

复杂地形河道的二维数值模拟及问题处理

沈锐燕¹,周晓泉,赵建兴

(四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室,四川 成都 610065)

摘要:复杂地形长河道水流形态的数值模拟在模拟过程中会遇到很多困难,本文以遂宁城区河段为例进行二维数值模拟,并对其中出现的问题采用网格加密、热启动等进行处理,计算结果表明,数学模型计算值能与试验值较好吻合,这将为河段水流形态的研究提供借鉴。

关键词:复杂地形;网格加密;热启动;数值模拟

中图分类号:TV131

文献标识码:A

Two dimensional numerical simulation in the condition of complex terrain and problem solving

SHEN Rui - yan, ZHOU Xiao - quan, ZHAO Jian - xing

(State Key Lab of Hydraulics and Mountain River Eng., Sichuan University, Sichuan Chengdu 610065, China)

Abstract: Numerical simulation of the complex terrain long river flow form will meet many difficulties in the simulation process. This paper takes SuiNing reach city for example to analysis two dimensional numerical simulation, and uses hot start, mesh refinement different to processing difficulties. The results show that mathematical model calculated value and the test value can be better coincidence, which will provide a reference for river flow morphology study.

Key words: complex terrain; mesh refinement; hot start; numerical simulation

我国关于水流形态的数值模拟处于模型研究和探索性应用阶段,国外在该领域已有相对成熟的模型和计算方法,例如丹麦水资源及水环境研究所研发的 MIKE21 & MIKE3FM 非结构网格模型、Orlob 的 RMA2 模型及美国工程兵团河道试验站的 Norton、King。本文利用 SMS 模型^[1]对复杂地形长河道^[2]水流形态进行数值模拟,模拟过程中遇到很多难点,经反复尝试,并将结果和物理模型测量值进行对比吻合较好。SMS 模型可用来模拟水流的流场和浓度场。

1 概况

遂宁城区河段位于涪江干流下游,该河段河道宽浅,河道沿程滩槽、支濠众多,宽窄相间,台地阶地遍布沿河两岸。河道中下段有圣莲岛(猫儿洲)和圣平岛(小河洲),这两个江心洲分别将河道分为左右两汉。其中圣莲岛(猫儿洲)长 2 500 m,

宽约 250 - 800 m,圣平岛(小河洲)长 4 000 m,宽约 200 - 1 200 m,其洲面高程与右岸一级阶地相近,河段中建有涪江一桥、二桥、三桥,使工程河段河道形态异常复杂。模拟的河段地理位置及地形概况见图 1。

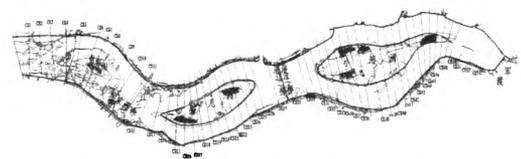


图1 河段地理位置及地形概况

Fig. 1 Geographical position and terrain profile of the reach

2 数学模型基本方程

采用沿水深平均的平面二维流动模型,它的基本方程为

水流连续性方程

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV=0)$$

水流运动方程

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{gU\sqrt{U^2 + V^2}}{C^2 H} + g \frac{\partial z}{\partial x} - fV =$$

$$v_t \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{gV\sqrt{U^2 + V^2}}{C^2 H} + g \frac{\partial z}{\partial x} - fU =$$

$$v_t \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right)$$

式中, U、V - 垂线平均流速在 X、Y 方向的分量; z - 水位; H - 水深; C = 1/nH^{1/6} - 谢齐系数; f = 2ωsinφ (ω 为地球自转角速度, φ 为当地纬度) - 柯氏力系数; g - 重力加速度; v_t - 涡粘性系数。

3 数值模拟有关问题及处理

3.1 网格划分^[3]

根据地形变化的不规则特点和实际需要, 开始将网格定为尺寸 50 m 的六节点三角形网格, 因模拟河道过长, 计算域的几何形状, 地形复杂^[4], 河道中还有两个江心洲, 水位梯度大导致计算发散, 因此对重点区域局部加密^[5] 最终确定的最小网格尺寸 5 m, 最大网格尺寸 50 m, 24 810 个网格单元, 51 561 个网格节点, 模拟河道网格图见图 2, 河道部分桥网格见图 3、图 4。

