

长江中游分汉型河道二维水沙数值模拟

黄文辉^{1,2}, 左利钦^{1,2}, 陆永军^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 针对长江分汉型河道边界复杂的特点, 建立了基于多连通域贴体正交曲线坐标系下的二维水沙数学模型. 模型采用有限差分法离散平面二维水流运动方程和泥沙输运方程, 通过非恒定流多个时间步逼近模拟恒定流的方法, 模拟了多分汉河段的水位、流速场及泥沙场. 将所建模型初步应用于长江中游典型分汉河段——窑监河段的水沙过程模拟, 结果表明模型能较好地模拟分汉河道的水沙运动规律.

关 键 词: 分汉河道; 水流; 泥沙; 多连通域; 有限差分; 二维数学模型

中图分类号: TV143

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2010)03-0027-06

分汉型河道是冲积平原河流中常见的河型, 如长江中下游、珠江、赣江、湘江、松花江、黑龙江及非洲的尼日尔河(Niger)和贝努埃河(Benue)等. 尤其在长江中下游, 除宜昌到枝城段为山区河流向平原河流过渡和下荆江为蜿蜒型河道外, 其余均属含江心洲的分汉型河道^[1]. 分汉型河段与单一河段的最大不同是具有两汉或多汉分流, 平面形态呈宽窄相间的莲藕状, 存在着分流区和汇流区. 分流区起点在单一河道内水流流态开始发生变化的断面, 终点在江心洲的头部, 水流进入分流区后, 断面扩大, 水流分散, 同时江心洲的水下延伸部分增加了水流阻力, 故分流区内纵比降沿程递减, 甚至出现倒比降, 与之相应, 分流区内的平均流速也沿程减小^[2]. 汇流区起于江心洲尾部, 终于水流动力轴线汇合处, 两股水流汇合时互相冲击, 在挤压和摩擦作用下水流会在江心洲尾部形成一系列小漩涡, 造成一个低流速区使泥沙落淤. 同时, 因河中心水位比两岸高, 易形成一对方向相反的环流, 其面流指向河心, 而底流指向两岸, 泥沙从河中向两岸运动; 此外, 由于水流的离解作用, 在两岸岸边形成大片回流区, 泥沙在这里大量落淤形成边滩^[3]. 相对而言, 汇流区由于处于分汉河道的下游, 对分汉河道演变的影响不如上游分流区重要. 分汉河段的演变主要表现为河岸的崩塌和淤积、江心洲的迁移以及主支汉的兴衰等几个方面. 分流分沙比是分汉河段的重要特征, 分汉口的位置和形态对控制各汉道分流分沙比起决定作用, 其变化对分汉河道的河势有着重要影响.

随着计算机技术的飞速发展, 数学模拟方法已成为研究河流泥沙问题的重要手段. 前人曾对分汉河道的泥沙数学模型进行过研究^[4]. 本文针对长江分汉型河道的特点, 采用适合多分汉河流复杂边界的多连通域正交曲线网格, 对控制方程进行有限差分离散, 建立二维水沙数学模型.

1 控制方程

为了更合理地模拟边界形状及河道横断面上的地形, 20 世纪 80 年代初, J. F. Thompson 等^[7]首先提出了生成贴体网格技术, 并首次应用于二维物体绕流的数值计算, 迄今已成为生成复杂几何外形贴体网格的主要技术之一, 并仍在进一步研究和发展之中. 贴体正交曲线坐标系下沿水深平均的平面二维水沙数学模型包含以下一些控制方程.

