

水位降落对湘江长沙枢纽至芦林潭河段 航道条件影响数值分析

胡雄

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410200)

摘要: 针对湘江长沙枢纽至芦林潭河段开展水位降落研究, 结合水文资料, 建立湘江长沙枢纽至芦林潭河段的二维数学模型, 运用数学模型展开水位降落对航道条件的分析, 探讨河段上鱼尾~文经滩群控制节点的影响。

关键词: 水位降落; 碍航浅滩; 数值模拟

中图分类号: TV61

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 10—0148—02

湘江是湖南省第一大河流, 直通长江黄金水道, 湖南省超 65% 的水运量都发生于此, 湘江水系水运企业分布超全省水运企业的 50%, 而湘江下游上的湘江株洲至城陵矶河段, 是湘江水系航道的咽喉, 是湖南省水运的最主要的动脉^[1]。目前, 湘江长沙枢纽至芦林潭河段内的鱼尾~文经滩群在枯水季节, 航道水深严重不足, 浅滩段碍航的特性日益突显。为了解枯水季节下游水位下降对鱼尾~文经滩段控制节点及长沙枢纽坝下水位的影响, 数学模型开展了设计流量下湘阴水位不同降落值对研究河段航道条件影响的预测分析。

1 模型建立与验证

1.1 控制方程

基于笛卡尔坐标系, 采用非结构化网格建立二维水动力模型^[2-3], 其控制方程离散方法采用单元中心的有限体积法求解, 模型采用非结构三角网格更有利于拟和复杂河道边线, 同时可以对挖槽附近的网格进行局部加密。

在水深 $h = \eta + d$ 上, 水流连续方程为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = 0$$

水流运动方程为:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \frac{\bar{u}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{C^2 h} = \nu_i \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + g \frac{\bar{v}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{C^2 h} = \nu_i \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right)$$

式中: t 为时间; x, y 为为右手 Cartesian 坐标系;

d 为静止水深; $h = \eta + d$ 为总水深; η 为水位; u, v 分

别为流速在 x, y 方向上的分量; C 为谢才系数。

1.2 计算范围及网络划分

根据研究内容及河段河势情况, 拟定数学模型范围为: 长沙枢纽坝下至芦林潭下游约 4km 处, 包括湘江东、西支, 总长约 94.5km (湘江西支 33km、资水入汇口以上 3km)。模型范围内共划分了 1335×236 个正交曲线网格, 并对鱼尾~文经滩段网格进行加密, 网格纵向长度 10~120m, 横向长度 1~30m。

1.3 模型验证

依据 2018 年 1 月实测长沙枢纽坝下至芦林潭河段地形图建立了研究河段平面二维水流数学模型, 采用 2017 年 12 月~2019 年 11 月间四次水文测验资料对模型进行验证, 结果表明, 模型计算水位与实测水位误差在 $\pm 0.1\text{m}$ 内, 水面线波动 $\pm 0.1\text{m}$ 内, 测流断面计算流量与实测流量误差在 $\pm 5\%$ 内, 断面流速分布趋势与实测基本一致, 数学模型的验证结果满足规范要求 (见表 1)。

2 水位降落分析

受长江三峡枢纽出库流量大小、湘江尾闾及洞庭湖区水文地形变化等因素的影响, 湘江尾闾水位在疏浚之后存在进一步降落的可能, 数学模型以长沙枢纽下泄流量 $385\text{m}^3/\text{s}$, 资水入汇流量 $225\text{m}^3/\text{s}$, 湘阴水位 18.55m 为基础, 计算水位分别降低 0.2m、0.5m、1.0m, 即湘阴水位下降至 18.35m、18.05m、17.55m 时对工程河段航道条件的影响。

计算结果分析表明, 随着湘阴站水位的降落, 研究河段沿程水位同步降落。受鱼尾~文经滩段节点控制的

影响, 滩段水位落差增大, 水面比降增大。长沙枢纽坝下至萝卜洲梳齿坝坝头河段水位降落值与下游河段相比相对较小, 湘阴站水位分别降低 0.2m、0.5m、1.0m 时, 长沙枢纽坝下水位分别降低 0.07m、0.14m、0.2m。水位沿程变化详情见图 1。

长沙枢纽坝下至芦林潭河段各支汊分流比随着湘阴站水位降落值的增大, 各工况下萝卜洲右汊分流比由现状的 87.8% 分别增大至 90.4%、93.5%、96.1%, 湘江东支分流比略有增大, 但变化幅度不大。

表 1 水面线验证 (Q=720m³/s)

