

蓄滞洪区洪水演进一、二维数值仿真及其在洼淀联合调度中的应用

李大鸣¹, 林毅¹, 周志华²

(1. 天津大学建筑工程学院暨港口与海洋工程教育部重点实验室, 天津 300072; 2. 天津市水利科学研究所, 天津 300061)

[摘要] 为了实现蓄滞洪区内各洼淀实时洪水调度, 考虑到蓄滞洪区内复杂河网与洼淀交错的情况, 建立了河道、滞洪区联合计算的一、二维衔接洪水演进数学模型, 在考虑铁路、公路、堤防及桥涵等阻水建筑物等复杂边界条件下, 采用有限体积法进行离散和求解。结合蓄滞洪区实时洪水调度仿真系统的总体框架, 建立了模拟洪水在蓄滞洪区内任意位置的水位、流速、淹没水深、历时等演进过程的一、二维洪水演进数值仿真系统。结合大清河实测资料对东淀滞洪区洪水演进进行了模型验证, 结果基本吻合, 并应用该系统对大清河滞洪区五洼联合调度方案进行了实时模拟, 分析了洼淀联合调度下出现的倒淀现象, 对不同方案进行了比较分析, 实现了实时的洪水调度分析。

[关键词] 蓄滞洪区; 洪水演进; 一、二维数值仿真; 有限体积法; 联合调度

[中图分类号] TV122 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)03-0082-08

1 前言

蓄滞洪区作为江河防洪体系重要组成部分, 是城市防洪的最后屏障, 在防洪危机时刻发挥关键作用。近年来随着流域经济社会的发展, 滞洪区内洼淀的情况也发生了巨大变化, 人口急剧增加, 经济发展, 财富增多。因此蓄滞洪区的合理调度变得尤为重要和困难, 既要有效地拦蓄洪水保证城市的安全, 又要最大程度地减少蓄滞洪区洼淀内的洪灾损失。为了实现实时的洪水调度分析, 需要建立一个数值仿真系统, 对洪水演进过程进行数值模拟, 从而选择合理的洪水调度方案, 合理、及时地调控滞洪区内各洼淀的使用, 正确引导洪水, 减少洪灾损失。

洪水演进数值的模拟是掌握洪水演进规律的重要方法之一。对于洪水演进数值模拟, 国内外学者都进行了研究, 意大利的 Caleffi 和 Valiani^[1] 采用二维浅水方程对 Toce 河的洪水演进进行了模拟, 我国刘树坤, 周孝德, 曹志芳等也对洪水演进进行了模

拟^[2-6]。滞洪区内铁路、公路、河流、堤防、水闸和各种防洪措施的使用, 对适用于河道计算的圣维南方程组、整体求解的有限元或差分方法提出了新的要求。鉴于蓄滞洪区洪水演进具有干涸床面、不连续地面流和河道与洼淀多点水量交换的特征, 采用无结构不规则网格的有限体积方法对模拟区域进行剖分计算, 真实反映地形地物特点, 能够更灵活地进行洪水计算和行洪控制, 具有明显的优越性。

笔者综合考虑现有数学模型的优缺点, 以一、二维浅水方程为基础进行数学建模, 考虑阻水建筑物和动边界等复杂边界条件, 采用逆有限体积法 (FVM) 进行离散和求解。同时本模型作为蓄滞洪区实时洪水调度仿真系统的重要组成部分, 结合系统总体框架和调用, 建立了完善的数值仿真系统, 并在实践中进行了有效的应用和分析。

2 控制方程组的离散求解

[收稿日期] 2008-05-30; 修回日期 2008-08-04

[作者简介] 李大鸣 (1957-), 男, 河北枣强县人, 天津大学教授, 博士生导师, 博士, 主要从事水力学及河流动力学、海岸工程研究; E-mail: lidaming@tju.edu.cn

2.1 基本控制方程

1) 二维非恒定流基本方程

连续方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{n^2 u}{h^{1/3}} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial y} + g \frac{n^2 v}{h^{1/3}} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (3)$$

式中, h 为水深; z 为水位, $z = z_0 + h$; z_0 为底高程; q 为源汇项; M, N 分别为 x, y 方向上的单宽流量, 且 $M = hu$, $N = hv$; u, v 分别为 x, y 方向的平均流速; n 为糙率; g 为重力加速度。

2) 一维非恒定流基本方程

$$\text{连续方程: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (4)$$

$$\text{动量方程: } \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z}{\partial x} = gAS_f \quad (5)$$

