

基于 MIKE21 的濠洼蓄滞洪区洪水演算模拟

魏凯, 梁忠民, 王军

(河海大学 水文水资源学院, 南京 210098)

摘要: 为研究蓄滞洪区分洪之后洪水演进情况, 以淮中游濠洼蓄滞洪区为研究对象, 采用 MIKE21 模型对洪水演进过程进行了二维模拟计算。利用 2007 年实测水位数据对模型参数进行率定后, 水位模拟最大相对误差约 10%, 表明模型具有较高精度。运用该模型模拟计算了最危险分洪方案下蓄滞洪区内任一点的水深、流速、到达时间等洪水淹没要素。研究成果可为濠洼蓄滞洪区防洪救灾提供技术支持。

关键词: 蓄滞洪区; 洪水演进; MIKE21; 洪水淹没要素; 防洪救灾

中图分类号: TV 122; P333.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0016-04

Flood Routing Simulation of MengWa Detention Basin based on MIKE21

WEI Kai, LIANG Zhong min, WANG Jun

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to study the flood routing situation in the detention basin after flood diversion, MIKE21 was adopted to conduct 2D flood routing simulation of the MengWa detention basin in the midstream of Huaihe River. The measured water level data in 2007 were used to calibrate the model, and the maximum relative error of simulated and measured water levels was about 10%, which indicated that the model has a high simulation precision. The model was used to simulate the inundated elements, such as water depth, flow velocity, and arrival time, at each location of the detention basin under the scheme of the most dangerous flood diversion. The research results can offer technical support for flood control and disaster reduction of the MengWa detention basin.

Key words: detention basin; flood routing; MIKE21; flood inundated elements; flood control and disaster reduction

洪水演算模拟是洪水风险图绘制、洪水风险分析、洪水损失评估的基础, 是洪水管理的科学依据^[1]。目前, 洪水演算模拟方法主要有: 水文学方法、历史洪灾调查法、一维或二维水力学模拟方法等。其中, 二维水力学模拟方法能够分别从时间与空间角度模拟洪水演进过程, 得到丰富的水文要素信息, 提供更为直观的洪水淹没范围变化, 从而更好地为区域的防洪调度的决策制定服务, 因而逐渐成为洪水淹没模拟的主要方法。

二维水力学模型可以是自主开发^[1-3], 但更多的是采用成熟的商业软件, 比如: 荷兰 Delft3D 模型^[4-5]、英国 Irfoworks RS 模型^[6]、丹麦 MIKE21 模型^[7-8] 等。其中 MIKE21 因其强大的前、后处理功能, 并且能够进行热启动, 可以设置桥墩、堰、闸、涵洞等多种控制性结构, 能够进行干、湿节点与单元的设置等特点^[9], 是目前世界范围内应用最为广泛的水力学模型之一, 在我国也有很多成功应用案例, 如

长江综合治理、杭州湾数值模拟、南水北调工程数值模拟、太湖富营养化模型等。本文拟采用 MIKE21 建立濠洼蓄滞洪区洪水演算模型, 并对概化的分洪方案进行模拟, 获得不同水文要素的时空分布及洪水淹没信息。

1 研究区概况

蓄滞洪区主要是指河堤外洪水临时贮存的低洼地区及湖泊等, 用于调节河道洪水、削减洪峰流量、延缓洪水到达下游城市的时间。因此蓄滞洪区是江河防洪体系中的重要组成部分, 是保障重点防洪安全, 减轻灾害的有效措施。

濠洼蓄滞洪区是国家级蓄滞洪区, 处于淮河中上游, 库容约为 7.5 亿 m³, 濠洼以上淮河河道比降大, 坡陡水急, 支流源短, 致使洪水暴涨暴落; 下游河道坡降平缓, 狭窄弯曲, 宣泄不畅, 因此濠洼蓄滞洪区面临着“上压下顶”的巨大压力。濠洼蓄滞洪区有居民约 15.78 万人, 分洪之前必须制定

收稿日期: 2013-06-28 修回日期: 2013-09-22 网络出版时间: 2013-10-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1025.003.html>

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BA06B01-2); 水利部公益性行业专项经费项目(201301066)

作者简介: 魏凯(1990-), 男, 江西宜春人, 硕士研究生, 主要从事水文不确定理论与应用方面研究。E-mail: weikaijy@126.com

通讯作者: 梁忠民(1962-), 男, 辽宁凤城人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

相应的人员转移方案与路径,因此濠洼蓄滞洪区二维洪水演算模拟研究,得到分洪之后洪水实时演进情况,对于濠洼蓄滞洪区的防洪救灾方案制定有着至关重要的作用。濠洼蓄滞洪区地理位置见图 1。

