

无人机测流系统在水文监测中的应用探讨

金晶, 江海力

长江中游水文水资源勘测局, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年12月6日; 录用日期: 2024年1月30日; 发布日期: 2024年2月21日

摘要

为探讨无人机测流系统在水文监测中的应用, 主要从无人机应用于河流水文应急监测的优势及使用条件, 无人机测流设备组成、工作流程和计算方法等, 结合实际案例分析无人机未来在水文监测中广泛应用的可行性。

关键词

无人机, 水文, 水文监测

Discussion on the Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Flow Measurement System in Hydrological Monitoring

Jing Jin, Haili Jiang

Middle Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Wuhan Hubei

Received: Dec. 6th, 2023; accepted: Jan. 30th, 2024; published: Feb. 21st, 2024

Abstract

To discuss the application of unmanned aerial vehicle (UAV) flow measurement system in hydrological monitoring, this paper mainly examines the advantages and usage conditions of UAV in hydrological emergency monitoring of rivers. It discusses composition of UAV flow measurement equipment, workflow, calculation methods, and combines practical case studies to analyze the feasibility of UAV application in future hydrological monitoring.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Hydrology, Hydrological Monitoring

作者简介: 金晶, 湖北武汉人, 出生于 1989 年 11 月, 研究生, 工程师, 研究方向: 无人机在水文监测中的应用, Email: 1057481025@qq.com

文章引用: 金晶, 江海力. 无人机测流系统在水文监测中的应用探讨[J]. 水资源研究, 2024, 13(1): 90-96.

DOI: 10.12677/jwrr.2024.131011

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球的气候变化以及特殊天气事件频繁发生, 防洪预警成为当今社会和经济发展中所面临的挑战之一。河流水文监测和防洪预警是有效预防洪灾的重要途径, 而无人机技术可以高效地获取数据并整合, 实现对河流水文监测的精准测量, 保障人民生命财产安全。新中国成立以来, 随着大规模的水利建设, 水文工作更是取得了突飞猛进的发展, 水文测验则是水文计算、水文预报、水资源分析等各项水文工作中的基础, 随着科技的发展, 水文测验的设备与方法在不断更新, 近年来, 无人机技术也进入了水文行业。

无人驾驶飞机简称“无人机”, 英文缩写“UAV”, 是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机[1], 其分类有: 无人直升机、无人固定翼机、无人多旋翼飞行器、无人飞艇、无人伞翼机等。无人机在搭载不同的设备后其功能也变得多样化, 大大的拓展了无人机本身的用途。目前可应用在测绘、航拍、农业、运输、监控、救灾等领域。

无人机搭载电波流速仪将测到的水文数据上传至后处理平台, 最终得到断面流量, 无人机测流系统由此组成。

2. 无人机应用于河流水文应急监测的优势及使用条件

2.1. 利用无人机技术进行水文监测的优势

1) 高效便捷: 利用无人机系统测流可以快速准确地获取到自然界中水体的流速、水位等数据信息, 同时拓展了行进路线, 不受地形约束, 大大提高了监测和预警效率。

2) 数据采集: 利用无人机测流系统及搭载的电波流速仪[2], 可以获取到河流的流速及水位数据, 并对其进行计算整合, 生成流量数据报告。

3) 作业安全: 在某些特殊水情下, 传统的水文测验方式存在一定的危险性, 无人机测流则可降低此类危险发生, 通过无人机远程智能操控技术, 远距采集并记录水文数据, 避免了安全隐患事故的发生, 极大的提高了作业安全系数。

2.2. 无人机测流系统的使用条件

1) 飞前检查

a) 机身检查

作业人员应仔细检查机身是否有裂纹、螺丝钉或紧固件有无松动或损坏、螺旋桨有无损坏变形以及安装是否紧固、电池安装是否牢固;

b) 动力检查

无人机电池电量是否充足、有无鼓包现象、所需油料是否充足;

c) 飞检记录

无人机组装完成后, 进行整机检查, 确保各部件都正常工作, 并进行详细的记录, 在确保安全的情况下才能升空作业;

d) 自动机场系统飞检

对于无人机自动机场系统, 应设置包含上述检查的自检过程, 符合作业要求才能正常作业, 若出现异常,

应发出警示，工作人员须到现场排除故障，方可继续作业。

2) 气象条件

无人机应在气象条件良好的情况下实施航摄飞行，出现以下天气条件应终止飞行。应急业务可以根据实际情况适当放低气象条件要求。

- a) 降雨、降雪等天气：中雨或中雪，即单位面积上水/雪深 10 mm 以上；
- b) 极端高温或低温天气：气温低于 -20°C 或高于 40°C ；
- c) 大雾天气：能见度小于 150 m；
- d) 大风、强对流天气：7 级风，即风速超过 14 m/s 以上。