式中, Q 为截面流量; A 为计算断面的过水面积; S_f 为摩阻坡降。

2.2 有限体积离散

按照有限体积法思想, 采用无结构不规则网格布置方式, 单元网格为控制体, 在网格中心处计算水深 h , 在网格周边通道计算流量 Q 。即在平衡计算时, 沿控制体每一边的法向通量用该边中点处的通量作代表, 乘以边长即为通量沿该边的积分。中点的通量用中心格式(取相邻两格子形心处通量的平均)确定。应用水量平衡原理, 控制体每一边的法向通量沿环路积分与控制体内的蓄水量平衡, 周边通量取相邻控制体形心水位比降所形成的流量来确定。时间层面的计算采用单元、通道交错计算方式。

2.2.1 连续方程的离散

将式(1)改写成矢量形式:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h\mathbf{V}) = q \quad (6)$$

按照有限体积法, 将上式在控制体内进行积分:

$$\int_A \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h\mathbf{V}) \right] dA = \int_A q dA \quad (7)$$

假定水深 h 和源汇项 q 在同一网格内是均匀

的, 则式(7)可以写成

$$A \frac{\partial h}{\partial t} + \int_A \nabla \cdot (h\mathbf{V}) dA = qA \quad (8)$$

由高斯公式, 则上式写成

$$A \frac{\partial h}{\partial t} + \oint_l (h\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dl = qA \quad (9)$$

式中, \mathbf{V} 为网格周边通道上任意一点的速度矢量; \mathbf{n} 为该点的外法线单位方向矢量。

令 $Q = h\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}$, Q 为网格的各个通道的单宽流量, 流入为正, 流出为负, 则对任一 K 边形网格有

$$\oint_l (h\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dl = \oint_l Q dl = \sum_{k=1}^K Q_k L_k \quad (10)$$

把式(10)代入式(9)得

$$A \frac{\partial h}{\partial t} + \sum_{k=1}^K Q_k L_k = qA \quad (11)$$

采用时间中心差分方式, 式(11)化成

$$A_i \frac{h_i^{T+dt} - h_i^{T-dt}}{2dt} + \sum_{k=1}^K Q_{ik} L_{ik} = A_i q_i^T \quad (12)$$

整理上式, 并把时间向后移动一个时间步长。因此, 方程(11)离散后得

$$h_i^{T+2dt} = h_i^T + \frac{2dt}{A_i} \sum_{k=1}^K Q_{ik} L_{ik} + 2dt q_i^{T+dt} \quad (13)$$

式中, A_i 为第 i 个网格的单元面积; L_{ik} 为 i 号网格的第 k 号通道的长度; Q_{ik} 为 i 号网格的第 k 号通道的单宽流量。

2.2.2 动量方程的离散

控制体周边通量计算依赖河道或滞洪区内各种地形条件如铁路、公路、桥涵、潜堤、堤防、水闸等建筑物情况, 对不同类型的通道模型应用不同的理论模式进行概化, 如地面型通道、河道型通道、连续堤防、缺口堤防、各类闸门等。通道主要模化为以下几种情况:

1) 浅水地面型通道: 即通道两侧单元为陆地且水深小于 0.5 m, 通道上没有堤防等阻水建筑物。考虑到滞洪区内的地形起伏不大, 地面洪水演进主要受到重力和阻力的作用, 忽略掉加速度项, 利用差分方法离散得到地面型通道的动量离散方程

$$Q_j^{T+dt} = \text{sign}(Z_{j1}^T - Z_{j2}^T) H_j^{5/3} \left(\frac{|Z_{j1}^T - Z_{j2}^T|}{dL_j} \right)^{1/2} \frac{1}{n} \quad (14)$$

式中, sign 为符号函数, 表示 Q_j^{T+dt} 的正负与 $(Z_{j1}^T - Z_{j2}^T)$ 的正负相同; dL_j 为相邻单元形心到通道中心的距离之和; H_j 为通道上的平均水深。

2) 深水地面型通道或宽河道型通道: 对通道两

侧单元为陆地且水深大于 0.5 m,或通道两侧网格均为较宽的河道型网格,通道为过流断面。动量方程沿通道法线方向离散为

$$Q_j^{T+dt} = Q_j^{T-dt} - 2dtQ_j^{T-dt} \frac{V_{j2}^T - V_{j1}^T}{dL_j} - 2dtgH_j \frac{Z_{j2}^T - Z_{j1}^T}{dL_j} - 2dtg \frac{n^2 Q_j^{T-dt} |Q_j^{T-dt}|}{H_j^{7/3}} \quad (15)$$