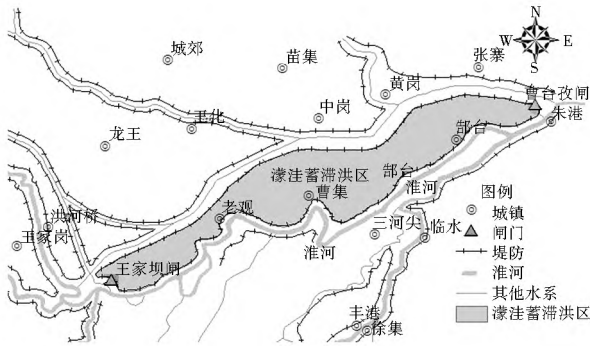


图 1 濠洼蓄滞洪区地理位置

Fig. 1 Geographical location of the Mengwa detention basin

2 模型构建及参数率定

2.1 模型控制方程

河道水流一般可视为不可压缩的牛顿液体,对河道水流运动规律采用 Navier Stokes 方程组进行描述。引入涡黏系数,加入河床水体的底摩擦作用和紊动影响,建立平面二维水力数值模型^[10]。模型控制方程如下。

$$\text{连续性方程: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial h \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{u} \bar{v}}{\partial y} = f \bar{v} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} +$$

$$\frac{\tau_{xy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{yx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + hu_x S$$

(2)

$$\frac{\partial h \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{v} \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}^2}{\partial y} = -f \bar{u} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y}$$

$$+ \frac{\tau_{xy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{yx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{yx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_x S$$

(3)

式中: t 为时间; x, y, z 为右手 Cartesian 坐标系; η 为水面相对于未扰动基面的高度,即水位; h 为静止水深; u, v 为流速在 x, y 方向上的分量; P_a 为当地气压; ρ 为水密度, ρ_0 为参考水密度; $f = 2\Omega \sin\varphi$ 为 Coriolis 参量(其中 $\Omega = 0.729 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 为地球自转角速率, φ 为地理纬度); $f \bar{u}, f \bar{v}$ 为地球自转引起的加速度; g 为重力加速度; $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ 为辐射应力分量; $T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$ 为水平黏滞应力; $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xx}, \tau_{yy}$ 为水面与河床边界水流切应力在 x, y 方向上的分量; S 为源汇项; u_s, v_s 为源汇项水流流速。

2.2 模型的构建

模型的构建主要包括网格剖分与地形制作、边界条件设置、初始条件设置、模型动边界处理等。濠洼蓄滞洪区的洪水演算模型建立过程中,不考虑风、浪、潮汐、温度、盐度等因素的影响。

2.2.1 网格剖分与地形制作

本次计算采用的是 MIKE21FM 非结构网格模型,该模

型采用单元中心的有限体积法数值模拟,计算区域采用不规则三角形网格,利用 MIKE 中 Mesh Generator 模块进行剖分。模型模拟区域网格剖分结果见图 2。

