

## 太浦闸洪水风险图编制中溃闸洪水计算分析

匡翠萍, 陈思宇, 刘曙光, 王 炜

(同济大学 土木工程学院水利工程系, 上海 200092)

**摘要:** 考虑到同步模拟太浦闸溃决和洪水演进的困难以及洪水风险信息管理系统可视化和数据调用的效率, 对太浦闸溃决处的洪水演变过程由水量平衡原理进行概化模型计算, 然后通过一维水动力模型计算得太浦闸溃闸后太浦河堤防3处易溃堤处同时溃决的流量过程作为二维水动力模型的边界条件来模拟洪水在泛洪区的演进. 研究表明: 太湖与太浦河河道之间的概化模型和河道内、泛洪区分别采用一维、二维水动力耦合模型是洪水风险图编制中的一种简捷有效实用的处理洪水计算的分析方法.

**关键词:** 太浦闸; 洪水风险图; 水动力模型; 溃闸; 洪水风险信息管理系统

**中图分类号:** P 343

**文献标识码:** A

### Flood Propagation Simulation and Analysis due to Taipu Gate Breach in Flood Risk Mapping

KUANG Cui ping, CHEN Si yu, LIU Shu guang, WANG Wei

(Department of Hydraulic Engineering, College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Considering the efficiency and visualization of flood risk information management system and the difficulty in coupling gate breaking process and flood propagation, the flood propagation process at Taipu gate due to breaking can be simply computed based on water volume balance; and a coupled one-dimensional and two-dimensional hydrodynamic model is established to simulate flood propagation in the river channel and flooded area respectively, with one dimensional hydrodynamic model used in Taipu River channel to provide breach flow discharge at three possible embankment breach locations when Taipu Gate in failure as the boundary conditions for the two dimensional hydrodynamic model. The simulation results show that the established model, a simple model to deal with Taihu and river channel at gate breach and a coupled one-two-dimensional model for river channel and

flooded area respectively, is valid, efficient and practical for flood risk mapping of Taipu Gate.

**Key words:** Taipu gate; flood risk map; hydrodynamic model; gate breach; flood risk information management system

太湖流域<sup>[1]</sup>属冲积平原, 大部分地区地势低平, 且周围高、中间低呈碟形, 是我国人口最密集、生产力和国民财富最集中的地区之一. 而太湖流域河网密布, 受亚热带季风气候的影响, 春末夏初往往出现以面广、量大、历时长为特点的梅雨洪水, 到八九月, 又常受以地区性、短历时、高强度为特点的台风暴雨袭击, 洪涝灾害问题<sup>[2]</sup>十分突出.

1991年太湖流域大洪水后, 中央决定兴建10项太湖流域综合治理骨干工程. 其中太浦河工程位列10项骨干工程之首. 它西起江苏省吴江市横扇镇, 东至上海市南大港, 连接西泖河入黄浦江, 跨江苏、浙江、上海3省(市), 全长57.6 km. 太浦河是太湖洪水的骨干排洪河道, 也是太湖向下游供水的骨干河道.

堤防、水闸等水利工程的建设使得防洪标准得以提高, 减少了洪灾的发生频次, 但由于防洪标准的升高, 使得一旦遇到超标准的洪水, 洪灾损失程度将加剧, 如1999年太湖洪灾造成直接经济损失141亿元.

单纯地依靠工程措施(如筑堤、挖河、修建水库、坝闸等)无法根治洪水灾害. 最佳途径是结合工程与非工程措施对洪水灾害进行综合预防与管理, 将洪水损失降到最低限度, 取得最佳的防洪效益. 闸、坝溃决的主要研究内容是溃址的流量和水位过程以及洪水淹没过程中各处流量、水位、流速、波前和洪峰到达的时间等<sup>[3]</sup>. 因此, 洪水风险图就是防洪减灾非工程措施中的一种重要方法, 是了解区域遭受洪水

收稿日期: 2009-11-05

基金项目: 水利部太湖流域管理局项目; “十一五”国家科技支撑计划(2008BAJ08B14); 同济大学“985工程”二期建设项目(0200144005)

第一作者: 匡翠萍(1966—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为水文和海岸工程. E-mail: cpkuang@tongji.edu.cn

通讯作者: 刘曙光(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为水利工程. E-mail: liusgliu@tongji.edu.cn

