



基于数字航道的无人机无人船 数据融合智慧应用研究

郭娅婷, 陈钦阳, 卢俊璋
(长江航道测量中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 针对长江干线数字航道生产业务系统中无人机无人船数据融合与智慧应用深度不够的问题, 采用数据高效传输、多源数据融合技术和关键航道要素目标识别和动态行为检测分析技术, 开展无人机无人船在数字航道中数据融合与智慧应用的研究。基于无人机无人船数据完成航道要素智能感知与识别分析模块研发, 以及与数字航道对接的无人机无人船辅助决策模块及智能数据终端研发, 扩展数字航道辅助决策功能, 提高辅助决策的智能性, 建立无人化航道巡查探测智慧应用模式, 实现了长江航道无人机无人船数据应用系统集成及智慧应用。

关键词: 数字航道; 无人机; 无人船; 智慧应用

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)07-0165-07

Digital channel-based intelligent application of data fusion between unmanned aerial vehicle and unmanned vessel

GUO Yating, CHEN Qinyang, LU Junzhang
(Yangtze River Channel Survey Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: In view of the problems of insufficient depth in data fusion and intelligent application of unmanned aerial vehicle and unmanned vessel data in the Yangtze River trunk digital production business system, efficient data transmission, multi-source data fusion technology, and key channel element target recognition and dynamic behavior detection analysis technology are adopted to conduct research on fusion and intelligent application of unmanned aerial vehicle and unmanned vessel in digital channels. The development of an intelligent perception and recognition analysis module for channel elements is completed on the basis of unmanned aerial vehicle and unmanned vessel data, as well as the development of an auxiliary decision-making module and intelligent data terminal for digital channels. These developments enhance the auxiliary decision-making functions of channels are enhanced by these developments, and the intelligence of auxiliary decision-making is improved. An intelligent application model for unmanned channel patrols is built, and integrated and intelligent applications of unmanned aerial vehicle and unmanned vessel in the Yangtze River channel are achieved.

Keywords: digital navigation; unmanned aerial vehicle; unmanned vessel; intelligent application

当前长江航道在无人机与无人船的整体应用上尚处于探索初期, 尚未构建起完善的应用体系, 相较于国内外前沿实践, 仍存在一定的差距^[1]。面对长江数字航道智慧化转型的迫切需求, 必须在应用领域与应用模式上不断开拓创新, 以缩小

技术与应用上的差距。无人机以其高效、低成本及数据成果丰富的特性^[2], 成为航道监测与数据采集的重要工具; 而无人船则凭借其高效便捷、安全可靠及低成本运行的优势^[3], 在航道维护中展现出巨大潜力。为了充分挖掘并有效整合无人

收稿日期: 2024-09-27

作者简介: 郭娅婷 (1997—), 女, 硕士, 从事数字航道建设管理和科技创新。

机与无人船所采集的海量数据，本文聚焦于技术创新与模式创新，旨在打通无人机无人船与数字航道的数据传输链路，实现数字航道现有数据与无人机、无人船多维度航道数据的深度融合，研发航道要素的智能感知与识别分析模块，以此拓展数字航道的数据来源与功能，构建集数据融合、智能分析、智慧决策于一体的航道维护管理体系，为长江航道的智慧化管理提供坚实支撑。

1 研究内容

研究基于数字航道的无人机无人船数据高效传输、多源数据融合技术；建立重要航道要素多源异构数据人工智能 (artificial intelligence, AI) 识别训练库，研发基于 YOLOv5 算法的关键航道要素目标识别模型及算法；集成无人机、无人船两类独立管理平台至长江数字航道系统，以期实现数字航道系统在移动端、桌面端对无人机无人船的远程操控等。

2 技术研究

2.1 无人机无人船数据高效传输、多源数据融合技术

基于大疆 SDK 软件搭建无人机与数字航道联通链路，基于 Mavlink 协议搭建无人船与数字航道联通链路，实现无人机作业管理 App 对无人机的实时操控，且将无人机无人船的姿态、指令、位置、速度、影像等数据实时传输至长江数字航道生产业务系统，在长江数字航道生产业务系统中实现无人机无人船航线规划、任务下达、航拍监控和数据回传等功能，解决数字航道无人机、无人船数据实时采集传输问题以及无人船超视距作业问题。无人机和无人船数据传输路线见图 1。

