

EFDC 模型的 GIS 可视化研究

刘蒙泰^{1,2}, 廖卫红², 宋万祯^{2,3}, 雷晓辉², 王浩²

(1. 北京工业大学建筑工程学院, 北京 100022; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072)

摘要:为研究 EFDC 模型的 GIS 可视化,采用 EFDC 模型对恩县洼蓄滞洪区二维洪水演进过程模拟,根据工程实际需要改进 EFDC 模型输出项,输出洪水历时等 EFDC 模型原来未涉及的输出项,并将 EFDC 模型与 GIS 耦合。通过与 EFDC 模型展示效果对比,GIS 平台的展示效果明显优于 EFDC 二维网格展示效果,能更好地模拟二维洪水演进过程,为蓄滞洪区防洪评价、防洪决策、抢险等提供技术支持和研究方法。

关键词:蓄滞洪区;洪水演进;GIS 可视化;EFDC 模型

中图分类号:TV122 **文献标识码:**A

The Gis Visualization of EFDC Model

LIU Meng-tai^{1,2}, LIAO Wei-hong², SONG Wan-zhen^{2,3}, LEI Xiao-hui², WANG Hao²

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: To do research on the GIS visualization of EFDC model, EFDC model is used to simulate two-dimensional flood routing in Enxianwa Detention Basin. According to the actual need of improving output items, it can output items such as flood duration which EFDC model itself is not involved. And then GIS is coupled with EFDC model. Comparing the display of two-dimensional grids in EFDC model, the display of GIS is obviously better. So it can simulate two-dimensional flood routing process better and provide technical support and methods for flood assessment, flood control decision-making and dealing with an emergency in the flood detention basin.

Key words: flood detention basin; flood routing; GIS visualization; EFDC model

0 引言

我国是世界上遭受水灾最严重的国家之一,国内外不少学者都对洪水演进数值模拟进行了研究,如意大利的 Caleffi V 和

Valiani A^[1]采用二维浅水方程对 Toce 河的洪水演进进行了模拟, Liggett A^[2]等利用显示有限差分法和矩形网格建立了最早的二维模型,我国王志力^[3],曹志芳^[4],周孝德^[5],梅亚东^[6]等人也对洪水演进进行了数值模拟分析。EFDC 模型是一种常用的二维水动力、水质模型,由 Fortran 语言编制而成。EFDC 模型对洪泛区洪水演进的模拟结果较为理想,但 EFDC 模型是在二维网格界面上展示,展示效果与一般商业软件展示效果相似,在可视化上有很大的改进空间。考虑到 EFDC 模型源代码的开放性,本文采用 EFDC 模型以恩县洼蓄滞洪区洪水演进模拟为例,根据工程实际需要增加了洪水淹没历时、最大流速分布、最大水深分布等 EFDC 模型自身原来不具备的展示项,通过运用 GIS SDK 提供的可视化控件,实现了 GIS 可视化效果展示,大大改进了 EFDC 模型原有展示效果,为蓄滞洪区制定安全撤退路线、防洪评价等提供了有力的保障。

收稿日期:2014-03-14

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201101026; 201101024; 201301001; 20131102);科技支撑计划项目(2013BAB05B05);环保部公益基金项目(2013467042);“973”课题(2013CB036406);“十二五”水专项(2012ZX07205005)。

作者简介:刘蒙泰(1988-),男,硕士研究生,主要从事数值模拟的研究。E-mail:178201664@qq.com。

通讯作者:雷晓辉(1974-),男,教授级高级工程师,博士,主要从事水文水资源方面研究。E-mail:lxh@iwhr.com。

1 EFDC 模型

EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)最初是由美国弗吉尼亚海洋科学研究所(Virginia Institute of Marine Science)的 John Hamrick 等人根据多个数学模型集成开发,它包括水动力、水质、泥沙模块,用于模拟水系的一维、二维和三维流场、盐、黏性和非黏性泥沙运移、生态过程以及淡水入流。该模型已经成功应用于模拟弗吉尼亚的 James 河口、York River 河口以及 Chesapeake 河口,EFDC 模型已经成为美国环保署(EPA)最为推崇的模型之一,被誉为 21 世纪最有发展前途的环境流体动力学模型之一。EFDC 模型动力学控制方程如下^[7]。