收稿日期: 2009-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50879047, 50779037)

作者简介: 黄文辉(1982-), 男, 广东博罗人, 硕士, 主要从事河流海岸泥沙研究. E-mail: 024598@163.com

通讯作者: 陆永军(E-mail: yjlu@nhri.cn)

水流连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta H u) + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi H v) = 0 \quad (1)$$

ξ 方向动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{C_\xi} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{C_\eta} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{uv}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} - \frac{v^2}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} + g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \\ f v + \frac{g}{C_\xi} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi} + \frac{1}{\rho_0 C_\xi} \frac{\partial P_a}{\partial \xi} - \frac{\tau_\xi^s}{\rho_0 H} = \frac{1}{C_\xi} \frac{\partial (E_\xi A)}{\partial \xi} - \frac{1}{C_\eta} \frac{\partial (E_\eta B)}{\partial \eta} \end{aligned} \quad (2)$$

η 方向动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{C_\xi} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{C_\eta} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{uv}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} - \frac{u^2}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} + g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} + \\ f u + \frac{g}{C_\eta} \frac{\partial \zeta}{\partial \eta} + \frac{1}{\rho_0 C_\eta} \frac{\partial P_a}{\partial \eta} - \frac{\tau_\eta^s}{\rho_0 H} = \frac{1}{C_\eta} \frac{\partial (E_\eta A)}{\partial \eta} - \frac{1}{C_\xi} \frac{\partial (E_\xi B)}{\partial \xi} \end{aligned} \quad (3)$$

悬沙不平衡输移方程:非均匀悬移质按其粒径大小可分成 n_0 组,针对非均匀悬移质中第 L 组粒径的含沙量,二维悬移质不平衡输沙方程为:

$$\frac{\partial HS_L}{\partial t} + \frac{\frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta H u S_L) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi H v S_L)}{C_\xi C_\eta} = \frac{\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\varepsilon_\xi}{\sigma_s} \frac{C_\eta}{C_\xi} \frac{\partial HS_L}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\varepsilon_\eta}{\sigma_s} \frac{C_\xi}{C_\eta} \frac{\partial HS_L}{\partial \eta} \right)}{C_\xi C_\eta} + \alpha_L \omega_L (S_L^* - S_L) \quad (4)$$

推移质不平衡输移方程:非均匀推移质按其粒径大小可分成 n_b 组,窦国仁推移质不平衡输移方程^[8]为:

$$\frac{\partial HS_{bL}}{\partial t} + \frac{\frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta H u S_{bL}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi H v S_{bL})}{C_\xi C_\eta} = \frac{\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\varepsilon_\xi}{\sigma_b} \frac{C_\eta}{C_\xi} \frac{\partial HS_{bL}}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\varepsilon_\eta}{\sigma_b} \frac{C_\xi}{C_\eta} \frac{\partial HS_{bL}}{\partial \eta} \right)}{C_\xi C_\eta} + \alpha_L \omega_L (S_{bL}^* - S_{bL}) \quad (5)$$

床沙级配方程^[6]:

$$\gamma_s \frac{\partial E_m P_{mL}}{\partial t} + \alpha_L \omega_L (S_L - S_L^*) + \alpha_{bL} - S_{bL}^* + [\varepsilon_1 P_{mL} + (1 - \varepsilon_1) P_{mL0}] \gamma_s \left(\frac{\partial Z_L}{\partial t} - \frac{\partial E_m}{\partial t} \right) = 0 \quad (6)$$

河床变形方程:

$$\gamma_s \frac{\partial Z_L}{\partial t} = \alpha_L \omega_L (S_L - S_L^*) + \alpha_{bL} \omega_{bL} (S_{bL} - S_{bL}^*) \quad (7)$$

河床总冲淤厚度:

$$Z = \sum_{L=1}^n Z_L$$

式中: $A = \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[\frac{\partial (u C_\eta)}{\partial \xi} + \frac{\partial (v C_\xi)}{\partial \eta} \right]$, $B = \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[\frac{\partial (v C_\eta)}{\partial \xi} + \frac{\partial (u C_\xi)}{\partial \eta} \right]$; ξ, η 为正交曲线坐标; u, v 分别表示沿 ξ, η 方向的垂线平均流速; H 为水深; ζ 为水位; C_ξ, C_η 为正交曲线坐标系中的拉梅系数, $C_\xi = \sqrt{x_\xi^2 + y_\xi^2}$, $C_\eta = \sqrt{x_\eta^2 + y_\eta^2}$; C 为谢才系数; E_ξ, E_η 分别为 ξ, η 方向的紊动黏滞系数; τ_ξ^s, τ_η^s 分别为 ξ, η 方向的水面风切应力分量; S_L 表示第 L 组粒径含沙量, P_{SL} 表示此粒径悬沙含沙量所占的比值, 则 $S_L = P_{SL} S$, $S = \sum_{L=1}^{n_0} S_L$; S_L^* 为第 L 组泥沙的挟沙能力, $S_L^* = P_{SL}^* S^*(\omega)$, P_{SL}^* 为第 L 组泥沙的挟沙能力级配, 挟沙能力 $S^*(\omega) = \left[\sum_{L=1}^{n_0} \frac{P_{SL}}{S^*(L)} \right]^{-1} =$

$K_0 \left[\frac{(u^2 + v^2)^{3/2}}{h} \right]^m \sum_{L=1}^{n_0} \frac{P_{SL}}{\omega_{mL}^m}$, ω_L 为第 L 组泥沙的沉速, K_0 为挟沙能力系数, α_L 为第 L 组泥沙的含沙量恢复饱和系数; S_{bL}^* 为第 L 组推移质的挟沙能力, $S_{bL}^* = g_{bL}^* / (\sqrt{u^2 + v^2} H)$, g_{bL}^* 为单宽推移质输沙率; S_{bL} 为床面推移层的含沙浓度, $S_{bL} = g_{bL} / (\sqrt{u^2 + v^2} H)$; α_{bL} 为第 L 组推移质泥沙的恢复饱和系数, ω_{bL} 为推移质的沉速, $\sigma_{bL} = 1$.

2 控制方程离散

采用分步全隐的 ADI 法对控制方程进行离散,即在建立差分方程时,将任一时刻的时步长 Δt 分为两个

半时步长.在前半时步长内($n\Delta t \rightarrow (n + \frac{1}{2})\Delta t$),将连续方程与 ξ 方向动量方程联合隐式求解 u 和 ζ ;在后半时步长内($(n + \frac{1}{2})\Delta t \rightarrow (n + 1)\Delta t$),将连续方程与 η 方向动量方程联合隐式求解 v 和 η .变量采用交错网格布置,水深点 h 与水位点 ζ 分开布置;在每个半时间步长中,速度分量 u 或 v ,不再进行显式求解,而是直接采用上半时步长的值.为了使计算稳定,且差分方程不至过于复杂,因此对动量方程的非线性项中的微分部分取上一个时间层的数值,从而将方程线性化.

在时间层 $(n+1/2)\Delta t$ 上,连续方程和 ξ 方向动量方程可分别离散为:

$$A_1 u_{i-\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} + B_1 \zeta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + C_1 u_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} = D_1 \quad (8)$$

$$A_2 \zeta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + B_2 u_{i+\frac{1}{2},j}^{n+\frac{1}{2}} + C_2 \zeta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = D_2 \quad (9)$$

同理,在时间层 $(n+1)\Delta t$ 上,对连续方程和 η 方向动量方程分别离散得:

$$A_3 v_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+1} + B_3 \zeta_{i,j}^{n+1} + C_3 u_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1} = D_3 \quad (10)$$

$$A_4 \zeta_{i,j}^{n+1} + B_4 v_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1} + C_4 \zeta_{i,j+1}^{n+1} = D_4 \quad (11)$$

式(8)~(11)中,系数均可由显式计算得到,具体计算见相关文献^[9].求解方程组时,在时间层 $n\Delta t$ 到 $(n+1/2)\Delta t$ 上,将方程(8)与方程(9)联立;在时间层 $(n+1/2)\Delta t$ 到 $(n+1)\Delta t$ 上,将方程(10)与方程(11)联立,方程组的系数矩阵为三对角阵,采用TDMA法求解.