在无人机、无人船数据高效传输的基础上，采用无人机、无人船采集的多维航道数据与人工智能识别的结果数据进行统计分析，快速与数字航道实时监测在库数据融合，为航道运行管理部门提供巡航监测、航道保护、现场踏勘等数据，提升数字航道辅助决策所需数据的实时性，增强

辅助决策分析的准确性，优化航道业务的智能管理。

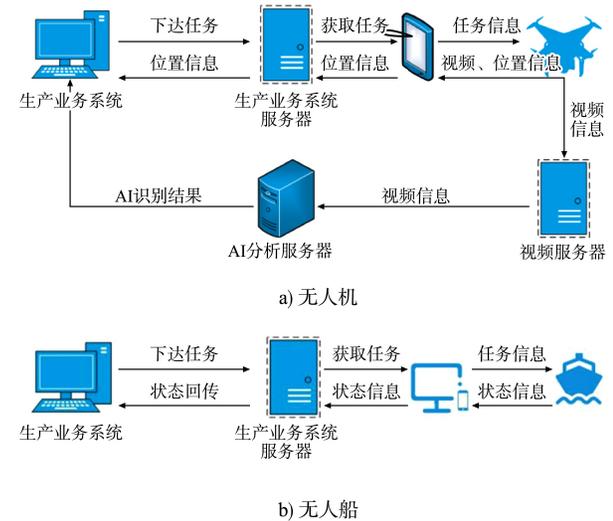


图 1 无人机和无人船数据传输路线
Fig. 1 Data transmission routes of unmanned aerial vehicle and unmanned vessel

2.2 关键航道要素目标识别和动态行为检测分析技术

2.2.1 YOLOv5 检测算法

YOLOv5 检测算法是在 YOLOv4 算法基础上进行一系列改进的单阶段目标检测算法。该算法网络结构整体分为 3 个部分^[4]：通过结合 Focus 结构的 CSPDarknet 主干网络对经过图像预处理及 Mosaic 数据增强的输入图像进行特征提取，获得 80 px×80 px×256 px、40 px×40 px×512 px、20 px×20 px×1 024 px 的 3 个有效特征层；通过特征金字塔网络 (feature pyramid networks, FPN) 结构融合 3 个尺度的特征信息构建 FNP；将增强后的特征层输入 YOLO 预测端，对每个特征层通过卷积调整通道数及特征点，得到预测结果。

2.2.2 航标、水尺、整治建筑物识别与检测

基于无人机搭载的高清相机，采用视频图像数据传输技术，将拍摄的长江航道图像视频数据传输至后台 AI 智能识别应用系统^[5]，基于目标回归的 YOLOv5 算法对图像视频数据中的航标、水尺、临跨栏河建筑物进行识别。

传统的航标状态监测方法往往依赖于人工巡检和定期维护，这种方式不仅效率低下，而且难以及时发现和处理航标异常状态。因此，需要研

究一种高效、智能的航标状态识别方法^[6]。本文通过对无人机设备巡航任务后回传的结果, 统计航标整体健康状况, 对航标异常次数、航标灯质等进行排行, 通过 AI 航标分析, 实现航标位置、航标灯质状态检测等日常巡检工作。具体流程见图 2。

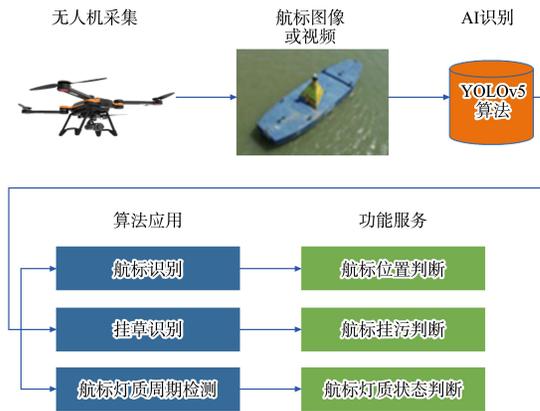


图 2 航标 AI 识别流程
Fig. 2 Navigation aids AI recognition process

航行水尺是一种测量水位高低的工具, 在航道水位监控中起着举足轻重的作用。在水位监测领域, 工作中存在危险、枯燥和容易出错的问题^[7]。本文利用无人机拍摄的照片和视频文件, 通过光学字符识别(optical character recognition, OCR)文本检测识别算法获取水尺目标中各刻度数值, 根据文本目标及水尺目标候选框位置信息进行统计分析得出图像内水位刻度, 实现对水位的快速、准确测量, 同时减少环境因素的影响, 具有精度高、稳定性强等优点, 从而大幅提高了水位测量的效率。具体流程见图 3。

