

洞庭湖草尾河航道碍航特性分析

刘方舟, 乾东岳, 普晓刚, 张明

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 洞庭湖草尾河航道因外部条件变化, 在多次航道整治后枯水期再次成滩。为进一步认识草尾河航道碍航特性, 采用平面二维水流数学模型, 对洞庭湖草尾河航道开展了水流数值模拟计算。计算结果表明, 草尾河下段约 24.7km 航段枯水期航深不足; 枯水期水位落差集中在阿弥石至灵官咀河段, 枯水期局部最大比降 3.6‰, 最大表面流速 3.28m/s, 急流成滩; 阿弥石河段为连续弯道, 上下湾顶对峙, 流态紊乱, 险滩碍航。即草尾河航道枯水期兼具浅、险、急多重碍航特性。采砂形成纵向陡坎是枯水期再次成滩的主要成因, 建议进行采砂坑修复, 同时扩能升级工程再次实施后应加强管理避免整治工程失效。

关键词: 草尾河; 连续弯道; 碍航特性; 陡坎; 数学模型

中图分类号: TV213.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1006—7973 (2022) 09—0119—03

1 前言

草尾河茅草街至鲇鱼口 73km 河道可分为河、湖两段 (见图 1), 其中茅草街至泥湾 57km 为上段, 两岸有防洪大堤, 具有河道属性; 泥湾至鲇鱼口 16km 为下段, 是洞庭湖的一部分, 具有河湖双重属性。草尾河两端水位差较大, 河湖双重属性作用下易形成“陡坎”^[1]。该段是洞庭湖区历次航道整治的重点滩险之一^[2-3]。经过多年发展, 该航段基本满足Ⅲ级航道标准, 可通航 1000t 级船舶^[4]。不过近年来受湖区水沙情势变化^[5]和河道采砂等高强度人类活动的综合影响, 灵官咀及其以下河段航道整治竣工地形受到严重破坏, 导致阿弥石至灵官咀河段通航条件又急剧恶化, 枯水期需助航上滩。

为适应沿江经济发展和船舶大型化需要, 湖南省水运“十三五”建设规划要求沅水常德至鲇鱼口 213km 航段进一步扩大航道尺度和提升通过能力, 将航道等级由Ⅲ级提升至Ⅱ级 (3.0m×75m×360m, 水深×航宽×弯曲半径), 其中茅草街至鲇鱼口 73km 的航道是沅水常德至鲇鱼口Ⅱ级航道建设中的关键性工程之一, 为研究航道条件恶化的成因, 避免航道扩能升级后航道条件再次恶化, 建立平面二维水流数学模型对现状河道开展数值模拟计算研究。

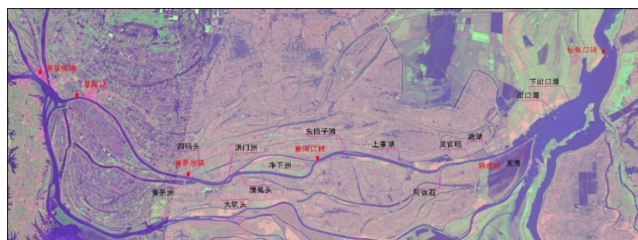


图 1 草尾河河道形势及滩险位置图

2 平面二维水流数学模型的建立与验证

2.1 模型基本方程

平面二维水流模型基本方程可表示成如下通用微分方程式, 即:

$$\frac{\partial(C_{\eta}Hu\Phi)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{\eta}Hv\Phi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_{\Phi}H\frac{C_{\eta}}{C_s}\frac{\partial\Phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma_{\Phi}H\frac{C_{\eta}}{C_s}\frac{\partial\Phi}{\partial y}) + S_{\Phi} \quad (1)$$

其中, u 、 v 为水流在 x 、 y 方向上的流速, H 为水深, Γ_{Φ} 为扩散系数, $\Phi = H, u, v, S$, 各方程主要差别体现在源项 S_{Φ} 上, 源项是因变量的函数, 需对源项 S_{Φ} 负坡线性化, 即: $S_{\Phi} = S_p\Phi + S_c$, Φ 、 S_p 、 S_c 为方程替代项。

2.2 模拟范围与计算网格

建立了草尾河航道平面二维水流数学模型, 模型进口位于草尾水文站附近, 出口位于泥湾附近, 模拟河段长约 60km, 共布置 1570×196 个网格, 并对航道区域及滩险河段进行加密处理, 加密后纵向尺度一般为 20 ~ 50m, 横向尺度一般为 4 ~ 8m。数学模型计算范围见图 2 所示。

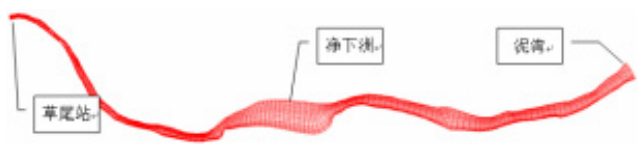


图2 数学模型计算河段 1/10 网格图

3 现状水流特性计算分析

3.1 计算条件

因高水期草尾河水面平缓,船舶航行情况较好,故数学模型重点针对中枯水期航道条件进行研究,根据河道来流情况,确定了6种计算工况(表1)。

表1 数学模型计算工况

序号	草尾站流量 (m ³ /s)	尾门水位(m)	备注
1	460	19.14	设计最小通航流量
2	700	20.18	枯水流量
3	1000	22.93	中水流量
4	1500	25.29	洪水流量
5	3000	29.71	洪水流量
6	5190	33.94	20年一遇

