



城陵矶枯水位下降对洞庭湖区 湘江尾闾航道的影响

刘哲, 冯小香, 彭伟, 张明

(交通运输部天津水运工程科学研究所 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 三峡水库蓄水运行后, 由于出库水沙条件的变化, 引起坝下长距离的河床冲刷和水位下降。根据有关预测, 水库运行 20~50 a 后, 城陵矶枯水位将下降 1~2 m。运用水动力学模型, 计算城陵矶枯水位下降对洞庭湖区湘江尾闾航道的影响。计算结果表明: 城陵矶枯水位下降 1~2 m 时, 湖区航道水面比降加大, 自湘江洞庭湖出口航道至湘江湖区航道营田滩处约 80 km 范围的沿程水位下降、航道水深减小, 大部分已整治的滩险水深难以达到 II 级航道标准, 航道条件恶化。

关键词: 城陵矶; 洞庭湖; 湘江尾闾航道; 水动力学模型; 水位

中图分类号: U 69

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)06-0127-04

Effect of Chenglingji low water level decrease on Dongting lake Xiangjiang tail fairway

LIU Zhe, FENG Xiao-xiang, PENG Wei, ZHANG Ming

(Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications,

Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: Due to the changes in water and sediment conditions of the library after the impoundment operation of the Three Gorges reservoir, which caused riverbed erosion and drawdown in a long distance at downstream of the dam. Chenglingji water level was estimated to drop 1 m to 2 m after the reservoir operation from 20 to 50 years. The effect on Dongting lake area Xiangjiang tail fairway under dry circumstances was evaluated by calculating the water level drops with the hydrodynamic model. The results show that the lake's waterway surface slope will increase if Chenglingji water level drops 1 m to 2 m under dry circumstances, and water levels and channel depth will reduce significantly in the distance of 80 km from Xiangjiang Dongting lake outlet channel to Xiangjiang lake area channel Yingtian beach, which may result in a significant deterioration of waterway conditions. Meanwhile, the renovated shoal's water depth will not be able to achieve the grade 2 fairway standard.

Keywords: Chenglingji; Dongting lake; Xiangjiang tail fairway; hydro-dynamic model; water level

洞庭湖位于长江中下游荆江河段南岸, 是我国第 2 大淡水湖泊, 承接松滋、太平、藕池、调弦(已堵塞) 4 口的长江分流来水, 汇集湘、资、沅、澧 4 水及环湖中小河流, 经城陵矶汇入长江, 江湖关系密切而复杂。三峡水库蓄水运行后, 拦截了长江上游 70% 以上的入库泥沙, 长江中下游河道水沙过程发生变化, 造成坝下河床发生长距

离、剧烈的沿程冲刷, 且冲刷沿时逐渐向下游发展^[1-2]。随着长江上游向家坝、溪洛渡等大型水利梯级的建设, 三峡水库清水下泄将呈长期态势, 清水下泄将使长江干流荆江段冲刷直至城陵矶, 导致城陵矶河床下切和比降增大, 从而引起长江干流城陵矶处水位下降, 导致洞庭湖水量下泄量增加及水位下降^[3-4]。根据研究成果^[5] 预测, 到

收稿日期: 2014-10-20

作者简介: 刘哲(1978—), 男, 硕士, 副研究员, 从事港口航道及海岸工程研究设计。

2022年,长江城陵矶河段由于河床冲刷枯水位将下降约1 m,到2052年下降2~2.2 m。

作为江湖航运的连接点,城陵矶枯水位下降不仅直接影响洞庭湖与长江航运的连通,而且会影响湘江、沅水两条国家高等级航道的畅通性。本文运用水动力学模型,以洞庭湖区枯期水文情势为边界条件,结合城陵矶枯水位下降趋势的研究成果,计算分析城陵矶枯水位下降对洞庭湖湘江尾间航道的影响,为洞庭湖岳阳综合枢纽工程提供参考。