式中, Z_{j1}^T, Z_{j2}^T 为通道两侧单元的水深; V_{j1}^T, V_{j2}^T 为通道两侧单元中心沿通道法线的投影速度。

3) 窄河道型通道:对于滞洪区内宽度较小的河流,不便于将其划分成独立的单元网格,也不能忽略不计,为了方便计算,模型中将其模拟成具有深度和长宽尺寸的线性单元或称为特殊通道,以反映水流沿河而流以及河道与两侧陆地之间水量交换的现象,如果通道两侧有阻水建筑物,可以将其设为堤防。沿河道动量方程离散为

$$Q_j^{T+dt} = Q_j^{T-dt} - 2dt \frac{(Q_{j2}^{T-dt})^2 - (Q_{j1}^{T-dt})^2}{dx_j A_j} - 2dtgA_j \frac{Z_{j2}^T - Z_{j1}^T}{dx_j} - 2dtgA_j S_j \quad (16)$$

特殊通道与两侧网格之间的流量计算,采用宽顶堰流公式^[7],即:

$$Q_j^{T+dt} = \sigma_s m \sqrt{2gH_j^3} \quad (17)$$

式中, m 为流量系数; σ_s 为淹没系数。

4) 闸门型通道:行洪闸门的开启与关闭依赖于洪水调度条件,防潮闸的开启与关闭通过河道水位于海区潮位的差值来调节,闸门过流量由流量和闸上、闸下水位关系曲线确定。

3 基本约束条件

3.1 初始条件

初始条件分为两部分: a. 有水流流动的计算网格,根据实测资料如水深和河底高程,分析给出水位和流速; b. 没有水流流动的部分,可直接赋水深为零,流速为零。

3.2 进出口边界条件

计算域边界分为开边界、闭边界、防潮闸边界和溢流堰边界四类: a. 开边界是指计算域中与外界发生水体交换的那部分边界,边界的选取应满足 $(\partial u / \partial n) \cdot \mathbf{n}$, 在开边界处 $q = q(t)$ 或 $z = z(t)$ 给定,其中 $q(t)$ 和 $z(t)$ 为 t 时刻实测流量和水位。在

蓄滞洪区一、二维洪水演进模拟中,对进水口门给出流量作为其边界条件,根据一维河网模型的计算结果来确定;对出水口门则可给出流量或水位过程作为边界条件。 b. 而闭边界即为实际存在的陆边界,在计算中可取水力要素法向偏导为 0。 c. 对入海口的出水口用防潮闸闸上、闸下水位差判断闸门开启关闭时机,当防潮闸上水位大于闸下水位时,闸门开启,否则关闭,实时给出流量或水位过程作为防潮闸边界条件。 d. 溢流堰边界是指计算域中与外界发生水体交换处有堰的那部分边界,或入海处的海堤边界,根据堰流公式计算结果来确定。

3.3 内边界条件

在蓄滞洪区内,考虑到铁路、公路、堤防及桥涵等对洪水演进速度影响较大,将他们概化成连续堤或缺口堤,形成有连续堤或缺口堤的特殊通道。对于这些特殊通道或几个蓄滞洪区之间需要通过分洪口门分洪时,其水流流动模拟一般不能按照圣维南方程组进行求解,可采用堰流和闸孔出流公式来描述^[7]。

3.4 糙率系数

糙率 n 是水流和河床相互作用过程中反映河道边界粗糙情况、河道形态等所有影响水流阻力因素的综合参数,其取值的正确与否直接影响到水力计算结果的精度。在蓄洪区内洪水演进模拟中,糙率需要根据区内计算单元的实际地形、地物情况和植被情况等,由实测资料分析并参考对比其他数据^[7]得到。

4 模型的验证

根据现有的“96·8”洪水实测资料,模拟洪水自大清河北支新盖房分洪道入东淀的全过程。据实际观测 8 月 5 日 17 时洪水开始下泄,洪水进入东淀后,推进速度相当缓慢,8 月 7 日 11 时到达新镇,8 月 8 日晨 7 时到达苏桥,8 月 12 日 20 时到达廊大公路,8 月 13 日 20 时到达天津市境内的台头镇,8 月 17 日 6 时到达第六堡。1996 年 8 月份东淀的来水见图 1。