3 网格生成和动边界处理

分汉河道往往有很多江心岛,边界曲折复杂.采用多连通域正交曲线网格,能在较小计算量下很好地模拟复杂边界.本文采用根据势流理论中流线与势线正交的物理机理,视计算区域的网格曲线为流线簇与势线簇而导出调节因子^[10-11].对于不过水的部分,构造网格时避开形成多连通的网格,使支流过水区域能得到更多网格,从而在不使用大量网格的情况下保证计算精度.对于构造多连通域的网格,将多连通计算区域作为整体考虑,连通区域内边界也作为边界条件.该方法采用分区生成法生成初始网格,然后进行网格的调整,形成整体控制曲线网格.对于动边界,根据水深(水位)结点处河底高程判断该网格单元是否露出水面,若不露出,糙率取正常值;反之,取远大于正常值的数值(如 10^{30}),并在露出单元水深点给定微小水深(如 0.01 m)^[6].

4 长江中游窑监分汉河段水沙验证

窑监水道位于长江中游的下荆江河段,属典型的弯曲分汉河型.河段内有一高程约 30 m 的乌龟洲,中枯水时初露,在洪水期淹没水下.模型的进口位于塔市驿,出口位于天字一号下游,全长约 25 km .计算域内共布置 165×81 个网格,经正交化计算得到贴体正交曲线网格,网格间距沿河长方向为 $30 \sim 300\text{ m}$,沿河宽方向 $15 \sim 30\text{ m}$,其中监利弯道段进行了局部加密.

4.1 水流验证

计算河段及水文测验断面如图1所示,从洋沟子至庙岭沿程布置6个水文断面测验,并对左、右岸水位分别进行水文观测.对窑监河段枯水、中水、洪水流量时的水面线及流速分布进行了验证,枯水流量为 $4\,450\text{ m}^3/\text{s}$ 、中水流量为 $10\,060\text{ m}^3/\text{s}$ 、洪水流量为 $28\,900\text{ m}^3/\text{s}$.经验证,该河段

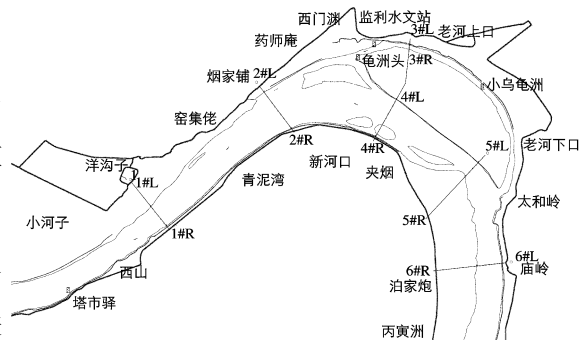


图1 窑监水道水文测验布置示意图

Fig. 1 Layout of hydrometric measurement at Yaojian waterways in middle reach of Yangtze River

河床糙率为 0.015~0.035,且枯水糙率大、洪水糙率小。

水位验证见表 1。可见,水位计算值与实测值吻合较好,除洪水流量下个别点偏差较大,其余偏差均小于 0.05 m。除个别点外,断面流速分布基本接近实测流速分布。图 2 给出了中水流量下 2#断面流速分布的验证情况。图 3 为中水流量下的流场图,可见,水流经过顺直的窑集佬河段后在乌龟洲头附近分为两汉,主流在右汉,两汉水流在乌龟洲尾汇合,计算流场较好地模拟了该河段的分流特征。

表 1 各流量下的水面线验证

Tab.1 Verification of water level of various water discharges											m
水 尺	流量 $Q=4\,450\text{ m}^3/\text{s}$			流量 $Q=10\,060\text{ m}^3/\text{s}$			流量 $Q=28\,900\text{ m}^3/\text{s}$				
	实测值	计算值	偏 差	实测值	计算值	偏 差	实测值	计算值	偏 差		
左 岸	1#L	22.60	22.63	-0.03	25.61	25.61	0.01	31.46	31.41	-0.05	
	2#L	22.37	22.42	-0.05	25.43	25.46	0.03	31.26	31.26	0.01	
	监利	22.27	22.25	0.02	25.34	25.32	-0.02	31.15	31.21	0.06	
	3#L	22.18	22.21	-0.03	25.29	25.28	-0.01	31.1	31.16	0.07	
右 岸	1#R	22.62	22.63	-0.01	25.64	25.64	0	31.47	31.45	-0.02	
	2#R	22.34	22.34	0	25.41	25.39	-0.02	31.23	31.18	-0.05	
	4#R	22.16	22.19	-0.03	25.26	25.28	0.02	31.09	31.06	-0.03	
	5#R	21.98	21.93	0.05	25.07	25.04	-0.03	30.97	31.01	0.04	