动量方程:

$$\partial_t(mHu) + \partial_x(m_yHu) + \partial_y(m_xHvu) + \partial_z(mw) - (mf + v\partial_x m_y - u\partial_y m_x)Hv = -m_y H \partial_x (g\zeta + p) - m_y (\partial_x h - z\partial_x H)\partial_z p + \partial_z(mH^{-1}A_v \partial_z u) + Q_u \quad (1)$$

$$\partial_t(mHv) + \partial_x(m_yHuv) + \partial_y(m_xHvv) + \partial_z(mwv) - (mf + v\partial_x m_y - u\partial_y m_x)Hu = -m_x H \partial_y (g\zeta + p) - m_x (\partial_x h - z\partial_x H)\partial_z p + \partial_z(mH^{-1}A_v \partial_z v) + Q_v \quad (2)$$

$$\partial_t(m\zeta) = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb \quad (3)$$

连续方程:

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x(m_yHu) + \partial_y(m_xHv) + \partial_z(mw) = 0 \quad (4)$$

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x(m_yH \int_0^1 u dz) + \partial_y(m_xH \int_0^1 v dz) = 0 \quad (5)$$

状态方程:

$$\rho = \rho(P, S_a, T) \quad (6)$$

盐度、温度输移方程:

$$\partial_t(mHS_a) + \partial_x(m_yHuS_a) + \partial_y(m_xHvS_a) + \partial_z(mwS_a) = \partial_z(mH^{-1}K_v \partial_z S_a) + Q_s \quad (7)$$

$$\partial_t(mHT) + \partial_x(m_yHuT) + \partial_y(m_xHvT) + \partial_z(mwT) = \partial_z(mH^{-1}K_v \partial_z T) + Q_T \quad (8)$$

式中: u, v, w 分别为边界拟合正交曲线坐标 x, y, z 方向上的速度分量; m_x 和 m_y 分别为度量张量对角元素的平方根; m 为度量张量行列式的平方根, $m = m_x m_y$; H 为总水深; A_v 为垂向紊动黏滞系数; K_v 为垂向紊动扩散系数; f 为 Coriolis 系数; p 为压力; ρ 为混合密度; ρ_0 为参考密度; S_a 为盐度; Q_u 和 Q_v 为动量在 x, y 方向上的源汇项; T 为水体温度; Q_s 和 Q_T 为盐度和温度的源汇项。

联立式(1)~式(8),可求得 u, v, w, p, ρ, S_a, T 和 ζ 等变量^[8]。

2 EFDC 模型 GIS 可视化

本文实现 EFDC 模型 GIS 可视化,首先对 EFDC 模型输出的二进制文件解译,解译后根据工程实际情况以及用户需求改进输出数据,增加了用户关心的洪水淹没历时、最大流速分布、最大水深分布等输出项,通过调用 GIS SDK(软件开发包)数据 IO 接口,将输出数据转换为 GIS 可识别栅格文件格式。在此基础上基于 .NET 开发环境,使用 C# 开发语言,构建数据表现应用程序,并通过 GIS SDK 提供的可视化控件配以程序二次开发,完成数据的可视化表现及良好的用户交互方式,最终实

现 GIS 可视化效果展示,使决策者更直观的查看自己需要的信息。本研究对 EFDC 模型输出数据进行合理改进的方法主要是:①在对 EFDC 模型输出项处理时,认为当 EFDC 二维网格水深大于某一定值时即为淹没,可遍历出每个网格的淹没总历时。②在对 EFDC 模型水深输出项处理时,通过遍历所有时刻每个网格的水深,可提取出每个网格的历史最大水深。③在对 EFDC 模型流速输出项处理时,通过遍历所有时刻每个网格的流速,可提取出每个网格的历史最大流速。设计思路框架如图 1 所示,用户界面如图 2 所示。

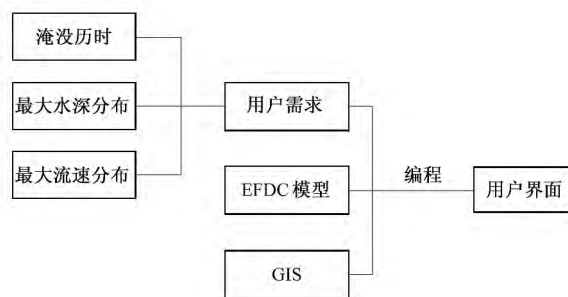


图 1 设计思路框架

Fig. 1 The framework of design



图 2 用户界面展示

Fig. 2 The display of user interface

3 洪水演进模型构建

本研究以恩县洼蓄滞洪区为例,恩县洼是卫运河下游右岸的一个碟式自然洼地,北临卫运河右堤,东以陈公堤为界,南靠六六河和平武公路,西接自然高地^[9]。当卫运河来水量超过漳卫新河和南运河泄洪能力 3 800 m³/s 时,原则上应充分利用漳卫新河强迫行洪,加强防守,当河道发生险情或防洪特别紧张时,利用恩县洼滞洪,运用机遇相当于 30~50 年一遇。恩县洼进、退洪均有控制工程(卫运河西郑庄分洪闸分洪流量 1 200 m³/s,老减河右堤牛角峪退水闸设计退洪流量 378 m³/s)。恩县洼设计滞洪水位 24.82 m,蓄水量 7 亿 m³,淹没面积为 301 km²。