模型从 8 月 5 日 17 时开始模拟,计算结果与实测资料对比见表 1。由计算结果可以看出,数值计算得到的时间有所滞后,这可能是由于糙率、渗流以及洼淀内给排水等不确定因素造成的。但从洪水传播速度看,计算结果的误差在可接受范围内,表明模型较好地模拟了东淀内道路等阻水建筑物、桥涵

等过流建筑物,可以应用此模型模拟五洼洪水演进 及其调度方案。

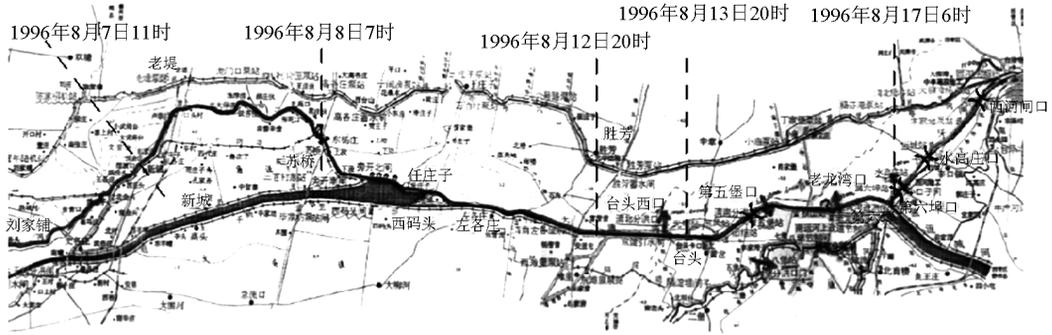


图1 东淀来水示意图

Fig. 1 Sketch of flood reaching time measured in Dongdian

表1 东淀计算与实测的洪水演进过程对比

Table 1 Comparison of flood routing between the calculated with the measured in Dongdian

洪水到达地点	实测到 达时 间/h	实测到达 日期 (1996年8月)	计算到达 时间/ h:min	计算到 达日期 (1996年8月)
新镇	42	7日11时	47:10	07-16-10
苏桥	62	8日7时	68:53	08-12-53
胜芳	165	12日20时	169:52	12-17-52
台头	189	13日20时	197:34	14-04-34
第六堡	271	17日6时	261:23	16-20-23

数值模拟计算结果可视化、洪灾经济损失统计评估等各项应用。数据流程图见图2。

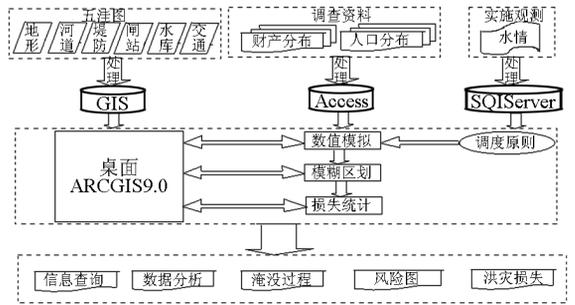


图2 数据流程图

Fig. 2 Data flow diagram

5 一、二维洪水演进数值仿真系统的建立

一、二维洪水演进数值仿真系统是以蓄滞洪区一、二维洪水演进模型为核心,运用 GIS 技术,按照国家防总制定的蓄滞洪区洪水调度原则,结合洪水演进数值模拟、洪水风险区划、洪灾经济损失估算模型,实现空间和属性信息查询、分析、洪水演进过程

其中一、二维洪水演进模型模块通过 VB 和 Fortran 混合编程来实现,系统设计界面如图3所示。主要是由数据输入(包括基本参数、蓄洪区数据、入水口门信息、时段及流量数据和网格属性等)、数据查看、计算和计算结果分析等4个子模块构成。