1 水动力学模型

1.1 控制方案

本研究基于Mike21FM模块搭建洞庭湖区水动力学模型,模型控制方程包括连续方程和动量方程,即:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S_c \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} + \frac{\partial(wu)}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} -$$

$$\frac{g}{\rho_0} \int_z^{\zeta} \frac{\partial p}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s s_c \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} -$$

$$\frac{g}{\rho_0} \int_z^{\zeta} \frac{\partial p}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s s_c \quad (3)$$

式中: t 为时间; x 、 y 、 z 为直角坐标系坐标; u 、 v 、 w 分别为沿 x 、 y 、 z 方向的流速分量; ζ 为水位; f 为科氏参数; g 为重力加速度; ρ_0 为水的密度; ν 为紊动黏滞系数。

1.2 计算范围及网格划分

计算范围包括目平湖(西洞庭)、南洞庭湖、东洞庭湖、湘江长沙枢纽下游全部尾间河段及开湖航道(草尾河)。资水、沅水、澧水尾间河段及长江3口入湖来水分别在临资口、杨柳潭、周文庙、石龟山、肖家湾、三岔河、茅草街及注滋口处作为湖区进口边界进行概化处理,整个计算范围约3 150 km²(图1)。



图1 模型计算范围、进出口边界及水位验证点

模型采用三角形网格,并对研究的主要区域湘江尾间航道进行加密处理,模型最小空间步长约20 m,三角形网格节点214 115个,三角单元412 329个。

1.3 有关问题处理

1.3.1 定解条件

初始条件采用冷启动法处理。边界条件包括开边界和闭边界两种边界条件,开边界给定各进口流量及出口水位,闭边界为陆地边界。

1.3.2 床面阻力系数

床面阻力系数反映了水流和河床相互作用过程中,计算域边界粗糙程度、形态等因素对水流阻力的综合影响。模型中采用实测资料反求的方法获得床面阻力系数。

1.3.3 动边界处理

动边界问题是指计算区域中有水和无水区域交界线的确定问题。模型采用“冻结法”处理,通过定义临界水深 Δh 来确定干、湿单元,当水深 $h > \Delta h$ 时,糙率取正常值,反之糙率取一大值。陆地边界的处理方法是令闭边界的法向流速为0,而沿切线方向的流速为非0值。

1.4 计算验证

模型采用2003年10月14日城陵矶、岳阳、

鹿角、营田、湘阴、草尾、南嘴7个水文站的水位资料进行验证。水位验证点位置见图1,水位验证结果见表1。结果显示:模型计算水位与实测值最大水位偏差在8 cm以内,计算精度符合规范要求,模型结果可靠。

表1 数学模型水位验证结果

水文站	水位/m		
	实测	计算	差值
南嘴	28.06	28.14	0.08
草尾	28.02	28.09	0.07
湘阴	25.35	25.40	0.05
营田	25.30	25.34	0.04
鹿角	25.17	25.19	0.02
岳阳	25.07	25.07	0.00
城陵矶	25.03	25.03	0.00

1.5 城陵矶枯水位下降对湖区航道影响计算

本文研究枯期水文情势下城陵矶水位下降对洞庭湖湘江尾闾航道的影响。水文资料采用湘、资、沅、澧4水及长江松滋、太平、藕池3口和洞庭湖区相关水位(文)站1980—2008年的水文资料。进口边界采用相关水文站多年历时保证率为98%的流量作为控制条件(表2)。出口边界采用城陵矶水文站2003—2008年多年历时保证率98%的水位18.15 m作为初始条件,在此基础上研究出口水位下降1、2 m时湖区湘江尾闾航道条件的变化。

表2 模型进口流量

位置	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	说明
长沙枢纽	385	采用长沙枢纽坝址设计最小通航流量
临资口	244	采用杨堤水文站资料
杨柳潭	19	采用沙头站与杨堤站推算
周文庙	266	采用桃源水文站流量推算
石龟山	45	
安乡	25	
草尾	282	
三岔河	0	采用康家岗、管家铺、南县水文站推算
茅草街	0	采用康家岗、管家铺、南县水文站推算
南县	0	

