

文章编号:1000-582X(2005)08-0135-03

重庆主城区两江汇流流场数值模拟*

陈景秋,刘雪兰,赵万星,丁剑平

(重庆大学 工程力学系,重庆 400030)

摘要:基于 Delft3D 数学模型,采用交错 C 网格和 ADI 法对重庆主城区内的长江及嘉陵江汇流流域进行了流场的数值模拟.模型利用实测数据对模拟结果进行了验证,分别对汇流段的水位、流速、流量和示踪浮子的漂浮轨迹进行了研究.结果表明:计算模型及对各项参数的简化可达到精度和可行性要求;菜园坝附近区域可能产生污染物盘桓,朝天门码头和汇流口上游的长江右岸有污染物流向岸边的危险.模拟结果可为两江流域的洪水预报、污染监测、航道管理等提供科学的数据.

关键词:汇流;流场;数值模拟;Delft3D 模型;示踪浮子

中图分类号:TV143

文献标识码:A

重庆市位于中国西南部,长江上游,地跨东经 105°11' ~ 110°11'、北纬 28°10' ~ 32°13' 之间.长江及嘉陵江在主城区内汇合,水下地形复杂且年径流量变化较大.这些特点给该流域的流场数值模拟带来了很大的困难.随着长江中上游段水利工程的增多,尤其是三峡水库建成后将对这一区域的流场造成很大的影响.为了进一步研究三峡成库后,两江汇流的流场结构变化情况,为该区域的城市建设提供科学的研究数据,进行汇流段的流场数值模拟非常必要.

1 计算模型简介

汇流流场的模拟采用了荷兰 Delft 水利机构的 Delft3D 模型,主要使用水动力模块 Delft3D - FLOW.其特点是由多个模块灵活组成,模块间联系性强,采用贴体正交曲线网格,计算稳定,精度高.可用于模拟二维或三维非恒定流及其输移性质.其数值格式采用交错 C 网格和 ADI 时间积分法^[1-6].

在正交曲线坐标系 $\xi - \eta$ 下,水流运动连续性方程、动量方程和守恒物质的输移方程分别如下:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)u \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)v \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q,$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \\ & \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv = \\ & - \frac{1}{\rho \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} - gu \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(d + \zeta)} + F_{\xi} + F_{S\xi} + M_{\xi}, \\ & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \\ & \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + fu = \\ & - \frac{1}{\rho \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} - gv \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(d + \zeta)} + F_{\eta} + F_{S\eta} + M_{\eta}, \\ & \frac{\partial [(d + \zeta)c]}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial [(d + \zeta)u \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \right. \\ & \left. \frac{\partial [(d + \zeta)v \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} \right\} = \frac{(d + \zeta)}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left[D_h \frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial c}{\partial \xi} \right] + \right. \\ & \left. \frac{\partial}{\partial \eta} \left[D_h \frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial c}{\partial \eta} \right] \right\} + (d + \zeta)S, \end{aligned}$$

式中: $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ 、 $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ 为曲线坐标系至直角坐标系的转换系数; u 和 v 为别为 ξ 和 η 方向的流速; f 为柯氏力系数; F_{ξ} 和 F_{η} 分别为 ξ 和 η 方向的紊动动量通量; P_{ξ} 和 P_{η} 分别表示 ξ 和 η 两方向的水压力梯度; M_{ξ} 和 M_{η} 分

* 收稿日期:2005-04-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10472136)

作者简介:陈景秋(1944-),男,贵州贵阳人,重庆大学教授,主要研究方向为力学.

别表示 ξ 和 η 两方向上动量的源或汇; d 为参考水平面下的水深; C 为谢才系数; ρ 为水的密度; c 为保守物质浓度; S 为源汇项.

2 计算区域模拟概况

2.1 计算区域及其网格划分和地形处理

模拟河段的开边界在嘉陵江段上游取化龙桥、长江段上游取菜园坝、汇流后的长江干道下游取寸滩码头.

网格划分及水下地形处理均由 Delft3D 的前处理模块完成. 网格采用贴体正交曲线网格, 边界贴合较好. 网格数为 127×159 , 有效的计算网格约为 1 900 个. 全区域的网格划分情况如图 1 所示.