3.2 现状水流特性计算分析

3.2.1 河道水位

在计算条件下,草尾至泥湾河段水位落差1.26~6.97m,水位落差呈现随流量增大而逐渐减小的规律。草尾流量460m³/s时,水位落差最大,为6.97m,草尾站水位26.11m。

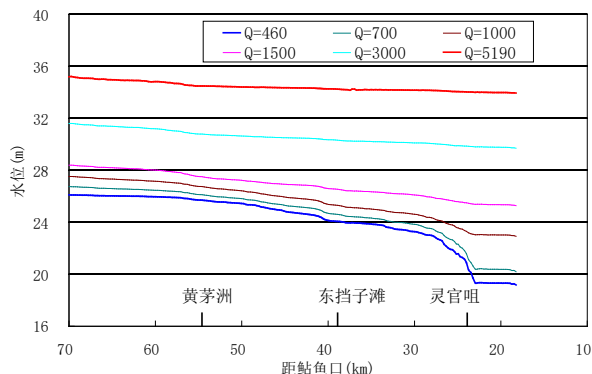


图3 现状情况各工况条件下河段水面线

3.2.2 河道比降

随着流量增大,草尾至泥湾河段局部最大比降趋于减小。在设计最小通航流量 $Q=460\text{m}^3/\text{s}$ 时,河段局部最大比降最大,为3.47‰;在流量增大到 $1500\text{m}^3/\text{s}$ 时,局

部最大比降已降至1‰以下。

流量 $Q \leq 700\text{m}^3/\text{s}$ 时,阿弥石至澧湖河段局部比降较大,其中灵官咀滩、阿弥石滩、澧湖滩局部最大比降分别为3.47‰、2.06‰、0.81‰,其它河段水流较为平缓,局部比降最大为0.56‰;流量 $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$ 时,阿弥石滩局部最大比降为1.27‰,灵官咀滩、澧湖滩局部最大比降分别减小至0.57‰、0.42‰,其它滩段局部比降最大为0.47‰;在流量 $Q \geq 1500\text{m}^3/\text{s}$ 时,全河段局部最大比降位置位于四码头附近,阿弥石至澧湖河段局部最大比降小于0.5‰。

3.2.3 航槽水深

图4给出了草尾站为设计最小通航流量 $Q=460\text{m}^3/\text{s}$ 、鹿角站为设计最低通航水位19.09m条件下航槽的最小水深。由图可见,黄茅洲至澧湖河段,现状情况下大部分航段(约24.7km)不能满足3m设计航深的要求,其中灵官咀河段沿程最小水深一般在2m左右,比设计水深小1m;上塞湖河段沿程最小水深一般在2.5m左右,比设计水深小0.5m;净下洲至黄茅洲河段沿程最小水深一般在2.6~2.8m,比设计水深小0.4~0.2m。黄茅洲以上至草尾河段、泥湾以下河段沿程最小水深一般大于3m,水深条件较好。

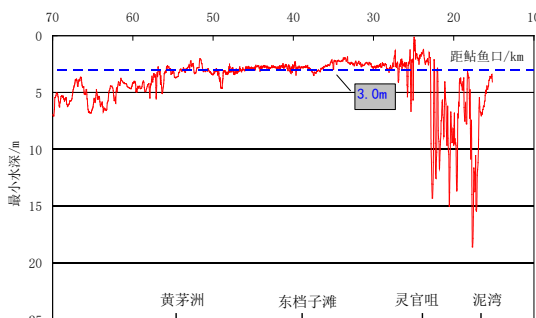


图4 研究河段航槽最小水深沿程变化图

3.2.4 河道流速

草尾至黄茅洲间长约15km,河道微弯,河槽单一,水面平缓, $Q \leq 3000\text{m}^3/\text{s}$ 时,流速小于2m/s,枯水河面宽度最小约200m,通航水流条件较好。黄茅洲至上塞湖河段流速一般小于1.5m/s,主流也比较平顺。阿弥石至澧湖6km河段,河床起伏较大,且岸线不规则,对水流流态有一定影响,如阿弥石河段水流比较紊乱(图5),灵官咀枯水有明显的急流(图6),左岸有明显的回流。澧湖以下开始进入湖区,因受采砂等影响,床面较低,水流流速较小,通航水流条件较好。

流量 $Q \leq 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 灵官咀是全河段流速最大的河段, 且最大流速呈随流量增大流速减小态势; 流量 $Q \geq 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 全河段流速最大区域位于黄茅洲至草尾水文站之间, 且最大流速呈随流量增大流速增大态势。在计算的各工况条件下, 以工况 1 设计最小通航流量 $Q=460 \text{ m}^3/\text{s}$ 条件下, 灵官咀河段流速最急, 最大流速达 3.21 m/s 。