目前, 整治建筑物的日常检查主要是航标工作船到现场或者携带无人机到现场进行检查, 观测分为水上、水下测量, 水上依靠人工、无人机辅助测量, 水下是通过船舶携带测深仪、多波束等设备进行测量, 存在监测周期长、日常检查不全面、不便利、数据管理不够系统化等^[8]问题。针对这些问题, 本文通过无人船测量数据与水下地形图的比对实现整治建筑物缺损检查。当整治建筑物露出水面时, 无人机低空拍摄后对建筑物

进行检查, 通过无人机完成整治建筑物巡检的任务, 并对整治建筑物进行简单的标注、判断、提示。当整治建筑物会被淹没时, 检测建筑物是否存在缺口等安全风险。具体流程见图 4。

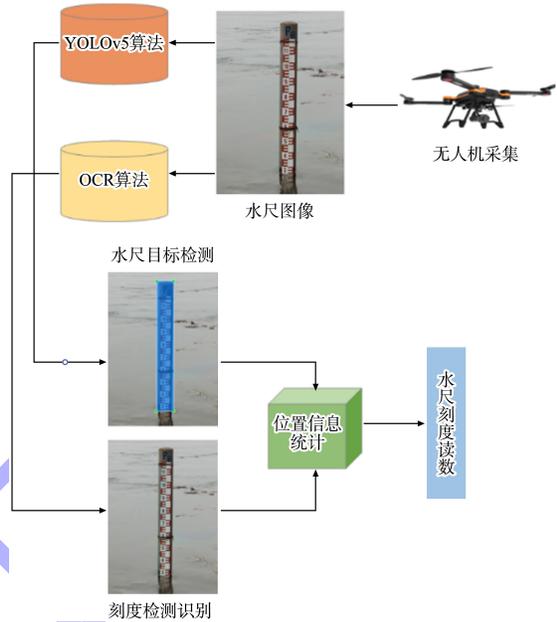


图 3 水尺观读流程
Fig. 3 Water gauge reading process

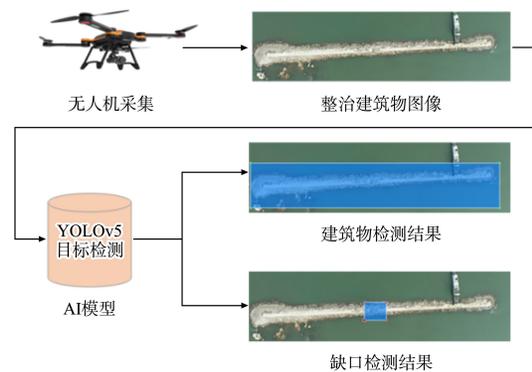


图 4 整治建筑物缺损检测流程
Fig. 4 Defects inspection process for regulation building

2.3 水下地形冲淤分析及三维可视化展示算法

冲淤分析模块相对于数字航道是一个独立的模块, 可单独运行生成结果, 数字航道模块可以主动调用冲淤模块, 生成冲淤结果, 该模块可对水下整治建筑物开展检测工作。

冲淤变化分析可以得到两期勘测之间数据的河岸数字高程模型(digital elevation model, DEM)变化, 得到一段时间内河岸的淤泥的变化情况^[9]。

冲淤分析图包含分析区域的比例尺信息、方向信息、两期数据描述信息和高程信息。这些信息被设置为不同的图层叠加到一张图像上，组合生成丰富的冲淤分析信息。DEM 的变化图生动形象地展示了两期数据之间河岸淤泥的变化情况，比例尺和高程信息展示分析区真实的高度信息和距离信息，方向信息则准确地标定河道的方向，两期数据的描述的信息帮助使用者更好地掌握两期数据的补充内容。冲淤分析结果生成流程见图 5。