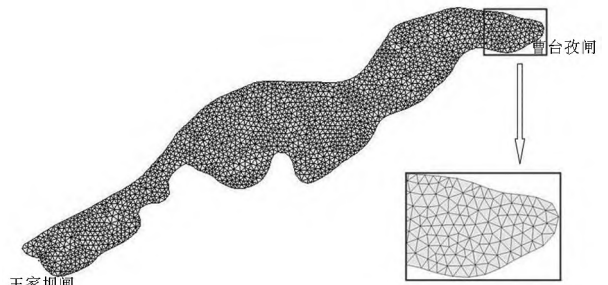


图 2 网格剖分图

Fig. 2 Model grid discretization

濠洼蓄滞洪区地形数据是根据 1:5 000 散点高程为基础,将 x, y, z 文件导入所剖分的网格中,对散点图进行内插得到模拟区域的地形文件,结果见图 3。

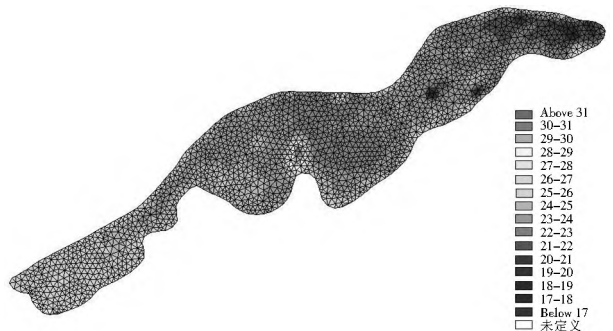


图 3 模拟区域地形图

Fig. 3 Topography of the simulated area

2.2.2 边界条件

濠洼蓄滞洪区分洪过程中,王家坝闸处于开启状态,洪水由王家坝闸进入蓄滞洪区,而下游曹台孜闸在濠洼蓄水时始终关闭,因此濠洼蓄滞洪区在蓄水时下游是封闭的。在模型建立过程中,给定上游王家坝闸处为开边界,边界条件为分洪流量过程,下游曹台孜闸则采用陆地边界,见图 2。

2.2.3 初始条件

由于开始进行分洪模拟时,假定濠洼蓄滞洪区模拟区域内是无水的,因此初始条件设置为初始水位值:模拟区域的初始水位为地面高程值,而上边界王家坝闸处的初始水位为蓄滞洪区开始分洪时的水位值。

2.2.4 动边界处理

由于计算区域中存在随水位涨落而变化的动边界,为保证模型计算的连续性,采用“干湿处理技术”,干湿水深分别采用系统默认值 0.005 m、0.1 m,即当计算区域水深小于 0.005 m 时,该计算区域记为“干”,不参加计算;当水深大于 0.1 m 时,该计算区域记为“湿”,重新参加计算。

2.3 模型参数率定

濠洼蓄滞洪区洪水演算模拟中,需要率定的模型参数主要是反映涡黏系数的 Smagorinsky 系数值(C_s)以及反映河床糙率的曼宁糙率系数值(n)。模型率定采用 2007 年 7 月 10 日 12 点 28 分至 12 日 9 点 52 分濠洼蓄滞洪区实际开闸

蓄水的分洪过程,率定水位站为下游的曹集站。参数率定结果为: $C_s = 0.28$, 河道糙率 $n_1 = 0.03$, 其他地面糙率 $n_2 = 0.05$, 曹集站实测水位与模拟水位对比结果见图 4。

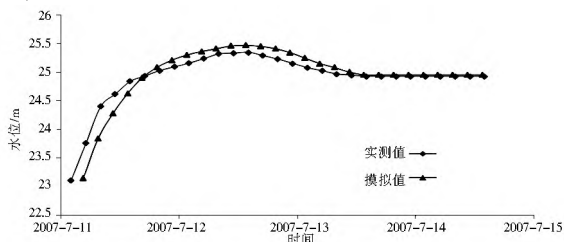


图 4 曹集站实测与模拟水位对比结果

Fig. 4 Comparison of measured and simulative water levels at Caoji station

从图 3 中可以看出: 实测与模拟水位过程线趋势大体相同,且最终水位相差较小。经计算,模拟水位值与实测水位值相对误差为 10% 左右,确定性系数为 0.95。考虑到模拟区域中网格概化、模型参数设定等误差,可以认为濛洼蓄滞洪区二维洪水演算模型模拟效果良好。

3 分洪模拟计算

根据濛洼蓄滞洪区使用分洪预案,可概化出相应的分洪方案。

根据分洪预案,当王家坝闸上水位达到 29.3 m,濛洼蓄滞洪区开始开闸分洪,根据干流洪水情况决定所分水量。由于蓄滞洪区库容是 7.5 亿 m^3 ,因此最大分洪量为 7.5 亿 m^3 。本次分洪方案假定为最危险情况,即:王家坝闸上初始水位为 29.3 m,短时间内迅速达到且中间过程保持以设计流量 1 626 m^3/s 进行分洪,直至分洪量达到 7.5 亿 m^3 停止分洪。具体分洪流量过程见图 5。

将分洪流量过程作为模型的上流量边界,利用之前制作的地形以及率定的参数,对濛洼蓄滞洪区进行分洪模拟,不仅可以得到分洪最终时刻洪水的淹没要素,还可以得到洪水演进过程中,任意网格任意时刻洪水的洪水淹没要素(淹没水深、流速、流向等)。以 25 h 为例,对应的淹没水深、流速分

