

引江济淮纵阳船闸引航道泥沙冲淤数值模拟

彭慧敏¹, 江兆强²

(1. 长江水利水电开发集团(湖北)有限公司, 湖北 武汉 430071; 2. 云南省滇中引水工程有限公司, 云南 昆明 650051)

摘要: 引航道泥沙淤积船闸设计中需要解决的关键问题之一, 本文采用平面二维水沙模型对引江济淮纵阳船闸引航道进行水流及引航道冲淤变形模拟。研究成果表明, 船闸所在长江左汉呈现主槽冲刷, 滩地局部淤积的状态, 引航道局部冲淤来看, 船闸口门区呈现淤积状态, 引航道内各处的淤积厚度随离口门距离增加而递减。

关键词: 引江济淮; 船闸引航道; 泥沙冲淤; 数学模型

中图分类号: U61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0119—03

1 工程概况

船闸引航道是联系库区与航道之间的纽带, 属于静水与动水的过渡区域, 受船闸运行特殊的水力条件影响^[1-4], 上下游引航道淤积问题是难以避免的, 若不引起重视, 将影响到船闸的正常运行。关于引航道淤积^[5-8]的研究, 一般认为引航道内的泥沙淤积有异重流淤积^[9]、往复流(由船闸充泄水引起)淤积和水位升降(水库调度等引起)淤积三种, 船闸引航道泥沙淤积是缓流、回流、异重流和船闸充泄水引起的往复流所致, 其中隔流堤口门区的引航道主要是为异重流淤积, 口门外的航道主要为回流和缓流淤积。

引江济淮纵阳船闸工程, 该工程位于长江中下游太子矶水道, 属于典型分叉型河段, 由铜板洲将河道分为左右两汉, 拟建工程位于太子矶水道左汉。工程枢纽由泵站、节制闸和船闸组成, 设计排洪流量 600m³/s; 船闸规模为 1000t 级, III 级船闸。船闸及引航道中心线与泵站相平行, 进闸船闸需从铁铜洲左汉河道逆流进入船闸, 出闸船只由左汉河道左拐顺流进入长江, 船闸尺度为 230×23×4.5m(长×宽×门槛水深), 下游引航道底宽 50.0m, 底高程为 3.90m。

2 数学模型

采用基于水深平均的平面二维数学模型来描述水流运动, 直角坐标系下水流运动的控制方程为:

水流连续方程:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} = q \quad (1)$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial uuH}{\partial x} + \frac{\partial vuH}{\partial y} = -g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3}} u - gH \frac{\partial Z}{\partial x} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{\partial}{\partial x} (v_T \frac{\partial uH}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_T \frac{\partial uH}{\partial y}) + qu_0 \\ & \frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial uuH}{\partial x} + \frac{\partial vuH}{\partial y} = -g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3}} v - gH \frac{\partial Z}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (v_T \frac{\partial vH}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_T \frac{\partial vH}{\partial y}) + qv_0 \end{aligned} \quad (3)$$

第 k 组悬移质输沙方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial HS_k}{\partial t} + \frac{\partial uHS_k}{\partial x} + \frac{\partial vHS_k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{TS} \frac{\partial S_k H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{TS} \frac{\partial S_k H}{\partial y}) \\ & - \alpha \omega_k (S_k - S_{*k}) + qS_0 \end{aligned} \quad (4)$$

河床变形方程

$$\gamma' \frac{\partial Z_b}{\partial t} = \sum_{k=1}^M \alpha \omega_k (S_k - S_{*k}) \quad (5)$$

式中: Z_b 、 Z_b —水位与河底高程; H —水深; v 、 v — x 、 y 方向的水深平均流速; S_k 、 S_k 、 S_{*k} —第 n 组悬移质泥沙的沉速、含沙量与水流挟沙力; n 、 α —糙率系数与恢复饱和系数; v_T 、 v_{TS} —水流与泥沙综合扩散系数; g —重力加速度; γ' —泥沙干密度; q —单位面积上水流的源汇强度; u_0 、 v_0 —动量源(汇)在 x 、 y 方向的分量。

3 模型构建及验证

3.1 模型构建

数学模型采用平面二维水沙模型。综合考虑拟建工程所在河道的河势、工程修建后可能的影响范围等因素, 选取长江进口姚家冲, 出口为长江顾佳洲附近, 总共长约 25km 的河段作为二维数学模型的计算区域。采用 Delaunay 三角化法对计算区域进行网格划分, 网格间距最大为 100m, 最小为 10m。在计算区域内共布置了 43196 个网格节点。图 1 给出了模型构建区域。