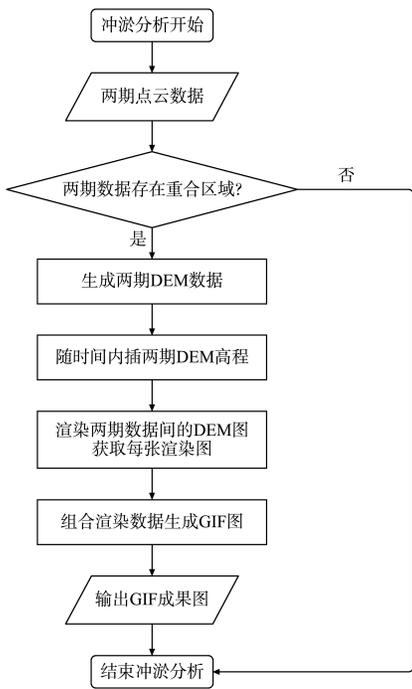


图 5 冲淤分析流程

Fig. 5 Sedimentation and erosion analysis process

利用无人船对重点水道、浅滩水道冲淤分析。根据冲淤分析区域要求，加载底图，并根据历史大致水深布设无人船航线，采用单波束或多波束进行数据采集、处理、输出标准点云数据，形成数据库，加载多期数据，通过数据对水道冲淤情况进行分析及动画模拟，并将结果数据回传展示。通过选择水道，确定名称和时间，上传测图数据，手动配置冲淤分析，生成冲淤分析图，见图 6。

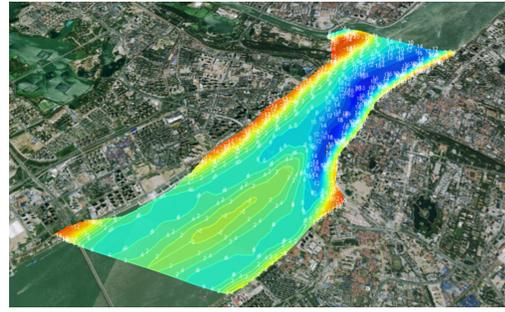


图 6 水下冲淤分析图

Fig. 6 Underwater sedimentation and erosion analysis graphic

3 长江航道无人机无人船数据应用系统集成及智慧应用

3.1 无人机无人船平台集成与实现

该平台利用无人机与无人船作为高效的数据采集平台，为提升管理效率与协同性，将无人机与无人船的两类独立管理平台集成至长江数字航道系统中，实现同一平台下的统一调度与管理。该平台打破传统管理模式的界限，增强数字航道的灵活性与适应性。在用户体验的优化上，数字航道系统创新性地融合移动端与桌面端的远程操控功能，以及无人机无人船实时数据与系统中电子航道图的双屏联动功能。用户能够通过终端设备实现对无人机与无人船的即时远程操控。系统实时传输的视频流、水深数据、设备状态及操控反馈，确保信息的即时性与准确性，为用户提供全面、直观的航道监控与管理视角。系统内置高度智能化的自动化任务执行机制，能够自主规划并执行包括航道巡查、探测在内的多种养护任务，无需人工持续介入。这种能力不仅大幅减轻人员的工作负担，还显著提升任务执行的效率与精准度，为航道的安全、高效运行注入强大的科技动力。这一系列创新设计，不仅是传统航道管理模式的深刻变革，更是向智慧化航道养护时代迈出的坚实步伐。无人机无人船数据应用系统功能见图 7。

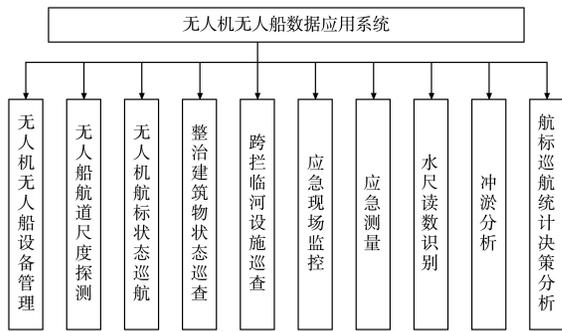


图 7 无人机无人船数据应用系统功能

Fig. 7 Data application system function for unmanned aerial vehicle and unmanned vessel

3.2 无人机无人船智慧应用

3.2.1 无人机智慧应用效果

无人机无人船的联合应用实现了优势互补, 与传统模式相比, 两者结合的模式在浅滩水域等复杂环境仍然适用, 且能够完成全覆盖测量任务^[10]。通过将无人机、无人船集成于数字航道生产业务系统, 无人机能够依据实时调用的长江电子航道图, 迅速规划并执行精准的巡航任务。操作人员通过设置无人机航线、下发无人机巡航任务, 实现无人机自主启动。无需人工实时操控, 即可严格按照预设的航线进行高效、准确的巡航作业。由图 8 可知, 在太子矶水道 265#红浮巡航任务中, 无人机能在水位站周边的关键航标区域, 进行详尽的航拍与检查工作。无人机搭载的高清摄像头与全球定位系统(global positioning system, GPS)能够实时捕获航道环境的高清视频与精准位置信息, 并通过稳定的网络链路即时回传至后端服务器。