3. 无人机测流基本原理

3.1. 无人机测验设备组成

目前无人机测验设备采用 Matrice300 RTK (简称 M300)多旋翼无人机搭载电波流速仪，使雷达朝向水体上游并稳定姿态，利用雷达多普勒原理测量水体表面流速(见图 1)。

电波流速仪的工作频率为 24 GHz，测速范围 0.1~20 m/s，波束角度 12° ，垂直测距范围 0~45 m，空载时飞行时间约 55 分钟，支持电量计算及断点续飞功能，机身结构在飞行过程中防护等级可达 IP45，可抵御一定等级风雨，飞行器内置 RTK 模块，可实现高精度准确定位，兼容全向避障雷达，可实现安全稳定飞行和悬停。

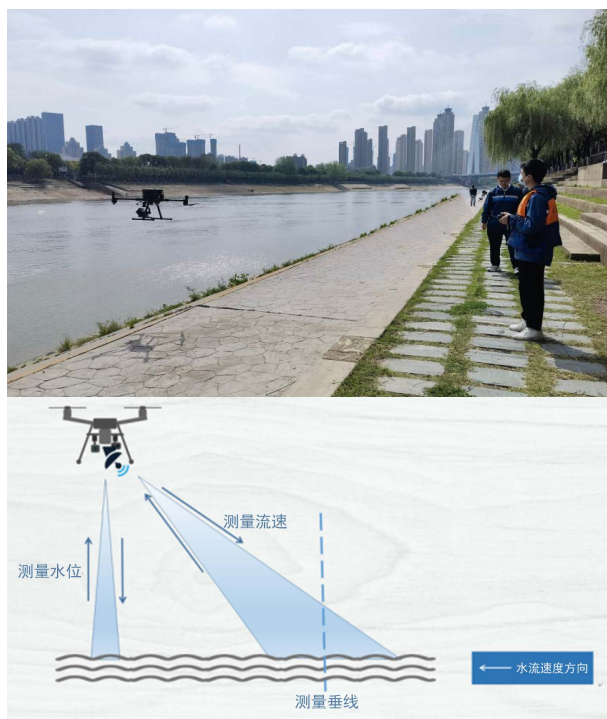


图 1. 无人机测流示意图

3.2. 无人机工作流程

无人机测流系统是利用无人机搭载电波流速仪对河道流速进行监测。首先登录无人机平台端导入测流断面数据及设置航线、测点、速度、高度、岸边系数等参数，然后通过遥控器给做好起飞准备的无人机发送起飞指令，飞机根据提前设置好的任务自动飞往测验断面的第一个测点进行测流。电波流速仪采用智能回波频谱分析

算法，可有效排除与水面流速无关的干扰信号，测流过程中可实时显示水流速度、测流进程、测流现场画面等数据，测流结束后无人机自动返航，测得的点流速数据将传送至后台根据部分面积法计算出虚流量，流量数据保存至平台端，可随时查看并回放流速的实时变化及不同位置的流速记录(见图 2)。