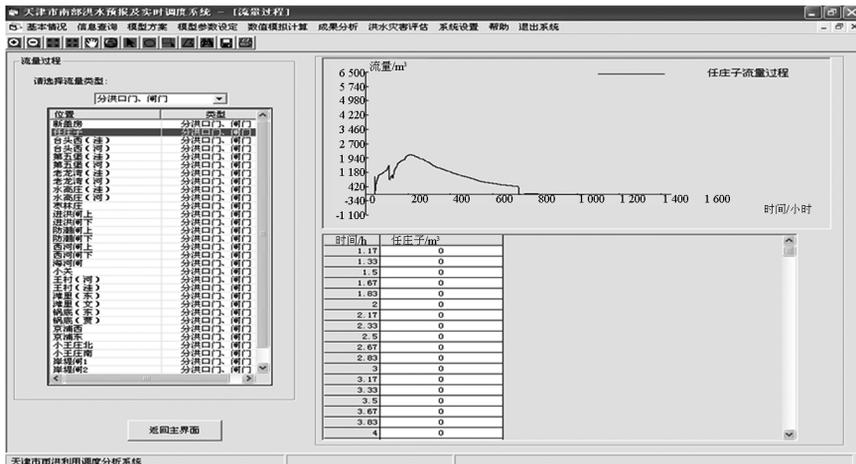


图3 系统界面设计

Fig. 3 Interface design of the system

6 系统在实时调度中的应用及分析

天津市南部大清河流域位于海河流域的中部,是海河流域防洪的重点地区,在历次较大洪水总量比重上,都占30%~50%,是对天津市威胁最大的主要水系。由于大清河水系在天津防洪工作中举足轻重的位置,以及大清河水系存在着方方面面威胁天津市防洪安全的隐患,对大清河滞洪区三洼、五洼联合调度方案选择是否合理,在很大程度上将决定天津市的安全和整体防洪体系的合理性。应用该系

统对大清河五洼滞洪区进行了一、二维河道及蓄滞洪区联合洪水演进数值计算,可获得在大清河发生不同频率洪水时,采用不同的调度方案和分洪措施后五洼滞洪区各自的洪水演进过程,实现实时的洪水调度分析,从而选择合理的洪水调度方案,正确引导洪水,减少洪灾损失。文章的洪水模拟分析依据1994年国家防办修改后的大清河洪水调度方案,同时结合《海河流域防洪规划》(2004年4月)、《大清河水系防洪规划报告》(2004年3月)等相关规划,最终确定调度方案如图4所示。

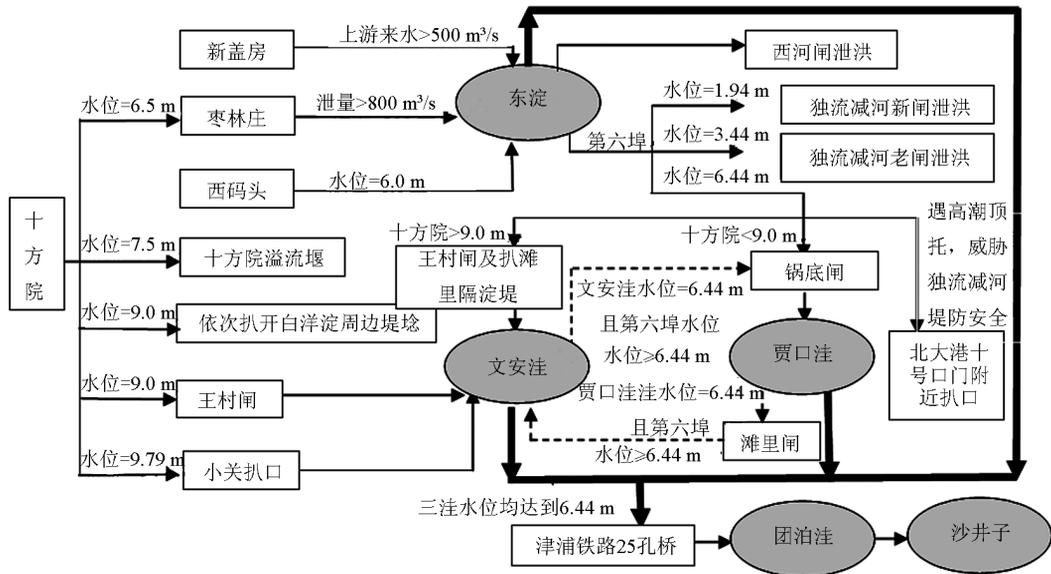


图4 大清河滞洪区五洼联合洪水调度图

Fig. 4 Flood combined - regulation diagram of five basins in Daqing River basin

6.1 基本计算条件

按照蓄滞洪区一、二维洪水演进模型网格的布置方式,高程系统采用国家85标准,在1:100 000的地形图上,按照无结构网格的布置方式,形成一、二维衔接的河道型网格与洼淀地面型网格。其中,河道共有148个单元,405个河道断面。模型中的河网、闸门、泵站分布示意如图5。洼淀共有5 760个单元。洼淀模型及其上的闸门、泵站与特征位置分布见示意图5。通过类比各类下垫面情况,确定相应的糙率值,取值在0.035~0.09之间。分别对5年、10年、20年、50年、100年、200年6种标准洪水按现状独流减河过流 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 和设计独流减河过流 $3\,600\text{ m}^3/\text{s}$ 两种情况进行了模拟计算。来水过