图 8 无人机下发任务界面

Fig. 8 Interface of unmanned aerial vehicle task assignment

在无人机作业 App 中能够获取系统中下发的任务, 并根据任务路线进行航拍、检查工作。无人机进行航拍任务, 能够同步将视频和位置信息发送给后端服务器。后端服务器存储无人机上传的视频和飞行状态信息。生产业务系统前端界面显示无人机的飞行状态和视频信息。无人机 App 作业界面见图 9。



图 9 无人机 App 作业界面

Fig. 9 App operation interface of unmanned aerial vehicle

AI 服务器对无人机视频中的航标可以进行识别, 调用数字航道中航标接口, 并在视频界面显示航标类型和识别精度结果。实现了 9 对视频中航标的自动识别与分类, 显著提高信息处理的自动化与智能化水平。乙烯码头取水头 2#专用浮的 AI 识别结果, 并实现无人机飞行轨迹与视频画面的双屏联动, 见图 10, 为操作人员提供了更加直观、便捷的监控体验。



图 10 无人机双屏联动界面

Fig. 10 Interface of unmanned aerial vehicle dual-screen display

3.2.2 无人船智慧应用效果

无人船作为长江数字航道智慧应用的重要组成部分, 以其高效、精准的测深能力, 为航道维护与管理带来革命性的变化。汉口水道测深任务见图 11, 操作人员只需在数字航道生产业务平台中设计无人船测深路线, 下发无人船测深任

务，远程监控无人船状态，确保其安全航行，便能轻松获取到精准的测深数据。无人船能够依据数字航道生产业务平台设计的测深路线，自主执行测深作业，摆脱了对人工操作的依赖。这些数据通过高速传输网络即时回传至服务器，为航道水深分析等工作提供强有力的数据支撑。



图 11 下发无人船测深任务界面

Fig. 11 Interface of depth survey mission dispatching to unmanned vessel

任务由生产业务平台下发到无人船终端，或者操作人员下载任务后通过自主研发的软件上传到无人船终端。无人船终端接收任务界面见图 12。

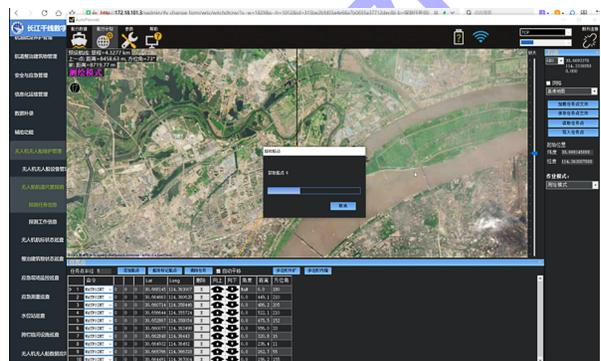


图 12 无人船终端接收任务界面

Fig. 12 Interface of unmanned vessel terminal receiving mission

操作人员连接无人船进行测水作业，同时数据回传到服务器。无人船测深数据与无人船作业轨迹的双屏联动见图 13。无人船的双屏联动技术使得操作人员能够同时观察到无人船实时回传的测深数据及其在长江航道电子图上的作业轨迹，

实现了数据与空间位置的无缝融合。这种直观、全面的信息展示方式，不仅提高航道管理的决策效率，还通过数据分析与挖掘，为航道维护与规划提供了科学依据。

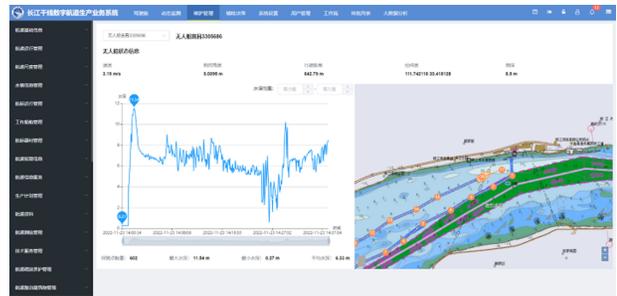


图 13 无人船双屏联动界面

Fig. 13 Interface of dual-screen display for unmanned vessel

4 结语

为确保无人机、无人船与数字航道结合应用的进一步完善和发展，下一步将继续开展以下方面的研究：在 AI 识别技术方面提升算力发展水平，建设高质量的航道数据集，扩充航道智能识别领域；在无人机应用方面丰富传感器类型，完善影像标准化处理体系，加强无人机影像时效性处理；在无人船应用方面，决策控制更加注重智能化，通信联络更加注重高效、稳定，航行距离更加注重长续航能力，平台之间更加注重协同性。

参考文献：

[1] 孙爱国,熊荣军,唐正涛,等. 无人机无人船协同测量作业技术研究[J]. 中国水运, 2023(9): 46-48.
SUN A G, XIONG R J, TANG Z T, et al. Research on collaborative measurement operation technology of unmanned aerial vehicles and unmanned vessels [J]. China water transport, 2023(9): 46-48.