布见图 6、图 7。

根据洪水模拟的结果,可统计分析蓄滞洪区不同蓄量时所涉及的社会经济信息,具体见表 1。这些信息是抢险救灾和防洪决策的重要依据。

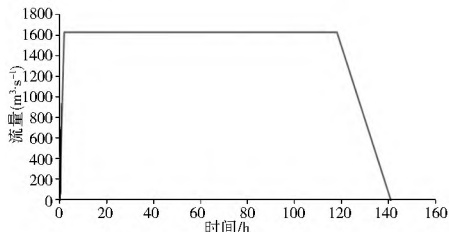


图 5 分洪流量过程线

Fig. 5 Discharge process line of flood diversion

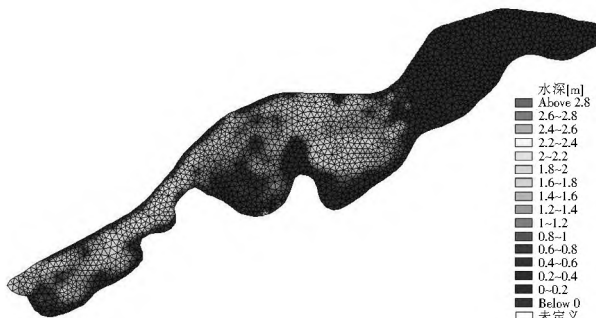


图 6 25 h 淹没水深分布

Fig. 6 Distribution of inundated depths at 25 h

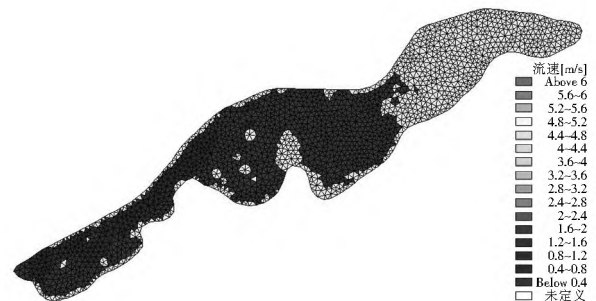


图 7 25 h 流速分布

Fig. 7 Distribution of flow velocity at 25 h

表 1 淹没信息统计

Table 1 Statistics of inundated information

洪量 / 亿 m^3	时间/h	淹没面积/ km^2					淹没庄台数/ 个	受困群众/ 人	洪水到达曹集时间/h	洪水到达曹台夜时间/h
		未淹没	$0 < h < 2$	$2 < h < 4$	$4 < h < 6$	$h > 6$				
2	35	42.48	113.9	23.8	0.47	0.19	68	42 355		
3	53	22.37	100.5	55	2.17	0.81	68	42 355		
5	87	13.24	42.13	104	18.88	2.57	69	42 621	15	42
7	121	7.8	23.33	65.8	77.4	6.57	69	42 621		

注:表中淹没面积的 h 值表示淹没水深,单位为 m。

4 结论

本文以濛洼蓄滞洪区分洪为例研究了 MIKE21 模拟二维水力学的建模过程、参数率定及模拟计算过程,得到如下主要结论。

(1) MIKE21 模型能够较好地应用于蓄滞洪区分洪后的二维洪水演进数值模拟。本次以 2007 年濛洼蓄滞洪区实际分洪过程为模拟对象,以曹集站实测水位过程为验证资料,

进行了参数率定和模型验证,结果显示模型具有较高的模拟精度,可用于蓄滞洪区的洪水演进计算。

(2) 利用率定的模型,分析计算了一种分洪方案下濛洼蓄滞洪区洪水淹没要素的时空变化过程,基于此可统计出诸如洪水到达时间、淹没水深、范围、淹没庄台及受困人口数等动态信息,可为实际防洪中及时发布预警、转移财产、逃生避险等提供技术支撑。

由于本次只搜集到一场实际的分洪资料,因此对模型验

证结果的可靠性支撑略显欠缺。未来,随着蒙洼蓄滞洪区运用记录的累积,可对模型进行更全面的检验,以进一步提高不同分洪方案下洪水淹没要素的模拟精度。

参考文献(References):