灾害危险性大小的一种直观科学的专题地图. 太浦闸洪水风险图编制便是为了解在各种频率洪水下太浦河上闸、坝溃决后洪水的淹没情况. 研究区域从太浦闸至米市渡沿线 80.0 km, 河道两岸各 20.0 km. 太浦河(长 57.6 km, 平均河宽 250.0 m 左右)是一条狭长的河道, 若整个区域都采用二维数值计算将带来两大问题: ①对于洪水风险信息管理系统而言, 较多的网格影响洪水风险信息管理系统调用数据的效率, 河道内密集的流速分布影响系统可视化的效果<sup>[4]</sup>. ②对于太浦闸溃决情况下的洪水演进数值模拟而言, 二维模型难以处理上边界决堤流量随洪水演进的变化, 并且需要更密集的网格来实现, 而太浦闸相对于整个研究区域而言相当于一个点, 二维溃坝洪水模型<sup>[5]</sup>很难准确地模拟出溃闸的过程. 由于河道内一维网格与河道外泛洪区二维网格空间尺度相差很大, 很难建立统一的二维模型, 太浦河河道内一维、二维数值模拟研究<sup>[4]</sup>证明, 采用一维水动力模型进行河道内洪水演算具有和二维水动力模型相近的精度, 但能更有效方便太浦闸洪水风险图编制. 文献[6-8]用一维水动力模型计算溃坝水流并在下边界与二维水动力模型耦合从而实现溃坝洪水的淹没过程, 文献[9]将河道内外分开, 在河道内采用一维水动力模型、河道外采用二维水动力模型的方法模拟溃堤的情况. 而笔者需要同时考虑太浦河上游太浦闸的溃决进而导致河堤两岸溃堤的洪水淹没过程, 单一地采用上述 2 种方法均不能达到目的. 因此, 笔者旨在建立一个可以模拟溃闸洪水波的一维水动力简化模型, 并为二维水动力数学模型提供决堤边界条件, 进而模拟洪水的淹没过程, 为洪水风险图的方便编制、数据快速调用和图形动态美观显示提供科学依据.

## 1 溃闸概化模型

### 1.1 一维模型

天然河流或明渠通常被考虑为一维流动, 采用一维非恒定流微分方程, 即一维的圣维南(de Saint Venant)方程组. 连续性方程:  $b_s \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ , 动量方程:  $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_A Q) + gA \frac{\partial z}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0$ , 式中:  $b_s$  为调蓄宽度;  $z$  为水位;  $t$  为时间;  $Q$  为流量;  $x$  为纵向坐标;  $q$  为河道旁侧入流;  $u_A$  为断面平均流速;  $g$  为重力加速度;  $A$  为主槽过水断面面积;  $K$  为流

量模数.

用 Preissmann 差分格式离散上述方程, 并结合适当的初始条件及边界条件便可通过追赶法求解<sup>[10-11]</sup>.

### 1.2 上边界处理

正常情况下, 太浦河上边界受太浦闸<sup>[12]</sup>控制, 太浦闸流量根据防洪需要和下游供水需求调节. 太浦闸溃决后, 流量将随太湖水位以及闸下水位的变化而变化, 必须给出决堤后流量随洪水演进的动态变化过程  $Q = Q(t)$ , 该过程取决于太湖水位和闸下的水位(计算区域内), 该边界成为模型内部边界. 为了使得每个计算步长上游流量步步更新, 根据水量平衡原理, 由上个时间步长下泄的流量计算当前时刻的太湖水深,  $H_{1,t} = H_{1,t-\Delta t} - \Delta Q_{t-\Delta t} \Delta t / A_t$ , 太湖面积  $A_t = 2.338 \times 10^9 \text{ m}^2$ , 闸下水深采用上时间步所计算的水深, 通过堰流公式可计算出当前时间步上边界的流量  $Q_t$ ,  $Q_t = mB \sqrt{2g} \left( \frac{H_{1,t} + H_{2,t}}{2} \right)^{3/2}$ , 式中:  $m$  为堰流系数;  $B$  为闸宽, m;  $H_{1,t}$  和  $H_{2,t}$  分别为  $t$  时刻闸上、闸下水深, m.