程历经720 h,考虑退水,增加时间长度380 h,模拟时间总长度为1 000 h。退水过程采用自然退水,洪水从河口与泄洪道排泄。

6.2 计算结果分析

由于调度方案较多,计算成果较多,笔者只以100年一遇洪水为例,按现状独流减河过流 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 和设计独流减河过流 $3\,600\text{ m}^3/\text{s}$ 两种情况分别进行模拟计算,可获得洪水在滞洪区内的演进过程、传播速度及区内任一位置任一时刻的水位、流速、水深等成果。通过统计计算,可以进一步得到各洼淀的水位、流量过程曲线和整个滞洪区最大淹没水深的等值线图,见图6至图8,通过对计算结果进行比较和分析可以实现洪水实时调度。

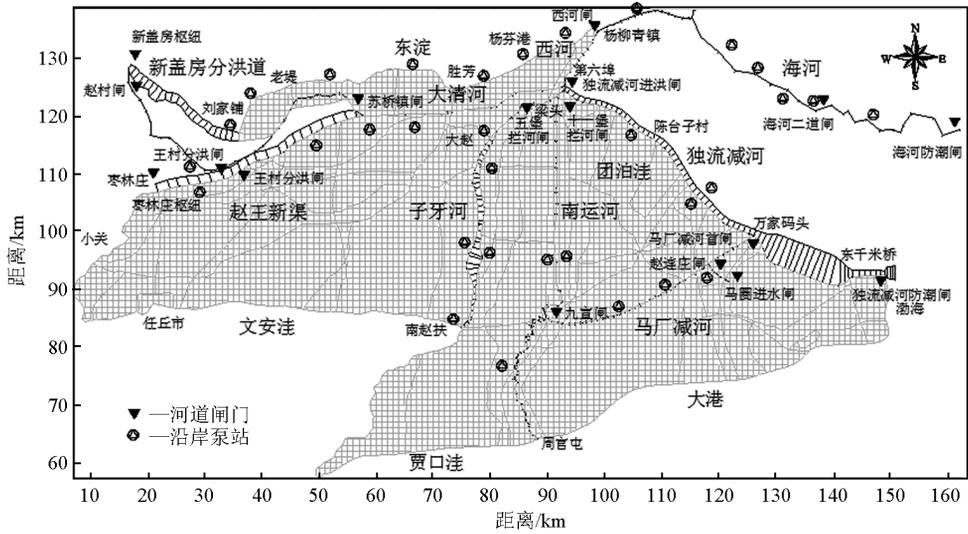


图5 河网模型、洼淀模型与泵闸及特征位置示意图

Fig. 5 Sketch of river model, basin model, pump, brake and characteristic position

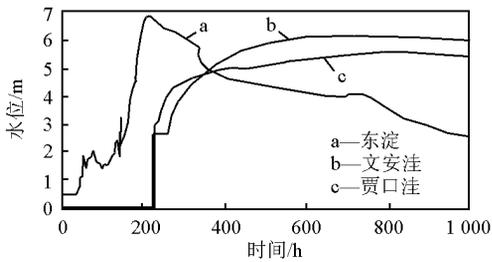


图6 洼淀水位过程曲线

Fig. 6 Water height curve of basin

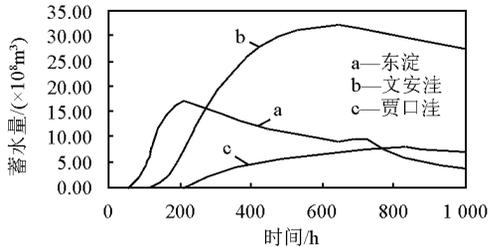


图7 洼淀蓄水量过程曲线

Fig. 7 Flow curve of basin

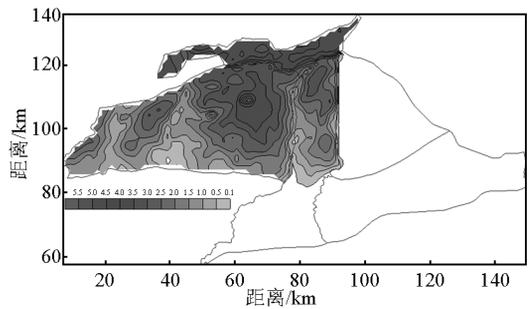


图8 滞洪区模型计算最大淹没水深分布

Fig. 8 The max water - depth distribution of basin model

3.44 m,其最大泄量达 $2\ 061\ \text{m}^3/\text{s}$;此后,由于上游来水减少,第六埠水位逐渐降低,在 758 h 东淀洪水退至 $4.0\ \text{m}^3/\text{s}$ 以下。