水下地形由原始的实测点数据在网格点上进行插值获得, 该数据由重庆西南水运工程科学研究所实测并提供. 在原始样点数据较多、密度较大的地方, 采用平均插值法; 在原始数据相对较少的区域采用三角插值. 模型的水下地形如图 2 所示.

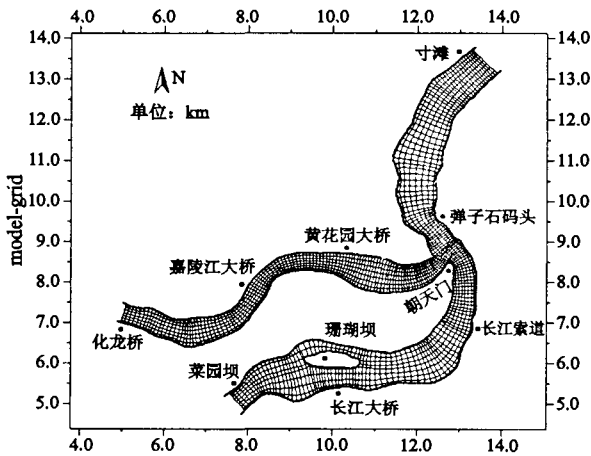
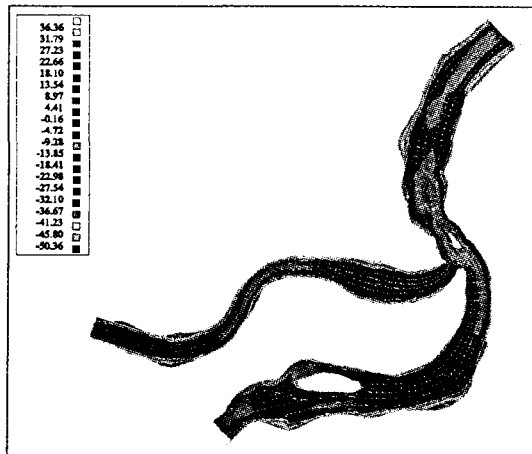
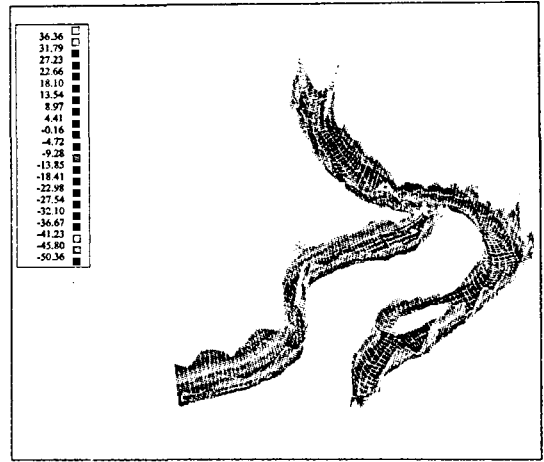


图 1 模拟区域网格划分示意图



(a) 顶视图



(b) 透视图

图 2 模型水下地形图

2.2 模型的初始及边界条件

模型的模拟时间取 48 h, 时间段处于长江中上游的丰水期期间. 利用非恒定态对恒定态的逐渐逼近来计算模型入口流量及出口水位不随时间变化的情况.

初始条件为:

$$\begin{cases} Z(x,y,t) |_{t=0} = Z(x,y) = 0 \\ u(x,y,t) |_{t=0} = v(x,y,t) |_{t=0} = 0 \end{cases}$$

边界条件为:

上游开边界取流量, 嘉陵江段上游流量取 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 长江段上游流量取 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$; 下游开边界取水头, 汇合后的长江干流下游开边界水位取 0 m (设初始时刻的水平面海拔相对吴淞口为 168 m).

分别在寸滩码头、朝天门、黄花园大桥、嘉陵江大桥和珊瑚坝 5 处设了观测点, 在化龙桥、菜园坝和朝天门 3 处投放了示踪浮子, 在嘉陵江索道、长江索道、弹子石码头和寸滩码头附近设了观测段面.