模型基本网格采取 200 m×200 m 矩形网格,共生成有效网格 7 900 个,因为恩县洼蓄滞洪区在初始时刻均无水流进入,所以初始状态所有网格的水深和流速均设为 0。模型入流边界为西郑庄分洪闸,出流边界为牛角峪退水闸,边界点位置见图 3。入流序列取用西郑庄上游最近水文站—临清水文站 1963

年 8 月的一场洪水流量减去卫运河行洪流量,洪水流量过程线如图 4 所示,出流边界处当出流小于 $378 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,出流序列取用实际出流,当出流大于或等于 $378 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,出流量取 $378 \text{ m}^3/\text{s}$ 。洪水历时 172 h,模型计算时间步长选为 5 s,本次模拟共模拟 123 840 个时间步长。

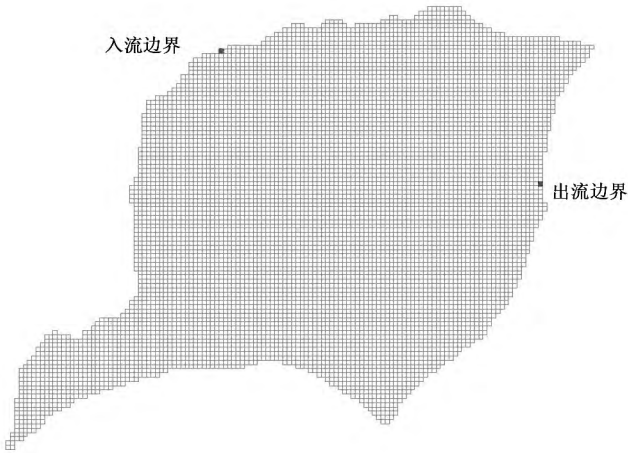


图 3 模型边界点位置

Fig. 3 The position of boundary points

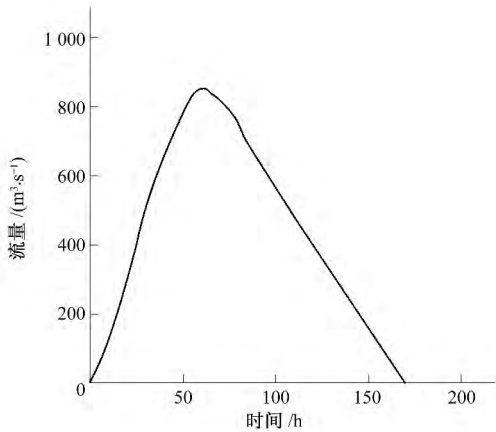


图 4 洪水流量过程线

Fig. 4 The discharge hydrograph of flood diversion

4 结果分析及 GIS 可视化展示

4.1 展示效果对比

EFDC 模型结果是在二维网格基础上展示的,展示效果如图 5 所示,同样的水深结果在 GIS 平台的展示效果如图 6 所示,通过对比可以看出,在可视化效果方面,GIS 展示效果更加形象、逼真,明显优于 EFDC 的二维网格展示效果。

4.2 GIS 可视化结果分析

研究区域淹没历时的 GIS 可视化效果如图 7 所示,图中中西部区域为淹没时间最长的区域,因为此区域与周边区域相比地势较低,容易积水,淹没时间较长区域为中东部区域及部分西部区域。

研究区域最大水深分布的 GIS 可视化效果如图 8 所示,最大水深集中的部位并不在西郑庄分洪闸处,而是多集中在模拟区域的中东部地区,因为入流处地势相对较高,不易积水,东部地势相对较低,可见下垫面变化对最大水深分布有一定的