初始时刻以 100 年一遇水位 4.5 m 作为太湖水位, 而太浦河初始条件为 100 年一遇未溃闸和未决堤情况下计算稳定的水位和流速分布. 计算得太浦闸溃决后太浦闸所处位置的流量过程线, 见图 1. 从图中可见, 决堤后有短暂(约 2.5 h)的 2 次涌水: 初始 0.5 h 内由于狭窄的河道断面无法下泄溃堤时巨大的流量  $2899 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (设计最大流量  $840 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), 造成很大的顶托压力, 流量迅速由  $2899 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  减小到接近  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 当太湖水沿河堤溢出, 与闸下水位相当时, 流量回升到  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 之后由于太浦河整体的下泄能力不足以及下边界米市渡潮位的顶托, 出现第 2 次涌水, 最后流量回升到  $1955 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 并随太湖水位降低而减小.

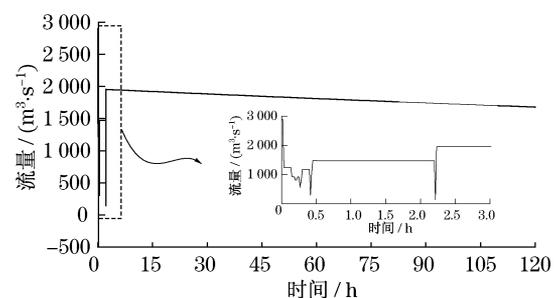


图1 太浦闸溃决流量过程线

Fig.1 Time series of flood discharge after Taipu gate breach

### 1.3 决堤处流量

根据太湖流域管理局多年洪水期间观察,太浦河有 3 处险工段,可能在特大洪水情况下溃决,分别是平望段、汾湖段和泖河段.堤防溃口口门宽度参考《洪水风险图绘制导则(试行)》<sup>[13]</sup> 推荐的经验公式确定.在汇流点  $B_b = 4.5(\lg B_r)^{3.5} + 50$ ,在其他地点  $B_b = 1.9(\lg B_r)^{4.8} + 20$ ,式中:  $B_b$  为最终溃口宽度, m;  $B_r$  为河宽, m. 3 处险工段溃堤宽度见表 1. 垂向溃堤高度根据导则取全溃时堤内水面与堤外地面高程之差.

表 1 溃堤宽度  
Tab.1 Widths of breaches

溃口位置	河宽/m	最终溃口宽度/m
平望段南岸	186	129
汾湖段南岸	700	225
泖河段北岸	236	72
泖河段南岸	236	72

溃堤流量由侧堰流公式<sup>[14]</sup> 计算得  $Q = CB_b \cdot \sqrt{2gH_b^{3/2}}$ , 式中:  $C$  为流量系数,  $C = 0.95$  m;  $H_b$  为决堤处堰顶以上平均水深, m.

绘制在 100 年一遇太浦闸溃决后各险工段同时决堤的流量过程线于图 2. 可见,在开始的 3~7 h 内,流量迅速增大,并出现峰值,之后缓慢减小,这与决堤后河道内短暂的涌水现象是一致的.

## 2 洪水演进模拟

决堤洪水演进的模拟采用了 Delft3D-Flow 模型,该模型广泛应用于自由表面流动,详见文献<sup>[15]</sup>.

### 2.1 基本方程

采用三维水力学数学模型(Delft3D-Flow)<sup>[15]</sup> 计算三维流场,当垂向层数取 1 时,Delft3D-Flow 的计算为平面二维水流运动. 根据浅水假定,水体水平尺度远大于垂直尺度以及布西奈斯克(Boussinesq)假定,即只在压力项中考虑密度可变的影响,对三维的 Navier-Stokes 方程沿水深积分并取深度平均得到连续性方程和动量方程,并采用贴体坐标技术,把复杂边界的几何区域转换为规则的计算区域,通过坐标变换可得正交曲线坐标 $(\xi, \eta)$ 下的 Navier-Stokes 方程. 沿水深积分的连续方程