2.3 模型的各项参数设置

模型区域纬度取北纬 30° , 经度取东经 110° . 由于模拟时间较短, 且作为由河道地形、地球引力及自转力为驱动力的内陆河, 只考虑水面风速对流场的影响. 设风速为多年平均值 1.5 m/s , 方向为 N-E. 模型的重力加速度 g 取 $9.81\text{ m}^2/\text{s}$, 水的密度取 $1\,000\text{ kg/m}^3$, 大气密度 ρ_0 取 1.0 kg/m^3 . 河床糙率由曼宁系数 n 表示, 在 x 和 y 两个方向均取 0.011 且全区域一致. 除开边界外, 其余边界均默认为闭边界, 采用自由滑动边界条件. 湍流模型取 $k-\varepsilon$ 模型, 水平方向和垂向紊动粘滞系数分别取 $10\text{ m}^2/\text{s}$ 和 $1.0 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$. 温度取模型默认值 15°C .

2.4 模拟结果及验证

模拟结果选取了寸滩码头观测点的水位及平均流速来验证模型的可靠性. 结果表明在所给出的边界条件和参数设置下, 模拟结果与真实情况大致吻合.

图 3 和图 4 分别表示在模拟期间,寸滩观测点的水位和平均流速.由图中可以看出,计算趋于稳定后,在给定的各模拟条件下,寸滩站的水位和平均流速分别为 1.2 cm 和 1.5 m/s,这与多年的平均观测情况一致.

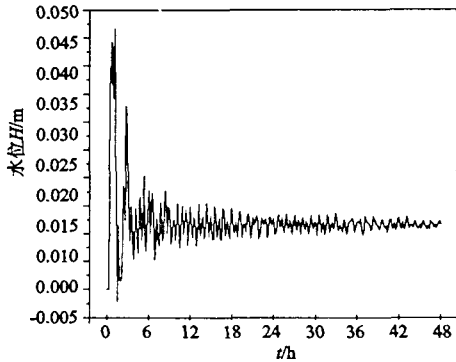


图 3 寸滩观测点的水位

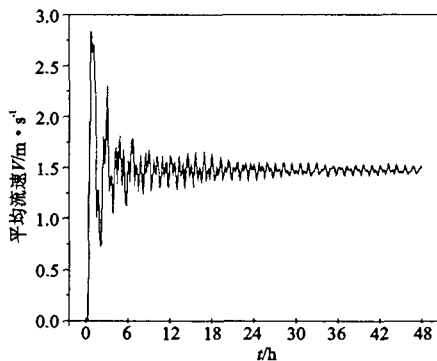


图 4 寸滩观测点的平均流速

对汇流前的两江上游段面和汇流后的长江主干道下游段面流量进行比较后,可见稳定后的计算值与多年的平均流量值吻合,且入口流量与出口流量保持守恒(实测数据由重庆西南水运工程科学研究所提供).图 5 表示模拟时间进行了 48 h 时刻的汇流区域流场矢量图,其变化情况经验证合理,表明对风场的简化及其它各项参数的设置可行.

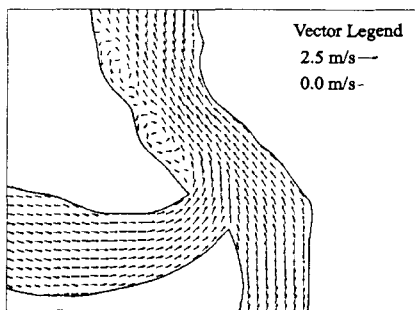


图 5 48 h 时刻的汇流区域流场矢量图

图 6 为模拟区域内示踪浮子轨迹的示意图.分别在化龙桥、菜园坝和朝天门三处投放的示踪浮子,其轨迹按每半个小时一个间点的连续曲线表示.主要用来模拟漂浮物、浮油或污水的漂移路径和轨迹.