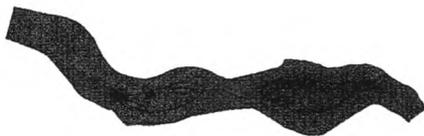


图2 模拟河道网格

Fig.2 The mesh of simulated river

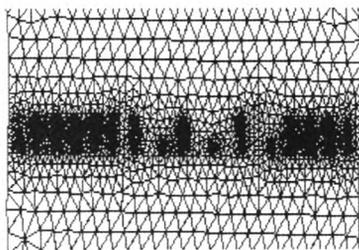


图3 一、二桥主跨部位网格图

Fig.3 The grid of one, two main span bridge site

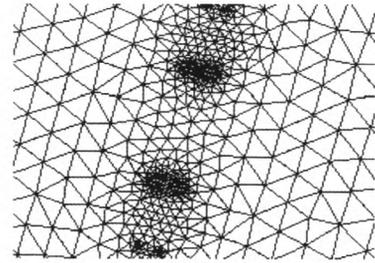


图4 三桥主跨桥梁网格图

Fig.4 The rise of water level one, two bridge

3.2 模拟再发散处理

由于该河段河谷开阔, 滩槽相间, 汉道、心滩、洲滩密布, 漫滩、阶地十分发育, 模拟范围大, 因此计算中网格局部加密之后仍然发散, 而且遂宁河段有两个大的江心洲, 为了能让过水区域与不过水区域之间逐步过渡, 经过试算采用抬高出口水位, 使之能计算出结果, 并将此结果作为下一时刻的初值, 逐渐降低水位的热启动^[6] 技巧。

3.3 糙率率定^[7]

1998 年的洪水资料最为全面, 故以 1998 年的洪水原型资料为糙率率定依据, 洪水流量为 18 200 m³/s。分别以 0.03、0.035、0.04 作为糙率的数值进行模拟试算。试算结果与实测水位比较如图 5, 水位测点位置如图 6。

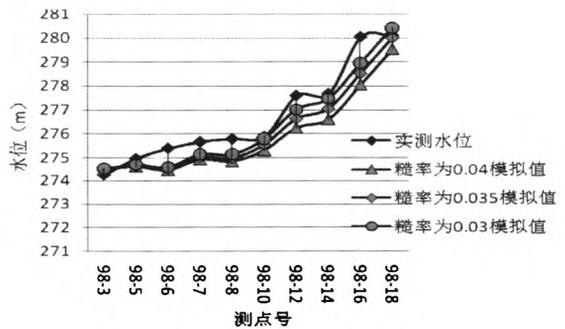


图5 不同糙率模拟值与实测值比较

Fig.5 Comparison of simulation and measured values about different roughness

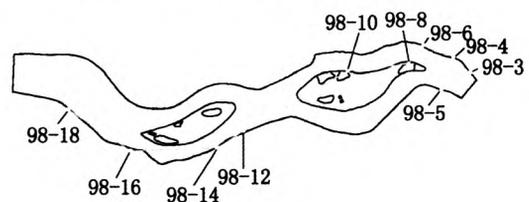


图6 测点位置

Fig.6 The location of the measurement points

从图 5 可以看出模拟值都比实测值偏小, 这是由于冲深或采砂的挖深, 因此糙率值采用一维

水位验证的0.03。

4 模型验证^[8]