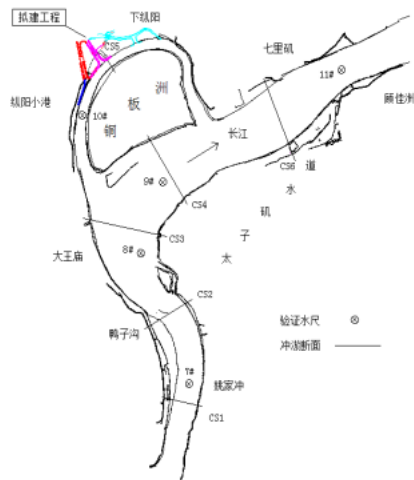


图1 河势及模型构建范围

3.2 模型验证

地形资料采用2013年6月和2015年6月水下地形；水流验证资料采用2012年12月（流量 $Q=19133\text{ m}^3/\text{s}$ ，下边界水位为 5.50m ）和2015年7月（流量 $Q=43500\text{ m}^3/\text{s}$ ，下边界水位为 12.08m ）；水沙验证资料采用2013年6月至2015年6月来水来沙资料。

3.2.1 水位验证

验证成果见表1所示，从表中可以看出，在工况条件下，实测水位和计算水位的误差均在 0.05m 之内，计算水位与实测水位吻合较好，均在模型允许的误差范围内。

表1 水位验证成果表（单位：m）

断面	2012年12月 ($19133\text{ m}^3/\text{s}$)		
	实测值	计算值	差值
7#	5.95	5.98	0.03
8#	5.76	5.78	0.02
9#	5.69	5.68	-0.01
10#	5.70	5.69	-0.01
11#	5.50	5.50	0.00
断面	2015年7月 ($43500\text{ m}^3/\text{s}$)		
	实测值	计算值	差值
7#	12.60	12.65	0.05
8#	—	—	—
9#	—	—	—
10#	12.49	12.48	-0.01
11#	12.08	12.08	0.00

3.2.2 河道典型断面冲淤分布

2013年6月~2015年6月各典型断面出现不同程度的冲淤变化，从图2中可以看出，在其中2013年6月~2015年6月过程中，呈现主槽冲刷，滩地淤积的状态，模型计算断面形态成果与最终地形基本一致。

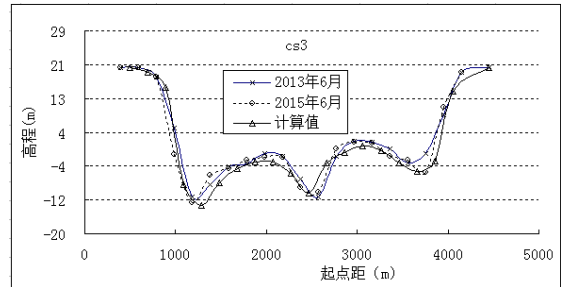
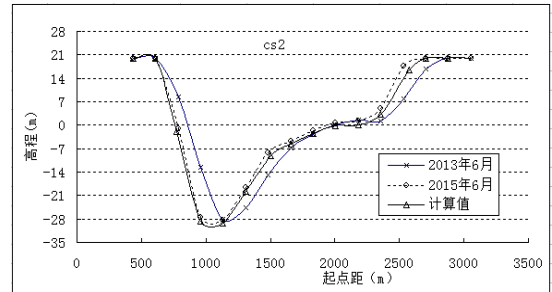


图2 典型断面冲淤变化图

4 船闸引航道冲淤计算成果

4.1 计算方案

两个典型水文年分别为1998年型水文年（大水中沙典型年）和2009年型水文年（中水中沙典型年）。

4.2 计算成果

图3分别给出了1998典型年（大水大沙年）和2009典型年（中水中沙年）条件下的局部冲淤厚度分布图。从图中得出：（1）从冲淤程度来看，由于1998典型年的流量、含沙量均大于2009典型年，大水大沙年冲淤深度明显大于中水中沙年；（2）工程局部河段冲淤程度来看，工程所在长江左汊呈现主槽冲刷，滩地淤积的状态，在大水大沙年支流河道冲刷深度最大为 0.94m ，中水中沙年河道冲刷最大深度为 0.72m ，均出现在长江左汊进口，在工程对岸的滩地出现局部淤积状态；（3）引江济淮工程枞阳枢纽布置在长江左汊，从工程局部冲淤来看，船闸口门区均呈现淤积，其中在大水大沙年，船闸口门区淤积深度为 0.50m ；在中水中沙年，船闸口门区淤积深度为 0.40m 。