南支枣林庄洪水在 25 h 到达王村闸;50 h 赵王新渠通过任庄子口门向东淀分洪;124 h 通过王村分洪闸向文安洼分洪;148 h 小关开始分洪;第 198 h,东淀第六埠水位达到 6.44 m,启用滩里分洪口门,加大了向文安洼的分洪水量;209 h 东淀、文安洼均已利用且第六埠达到西河右堤超高 2.5 m 水位,达到了通过锅底分洪闸向贾口洼分洪的条件,锅底闸分洪后东淀第六埠水位明显回落,同时由于东淀上游来水逐渐减少,又经过 246 h,东淀水位低于文安洼水位,文安洼洪水经滩里扒口向东淀回流,再经锅底闸向贾口洼分洪,出现了“倒淀”现象,见图 9。

2)退水过程。在 720 h 后新盖房、枣林庄、小关

6.2.1 按独流减河现状 $2\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$

1)洪水演进过程。从零时刻起算,北支新盖房洪水 33 h 到达刘家铺;约 77 h 洪水到达老堤,同时,大清河在台头西向北扒口;98 h 洪水到达胜芳;由于独流减河现状 $2\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 行洪能力的限制,从第 182 h 开始东淀大清河来水在进洪闸前壅高;第 219 h 第六埠达到最高水位 6.89 m,独流减河进洪闸上最高水位达到 6.89 m,西河闸上达到最高水位 6.86 m;226 h 独流减河防潮闸上达到最高水位

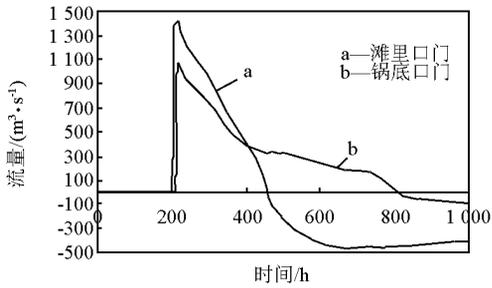


图9 滩里及锅底分洪口流量过程

Fig.9 Flow progress of Tanli and Guodi brakes

均停止下泄洪水,依赖现有河道向海区下游排洪。在768 h,贾口洼梁头达到最高水位5.57 m;此后在独流减河进洪闸连续泄洪和新盖房无后续洪水的条件下,贾口洼水位逐渐回落,不满足利用津浦铁路25孔桥分洪的条件。在1000 h东淀洪水已显著回落,但各洼淀仍有蓄水,特别是文安洼及贾口洼,其中文安洼大赵处水位仍高达6.01 m,贾口洼梁头水位达5.5 m。

6.2.2 按独流减河设计3600 m³/s

在第232 h独流减河进洪闸达到最大流量3233 m³/s,闸上最高水位达到6.47 m;在231 h东淀第六埠达到最高水位6.49 m;在第236 h独流减河防潮闸上达到最高水位4.38 m,最大泄量3255 m³/s。枣林庄下泄洪水在124 h通过王村分洪闸向文安洼分洪;148 h小关开始分洪;在227 h由于东淀第六埠最高水位达到6.44 m,启用滩里闸及扒口向文安洼分洪;此后由于东淀第六埠及文安洼水位没有达到锅底闸及扒口启用条件,因此未向贾口洼分洪;第715 h文安洼大赵处达到最高水位6.16 m。

6.2.3 对比分析

100年一遇洪水,在现状条件下需利用东淀、文安洼及贾口洼滞蓄洪水,而设计条件下仅需利用东淀及文安洼就够了。两种情况下计算结果对比情况如表2所示。由表2可以看出,由于独流减河现状2000 m³/s行洪能力的限制,相应加大了洼淀分洪运用的风险,增加了贾口洼的使用。现状条件下,从第182 h开始东淀大清河来水在进洪闸前壅高,使第六埠在第219 h达到最高水位6.89 m,与设计情况相比增加0.4 m;同时由于经独流减河入海水量有所减少,大量洪水都利用洼淀滞蓄,相应使东淀及文安洼的最大滞洪量都有所增加,特别是增加了贾口洼的运用,使其滞蓄了7.78 × 10⁸ m³水,相应增