[2] 舒家兵,马晓琪,冯凯,等. 基于长江航道的无人机陆域地形摄影测量方案[J]. 中国水运, 2022(S1): 195-199.
SHU J B, MA X Q, FENG K, et al. Unmanned aerial vehicle land topography photogrammetry scheme based on the Yangtze River waterway [J]. China water transport, 2022(S1): 195-199.

[3] 刘宸. 无人船在水下地形测量中的应用分析[J]. 中国水运, 2023(13): 98-99.
LIU C. Analysis of application of unmanned vessels in

underwater topographic surveying [J]. China water transport, 2023(13): 98-99.

[4] 邱天衡, 王玲, 王鹏, 等. 基于改进 YOLOv5 的目标检测算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(13): 63-73. QIU T H, WANG L, WANG P, et al. Research on object detection algorithm based on improved YOLOv5 [J]. Computer engineering and applications, 2022, 58 (13): 63-73.

[5] 何涛涛, 黄登, 余长慧, 等. 面向长江数字航道的关键航道要素智能感知研究[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(1): 122-126. HE T T, HUANG D, YU C H, et al. Intelligent perception of key waterway elements for digital waterway in Yangtze River[J]. Journal of geomatics, 2023, 48(1): 122-126.

[6] 李毅, 张正. 基于 BP-DS 模型的内河长江航道航标状态识别方法研究[J]. 中国水运, 2024(7): 110-112. LI Y, ZHANG Z. Research on the identification method of navigation aids status in the inland Yangtze River channel based on BP-DS model [J]. China water transport, 2024(7): 110-112.

[7] 毛玺玺, 刘勇. 基于图像识别的三峡河段航道水尺智能监测技术可行性探讨[J]. 中国水运, 2023(8): 81-82. MAO X X, LIU Y. Feasibility study on intelligent

monitoring technology of water gauges for the Three Gorges river section based on image recognition [J]. China water transport, 2023(8): 81-82.

[8] 汪维, 汪寅生, 汪玉龙. 基于无人机机库技术的航道整治建筑物自动监测系统的设计与研究[J]. 中国水运, 2023(S1): 157-160. WANG W, WANG Y S, WANG Y L. Design and research of automatic monitoring system for waterway regulation buildings based on unmanned aerial vehicle hangar technology [J]. China water transport, 2023 (S1): 157-160.

[9] 张宇. 浅析无人机在长江航道中应用与发展[J]. 中国水运, 2022(S2): 125-130. ZHANG Y. Brief analysis of the application and development of unmanned aerial vehicles in the Yangtze River waterway [J]. China water transport, 2022 (S2): 125-130.

[10] 汤倩, 马新国. 基于无人机联合无人船的航道测绘分析[J]. 中国水运, 2022(5): 75-77. TANG Q, MA X G. Channel mapping and analysis based on combination of unmanned aerial vehicles and unmanned vessels [J]. China water transport, 2022 (5): 75-77. (本文编辑 王璁)

(上接第 127 页)

[10] 许光祥, 费乐. 澜沧江急滩消滩水力指标确定方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2012, 31(6): 1244-1247. XU G X, FEI L. Determination method of riffle shoal and hydraulic parameter of rapids abating index of Lancang River [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (natural science), 2012, 31(6): 1244-1247.

[11] 许光祥, 邓明文, 童思陈, 等. 急滩通航水力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010. XU G X, DENG M W, TONG S C, et al. Hydraulic engineering of navigation in rapids [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.

[12] 赵志舟, 赵世强, 许光祥. 山区河流滩群河段的碍航特征与整治原则分析[J]. 水利水运工程学报, 2013(2): 39-44. ZHAO Z Z, ZHAO S Q, XU G X. Analysis of navigation hindering characteristics and regulation principle of shoal group reaches of mountain rivers [J]. Hydro-science and engineering, 2013(2): 39-44. (本文编辑 王传瑜)

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。