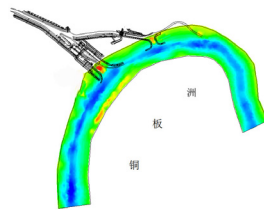


图3a 98典型年（大水大沙年）

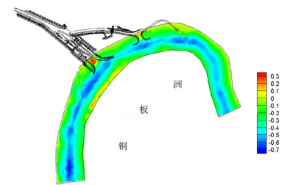


图3b 09典型年（中水中沙年）

不同流域水文模型在黄河源区的应用比较

孙利敏¹, 王祥峰², 杨雯¹

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017;
2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 以高寒气候区黄河源区为研究对象, 将 HBV 模型、TopModel 模型和新安江模型应用到该区域的水文预测中, 对比三种模型的应用效果。结果表明: 枯水年时, HBV 模型的模拟能力最好, 新安江模型其次, TopModel 最差, 丰水年时, HBV 模型的模拟能力最好, TopModel 模型次之, 新安江模型最差; 新安江模型和 TopModel 模型主要适用于湿润半湿润地区, 因此在高寒气候区黄河源区应用时的模拟精度不如 HBV 模型。

关键词: HBV 模型; 新安江模型; TopModel; 黄河源区; 应用对比

中图分类号: U661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0121—03

随着科技的高速发展, 人们用水文模型来量化进行流域研究变得越来越可行, 因此水文模型的发展和应用受到了众多学者的关注。目前全球的水文模型很多, 水文模型的应用也很多, 但是进行水文模型应用比较的人却不是很多。王国庆等^[1] 选用六个集总式流域水文模型 (AWBM 模型、SACRAMENTO 模型、TANK 模型、SMAR 模型、SMHYD 模型和 YRWBM 模型) 在清涧河流域延川站和子长站进行了日和月径流进行模拟; 陈小凤等^[2] 在湖北省白莲河流域探讨 VIC 模型和 SWAT 模型在中小尺度的径流模拟的适用性, 并对比了两种模型的模拟结果; 谢帆等^[3] 应用 TopModel 和新安江模型在息县以上流域的次洪进行了模拟对比; 江涛等^[4] 则在东江流域研究了 6 个月尺度水文模型 (TM 模型、VUB 模型、WM 模型、SM 模型、新安江模型和郭生练模型) 在气

候变化条件下的模拟结果对比。因此我们可以看出, 目前水文模型的对比分析做得不是很多, 大多采用的是两个水文模型的对比, 或者是多个集总式或者月模型的对比。本文选用两个半分布式水文模型和一个分布式水文模型来作比较, 即 HBV 模型、TopModel 和新安江水文模型之间的比较。模拟流域选用典型寒区的黄河源区。

黄河源区是指唐乃亥水文站以上流域, 位于东经 95° 50' ~ 103° 30', 北纬 32° 10' ~ 36° 05' 之间, 控制面积 12 万 km², 占黄河流域面积的 15.14%; 多年平均径流量为 204.17 亿 m³, 占整个黄河多年平均径流量的 38.15%, 为黄河主要产水区, 被形象地称为“黄河的水塔”。流域地势总趋势为西高东低, 平均海拔大约 4000m^[5-6]。黄河源区的流域图见图 1。

5 结论

(1) 采平面二维水沙模型对引江济淮枞阳枢纽船闸引航道进行研究, 验证计算表明, 本文所建立的数学模型与实测资料吻合。

(2) 典型水沙条件模拟成果表明, 闸所在长江左汉呈现主槽冲刷, 滩地局部淤积的状态, 引航道局部冲淤来看, 船闸口门区呈现淤积状态, 引航道内各处的淤积厚度随离口门距离增加而递减。

参考文献:

- [1] 张羽, 杨朝辉, 赵集云, 丁梦霞. 弯曲河段船闸引航道通航水流条件模拟 [J]. 水运工程. 2022, (06): 132-138.
- [2] 吴惠国, 孙逸豪, 史英标, 郑国诞. 曹娥江清风船闸引航道通航水流条件 [J]. 水运工程. 2022, (04): 138-145.
- [3] 符蔚, 王能, 李志威, 胡旭跃, 沈小雄. 分汊河段船闸

引航道整治试验研究 [J]. 长江科学院院报. 2019, 36 (08): 17-22.

[4] 田辉. 船闸引航道口门区通航水流条件研究 [D]. 长沙理工大学. 2013.

[5] 谢鉴衡, 李义天, 吴伟明. 葛洲坝工程三江下引航道水沙运动数值模拟 [J]. 长江科学院院报. 1989, (03): 1-10.

[6] 周建军. 三峡工程引航道冲沙流量的合理规模 [J]. 泥沙研究. 1999, (03): 3-9.

[7] 胡向阳, 姚仕明. 三峡工程二期临时船闸引航道泥沙淤积研究 [J]. 长江科学院院报. 2001, (06): 7-10+14.

[8] 元媛, 张小峰, 梅志宏, 何永生. 北本水电站下引航道泥沙冲淤数值模拟 [J]. 中国农村水利水电. 2012, (01): 39-42.

[9] 周磊, 安瑞冬, 谭升魁, 李嘉. 水库异重流淤积成因分析及前锋运动规律 [J]. 水利水电科技进展. 2012, 32(02): 6-10.