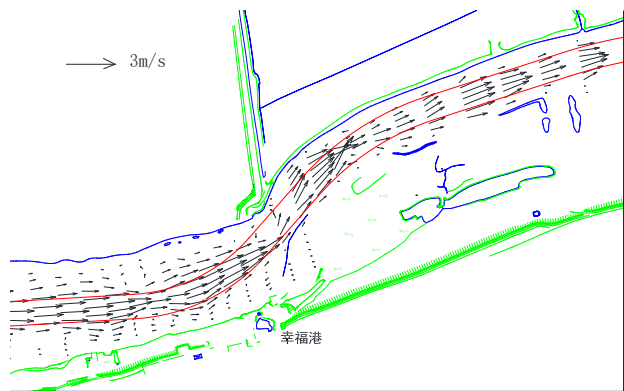


图 5 现状情况 $Q=460 \text{ m}^3/\text{s}$ 条件下阿弥石河段流场

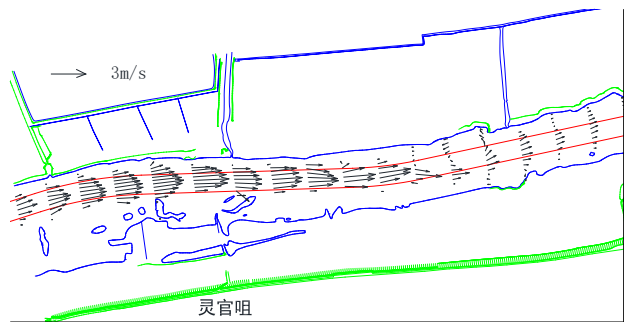


图 6 现状情况 $Q=460 \text{ m}^3/\text{s}$ 条件下灵官咀河段流场

3.3 碍航特性分析

现状条件下草尾河水流特性与上滩能力计算成果表明, 枯水期水位落差集中在阿弥石至灵官咀河段:

(1) 阿弥石河段呈连续急弯河势, 河槽窄深、上下湾顶对峙, 在设计最小流量时最大局部比降 2.06‰ , 最大表面流速 2.60 m/s , 流态紊乱、水流冲岸, 最小航槽水深不能满足 II 级航道尺度要求, 具有枯水急、浅、险多重碍航特性。

(2) 灵官咀河段为顺直河段, 灵官咀中段深泓陡降, 形成跌坎。枯水期局部最大比降 3.6‰ , 最大表面流速 3.28 m/s , 急流碍航。因灵官咀上接阿弥石连续弯道段, 灵官咀进口段形成回流碍航流态。

(3) 草尾至鲇鱼口拟建航道等级为 II 级, 保证率 98%, 设计航道尺度为 $3.0 \times 75 \times 360 \text{ m}$ 。在航道等级由 III 级提升至 II 级后, 航道水深将由 2.0 m 提高到

3.0 m 。现状情况下黄茅洲至澧湖河段, 大部分航段 (约 24.7 km) 不能满足 3 m 设计航深要求, 主要为枯水浅滩。

4 结论及建议

采用平面二维水流数学模型对草尾河开展数值模拟计算, 计算结果表明:

(1) 近年来灵官咀及其以下河段出现大面积河床非自然下切。局部河床非自然下切在灵官咀河段形成陡坎。因枯水期洞庭湖水位较低, 草尾河两端水位落差大, 加之灵官咀及其以下河段深泓陡降, 导致草尾河水面比降集中于陡坎以上的阿弥石至灵官咀河段, 枯水成滩。

(2) 草尾河下段约 24.7 km 不能满足 3 m 设计航深要求, 且整个河段水位落差主要集中于阿弥石至灵官咀段, 该段是影响草尾河下段水位的关键节点。节点河床浚深或拓宽, 易导致阿弥石以上河段枯水水位大幅下降, 需慎重考虑该段航道整治措施。

(3) 根据碍航特性与成因分析, 拓宽与浚深阿弥石至灵官咀段河槽仅可改善局部水流条件, 且易导致碍航点上移。通过修复灵官咀及其以下河段采砂坑, 营造平缓的枯水水位, 减小阿弥石至灵官咀河段水位落差, 可系统解决草尾河枯水碍航的问题。

参考文献:

- [1] 刘海军, 余德清, 刘登忠, 夏清, 颜玲. 草尾河灵官嘴“跌水”成因的遥感研究 [J]. 国土资源遥感, 2006(03):65-68.
- [2] 郭小虎, 李义天, 唐金武, 朱玲玲. 三峡水库运用 20a 后对草尾河航道的影响 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2009, 42(01):82-86.
- [3] 平克军, 乐培九. 草尾河挖槽河段水位下降及其对上游的影响 [J]. 水道港口, 2004(03):154-158.
- [4] 许足怀, 郝品正, 平克军. 草尾河阿弥石至响水坎段航道疏浚及效果分析 [J]. 水道港口, 2005(02):87-89.
- [5] 陈健强, 郝品正. 洞庭湖区草尾河草尾至泥湾河段航道治理研究 [J]. 水道港口, 2004(01):25-28.