

黄河宁夏段漫溃堤洪水耦合模型及风险评估

张 妞

(新疆白杨河流域管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要: 河道持续的高水位和长历时洪水增大了堤防漫溢及溃决的风险, 溃堤洪水不确定性强, 一旦溃堤, 威胁巨大, 因此开展溃漫堤洪水风险分析是防洪实时管理的必然要求。使用侧向链接构建了河道及保护区一维-二维耦合模型, 综合考虑青铜峡水库的影响, 更真实地模拟了黄河宁夏段下河沿至石嘴山河段 100 年一遇设计洪水下的溃漫堤洪水过程, 同时基于 GIS 平台进行溃漫堤洪水灾情评估得到量化的洪灾损失指标, 为经济建设者和洪水管理者制定合理的洪水预案提供参考。

关键词: 溃漫堤洪水; 耦合数值模型; 洪水灾情评估; 洪水管理; 黄河宁夏段

中图分类号: TV87

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)02-0139-07

Coupling model of the dam break and overflow floods in Ningxia section of Yellow River and disaster evaluation

ZHANG Niu

(Bureau of Baiyang River Basin, Urumqi 830000, China)

Abstract: The high water level and long duration of flooding in the river increase the risk of dam break and overflow floods, and when the dam bursts, the threat will be enormous. Hence then, the risk analysis of the dam break and overflow floods is of great necessity for the real-time management of flood control. Considering the influence of the Qingtongxia reservoir, we use lateral connections to build the two-dimensional coupling model of channel and conservation area in this article to simulate the flood process of the river in the Ningxia section of the Yellow River under the design of once-a-century flood water. Meanwhile, based on the GIS platform, the index of flood damage quantified by flood collapse assessment is obtained, which provides a reference to the flood managers and economic constructors to formulate reasonable flood plans.

Key words: dam break and overflow floods; coupled numerical model; evaluation of flood disaster; flood management; Ningxia section of Yellow River

1 研究背景

江河堤防是防洪工程重要措施之一, 设计、施工和管理运用过程中存在很多不确定性, 有可能成为发生事故的风险因素, 再加上持续高水位的洪水对堤身或堤基进行的渗透破坏及洪水要素的不确定性, 都增大了溃漫堤洪水风险存在的几率^[1]。开展溃漫堤洪水风险分析及灾情评估的研究是十分必要的。随着网格及算法的不断改进, 洪水数值模型有了很大的提高, 一维、二维模型的耦合也有了较快地发展^[2]。Lin Binliang 等^[3-4]采用动态链接库技术实现了一维、二维模型的耦合, Bladé 等^[5]、Morales-Hernández 等^[6]基于有限体积法分别建立一维、二

维模型, 并提出数值量的耦合方法; Dutta 等^[7]采用有限差分法的耦合模型对渭河河的漫顶洪水进行了成功模拟。在国内, 姜晓明等^[8]使用宽顶堰流公式实现耦合求解, 张大伟等^[9]对基于 Preissmann 格式的一维模型和二维非结构有限体积模型进行耦合; 李云等^[10]将一维、二维洪水嵌套模型成功应用于淮河临淮岗段。溃漫堤洪水由于其堤防溃决的不确定性和堤后侧向二维水流复杂的运动特性而研究成果相对较少, 故通过河道及保护区耦合实现溃漫堤洪水数值模拟具有实际意义。

本文通过构建河道及保护区一维-二维耦合模型实现洪水数值模型, 综合考虑青铜峡水库调度规则, 校核受外界因素影响下的堤防防洪能力, 设定溃

收稿日期: 2017-03-18; 修回日期: 2017-06-04

作者简介: 张 妞 (1989-), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事水文学及水资源方向研究。

堤位置及方式;通过一维溃堤模型和二维水动力模型的耦合进行洪水溃漫堤方案计算,得到 100 年一遇洪水方案下的洪水演进过程,并进行保护区内洪水组成成分分析和青铜峡水库壅水及回水长度分析。合理的数值模拟为洪水管理和决策提供了技术手段,洪灾影响分析和损失评估则为洪水灾害提供了可供量化的指标,可以预先评估防洪决策措施,修订和完善不合理洪水管理方案,降低由于决策及管理不合理带来的风险。