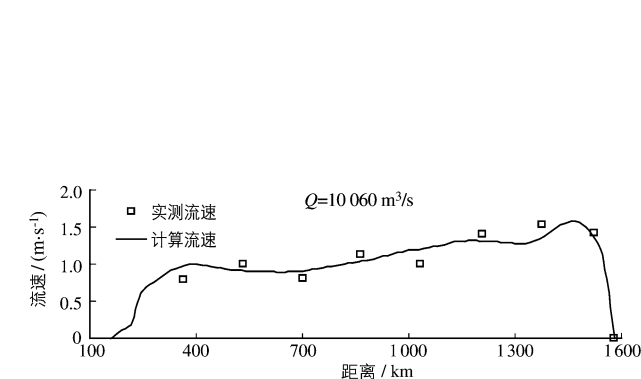


图 2 窑监 2#断面流速分布验证($Q=10\,060\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig.2 Velocity verification of 2# at Yaojian reach

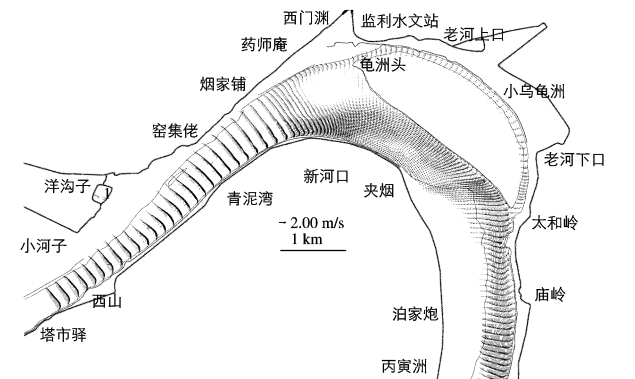


图 3 窑监河段流场($Q=10\,059\text{ m}^3/\text{s}$)

Fig.3 Flow field of the Yaojian reach ($Q=10\,059\text{ m}^3/\text{s}$)

本文对不同流量下左右汉分流比进行了验证。乌龟洲左、右汉分流比实测值与计算值比较见表 2。与实测相比,计算的左、右汉分流比偏差在 0.6% 以内。

表 2 乌龟洲左、右汉分流比实测值与计算值比较

Tab.2 Comparison between the caculated and measured discharge ratios of left and right inlet of Wuguizhou island							%	
流 量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	左 汉			右 汉				
	实测	计算	偏差	实测	计算	偏差		
4 450	2.04	2.00	-0.04	97.96	98.00	0.04		
10 060	5.56	5.41	-0.15	94.44	94.59	0.15		
28 900	8.96	8.36	-0.60	91.04	91.64	0.60		

4.2 河床变形验证

选择 2007 年 1 月至 2008 年 1 月一个完整的水文年进行窑监河段动床验证,每天划分一个流量级,以 2007 年 1 月份地形为起始地形进行验证计算。2007 年 1 月至 2008 年 1 月,汛期最大流量 $37\,000\text{ m}^3/\text{s}$,最小流量为 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$,平均流量 $11\,440\text{ m}^3/\text{s}$,平均含沙量为 $0.163\text{ kg}/\text{m}^3$,来水来沙与 2003–2007 年平均过程较

为接近(2003–2007 年平均流量 $11\,286\text{ m}^3/\text{s}$, 平均含沙量为 $0.190\text{ kg}/\text{m}^3$). 根据实测的床沙级配和悬沙级配^[9], 在 $0.01\sim0.40\text{ mm}$ 范围内划分 6 组泥沙进行模拟. 计算结果与实测数据比较见表 3. 冲淤验证结果表明, 冲淤部位总体上比较吻合(见图 4), 局部有所差异, 计算冲淤量除局部河段外也吻合较好.