注:流量指天然98%(枯水)的流量。

2 城陵矶枯水位下降引起的湘江尾闾航道条件变化

湘江尾闾航道总长约170 km,由下至上分为洞庭湖出口航道、湖区航道、长湘航道和西支航

道4部分。其中,洞庭湖出口航道指城陵矶—洞庭湖一大桥段,长约5 km;湖区航道指洞庭湖一大桥—卢林潭段,长约85 km;长湘航道指卢林潭—长沙综合枢纽段,长约55 km;西支航道指卢林潭—濠河口段,长约25 km。

2.1 水面比降变化

从尾闾航道全程水面比降来看:进口同流量条件下,城陵矶出口水位18.15 m时,水面比降为0.023‰;城陵矶出口水位下降1 m时,水面比降增大为0.03‰;城陵矶出口水位下降2 m时,水面比降增大为0.037‰,增幅约60%。

从航段水面比降来看:进口同流量条件下,城陵矶出口水位分别为18.15、17.15、16.15 m时,洞庭湖出口航道、长湘航道和西支航道的水面比降基本没有变化,水面比降发生变化的区间位于湖区航道(图2)。城陵矶水位18.15 m时,湖区航道水面比降为0.023‰;出口水位下降1 m时,湖区航道水面比降为0.035‰;出口水位下降2 m时,湖区航道水面比降为0.046‰,增幅为100%。

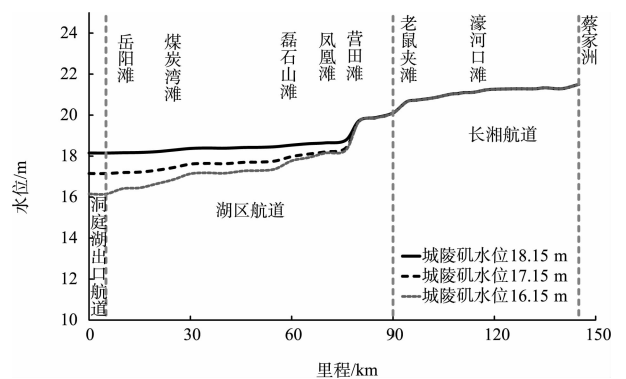


图2 城陵矶水位下降前后湘江尾闾航道沿程计算水面线(枯水条件)

从局部水面比降来看:湖区航道营田滩水域水面比降较大。城陵矶水位18.15 m时,营田滩水面比降为0.24‰;出口水位下降1 m时,水面比降增大为0.264‰;出口水位下降2 m时,水面比降增大为0.355‰。可以看出,由于营田滩本身水面比降较大,枯水条件下因城陵矶水位下降1~2 m而引起的湘江尾闾航道水面比降变化范围也基本至此,变化区域为湖区航道约85 km范围,自

营田滩以上至长沙综合枢纽段航道水面比降基本没有变化。

2.2 水位变化

进口同流量条件下，城陵矶出口水位 18.15 m 时，洞庭湖出口航道水位为 18.15 m，湖区航道水位在 18.15 ~ 20.11 m，长湘航道水位在 20.11 ~ 21.50 m，西支航道水位在 20.95 ~ 21.21 m；出口水位下降 1 m 时，洞庭湖出口航道水位下降 1.0 m，湖区航道水位下降 1.0 ~ 0.01 m，长湘段航道和湘江西支航道水位没有变化；出口水位下降 2 m 时，洞庭湖出口航道水位下降 2.0 m，湖区航道水位下降 2.0 ~ 0.01 m，长湘段航道和湘江西支航道水位没有变化。从范围上来看，如果以 0.10 m 作为水位明显降低的标准尺度，那么在城陵矶出口水位下降 1 ~ 2 m 时，自洞庭湖出口航道至湘江湖区航道营田滩处约 80 km 范围航道水位产生明显下降。可以看出，枯水条件下因城陵矶水位下降 1 ~ 2 m 而引起的湘江尾间航道水位变化范围与水面比降变化范围基本一致，受控河道位置同样为营田滩。