2 溃漫堤洪水耦合模型建立

2.1 控制方程及离散

对描述一维水流运动的 Saint-Venant 方程组进行整理简化,得到反映动量守恒和质量守恒的模型微分方程,如方程式(1)~(2)。采用 Abbott 六点隐式格式离散控制方程组,这种离散格式按顺序交替计算水位和流量,模拟河流水位和流量随时间和一维空间的变化。

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = q_1 v_x \quad (2)$$

式中: x, t 分别为河长、时间, m; s; A 为过水面积, m^2 ; Q 为断面流量, m^3/s ; z 为断面水位, m; α 为动量修正系数; K 为流量模数; q_1 为旁侧入流单宽流量, $m^3/(s \cdot m)$; v_x 为旁侧入流沿水流方向的速度分量, m/s, 若旁侧入流垂直于干流, 则 $v_x = 0$ 。

对于河口这样的宽水域, 在满足 Bousinesq 假定和静水压力假定的条件下并忽略风力和柯氏力的作用对 N-S 方程进行归一化可得平面二维浅水方程, 如方程式(3)。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial z} = S \quad (3)$$

式中: U 为守恒物理量向量, $U = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix}$;

$$E \text{ 为 } x \text{ 向通量向量}, E = \begin{bmatrix} hu \\ \frac{1}{2}gh^2 + u^2h \\ huv \end{bmatrix};$$

$$G \text{ 为 } y \text{ 向通量向量}, G = \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ \frac{1}{2}gh^2 + v^2h \end{bmatrix};$$

$$S \text{ 为源项向量}, S = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(-S_{ox} - S_{fx}) \\ gh(-S_{oy} - S_{fy}) \end{bmatrix}。$$

采用中心格式的有限体积法(Finite Volume Method)对控制方程进行离散,控制体采用三角形单元。由于漫溃堤洪水流态复杂,在复杂边界下,二维水流水情具有不确定性,故采用 Roe 格式的 Riemann 解法计算单元界面的对流流动方法,通过使用线性梯度重构的技术获得空间准确度,使用二阶 TVD 格式,从而避免了数值振荡,提高了模型计算的稳定性。采用非结构三角形网格剖分二维模型的计算域,将底高程定义于网格节点,水深、水位和流速等变量则定义于单元中心。

2.2 耦合模型的链接条件及求解

一维及二维数学模型是通过侧向链接实现河道水流与二维区域水流的交换,在耦合链接处,一维流量点与多个二维计算单元的网格点链接,一维模型为二维模型提供流量作为二维模型的边界条件,二维模型计算得到的耦合边界流量以旁侧入流的方式传递给一维模型,耦合边界作为独立的进或退洪水位开边界,通过水力因子的传递实现一维、二维模型水流的交互。溃堤模型耦合是在堤防发生溃决后溃口所在的交界面上实现的,从水流运动的角度上讲,溃堤流出运动与侧堰水流运动非常相似^[11],因此,选择使用宽顶堰堰流公式将河道中的计算点和二维模型中的单元链接,从而实现溃口上下游水流信息的交互,如图 1 所示。耦合模型的具体求解过程如图 2 所示。

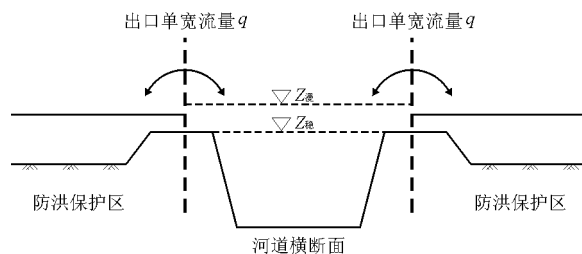


图1 溃口上下游水流信息交互示意图

模型的稳定性是很重要的,尤其是模型启动时,会出现振荡现象,将一维、二维模型设置成相同的初始条件,并调整模型的干湿边界能增强模型起算稳定性。然而通过侧向的水流由于一维与二维模型水位值相近也会出现振荡,故为避免这种振荡,设置水深容许因子为 0.1 m,超过容许因子才进行水流的交换。耦合模型独立选取一维和二维模型计算的时间步长,这样使得模型具有较高的运算效率。