加了贾口洼的洪水灾害损失。

表2 100年一遇洪水按设计、现状计算结果特征值对比

Table 2 Comparison of flood results between present condition and design condition of one in one hundred years

项目	现状			设计		
	东淀	文安洼	贾口洼	东淀	文安洼	贾口洼
洼淀启用时间/h	33	124	214	33	124	—
最高 时间/h	219	682	768	231	715	—
水位 极值/m	6.94	6.19	5.63	6.50	6.20	—
最大 时间/h	216	632	782	231	679	—
极值/×						
滞洪量 10 ⁸ m ³	17.2	31.6	8.06	17.0	31.6	—
最大淹 时间/h	206	452	868	234	453	—
没面积 极值/km ²	397	1780	472	397	1770	—

7 结语

随着滞洪区经济地位的提高,合理地蓄滞区内各洼淀进行联合调度,有必要建立一套功能强大、使用方便的实时洪水调度仿真系统。为了能够模拟蓄滞区内洪水演进过程,获得任一时刻、任一位置的水位、流量等信息,文章考虑多种约束条件,采用有限体积法进行了数学建模,并进行了模型验证,从而实现了一、二维洪水演进数值仿真系统的建立。应用该系统对大清河滞洪区五洼联合调度方案进行了实时模拟,并对不同方案进行了比较和分析,表明该系统可以用于滞洪区内洼淀联合调度,科学地进行防洪调度决策。

参考文献

- [1] Caleffi Valerio, Valiani Alessandro, Zanni Andrea. Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels [J]. Journal of Hydraulic Research, 2003, 41 (2): 167 - 177
- [2] 刘树坤, 李小佩, 李士功, 等. 小清河分洪区洪水演进的数值模拟[J]. 水科学进展, 1991, 2(3): 188 - 192
- [3] 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
- [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(3): 74 - 79
- [5] 槐文信, 赵振武, 童汉毅, 等. 渭河下游河道及洪泛区洪水演进的数值仿真(I)——数学模型及其验证[J]. 武汉大学学报(工学版), 2003, (4): 10 - 14
- [6] 谢涛涛, 张小峰, 谈广鸣, 等. 一维洪水演进数学模型研究及应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, (1): 69 - 72
- [7] 吴持恭. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982. 374 - 419

Research on 1D and 2D numerical simulation of flood routing and its application of combined-regulation in detention basin

Li Daming¹, Lin Yi¹, Zhou Zhihua²

(1. Tianjin University School of Civil Engineering & Key Laboratory of Harbor & Ocean Engineering Ministry of Education, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Water Conservancy Scientific Research Institute, Tianjin 300061, China)

[**Abstract**] Based on the overlapped conditions on complex river network and basin, a 1D and 2D flood routing model which is based on water-resistance structure of railways, roads, embankment and mobile boundary to realize timely flood regulation in basins of the detention basin was proposed. The model was calculated by using the finite volume method (FVM). A corresponding simulation system of the 1D and 2D flood routing model was set up in consideration of the total frame of flood optimization regulation. Any position's water level, flow speed, water height and submerged time can be acquired from it. The system was used in Dongdian Basin, and reasonable agreement was found between the measured data and the calculated data of Daqing River. The system was also used to simulate the program of five basins combined-regulation in Daqing River Basin, and to analyze the return basin phenomenon, comparing different cases.

[**Key words**] detention basin; flood routing; 1D and 2D numerical simulation; finite volume method; combined-regulation

(上接 76 页)

Main bodies' behaviors in nanotechnology industrialization

Ji Zhihua¹, Zhang Shidi¹, Hong Zhenting²

(1. School of Management, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. Research Center of Real Estate Finance, Peking University, Beijing 100871, China)

[**Abstract**] As the development of nanotechnology, more and more governments and corporations realize that nanotechnology has the potential to speed up the innovation, develop economy and strengthen the competition ability of industries. Maybe, nanotechnology will blaze a way of new industry revolution in 21st century. How will China speed up the industrialization of nanotechnology, it's a question for discussion. In this paper, we think it will go with the improvement and standardization of main bodies' behaviors of government, scientific research institutions and corporations.

[**Key words**] nanotechnology; industrialization; main bodies' behaviors