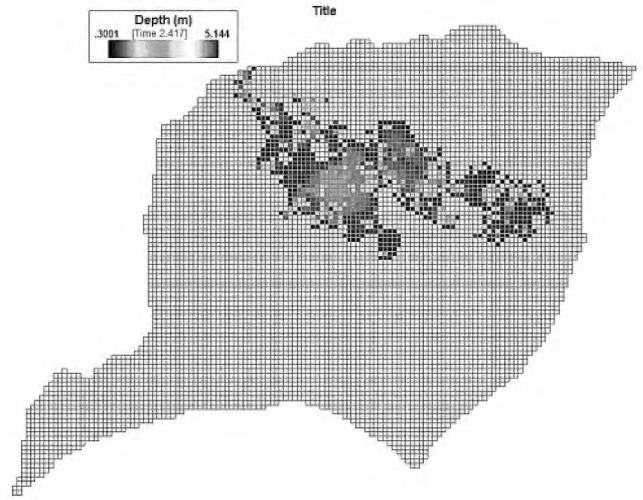


图 5 EFDC 水深展示图

Fig. 5 The display of water depth in EFDC

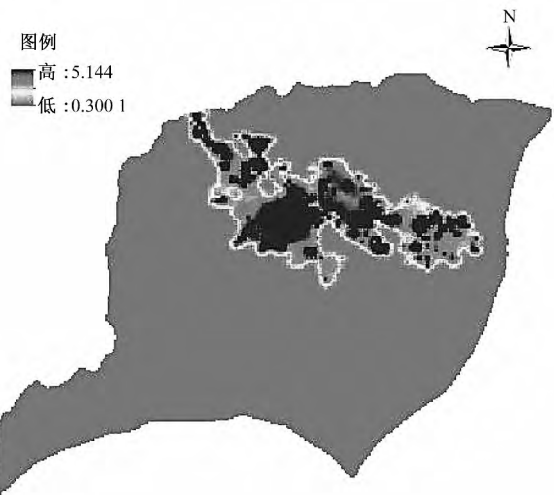


图 6 GIS 平台水深展示图

Fig. 6 The display of water depth in GIS

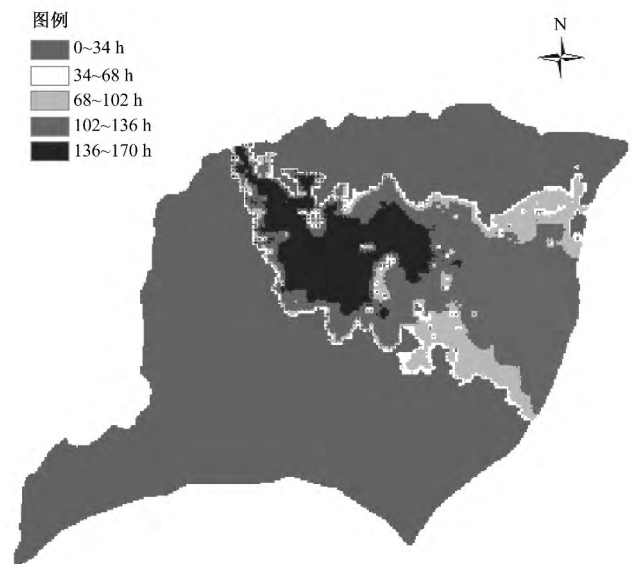


图 7 淹没历时 GIS 可视化

Fig. 7 The flooding time of submerged domains in GIS

影响。

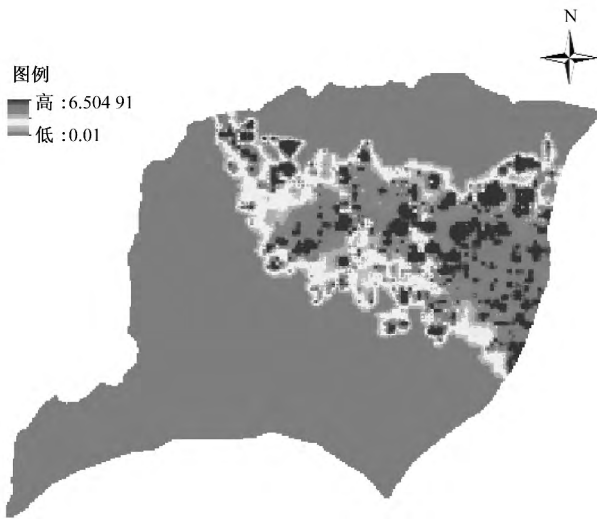


图 8 最大水深分布 GIS 可视化

Fig. 8 The distribution of maximum depth in GIS

研究区域最大流速分布的 GIS 可视化效果如图 9 所示,从图中可以看出出口地区最大流速较大,这是由于入口处洪水演进范围较狭小造成的,除此之外,洪水演进过程中最大水深覆盖区域的最大流速也相应较大,说明最大水深分布与最大流速分布基本呈正相关关系,可为决策者制订应急预案、合理规划群众转移、布置撤离通道提供技术参考。