- [1] 张秋霞,王义成.二维非恒定流洪水演进模拟模型开发及应用[J].水利水电技术,2009,40(3):62-64,73.(ZHANG Qiu xia, WANG Yi cheng. Development and Application of Two dimensional Unsteady Flood Routing Model[J]. Water Resource And Hydropower Engineering, 2009, 40(3): 62-64, 73. (in Chinese))
- [2] 魏文礼,沈永明,孙广才,等.二维溃坝洪水波演进的数值模拟[J].水利学报,2003,(9):43-47.(WEI Wen Li, SHEN Yong Ming, SUN Guang cai, et al. Numerical Simulation of 2D Dam break Flood Wave[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, (9): 43-47. (in Chinese))
- [3] 宋利祥,周建中,王光谦,等.溃坝水流数值计算的非结构有限体积模型[J].水科学进展,2011,22(3):373-381.(SONG Li xiang, ZHOU Jian zhong, WANG Guang qian, et al. Unstructured Finite Volume Model for Numerical Simulation of Dam break Flow[J]. Advances In Water Science, 2011, 22(3): 373-381. (in Chinese))
- [4] 刘成,何耘,李行伟,韦鹤平.上海市污水排放口污染物运动轨迹模拟[J].水利学报,2003,(4):114-118.(LIU Cheng, HE YUN, LI Xing wei, et al. Numerical Simulation on Pollutant Tracking Released from the Sewerage Outfalls in Shanghai[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, (4): 114-118. (in Chinese))
- [5] 左书华. Delft3D 在鳌江口外平阳咀海域流场模拟中的应用[J].水文,2007,27(6):55-58.(ZUO Shu Hua. Introduction of Numerical Simulation Software Dleft3D & Its Application on Offshore Area of Aojiang Estuarine[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(6): 55-58. (in Chinese))
- [6] 肖魁.基于 InfoWorks RS 的鄱阳湖洲滩水情变化分析[D].武汉:长江科学院,2011.(XIAO Kui. Based on the InfoWorks RS PoYang Lake Bottomland Hydrologic Information Change Analysis [D]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [7] 王崇浩,曹文洪,张世奇.黄河口潮流与泥沙输移过程的数值研究[J].水利学报,2008,(10):1256-1263.(WANG Chong hao, CAO Wen hong, ZHANG Shi qi. Tidal Current and Its Sediment Transport Capacity in Yellow River Estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, (10): 1256-1263. (in Chinese))
- [8] 郭凤清,屈寒飞,曾辉,等.基于 MIKE21FM 模型的蓄洪区洪水演进数值模拟[J].水电能源科学,2013,31(5):34-37.(GUO Feng qing, QU Han fei, ZENG Hui, et al. Flood Routing Numerical Simulation of Flood Storage Area Based on MIKE21 FM Model[J]. Water Resource and Power, 2013, 31(5): 34-37. (in Chinese))
- [9] 袁雄燕,徐德龙.丹麦 MIKE21 模型在桥渡壅水计算中的应用研究[J].人民长江,2006,(4):31-32,52.(YUAN Xiong yan, XU De long. Research on Application of Danish MIKE21 Model in Computation of Backwater Caused by Bridge Piers[J]. Yangtze River, 2006, (4): 31-32, 52. (in Chinese))
- [10] 陈景开,袁鹏,刘刚,等.桥梁工程跨堤布置与防洪影响研究[J].水电能源科学,2013,31(2):70-73.(ZHANG Jing kai, YUAN Peng, LIU Gang, et al. Location of Bridge span Across Levees and Its Effects on Flood Control[J]. Water Resource and Power, 2013, 31(2): 70-73. (in Chinese))

· 动态 ·

河北省委副书记、省长张庆伟考察南水北调工程建设情况

2013年9月28日,河北省委副书记、省长张庆伟到石家庄市考察南水北调工程建设情况。河北省政府特邀咨询张和陪同考察。

张庆伟省长一行先后深入南水北调邯石段SG13标山尹村桥、南二环西延桥、京石段滹沱河倒虹吸工程、配套工程石津干渠穿中华大街工程建设现场,认真听取参建单位工作汇报,详细了解工程建设进度、施工质量、成本控制、征迁安置、建设环境、水质保证和工程运行管理等情况。

张庆伟省长充分肯定了河北省南水北调工程建设取得的成绩。他指出,国家明确要求南水北调中线干线工程2013年年内要基本完工、明年汛后通水,配套工程要同步建成生效。总体来看,河北省境内干线工程可如期完成全部建设任务,配套工程能否如期建成已成为确保工程发挥效益的关键所在。加快推进配套工程建设是河北省南水北调工作的当务之急和重中之重。

张庆伟省长强调,按时保质完成南水北调配套工程建设任务,是党中央、国务院对河北省提出的明确要求,也是各地经济社会发展的迫切需要。受水区各市县、省直相关部门和广大参建单位要明确目标,落实责任,细化措施,强力推进配套工程建设各项工作,确保工程按期完工、如期通水。

河北省政府秘书长朱浩文,石家庄市市长王亮,河北省水利厅厅长苏银增,河北省南水北调工程建设委员会办公室主任袁福、副主任张铁龙,河北水务集团主任赵立敏等陪同考察。