

# 基于大数据的三峡库区航标布设分析平台

曾科伟<sup>1</sup>, 毛熊磊<sup>1</sup>, 金健灵<sup>2,3</sup>, 廖江花<sup>2,3</sup>

(1. 长江重庆航道局, 重庆 401121; 2. 重庆交通大学 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074; 3. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

**摘要:** 在当前航标管理维护手段较为落后的情况下, 结合长江航道养护管理向智能化转型发展的大趋势, 以及大数据、人工智能等前沿技术, 开展基于河床地形、水深、航标历史布设位置等复杂外部条件下的航标布设智能分析技术研究。通过航道水位、地形、维护尺度等边界条件, 结合航标布设历史坐标数据, 完成航道适航区域划分与航标布设点位的输出, 并基于 Mysql 数据库和 Matlab GUI 开发平台, 构建了适应于三峡库区航标布设的分析系统平台。

**关键词:** 航标布设; 大数据; 数据库

**中图分类号:** U644 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0072—03

当今航运产业正处于寻求创新突破的发展跨越期, 航运科技创新和服务创新能力的提升是长江航运科学发展的重要组成部分, 也是推动长江航运可持续发展的关键动力。围绕当前国际形势和服务国家发展战略, 深度融合物联网、云计算、大数据管理、新一代移动通信等现代信息技术, 促进航运产业的集成化创新应用, 并推进航运规划管理的智能化转型已经成为航运业的主要发展方向。

目前, 我国在航运智能化发展方面仍处于核心技术研发阶段, 大量实际生产环节仍然存在数字化水平偏低、智能化程度不高的现象, 要实现真正的数字化航道以及智能航道, 还有大量工作亟待开展。其中, 航标作为服务于保障水上活动安全的助航设施, 是内河航运安全的最根本保障, 航道设施信息化、航标布设及管理维护的智能化是航运智能化发展的重要支撑。但当前内河航标规划布设及管理维护的智能化水平不高, 如数字航道一般只能反映航标信息的动态特性, 难以直接指导航标的布设。由于航标布设的影响因素过多, 包括河床水位波动、不同河段不同时段的维护尺度存在差异等, 均难以通过传统数学模型进行分析, 实际生产中航标的布设仍然采用传统的经验判断和人为布置为主的方式进行。在此基础上, 航标布设的准确性与合理性主要依赖于现场设标人员或者技术人员的经验判断, 并在移设标现场或者办公场所通过数字航道平台校核设标位置的准确性及合理性, 存在工作效率低下和科学性不足等问题, 制约了内河航道智能化水平及航运产业的发展, 航标布设的智能化转型升级亟待展开。

## 1 数据库的构建

由于航标布设的影响因素复杂多样, 包括河床水位波动、水流情况复杂、不同河段不同时段的维护尺度存在差异等情况, 本文基于水位、地形、航标布设历史位置等航标布设必须考虑的边界数据, 构建航标布设平

台的数据库。

基于 MySQL 数据库, 导入典型河段的地形、航道滩险分布、河段水位、流量、航道现状、历史航标布设位置点等基础数据资料。



图1 数据库基本框架

## 2 航标布设分析平台构建

### 2.1 基于 matlab 的分析平台搭建

(1) 分析平台总体架构。采用 Matlab GUI 平台, 本研究基于地理信息技术搭建了长江上游车亭碛至乌木桩水道的二维数字航道系统平台。根据用户需求与平台的核心功能, 系统总体架构包括数据感知、智慧层以及应用服务层 3 个层级。系统总体架构如图 2 所示。

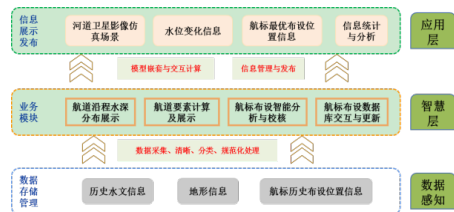


图2 分析平台总体架构

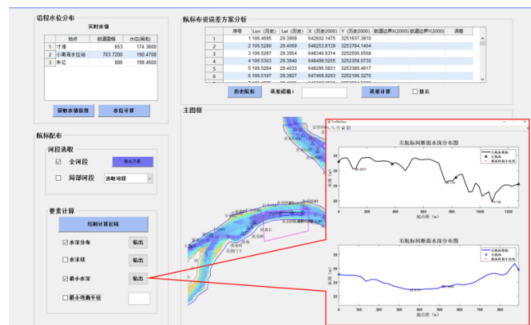


图3 航标布设智能分析平台布局

## 2.2 航道沿程水深计算

航道沿程水深分布数据是确定航标布设方案的基础，直接决定了航标布设的准确性及科学性。本研究针对辖区河段构建二维数学水流模型，结合河段具体的地形、流量、水位等数据计算河道沿程水深及速度场分布，丰富航标布设数据库，为航标布设工作提供更为准确的边界条件。