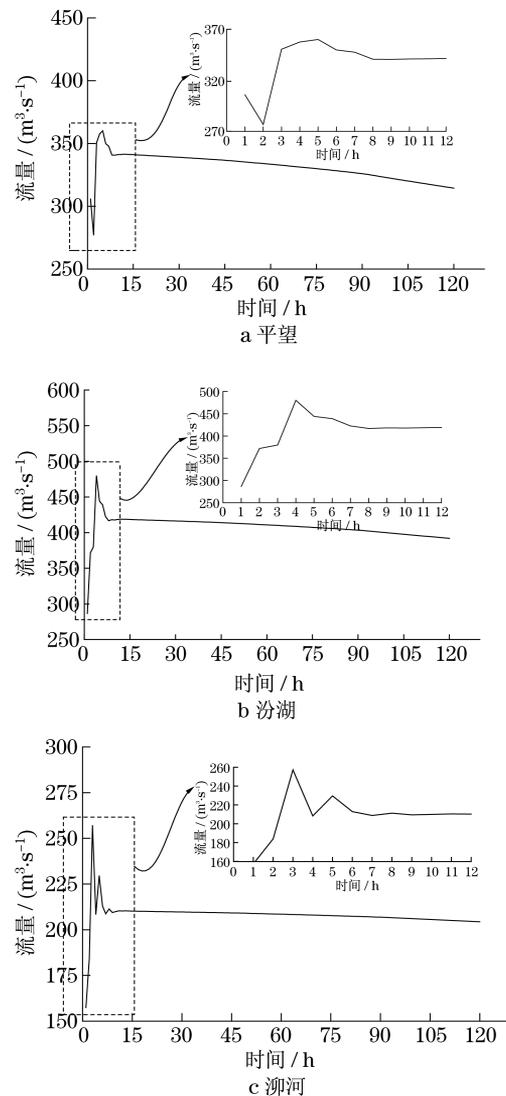


图 2 决堤处流量过程线

Fig.2 Time series of flood discharge at the bank breaches

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta) u \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta) v \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = 0$$

$\xi$  方向的动量方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv = -\frac{1}{\rho \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} - gu \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3} (d + \zeta)}$$

$\eta$  方向的动量方程

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + fu = -\frac{1}{\rho \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} - gv \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3} (d + \zeta)}$$

式中:  $\zeta$  为参考水平面上的水位;  $d$  为参考水平面下的水深;  $H = \zeta + d$  为总水深;  $u, v$  分别代表  $\xi$  和  $\eta$  方向的平均流速;  $\rho$  为水的密度;  $P_{\xi}, P_{\eta}$  分别为  $\xi$  和  $\eta$  方向压力梯度;  $f$  为柯氏力系数;  $n$  为曼宁系数。

## 2.2 求解方法

Delft3D-Flow 是一种采用交错网格、基于有限差分法的数学模型,上风格式和中心差分格式分别用来离散对流项和扩散项,源汇项显式处理,离散的差分方程通过交替方向隐式法(ADI)求解。

## 2.3 边界条件及计算参数

模型计算范围北边以沪宁铁路为边界,东边和南边以沪杭铁路为边界,西至东太湖沿岸,采用非均匀的曲线正交网格,网格单元的边界主要沿着铁路及环湖大堤布设,边界上均采用自由滑移边界,计算区域内部的湖泊和高速公路均采用不过水处理。网格单元平均尺寸为  $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ ,根据 Delft3D 对稳定性的要求(Courant 数小于 10),取时间步长 3min,可得 Courant 数为 1.2,满足稳定性要求和洪水演进的精度。糙率参照《洪水风险图编制导则(试行)》<sup>[13]</sup>中推荐的数据,见表 2。

入流边界条件采用由一维水力学模型计算的太浦闸溃决、太浦河堤防的 3 个险工段(太浦河平望段、汾湖段以及太浦河与柳河交接段)同时溃堤的流量过程。

表 2 不同下垫面对应的糙率

10 <sup>-2</sup>						
村庄	树丛	旱田	水田	道路	空地	河道
7.0	6.5	6.0	5.0	3.5	3.5	1.5

## 3 计算结果

通过一维水动力模型计算得太浦闸溃闸、3 处易溃地点同时溃堤的流量过程作为二维水动力模型的边界条件,模拟太浦闸溃决后 120 h 内(可分为极速达区、速达区、次速达区、次缓达区、缓达区)<sup>[16]</sup>洪水在河道外的淹没过程,并每 3 h 储存一次数据,可以

为洪水风险分析在整个时段的洪水演进情况提供数据。模拟最长时刻时的结果和分析见图 3,淹没面积和受灾损失见表 3。可见上游溃堤造成的危害大于下游,太浦河与柳河交接段处,由于北岸的地势高于南岸,因此南岸发生溃堤之后造成的危害大于北岸。汾湖段溃口宽度大,此处溃堤之后出流的洪水量亦大。