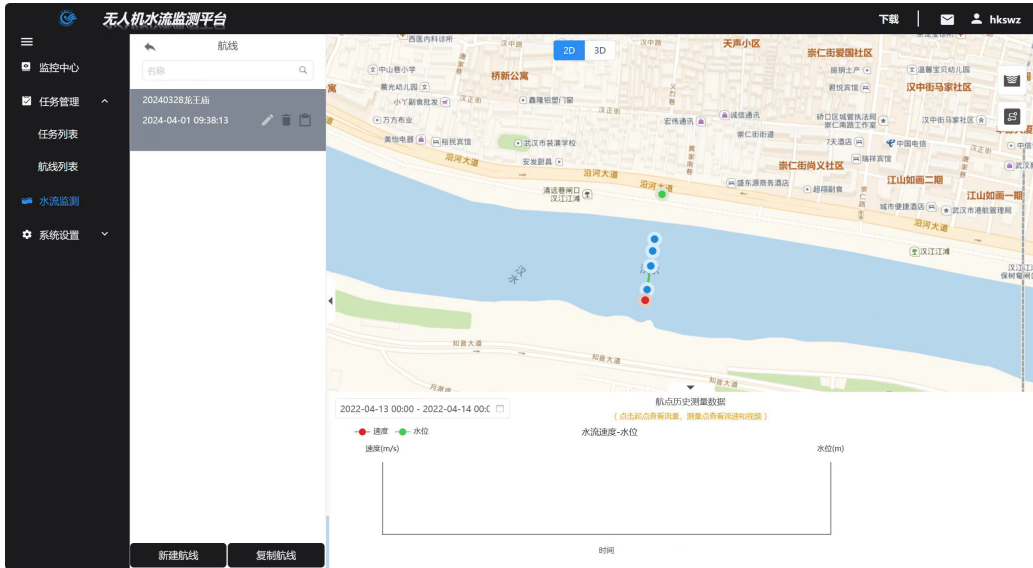


图 2. 测流平台端界面

3.3. 无人机测流系统流量计算方法

以测速垂线为界将过水断面划分为若干部分，应按下式计算[3]：

$$A_i = \frac{d_{i-1} + d_i}{2} b_i$$

式中： A_i ——第 i 部分面积(m^2)；

I ——测速垂线或测深垂线序号， $i = 1, 2, \dots, n-1$ ；

d_i ——第 i 条垂线的水深(m)，此水深为河底高程与测速时的水位算出的应用水深；

b_i ——第 i 部分断面宽。

两测速垂线中间部分的平均流速计算：

$$\bar{V}_i = \frac{V_{i-1} + V_i}{2}$$

式中： \bar{V}_i ——第 i 部分断面平均流速(m/s)；

V_i ——第 i 条垂线水面流速(m/s)， $i = 1, 2, \dots, n-1$ 。

部分流量计算：

$$q_i = \bar{V}_i A_i$$

式中： q_i ——第 i 部分流量。

断面虚流量计算：

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

式中： Q ——断面虚流量(m^3/s)。

4. 无人机流量实际应用

为了解无人机测流系统在天然河流中的实际应用效果，2021年在长江和汉江河段的水文站测流断面上均用无人机进行过流量测验，经过在不同断面、不同环境下的数次比测分析，发现了无人机测流系统在实际应用中的不足，其中部分问题已优化，例如改进硬件设备、后台处理方式、软件操作等，改善了无人机测流系统的精准性。

4.1. 仙桃水文站流量比测

仙桃水文站位于湖北省仙桃市龙华山街道六码头，为监测汉江下游水情的基本站，测验河段顺直，长约1 km，河槽形态呈“V”形，水面流速系数为0.91。2021年5月在仙桃水文站测流断面开展了无人机测流系统与转子式流速仪的比测工作，断面布设了8个测点，每个测点测量历时100秒，根据仙桃水文站的表面流速系数0.91算出无人机测得的三次流量分别为1770 m³/s、1670 m³/s、1670 m³/s；由仙桃站缆道搭载转子式流速仪测得的流量为1710 m³/s，相对误差分别为3.15%、-2.34%、-2.34%（见表1），绝对值误差为-0.39%，从流量数据上看，满足《水文应急监测技术导则》（SL/T 784-2019）中电波流速仪测量精度5%的要求[4]。

表 1. 无人机与转子式流速仪实测流量比测表

序号	水位/(m)	流量/(m ³ /s)		相对误差/(%)
		无人机	转子式流速仪	
(1)	27.14	1770	1710	3.51
(2)	27.14	1670	1710	-2.34
(3)	27.14	1670	1710	-2.34

将无人机测得的水面流速乘仙桃站水面流速系数后与转子式流速仪测得的垂线平均流速进行对比，从图3仙桃站横断面流速分布图可看出，无人机三次测得的流速数据变化较大，无人机与转子式流速仪对比流速相对误差最大为33%，最小为-0.8%，这是受水面波浪、风速等外界干扰因素影响了水体流速雷达的精度。

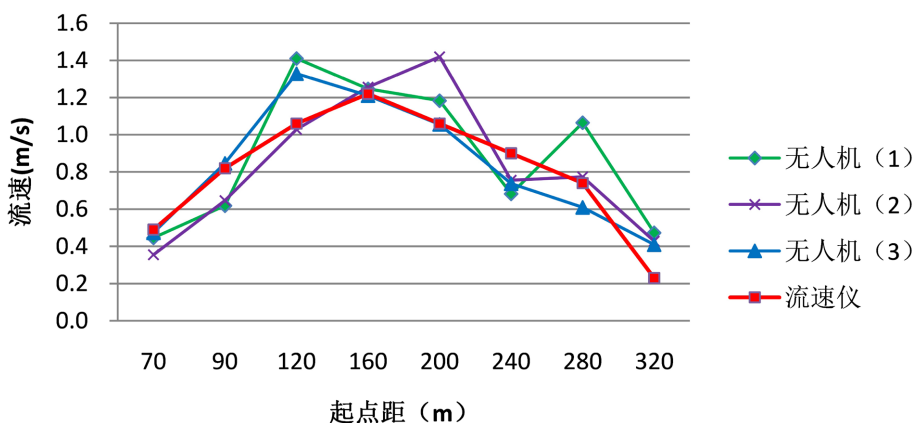


图 3. 仙桃站横断面流速分布图

4.2. 汉口(武汉关)水文站流量比测

汉口(武汉关)水文站是监测长江中游干流在汉江汇入后水情的基本水文站。流量测验断面河段顺直，为单式河床，2021年9月在汉口站测流断面开展了无人机测流系统的比测工作，测点历时100秒，共进行了3次无人机流量测验，根据汉口站水面浮标系数0.86计算流量分别为42,900 m³/s、43,200 m³/s、41,400 m³/s，与根据当