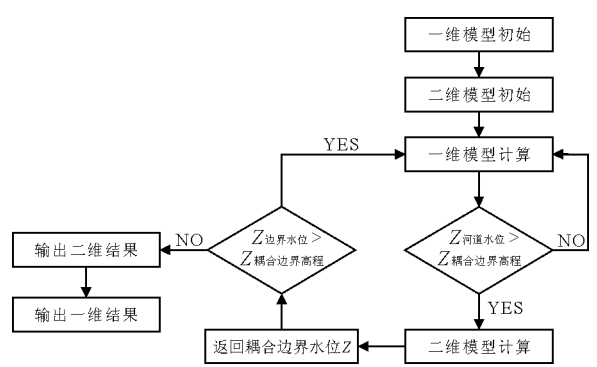


图 2 耦合模型的求解过程

3 模型应用算例

3.1 区域概况及模型设定

黄河宁夏河段根据其河道特性分为峡谷段、库区段和平原段 3 部分。下河沿以上 61.5 km 及石嘴山以下 24.6 km 均为峡谷段;自中宁县枣园至青铜峡水利枢纽坝址为库区段,全长 44.1 km;平原段包括下河沿至中宁枣园及青铜峡水利枢纽坝址至石嘴山两段,总长 266.8 km。青铜峡水库位于全河段中部,承担着蓄水、防洪、灌溉等重要任务,由于泥沙的淤积,水库现存库容较小,汛期遭遇大洪水时,水库安全受到威胁。黄河宁夏段洪水特点是洪水历时较长,以 2012 年洪水为例,洪水量级虽不高,然而田滩等处洪水位却超过了 1981 年大洪水最高洪水位^[12],各险工段均出现了一定程度的险情,溃漫堤洪灾风险呈增长趋势,开展堤防溃漫堤风险模拟及分析是防洪减灾的需要。

一维河道模型选择下河沿至青铜峡河段进行研究,为了防止核心研究区域(青铜峡水库)受边界条件的直接影响,同时也为了防止系统内部的变化导致边界条件的变化,模型选择下河沿至石嘴山河段作为计算区域,青铜峡水库以上河段考虑清水河的区间汇流,以下河段考虑苦水河的区间汇流。计算区域河段总长 82.7 km,河宽 1 800 ~ 6 000 m,平均河宽约 3 300 m;主河槽宽 500 ~ 1 000 m,平均约 650 m。河道纵比降 1.8‰,弯曲率 1.23。

宁夏黄河河道堤防采用老堤-堤路结合-老堤的混合堤岸,下河沿至青铜峡河段整治工程共 41 处,其中河道左岸控导工程 13 处,险工 8 处;右岸控导工程 14 处,险工 6 处。二维地面漫流模型选择下河沿至青铜峡河段堤防左、右岸防洪保护区作为边界。采用非结构三角形网格剖分二维模型的计算域,将底高程定义于网格节点,水深、水位和流速等

变量则定义于单元中心。

3.1.1 糙率值的确定 糙率值反映河床或地形的粗糙程度对水流作用的影响,其选取对洪水流态的仿真模拟具有重要意义。由于计算河段包含库区段和平原段,库区河段河道和一般天然河道有很大区别,库区下游水深断面面积大,而上游水浅断面面积小,上游库区水位落差大,呈自然流动状态,下游库区水位落差小,完全受人为调度影响^[13]。再加上滩槽物质组成的差异导致滩地糙率比主槽大的问题,综合糙率参数的确定是重要而困难的^[14],对糙率的确定一般以实际发生的洪水水位或调查水位来率定河道糙率,根据宁夏河段各水文水位站实测值分析,结合宁夏河段的河势变化,考虑河道地形地貌、河床组成等特性,将模拟河道分成若干部分,采用 2012 年各水文水位站实测值对模型计算结果进行糙率率定,以各水文站现状水位-流量关系作控制,以实测大断面测试水位和水文站实测流量分析糙率合理性,从而率定各断面的综合糙率成果,如表 1 所示。根据保护区土地利用概况确定对于不同计算网格的糙率值,对整个计算范围进行糙率分区,糙率取值为:河道 0.03;林地 0.045;旱地 0.05;村庄 0.065。

表 1 河段综合糙率计算值表

河 段	综合糙率
沙坡头坝下至枣园	0.023 ~ 0.035
枣园至青铜峡坝下	0.035 ~ 0.055
青铜峡坝下至仁存渡	0.028 ~ 0.045
仁存渡至头道墩	0.02 ~ 0.036
头道墩至石嘴山大桥	0.018 ~ 0.035