本次模拟重点关注圣平岛附近水位的变化值,利用实验天然工况对上述调试好的模型进行验证,取出33、36断面的模拟水位与相应试验数据进行比较,比较如图7、图8所示。

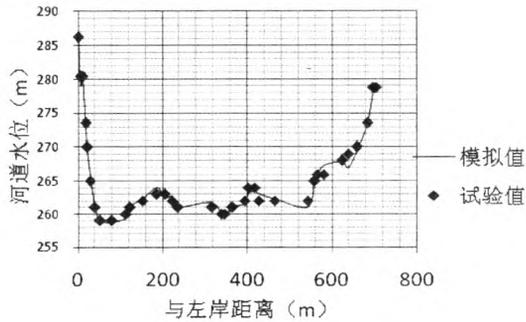


图7 断面33模拟值与试验值

Fig.7 Simulation and the experimental values of cross-section 33

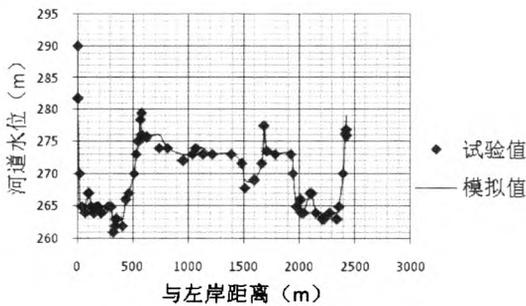


图8 断面36模拟值与试验值

Fig.8 Simulation and the experimental values of cross-section 36

从图中可以看出模拟值和试验值吻合较好,

(上接第61页)也随之增高。

2)回流比为5%时,工艺对有机物和氨氮去除率的提高不明显,出水浊度升高,增加了沉淀池和炭砂滤池负担,造成反冲洗强度和频率加大。通过综合考虑,中试现场回流比3%效果更好。

参考文献:

- [1] 王悦,刘春,李曼. 活性污泥性质对基因工程菌吸附影响研究[J]. 河北科技大学学报, 2013, 34(2): 168-172.
- [2] 宋志伟,程晓霞,宁婷婷,等. 污泥负荷对好氧颗粒污泥运行稳定性的影响[J]. 黑龙江科技学院学报, 2012, 22(2): 111-115.
- [3] 吴思斯,梁宏,王林元,等. 三维电极法处理钻井废水实验研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,

也就是可以用调试好的模型来进行项目计算。

5 结论

1)对于较长河道的数值模拟可以在江心洲、桥梁等特殊部位通过局部划分网格,试算,再细划分网格,再试算的方法,一般都能使计算收敛。

2)部分工程因其河道长,坡度大,通过网格加密不能使计算收敛,所以采用热启动技术降低下游水位来使计算收敛。

3)通过数值模拟跟物理模型结果进行对比,数模与物模吻合较好,为工程建设提供借鉴。

参考文献:

- [1] 鲁海燕. SMS模型在杭州湾潮流模拟中的应用[J]. 浙江水利科技, 2003(03): 4-6.
- [2] 陈思宇,匡翠萍,刘曙光,等. 太浦河一维、二维水流数值模拟比较研究[J]. 人民长江, 2008(15): 52-53.
- [3] 虞春,周雄辉,张永清. 基于特征的有限元网格划分研究[J]. 机械科学与技术, 1999(02): 210-212.
- [4] 陈虹,王胜安. 复杂河道二维水流数学模型与应用[J]. 福州大学学报:自然科学版, 2010(04): 589-595.
- [5] 张华杰,周建中,毕胜,等. 基于自适应结构网格的二维浅水动力学模型[J]. 水动力学研究与进展A辑, 2012(06): 667-678.
- [6] 汪荣胜,宋立松,张泽锋,等. 二维水流数值模拟系统研制与应用[J]. 水电能源科学, 2010(10): 118-121.
- [7] 姜淑坤,付艳红. 河道糙率问题的探讨[J]. 吉林水利, 2005(03): 25-26.
- [8] 金腊华. 河流平面二维水流数学模型在抚河中的应用[J]. 江西水利科技, 1992(02): 114-122.

(责任编辑 刘存英)

2012, 25(4): 57-60.

- [4] 卢燕. 活性炭吸附罗丹明B的研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2010, 23(6): 67-69.
- [5] 李晓,李星,杨艳玲,等. 粉末活性炭与聚合氯化铝污泥回流技术的研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(21): 25-29.
- [6] 王占生,刘文君. 微污染源饮用水处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [7] KIMA H S, KATAYAMAB H, TAKIZAWAB S, et al. Development of a microfilter separation system coupled with a high dose of powdered activated carbon for advanced water treatment[J]. Desalination, 2005, 186(1-3): 215-226.

(责任编辑 马立)