日汉口站水位流量关系推得流量对比分析。从流量数据上看，第三次流量的相对误差较大超过了 5% (见表 2)。

表 2. 无人机与汉口站流量比测表

序号	水位/(m)	流量/(m ³ /s)		相对误差/(%)
		无人机	汉口站	
(1)	24.61	42,900	43,800	-2.05
(2)	24.62	43,200	43,900	-1.59
(3)	24.61	41,400	43,800	-5.48

将无人机 3 次测得的水面流速进行对比,从图 4 汉口站横断面流速分布图中可看出个别测点流速变化较大。

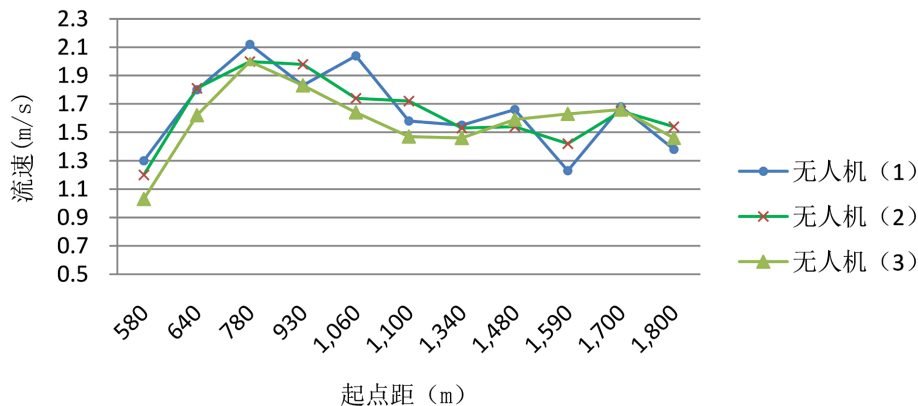


图 4. 汉口站无人机测量横断面流速分布图

5. 结语

高洪期间水文站应急监测采用常规方法难以执行,无人机测流系统是一种新型的河流水文应急监测方法,突破了传统应急监测受地形等条件的限制,利用无人机起飞便捷,不受地形影响的优势,并在短时间内测得有效的流量数据,很好的解决了高洪期间应急监测困难的问题[5]。经过多次比测初步分析认为, M300 无人机飞行姿态平稳,测速精度基本可以满足应急监测的精度要求。

本次各断面比测中存在个别测点误差较大的情况,根据经验分析,原因为: 1) 由于本次对各断面比测分析的次数有限,测站特性的不同,流量系数的采用还需要后期针对不同断面,进行各水位级的多次对比并综合分析后确定。2) 测流现场的风雨天气、水面波浪、行船等外界环境因素的干扰,还需充分考虑各断面测流环境的独特性后,对无人机测流系统进一步改进和完善。3) 水文测验是一项专业、复杂的工作,无人机目前的测速装置的精度还需进一步提高,这样才能保障成果质量要求[6]。

随着无人机技术的广泛应用,无人机测流系统将在应急防汛中发挥更重要的作用,在当前和未来的一段时间内,应解决好以下几个方面,一是无人机在各种测验环境下获取符合水文监测规范要求的资料;二是改善测验时对环境安全的监控措施及无人机自身的应急能力;三是研究针对水文专业的方向,研制出更加专业适用的无人机测流系统,包括设备的技术革新;四是提高操作技术人员的技能水平,加强无人机操作方面的培训。无人机测流系统将会为水文现代化建设做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 武晶. 无人机水文测流技术应用初探[J]. 水利科技, 2018(4): 23-24.

- [2] 郑应成. 无人机在水文测验和信息化管理中的应用[J]. 广西壮族自治区水文中心, 2020(1): 91-95.
- [3] 河流流量测验规范(GB50179-2015) [S]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2015.
- [4] 水文应急监测技术导则(SL/T 784-2019) [S]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2019.
- [5] 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.
- [6] 罗清虎, 宋明琦. 无人机低空遥感技术在水文监测中的应用[J]. 中国金属通报, 2021(10): 221-222.