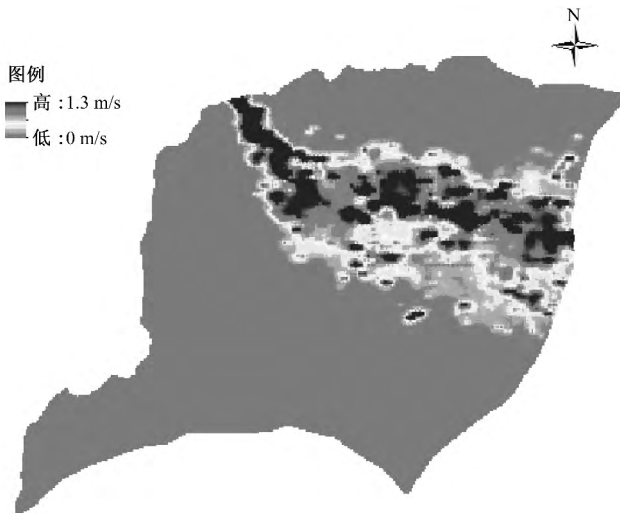


图 9 最大流速分布 GIS 可视化

Fig. 9 The distribution of maximum velocity in GIS

由于恩县洼蓄滞洪区历史资料极其匮乏,模型验证资料通过查阅相关文献[10]可知,1963 年实测水位是 24.7 m,本模型计算水位是 25.3 m,误差为 2.43%,误差造成的原因主要是资料不够完整,糙率等参数的选取较难调整,可见模型计算结果与实测数据拟合比较理想。

5 结 语

本文将 EFDC 模型与 GIS 耦合,将该可视化工具应用于恩县洼蓄滞洪区二维洪水演进过程,根据工程实际需要输出 GIS 可视化效果图,得出研究区域最大淹没水深等信息,表明 EFDC 模型具有较好的稳定性和通用性,同时也表明 EFDC 模型与 GIS 的耦合可更好地为流域防洪减灾、风险图制作等提供有力的支持和决策依据。 □

参考文献:

- [1] Caleffi V, Valiani A, Zanni A. Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels[J]. Journal of Hydraulic Research, 2003,41(2):167-177.
- [2] Liggett A, Woolhiser A. Difference solutions of the shallow-water equation[J]. Tech Rep 6, Cornell Univ, Aug 1967. 33 p, 14 fig, 1 tab, 19 ref, append. ,1967.
- [3] 王志力,耿艳芬,金生. 二维洪水演进数值模拟[J]. 计算力学学报, 2007,24(4):533-538.
- [4] 曹志芳,李义天. 蓄滞洪区平面二维干河床洪水演进数值模拟[J]. 应用基础与工程科学学报, 2001,9(1):74-79.
- [5] 周孝德,陈惠君. 滞洪区二维洪水演进及洪灾风险分析[J]. 西安理工大学学报, 1996,12(3):244-250.
- [6] 梅亚东,冯尚友. 蓄滞洪区洪水演进模拟[J]. 水利学报, 1996, (2):63-67.
- [7] Hamrick J M, Wu T S. Computational design and optimization of the EFDC/HEM3D surface water hydrodynamic and eutrophication models[J]. Society of Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1997:143-161.
- [8] Hamrick J M. A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: Theoretical and computational aspects[M]. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary, 1992.
- [9] 鲁学恩,郑吉顺,周建军. 恩县洼滞洪区建设与管理模式探讨[J]. 中国水利, 2007,(16):40-42.
- [10] 李大鸣,管永宽,李玲玲,等. 蓄滞洪区洪水演进数学模型研究及应用[J]. 水利水运工程学报, 2011,(3):27-35.
- [11] 肖军,赵景波. 陕西省 54 年来农业干旱灾害特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006,20(5):201-203.
- [12] 陕西救灾年鉴编委会. 2000-2002 陕西救灾年鉴[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2005:5-12.
- [13] 陕西救灾年鉴编委会. 2007 陕西救灾年鉴[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2009:26-27.
- [14] 陕西救灾年鉴编委会. 2009 陕西救灾年鉴[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2011:84-85.
- [15] 陕西救灾年鉴编委会. 2011 陕西救灾年鉴[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2012:90-91.

(上接第 54 页)

- [10] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997,8(1):26-32.
- [11] 张存杰,王宝灵,刘德祥,等. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象, 1998,17(4): 381-386.
- [12] 《陕西历史自然灾害简要纪实》编委会. 陕西历史自然灾害简要纪实[M]. 北京:气象出版社, 2002:28-39.
- [13] 中国气象灾害大典:陕西卷[M]. 北京:气象出版社, 2005:27-41.
- [14] 杨新. 陕西干旱灾害特征分析[J]. 陕西气象, 1998,(4):23-25.