3.1.2 溃口设定 使用侧向链接进行耦合模型初始化,进行超高标准设计洪水条件下的洪水演进模拟,对模拟结果中漫堤情况进行汇总,结果如图 3 所示。由图 3 可见,河道左岸共有 3 处漫堤,分别在双桥控导工程、金沙沟控导工程、新渠稍护堤工程处;河道右岸有两处漫堤,分别位于七星渠口险工及田滩控导工程处。对于河道左岸,双桥处河道缩窄,水流近堤,模拟计算中此区域较易漫堤,堤防薄弱,易形成冲刷,属于控导工程段,河势复杂;堤后地形低洼,下游地势较低,使漫堤洪水形成了较大范围的淹没,且其后分布大量农田和村庄,故设定该处为河道左岸溃口是合理,且在防洪的角度是有实际意义的。在历史上河道右岸出现了两次堤防溃决的情况,分别是 2008 年永丰险工处溃堤,塌岸 20 ~ 30 m、1981

年大洪水清水河入口泉眼山堤段出现过决口。2008 年以来,宁夏段河道进行了综合治理,主要是堤防的改造和河道的治理,由于数值模型采用的是 2012 年河道地形数据,模拟结果表明,田滩及七星渠口处漫堤严重,而泉眼山和永丰险工处均未漫堤,而七星渠口处作为险工段,地势复杂,为易出险堤段,从模拟结果看,漫堤洪水对下游造成较大的淹没,故设定河道右岸七星渠口险工为右岸溃口是合理的。

根据模拟结果选取漫堤时间长、高水位持续时间长且流速大的河段,综合考虑河势地形、地质状况、工程状况、历史出险情况等特征,分别设定双桥、七星渠口为左、右岸溃口是合理的。

3.2 方案计算及结果分析

左、右岸分别设定双桥控导工程、七星渠口险工处作为溃口进行 100 年一遇设计洪水一维-二维耦合数值模拟,计算时长为 7 d,整个溃漫堤洪水行洪过程共有 14 个城镇受影响,保护区内洪水水深平均 1 m,局部水深超过 2 m,如图 4 所示。综合考虑洪水要素和河道地势确定左、右岸控制点各 6 处,左岸控制点分别为:双桥溃口、金沙沟控导工程、黄庄控导工程、渠口农场(A、B、C 3 处);右岸控制点分别为:七星渠口险工溃口、七星渠口至田滩区间、田滩控导工程、康滩控导工程、白马乡(A、B 两处),控制点位置如图 5 所示。由于左岸渠口农场和白马乡位于卫宁段河段的末端,堤防为土堤,堤防标准较低,再者,其位于青铜峡水库的上游,水库向上壅水会造成洪水向渠口农场处漫流,故库区回水末端保护区内洪水组成复杂,在渠口处设定 3 个控制点,在白马乡设定两个控制点进行对比分析。不同时刻对应的淹没范围如图 6 所示。

3.2.1 保护区淹没洪水成分分析 图 7 为左岸各控制点洪水过程线,控制点从上游到下游依次是:双桥,金沙沟,黄庄,渠口 A,渠口 B,渠口 C。金沙沟、黄庄控制点洪水过程线和双桥处趋势基本一致,说明金沙沟和黄庄控制点处洪水来源于上游溃堤洪水,基本无漫堤洪水的汇入;渠口 A 点位于渠口和黄庄的中间,该处和双桥溃口处洪水过程趋势基本一致,而对比双桥溃口洪水过程线可以看出行洪后期 B、C 两点水位没有下降反而维持高水位,说明 B、C 两处洪水不仅来源于上游溃堤洪水演进,还来自于河道漫堤洪水。图 8 是右岸各控制点洪水过程线,控制点从上游到下游依次为:七星渠口,七星渠口至田滩控制点,田滩,康滩,白马乡 A,白马乡 B。田滩处较七星渠口溃口处洪水涨跌幅度大,可见该

处洪水不仅有溃堤洪水,也有河道和保护区洪水的交互;对比康滩和七星渠口溃口处洪水过程,两者趋势基本一致,故该处洪水基本来自于上游溃堤洪水,而无河道漫堤;白马乡两处控制点均处在水库壅水区,且堤防标准低,两处的洪水过程线和溃口处的对比也印证了这两点,在行洪后期由于水库壅水及洪水漫堤导致洪水维持高水位。