### 2.2.1 建立平面二维水流数学模型

模型基本方程为：

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[ \frac{\partial(h_2 q)}{\partial \xi} + \frac{\partial(h_1 p)}{\partial \eta} \right] = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \beta \left( \frac{1}{J} \frac{\partial(h_2 q U)}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \frac{\partial(h_1 p U)}{\partial \eta} - \frac{pV}{J} \frac{\partial h_2}{\partial \xi} + \frac{qV}{J} \frac{\partial h_1}{\partial \eta} \right) - fp + \frac{gH}{h_1} \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \frac{qg\bar{q}}{(CH)^2} \\ = \frac{v_e H}{h_1} \frac{\partial E}{\partial \xi} - \frac{v_e H}{h_2} \frac{\partial F}{\partial \eta} + \frac{1}{J} \frac{\partial(h_2 D_{11})}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \frac{\partial(h_1 D_{22})}{\partial \eta} + \frac{1}{J} \frac{\partial h_1}{\partial \eta} D_{12} - \frac{1}{J} \frac{\partial h_2}{\partial \xi} D_{21} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \beta \left( \frac{1}{J} \frac{\partial(h_2 q V)}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \frac{\partial(h_1 p V)}{\partial \eta} + \frac{pU}{J} \frac{\partial h_2}{\partial \xi} - \frac{qU}{J} \frac{\partial h_1}{\partial \eta} \right) + fq + \frac{gH}{h_2} \frac{\partial Z}{\partial \eta} + \frac{pg\bar{q}}{(CH)^2} \\ = \frac{v_e H}{h_2} \frac{\partial E}{\partial \eta} + \frac{v_e H}{h_1} \frac{\partial F}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \frac{\partial(h_2 D_{22})}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \frac{\partial(h_1 D_{11})}{\partial \eta} - \frac{1}{J} \frac{\partial h_1}{\partial \eta} D_{12} + \frac{1}{J} \frac{\partial h_2}{\partial \xi} D_{21} \end{aligned} \quad (3)$$

### 2.2.2 求解方法

本模型结合了水面纵横向流速方程，并在横向流速分布中考虑弯道曲率导致的二次流，为提高模型计算效率，在确保模型计算精度的前提下忽略次生二次流。模型水流模块采用ADI法对控制方程有限差分法离散，除了连续方程中水位对时间偏导数项采用向前差分、以及动量方程中对流项采用一阶迎风和中心差分格式组合外（QUICK格式），其余各项采用中心差分。

## 2.3 航标布设方案输出及自主校核

航标布设方案分析及输出是本平台的核心功能，该功能的实现主要基于航道沿程水深数据及相应维护水深，本研究通过开发不同河段、不同维护水深下的航道边界快速生成算法得到任意维护水深下的有效航道边界，进一步结合历史航标配布里程数据和当前航标布设GPS坐标数据，完成具体河段航标布设坐标信息的自主输出和自主校核，综合考虑对当前航标的处理方式（保留、移位等）。

### 2.3.1 不同维护水深下的航道边界生成方法

为避免直接通过全河段航道等深线确定适航航道区域进而提取航道边界的方式存在的适航区域不连通和离散的缺点。本研究在航道沿程水深分布计算的基础上，进一步结合具体航道维护尺度提出了不同维护水深下的航道边界生成方法。

该方法的主要思路是基于航道中心基准线和弯曲半径等反映河道形态变化复杂程度的航道要素，沿中心线方向对河道进行河道形态自适应的横断面剖分（对转弯半径较大河段的划分密度相应提高，提升程度与河道曲率呈正相关），进而得到各断面河底形态。航道中心基

