人工干预,如调整飞行高度、修改悬停位置、延长数据采集时间等。手动模式主要用于设备调试、人员培训或紧急情况处理,所有飞行动作和数据采集过程均由操作人员实时控制。整个工作流程遵循标准化操作规程:首先进行设备自检和环境评估,确认气象条件和安全状况;然后进行任务规划,设定测流参数和飞行路径;接着执行飞行测流作业,实时监控数据质量;最后完成数据处理和结果输出,生成标准化的测流报告。系统还具备应急处置能力,在遇到突发状况时能够快速切换工作模式,确保作业安全。

4 采用无人机进行黄河水文应急监测的改进方向

4.1 构建完善的测流模型

针对黄河流域复杂的水文特征,需要建立更加精确的无人机测流数学模型。黄河水体含沙量高、流态复杂,传统的表面流速系数需要根据不同河段的水文特性进行修正。建议通过大量实测数据的统计分析,建立适用于黄河不同河段的流速垂线分布模型,提高表面流速与断面平均流速之间的转换精度。同时,应考虑泥沙浓度、水温、风速等环境因素对测流精度的影响,构建多参数耦合的误差修正模型。此外,需要针对黄河特有的冰汛、凌汛等特殊水情,开发专门的测流算法,解决冰盖覆盖条件下的流量计算问题。通过机器学习和人工智能技术,建立自适应的测流模型,使系统能够根

据实时监测的水文条件自动选择最优的计算方法,不断提升测流精度和适应性。

4.2 增强飞行控制系统的稳定性

黄河流域地形复杂,气象条件多变,对无人机飞行控制系统提出了更高要求。需要重点加强抗风能力设计,通过优化飞行器结构、增强动力系统、改进飞行控制算法等措施,提升无人机在强风条件下的飞行稳定性。建议采用多传感器融合技术,集成GPS、惯性导航、视觉导航等多种定位方式,实现高精度的悬停定位,确保测量数据的准确性。同时,应建立完善的故障检测与应急处置机制,包括自动返航、紧急迫降、备用通信链路等功能,提高系统的可靠性和安全性。针对黄河流域电磁环境复杂的特点,需要优化通信系统的抗干扰能力,采用多频段、多协议的通信方式,确保数据传输的稳定性。

4.3 做好地面控制指挥工作

地面控制指挥系统是无人机水文应急监测的关键保障,需要建立标准化、规范化的指挥体系。首先要完善人员配置和培训机制,确保操作人员具备专业的水文知识和无人机操控技能,建立持证上岗制度和定期培训考核体系。其次要优化地面设备配置,包括高性能的数据处理工作站、可靠的通信设备、备用电源系统等,确保在恶劣环境下能够正常工作。建议建立多级指挥架构,实现现场指挥与远程指挥的有机结合,通过视频会议、数据共享等方式,让专家能够实时参与决策和技术指导。同时要制定完善的应急预案,包括设备故障处置、恶劣天气应对、人员安全保障等各种情况的处理流程。

5 结语

无人机测流系统以其灵活、便捷的工作方式,对于应急水文测验在要求更快、环境恶劣的条件下有着重要的意义。无人机应急测流系统在制材厂水文站的应用虽然不能完全取代常规测流,但通过对相关数据的比测与率定,较好地解决了应急条件下流量测验工作困难大、危险性高等问题,提高了测验工作的安全性和快捷性。在风力较大情况下,无人机姿态受外界影响变化极快,仅从现有的三轴云台保持流速姿态稳定还存在局限性,消除无人机姿态变化对测流精度影响是下一步研究工作的重点,计划采用姿态传感记录无人机姿态变化,建立相应算法模型剔除姿态导致的测量误差。

参考文献

- [1] 孙建民,王展,刘文琼.水文应急监测技术方案及其应用分析[J].河南水利与南水北调,2014(16):10-11
- [2] 刘昌军,郭良,兰骅东,等.无人机技术综述及在水利行业的应用[J].中国防汛抗旱,2016,26(3):34-39
- [3] 钟超.福海水文站电波流速仪系数的分析与探讨[J].陕西水利,2019(05):46-51
- [4] 庄杰,经正彤.无人机监测系统在河流水文应急监测中的应用研究[J].水利科学与寒区工程,2020,3(1):99-101.