2.3 航道水深变化

根据有关资料^[6]，城陵矶—长沙综合枢纽坝下规划航道等级为 II (3) 级，航道尺度为 2.8 m × 90 m × 550 m (水深 × 航宽 × 弯曲半径)。图 3 表明，城陵矶出口水位下降 2 m 时，自湘江尾间洞庭湖出口航道至湖区航道营田滩处约 80 km 航道水深明显降低，部分已整治滩段航深出浅。

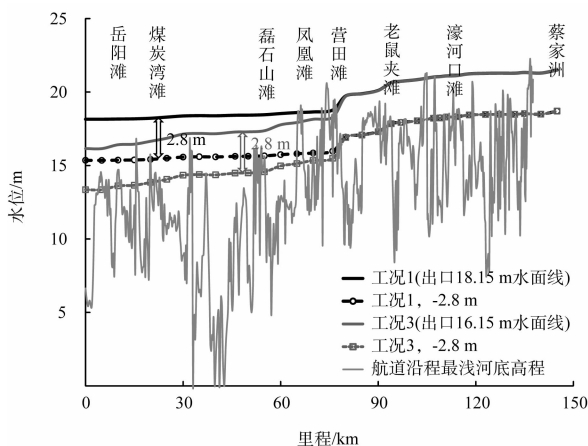


图3 城陵矶水位下降前后湘江尾间规划 II 级航道沿程航深分布 (枯水条件)

3 城陵矶枯水位下降对湘江尾间航道的影响

1) 对湘江尾间航道条件的影响。

根据上述计算分析，城陵矶水位下降将导致湘江尾间航道下段水面比降增大，从而引起流速加大、湖水出湖速度加快；同时航道沿程水位及航深的降低，导致部分已整治滩段航深出浅，航道条件恶化。

2) 对湘江航道规划的影响。

湘江从株洲航电枢纽坝址—城陵矶段规划为 II (3) 级航道^[6]，长沙综合枢纽建成后枢纽以上至株洲市航道尺度将达到 2 000 吨级航道标准，长沙枢纽以下至城陵矶段整治后可达 II 级航道。远期城陵矶枯水位下降将导致届时大部分已整治的滩险水深难以达到 II 级航道标准，如岳阳滩、煤炭湾滩、磊石山滩、凤凰滩、营田滩等。因湖区航道所具特征，束水攻沙用以维持航道稳定的措施效果较差，因此，尾间航道下段的尺度保持将需长期依赖疏浚维护；同时，由于航道开挖，枯水位的降低将向湖区、尾间航道的上段传递，将导致影响段的航道条件恶化，水位降落一旦传递到长沙综合枢纽下游，就将影响枢纽船闸的正常运行，从而给湘江航运带来负面影响。

4 结论

三峡水库蓄水运行后，清水下泄造成的河床冲刷仍在由坝下向下游沿程逐渐发展的过程中，未来随着长江上游向家坝、溪洛渡等大型水利梯级的建设，三峡水库清水下泄将成为一种常态，城陵矶水位下降将成为一种现实趋势。本文采用水动力数学模型研究了城陵矶枯水位下降对洞庭湖湘江尾间航道的影响，主要结论如下：

1) 随着城陵矶水位的下降，江湖水位落差加大，将导致湘江尾间航道下段水面比降增大，从而引起流速加大、湖水出湖速度加快。

2) 城陵矶枯水位下降 1 ~ 2 m 时，自湘江洞庭湖出口航道至湘江湖区航道营田滩处约 80 km 范围的沿程水位及航道水深产生明显下降，将导致大部分已整治的滩险水深难以达到 II 级航道标准，航道条件恶化。

(下转第 151 页)