准线的来源可通过船舶航行定位数据获取，对于中短河段也可人工勾选录入。通过计算维护水深线与河断面交点和对计算得到的交点进行有效性判别，确定各断面的有效航宽及边界点，最终得到全河段的航道边界离散结果。进一步，在计算得到沿程航道边界离散点的基础上，采用与航道中心基线提取相同方法，通过参数方程下的三次样条插值得到有效航道边界线和适航区连通域。本研究示范河段车亭碛——乌木桩水道的航道沿程水深分布、航道沿程自适应断面划分输出如下图所示：

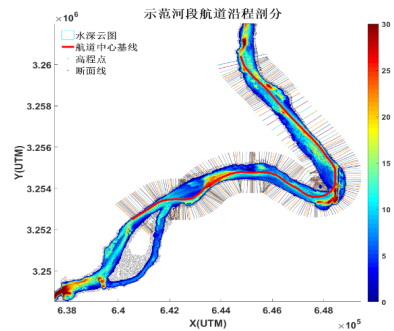
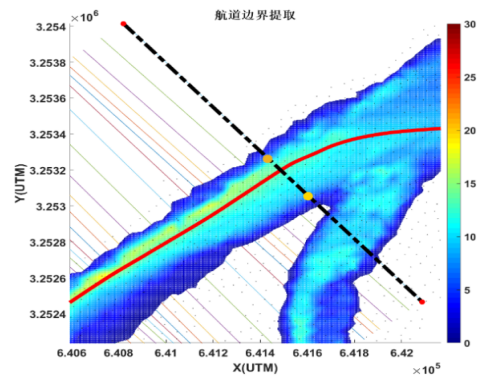
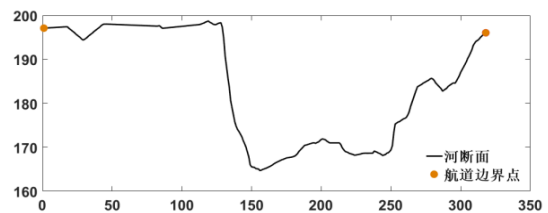


图4 河道断面自适应划分



(a) 离散断面航道边界点提取



(b) 对应河道断面地形

图5 航道边界提取

### 2.3.2 基于历史航标数据的布设方案分析及校核方法

通过航道沿程水深计算和特定维护水深下的航道适航边界提取，可以得到目标河段在该维护水深下的适航连通区域。在此基础之上，结合航标历史布设数据和水位信息，以当日实测水位为主要指标，通过分析平台与航标布设数据库的连接可以快速匹配提取对应水位下航标配布数量及其对应的具体航道里程，并以此作为分析平台输出方案中的设标里程。进一步结合该航道里程处的断面地形、维护水深、当地水位，计算该里程断面的

具体设标位置，结果以 GPS 坐标形式进行输出。

### 3 航标布设平台功能

#### 3.1 全河段水深分布计算

勾选【要素计算】模块下的【水深分布】复选框，主图框会显示研究河段的水深分布云图。首先运用 Delaunay 三角剖分算法，将水深散点处理为非结构化三角网格。然后计算三角网格边长，采用界定范围的方法删掉边长太长的不合理网格，最后采用 trisurf 函数显示水深分布云图。

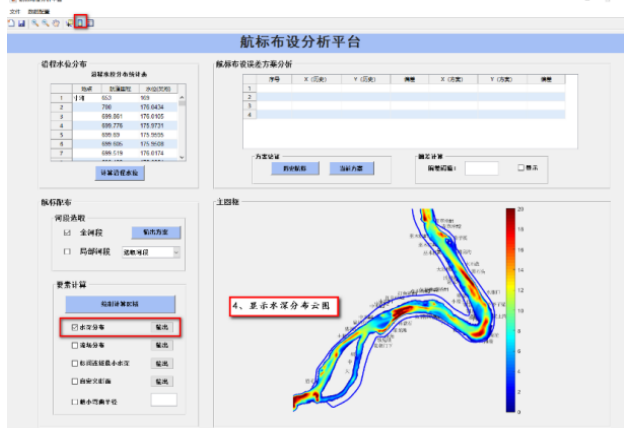


图 6 水深分布云图

#### 3.2 河面流场计算

系统设置了河段速度场计算及显示模块，基于二维水流数学模型，将计算结果显示到主图框中。在【要素计算】面板中，勾选【流场分布】复选框，主图框中会显示流速矢量分布图，流速最大值见左上角图例。点击【输出】按钮，系统将流场数据存储存储在系统默认路径（或者用户自定义路径）的‘流场数据.xls’中。在主图框中，单击鼠标左键可查询任意点位置的属性信息，即位置 X、Y，水深和流速。在键盘上按 Esc 键，可清除绘制的点，关闭属性信息的显示。