表 3 窑监河段冲淤量比较

Tab. 3 Comparison between the calculated and measured deposition and erosion volume of Yaojian reach								
河 段	河段长度/ km	平均河宽/ m	冲淤体积/(10^4 m^3)			冲淤厚度/m		
			实测	计算	偏差	实测	计算	偏差
青泥湾–烟家铺	2.8	690.2	–337.5	–301.7	35.8	–1.75	–1.57	0.19
烟家铺–乌龟洲头	2.2	1 429.4	–489.2	–241.2	247.9	–2.21	–0.82	1.39
右 汉	新河口–夹烟	2.7	–0.4	–4.5	–4.0	0.00	–0.02	–0.02
	夹烟–乌龟洲尾	1.1	124.3	95.9	–28.3	1.66	1.28	–0.38
	乌龟洲尾–横岭	2.6	–203.8	–178.8	24.9	–1.41	–1.24	0.17

注: 正数表示淤积, 负数表示冲刷, 冲淤体积针对设计水位而言.

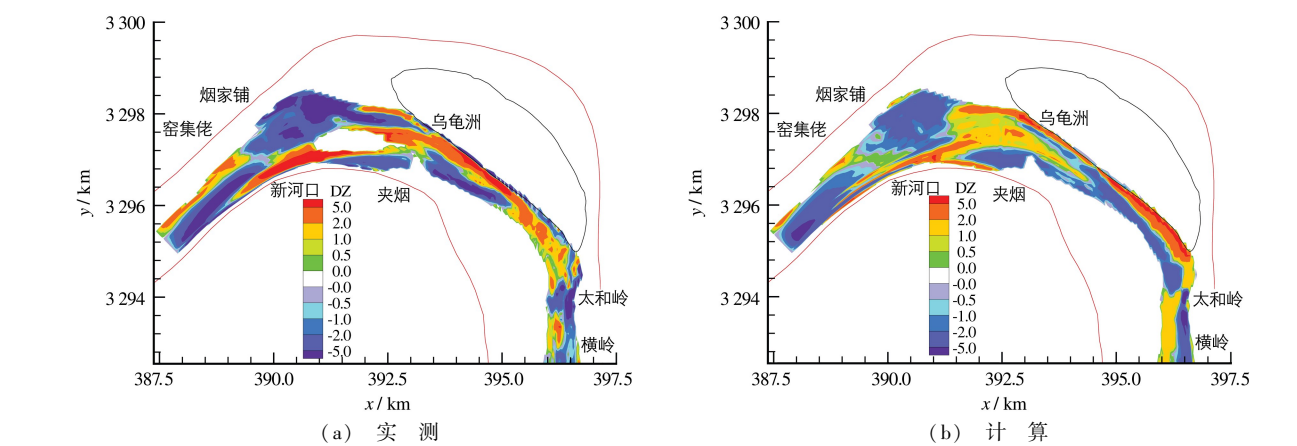


图 4 窑监河段 2007 年 1 月至 2008 年 1 月冲淤分布实测值与计算值比较
Fig. 4 Comparison between the calculated and measured deposition and erosion distribution of Yaojian reach during Jan, 2007 to Jan, 2008

5 结 语

针对分汉型河道边界复杂的特点, 建立了基于多连通域贴体正交曲线坐标系下的二维水沙数学模型. 根据势流理论中流线与势线正交的原理, 生成适用于多分汉河段的二维正交贴体曲线网格. 实践证明, 正交曲线网格能很好地模拟分汉河道的复杂边界.

通过有限差分法离散平面二维水深平均水沙运动方程组, 并利用改进 ADI 法求解方程, 建立了二维水沙数学模型. 长江中游典型分汉河段的水沙验证表明, 所建模型能较好地模拟分汉河道的流场和冲淤变化.