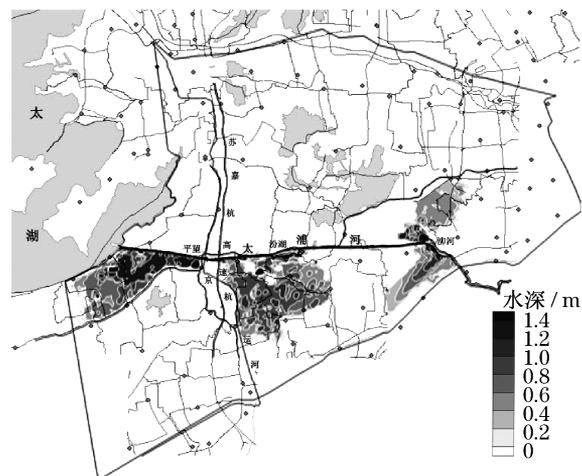


图 3 太浦闸溃决淹没范围及水深分布

Fig.3 Inundated area and water depth after Taipu gate breach

表 3 财产损失

Tab.3 Statistics of financial lost

溃堤地点	淹没面积/ km <sup>2</sup>	受淹资产价 值/万元	损失价值/ 万元
平望段	137	104 455	36 559
汾湖段	284	217 050	75 967
柳河段北岸	58	44 362	15 527
柳河段南岸	80	62 542	21 890
合计	560	428 409	149 943

以汾湖段溃堤为例作详细分析,计算结果见图 4~7。洪水溃堤后经过 120 h 的演进,淹没范围达到  $284 \text{ km}^2$ ,水深 0.5 m 以上区域占到总淹没面积 90% 以上(图 4)。洪水边缘西边抵达京杭运河,受到其河堤的阻滞,东南方向则不断蔓延。图 5 为洪水流场图,可以看出决堤处流速相对较大,在传播过程中逐渐减小,但在洪水到达的地方流速略大。图 6 更加直观地显示了演进过程中每一天的洪水淹没范围,其中的字母分别表示受洪水影响的各乡镇中心, A 为黎里镇, B 为芦墟镇, C 为陶庄镇, D 为油车港镇, E 为天凝镇, F 为洪溪镇。图 7 显示了各观测点的洪水水深过程线。经过分析可以清晰地得出:芦墟和陶庄第 1 d 即受到洪水影响,洪水第 2 d 到达黎里,第 4 d 到达天凝、洪溪,第 5 d 到达油车港,淹没水深均达

到了 0.65 m 左右.