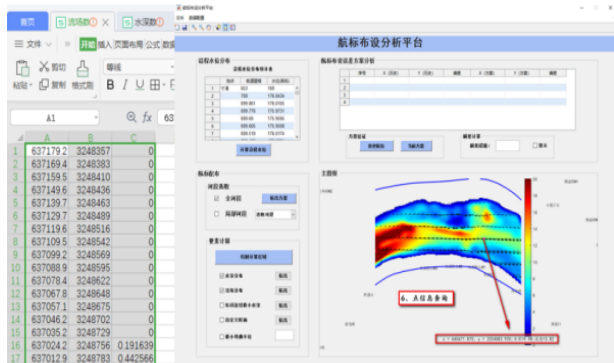


图 7 流场数据计算存储与查询

#### 3.3 标间最小连线水深计算

系统设置了标间最小连线水深计算模块，采用

Inpolygon 函数判别多边形区域边缘内部或边缘上的点的方法，实现目标区域的航标间纵向区间最小水深计算，检验航标布设的合理性。点击【要素计算】模块下的【绘制计算区域】按键，可在主图框中单击鼠标绘制目标计算区域，如图中所示青色线段。勾选【最小水深】复选框，绘制目标区域的左右航标纵断面水深分布图，如图 8 所示，以红色圆点的形式显示两航标间最小水深。点击【最小水深】右侧的【输出】按钮，系统会以数据文件的形式存储计算数据。

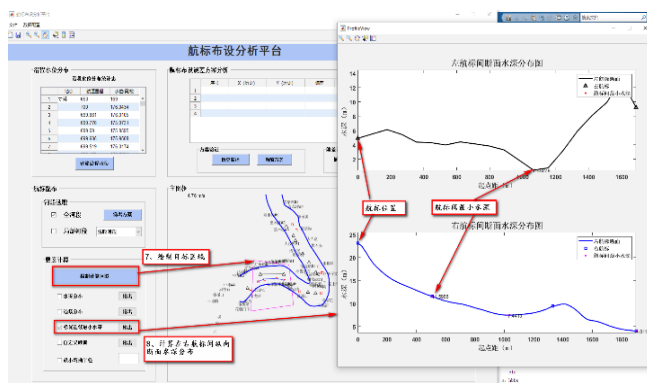


图 8 目标区域航标间纵断面水深分布图

#### 3.4 目标区域最小弯曲半径计算

在本系统中具体操作方式为：勾选【要素计算】模块下的【最小弯曲半径】复选框，主图框会绘制目标区域内的航道中心线，并在右侧文本框中显示计算的区域最小弯曲半径。

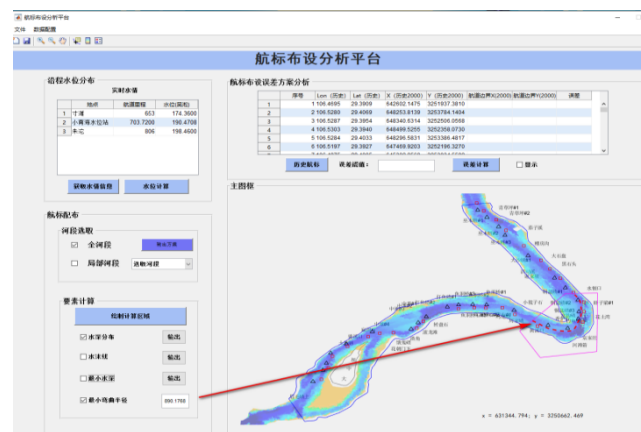


图 9 最小弯曲半径计算功能显示

### 4 结论

本文基于航道智能化发展趋势，结合三峡库区航标布设工作实际需求，开展基于河床地形、水深、航标历史布设位置等复杂外部条件下的航标布设智能分析技术研究，开发基于大数据的航标布设数据库及分析平台，实现航标布设方案的智能分析、输出、存储，对促进航标布设工作由经验化向理论化的发展有积极作用。