参 考 文 献:

- [1] 钱宁. 关于河流分类及成因问题的讨论[J]. 地理学报, 1985, 40(1): 1-10. (QIAN Ning. On the classification and causes of formation of different channel patterns[J]. Acta Geographica Sinica, 1985, 40(1): 1-10. (in Chinese))
- [2] 王昌杰. 河流动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996. (WANG Chang-jie. River dynamics[M]. Beijing: China Communications Press, 1996. (in Chinese))
- [3] 葛亮. 分汉河道分流特性的研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 2004. (GE Liang. Study and application on division characteristics of the bifurcated channel[D]. Nanjing: Hohai University, 2004. (in Chinese))

- [4] 余新明, 谈广鸣, 赵连军, 等. 天然分汊河道平面二维水流泥沙数值模拟研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2007, 39(1): 36-40. (YU Xin-ming, TAN Guang-ming, ZHAO Lian-jun, et al. Planar 2-D flow and sediment numerical modeling of branching river[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2007, 39(1): 36-40. (in Chinese))
- [5] 张为, 李义天, 江凌. 长江中下游典型分汊浅滩河段二维水沙数学模型[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2007, 40(1): 42-47. (ZHANG Wei, LI Yi-tian, JIANG Ling. Two-dimensional flow and sediment mathematical model for typical multi-branched meandering reach in middle and lower reaches of Yangtze River[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40(1): 42-47. (in Chinese))
- [6] LU Yong-jun, WANG Zhao-yin, ZUO Li-qin. 2D numerical simulation of flood and fluvial process in the meandering and island-braided middle Yangtze River[J]. International Journal of Sediment Research, 2005, 20(4): 333-349.
- [7] THOMPSON J F, WARSI Z U A, MASTIN C W. Numerical grid generation: foundations and applications[M]. New York: Elsevier North-Holland Inc, 1985.
- [8] 窦国仁. 河口海岸全沙模型相似理论[J]. 水利水运工程学报, 2001(1): 1-12. (DOU Guo-ren. Similarity theory of total sediment transport modeling for estuarine and coastal regions[J]. Hydro-Science and Engineering, 2001(1): 1-12. (in Chinese))
- [9] 黄文辉. 分汊河道二维水沙数学模型研究[D]. 南京: 南京水利科学研究院, 2008. (HUANG Wen-hui. Study on the 2-D flow and sediment mathematical model for braided river[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2008. (in Chinese))
- [10] 华祖林, 卞华. 曲线网格生成调节因子选取研究[J]. 河海大学学报, 1999, 27(2): 40-44. (HUA Zu-lin, BIAN Hua. Selection of adjusting factors in the generation of curvilinear grid[J]. Journal of Hohai University, 1999, 27(2): 40-44. (in Chinese))
- [11] 魏文礼, 王玲玲, 金忠青. 曲线网格生成技术研究[J]. 河海大学学报, 1998, 26(3): 92-96. (WEI Wen-li, WANG Ling-ling, JIN Zhong-qing. Study on curvilinear grid generation[J]. Journal of Hohai University, 1998, 26(3): 92-96. (in Chinese))

2D flow and sediment mathematical model for braided channel of the Yangtze River

HUANG Wen-hui^{1,2}, ZUO Li-qin^{1,2}, LU Yong-jun^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

Abstract: Depending on the complex boundaries of braided channel in the Yangtze River, a 2D flow and sediment mathematical model is developed based on multiply connected domain body-curve orthogonal grid system. The 2D water movement equation and sediment transport equations are dispersed by the finite difference method under the body-curve orthogonal grid system. The water level, velocity field and sediment field of braided river are simulated by the model through approaching steady flow by multi-time step simulation of unsteady flow. The model is applied to simulate the water and sediment movement of typical braided reach in the Yangtze River. The results of the verification indicate that the model could well simulate the movement of water and sediment in braided channel.

Key words: braided channel; flow; sediment; multiply connected domain; finite difference method; 2D mathematical model