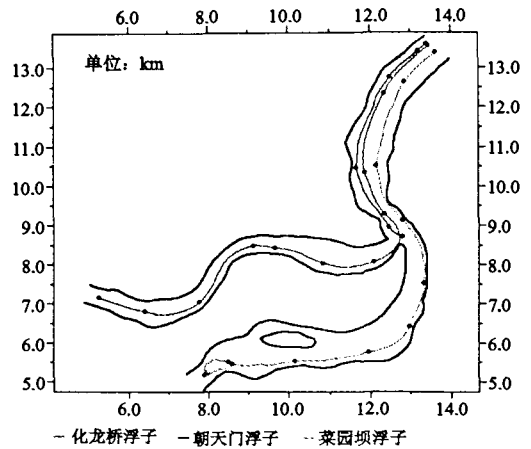


图 6 示踪浮子的运动轨迹

由图中可以看出,上游的浮子经 5~6 h 便可漂移出模型区域.嘉陵江上游的示踪浮子在朝天门附近有流向岸边的危险.而菜园坝附近由于河道变形较大,且位于珊瑚坝的上游,产生了滞留区,漂浮物有盘桓于此的趋势,之后在朝汇流区漂移时逐渐向右岸偏移,使这一带有污染加重的危险.而朝天门的示踪浮子主要向左岸偏移,这与汇流后总的河道弯曲情况相符合.

3 结 语

通过对重庆主城区两江汇流流场的数值模拟,可见所采用的数学模型具有较高的精度及有效性.模拟结果表明对外部参数进行适当的简化,可以达到计算要求,且通过对参数的合理调整可达到对未来流场情况的预测作用.这对三峡成库后,重庆主城区两江流域的各项水力管理和建设有着科学的指导作用.根据示踪浮子的漂移情况,建议在菜园坝附近注意污水的稀释及漂浮物的清除;朝天门码头附近,汇流区上游的长江右岸减轻漂浮及污染物的堆积;汇流后的长江左岸在边界地形有较大变化处注意清污.

参考文献:

- [1] 陈景秋,王宗笠.多维双曲波问题的双特征方法[M].重庆:重庆大学出版社,2001.
- [2] DELFT HYDRAULICS. Delft3D-Flow User Manual[Z]. Holland: WL Delft hydraulics,1999.
- [3] 谭维炎.计算浅水动力学[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [4] 幸治国,龙腾锐,钟成华.长江嘉陵江重庆段水污染控制规划研究技术分报告集[R].重庆:重庆市环境科学研究所,1992.21-45.
- [5] 吴江航,韩庆书.计算流体力学的理论、方法及应用[M].北京:科学出版社,1988.
- [6] 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心.2002 防洪抗旱减灾进展[M].郑州:黄河水利出版社,2003.

Empirical Study on the Premium Rate of First-day Traded Price of Convertible Bond

CAO Guo-hua, RUAN Li-min, GUO Feng

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Clauses-designing of convertible bond is the main object of this article. Its final effect upon exchange market is analyzed by an empirical study, which ultimately reveals the relationship between clause-designing and the premium rate of the price on the first day. The authors select 22 pieces of comparable convertible bonds in domestic market as a sample pool, and design a regression model. Results demonstrate that market price of convertible bond is primarily determined by its value. In this case, proper designing in coupon rate, duration, or setting additional clauses, such as interest compensation clause and unconditional redemption clause, could significantly improve the premium of price on the first day. Moreover, it is precise to appraise the premium of price on the first day with the regression model, which proves that this model turns out to be a valuable reference for investors.

Key words: convertible bond; clause-designing; option; regression analysis

(编辑 刘道芬)

(上接第137页)

Numerical Simulation on Confluence of the Two Rivers in Chongqing City

CHEN Jing-qiu, LIU Xue-lan, ZHAO Wan-xing, DING Jian-ping

(Department of Engineering Mechanics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Flows of the confluence of Yangtze River and Jialing River in the city of Chongqing are numerically simulated by using Delft3D Model with staggered grids and ADI integral method. The water level, flow velocity and drogue trace are studied. Comparing the numerical results with observed data shows good agreement. Therefore the computational model and the simplified parameters are of good accuracy and have practical meaning. The results show that the contamination will linger near the Caiyuanba area and drift to Chaotianmen and the right bank of Yangtze River upstream. The results can be used to forecast flood, inspect contamination and management of riverway in the city.

Key words: confluence; flow; numerical simulation; Delft3D model; drogue

(编辑 张小强)