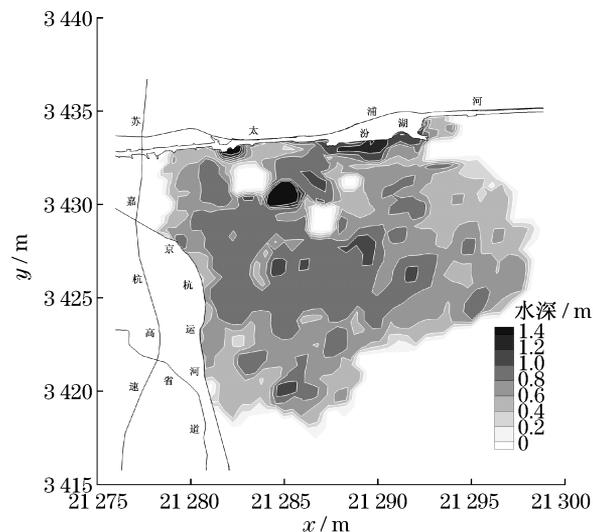


图 4 汾湖段决堤淹没水深

Fig. 4 Water depth of flood by Fenhu section breach

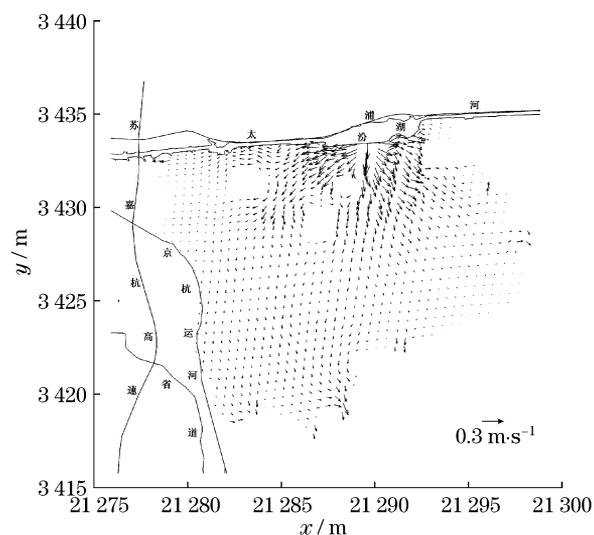


图 5 汾湖段决堤流场分布

Fig. 5 Velocity vector of flood by Fenhu section breach

根据上述分析,笔者建立的洪水风险信息管理系统可以用于指导建立抢险救灾物资存放地点和规避区域以防范于未然,在洪灾发生时可以指导制定抢险和规避路线,并预测洪涝所造成的财产损失.

## 4 结论

洪水预报计算分析是一项以较小的代价达到减免灾害的非工程措施.笔者以水利部太湖洪水风险图试点编制项目为背景,以太湖流域的骨干泄洪通道太浦河为研究对象,河道内外分别采用一维和二维水动力数学模型计算,并通过堰流公式将二者耦

合进行太浦闸洪水计算分析,得出以下结论:

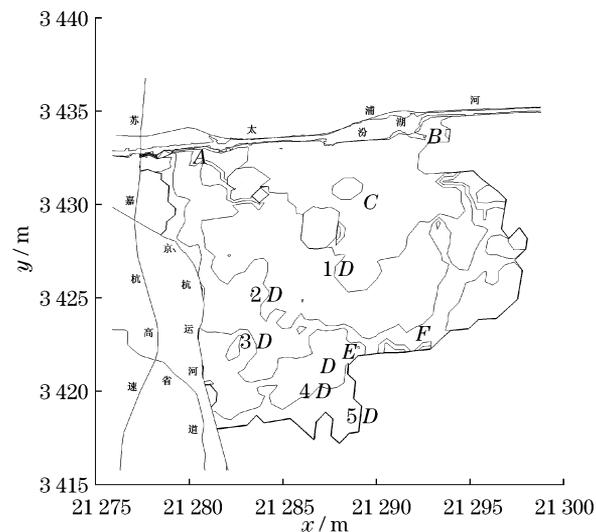


图 6 汾湖段决堤洪水到达时间

Fig. 6 Flood reaching time after Fenhu section breach

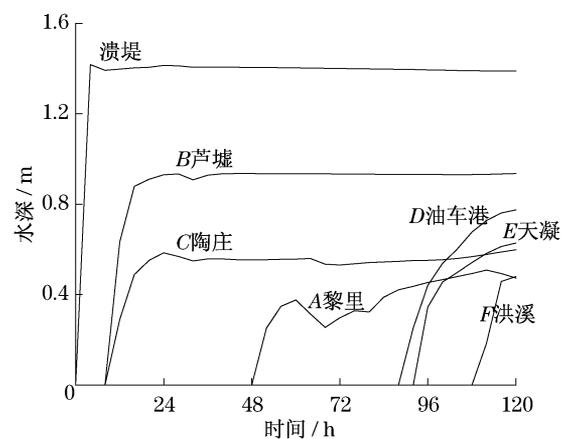


图 7 决堤后各点水位过程线

Fig. 7 Time series of water depth at selected observation points after Taipu breach

(1) 由水量平衡原理通过概化模型计算处理太湖与太浦河之间的水量关系,动态计算太浦闸溃决流量过程.

(2) 通过动态处理河道上闸门溃决使之成为模型的内部边界条件,一维水动力模型能适用于模拟河道内的洪水演进过程,并通过堰流公式为河道外二维水动力模型提供溃堤流量边界条件.

(3) 笔者成功地将 Delft3D-Flow 应用到相当于初始条件为干河床的洪泛区洪水演进模拟中,其干湿边界处理技术能有效而准确地模拟洪泛区的干湿演变过程.针对洪泛区内不同下垫面设置不同糙率,计算结果比较合理,与以往溃堤淹没区调查情况较为一致.