水尺	距长沙枢纽里程 (km)	实测 (m)	计算 (m)	差值 (m)	水尺	距长沙枢纽里程 (km)	实测 (m)	计算 (m)	差值 (m)
SL1	2.1	19.62	19.69	0.07	WR5	28.1	19.48	19.55	0.07
SL2	4.7	19.61	19.65	0.04	WR6	29.8	19.28	19.28	0.00
SL3	9.8	19.57	19.62	0.05	WR7	31.7	19.27	19.27	0.00
SR4	15.3	19.54	19.62	0.08	SR5	34.8	19.20	19.23	0.03
WR1	23.6	19.54	19.60	0.06	湘阴站	43.3	19.17	19.17	0.00
WR2	25.1	19.51	19.59	0.08	SR7	51.6	19.12	19.10	-0.02
WR3	26.6	19.41	19.44	0.03	SR9	57.1	19.11	19.10	-0.01
WR4	28.1	19.31	19.34	0.03	SL6	38.8	19.30	19.29	-0.01

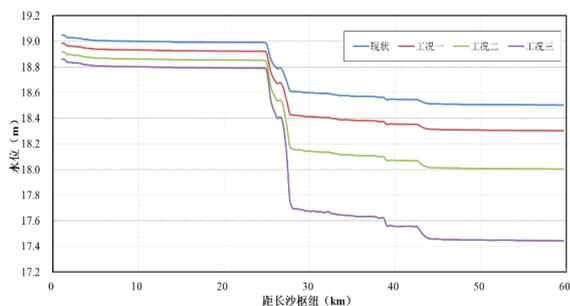


图 1 各工况下研究河段沿程水位变化

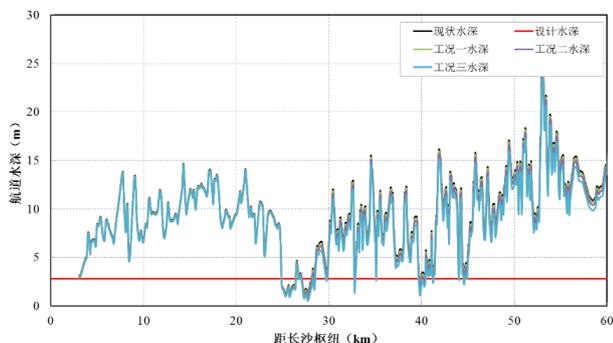


图 2 各工况下航道内最小水深变化

此外, 随着湘阴站水位降落, 航道内流速及航道水深均受到影响。湘江站水位降落后, 鱼尾~文经滩段航道内水流流速呈增大趋势, 且随着水位降落值的增大, 航道内流速逐渐增大。当湘阴站水位分别降落 0.2m、0.5m、1m 时, 鱼尾~文经滩段最大流速增幅分别为 0.11m/s、0.24m/s、0.36m/s。其余河段最大流速增幅一般在 0.1m/s 以内。航道水深根据图 2 显示: 随着湘阴站水位的逐步降低, 鱼尾~文经滩段航道内最小水深逐渐减小, 当湘阴站水位降落 1m 时, 鱼尾~文经滩段航道内最小水深将不足 0.5m, 并且湘阴以下局部河段将出现新的碍航浅区, 这将不利于船舶的航行。

3 结论

本文采用平面二维水流数学模型与资料分析相结合的技术手段, 以现状条件下湘阴站水位为基础, 开展鱼尾~文经滩段航道水位降落研究。结论如下: 在枯水季节, 随着湘阴站水位的降落, 设计流量下鱼尾~文经滩段水位落差增大, 水面比降增大, 航道水深减小, 航道内水流流速呈增大趋势, 萝卜洲右汊分流比增大, 湘江东支分流比略有增大。由此可知, 枯水期控制节点鱼尾~文经滩段水位变化对长沙枢纽坝下至芦林潭河段通航状况有重大影响, 需要借助一些工程措施改善通航条件。

参考文献:

- [1] 官志鑫, 田红伟, 刘学著, 等. 湘江株洲与长沙枢纽共同影响下的坝间航道整治数值分析 [J]. 水道港口, 2020(08): 441-446.
- [2] 刘虎英. 城陵矶建闸对洞庭湖主要航道影响分析 [J]. 交通科学与工程, 2018(03):50-55.
- [3] 杨峰. 草尾河阿弥石河段航道整治效果数值分析 [J]. 中国水运, 2020(04):18-20.

基金项目: 湖南省交通运输厅科技进步与创新项目 (202024); 洞庭湖水环境治理与生态修复湖南省重点实验室开放基金项目 (2018DT03); 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室开放基金项目 (2017SS05)。