(4) 通过河道内外的一维、二维耦合计算,实现了大区域内局部溃闸、决堤的模拟,成功地解决了洪水风险信息管理系统调用数据效率和可视化的问题,是一种简捷的溃闸洪水分析计算方法。

#### 参考文献:

- [1] 李辉霞,蔡永立.太湖流域主要城市洪涝灾害生态风险评价[J].灾害学,2002,17(3): 92.  
LI Huixia, CAI Yongli. Ecological risk assessment of flood disaster in major cities in Taihu Basin [J]. Journal of Catastrophology, 2002, 17(3), 92.
- [2] 林泽新.太湖流域防洪工程建设及减灾对策[J].湖泊科学,2002,14(1): 12.  
LIN Zexin. Construction of flood control engineering and countermeasures for flood disaster mitigation in Taihu Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2002, 14(1): 12.
- [3] 史宏达,刘臻.溃坝水流数值模拟研究进展[J].水科学进展,2006,17(1): 129.  
SHI Hongda, LIU Zhen. Review and progress of research in numerical simulation of dam-break water flow [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 129.
- [4] 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,2008,39(15): 51.  
CHEN Siyu, KUANG Cuiping, LIU Shuguang, et al. Comparative study between 1D and 2D numerical simulation of Taihu River [J]. Yangtze River, 2008, 39(15): 51.
- [5] 王立辉,胡四一.溃坝问题研究综述[J].水利水电科技进展,2007,27(1): 80.  
WANG Lihui, HU Siyi. Study on dam failure-related problems [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(1): 80.
- [6] 黄金池,何晓燕.溃坝洪水的统一二维数学模型[J].水利学报,2006,37(2): 222.  
HUANG Jinchi, HE Xiaoyan. Unified 2-D numerical model for simulating dam break wave propagation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(2): 222.
- [7] YANG Fangli, ZHANG Xiaofeng, TAN Guangming, et al. One- and two-dimensional coupled hydrodynamics model for dam break flow [J]. Journal of Hydrodynamics, 2007, 19(6): 769.
- [8] 郑国栋,黄东,赵明登,等.一、二维嵌套模型在河口工程中的应用[J].水利学报,2004,1: 22.  
ZHENG Guodong, HUANG Dong, ZHAO Mingdeng, et al. Application of 1-D mathematical model coupled with 2-D model to estuarine engineering [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 1: 22.
- [9] 范子武,姜树海.蓄、滞洪区的洪水演进数值模拟与风险分析[J].水利水运科学研究,2000,2: 1.  
FAN Ziwu, JIANG Shuhai. Numerical modeling of flood propagation and flood risk analysis of detention basin [J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 2000, 2: 1.
- [10] 匡翠萍,李行伟,陈孝章,等.香港九龙大坑东地下蓄水方案数值研究[J].水科学进展,2006,17(3): 334.  
KUANG Cuiping, LI Xingwei, CHEN Xiaozhang, et al. Numerical study of the Tai Hang Tung storage scheme, Hong Kong [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(3): 334.
- [11] 杨洪林,陈思宇,匡翠萍,等.太浦河河道洪水演算[J].水科学与工程技术,2008,2: 1.  
YANG Honglin, CHEN Siyu, KUANG Cuiping, et al. Flood perform mathematical calculation of channel in Taihu river [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2008, 2: 1.
- [12] 王伟,杨洪林,匡翠萍,等.太浦闸泄流能力计算探讨[J].南水北调与水利科技,2007,5(4): 72.  
WANG Wei, YANG Honglin, KUANG Cuiping, et al. Study on water discharge capacity of Taihu gate project [J]. South-to-North Water Transfer and Water Science & Technology, 2007, 5(4): 72.
- [13] 国家防汛抗旱总指挥部办公室.洪水风险图编制导则(试行)[R].北京:中国水利水电科学研究院,2006.  
Office of State Flood Control and Drought Relief Headquarters. Guidelines for flood risk mapping (Trial-version) [R]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2006.
- [14] 李炜.水力计算手册[M].2版.北京:中国水利水电出版社,2006.  
LI Wei. Hydraulic calculation manual [M]. 2nd ed. Beijing: China Water Power Press, 2006.
- [15] WL | Delft Hydraulics. Delft3D - Flow User Manual [M]. Delft: WL | Delft Hydraulics, 2006.
- [16] 李观义,程晓陶.北江大堤洪水风险信息管理系统研究[J].水文,2003,23(3): 5.  
LI Guanyi, CHENG Xiaotao. Research on flood risk information management system of Beijiang river levee [J]. Hydrology, 2003, 23(3): 5.