3.2.2 水库壅水分析 洪水行进到青铜峡水库大坝时,有一定量的水便被大坝阻挡而回流,并造成大坝上游地区沿程水位壅高,水库回水计算成果是确定水库淹没处理范围的依据,其正确与否直接影响到淹没对象的实物指标。为了确切反映这一现象,对坝前断面加密,选取坝前控制点并观测水位变化来描述青铜峡水库回水作用。图 9 为下河沿至石嘴山河段河道中泓线上的起始和末尾水位过程,横坐标为里程数,即河道中泓线上各点距起始点的距离,纵坐标为各水位流量点处河道水面高程。按距大坝断面位置的距离设定 7 个坝前控制点,分别位于坝址处、水库坝前、坝前 5 km、坝前 10 km、坝前 20 km、坝前 33 km 和坝前 38 km,各控制点水位变化过程见图 10。由图 10 可见,坝前水位上升较快,坝前最高水位为 1 157.4 m。由于水库的壅水导致库前水位的持续并稳定偏高,壅水至里程 85 240.8 m(卫宁段 24 断面处),回水长度约 38 km。

3.2.3 溃漫堤洪水灾情评估 依靠地理信息系统 GIS 等软件对耦合水动力模型得到的溃漫堤洪水方案进行结果处理,提取得到洪水淹没的矢量数据,并与土地利用矢量数据进行空间对比分析获取最大淹没范围及不同淹没水深区域内的洪水影响指标,并结合区域社会经济指标进行不同水深等级下各乡镇社会经济损失统计,洪水影响指标如表 2 所示。可知 100 年一遇洪水溃漫堤洪水具有水深等级不大、演进范围大等特性,为了降低洪灾对社会的影响,应及时、有序地对沿岸群众进行洪水避险转移。

损失率的确定是损失评估的关键。洪灾损失率为各类财产损失价值与灾前或正常年份各类财产价值之比,遭受洪灾后各类财产的损失值可以通过损失率乘以灾前原有各类财产的价值进行估算。然而损失率的确定是极其复杂的,由于下河沿至青铜峡河道两岸保护区近 50 年来决溢洪灾较少,洪灾资料统计不完全,没有比较系统的历史洪灾损失资料可借鉴,故保护区洪灾损失率主要是在总结已有洪灾损失率研究成果的基础上,参考移植黄河滩区(北金堤滞洪区洪水风险分析及减灾措施的研究专

题^[15])、黄河中下游(王延红等^[16]、康相武等^[17]损失率数据库成果)的洪灾损失率关系,并根据本地实际情况调整而确定,各类财产洪灾的综合损失率如表3所示。



图3 漫堤洪水示意图

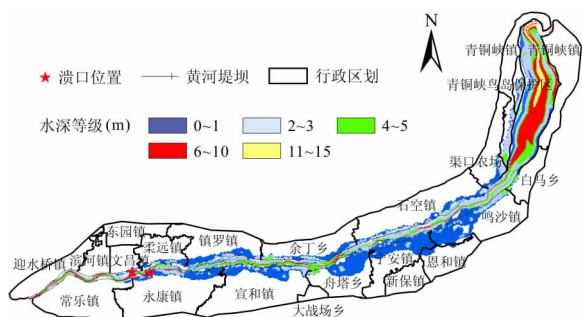


图4 淹没最大水深图

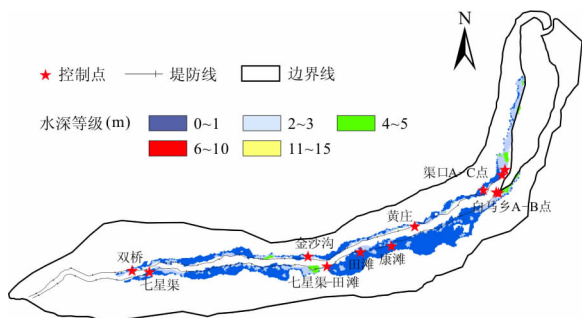


图5 控制点位置图

在确定了保护区受淹程度、灾前价值之后,根据洪灾损失率关系,即可按照公式(4)~(6)进行包括家庭财产、工商资产、农业等各分类的直接经济洪灾损失估算。

$$r_{ij} = \sum_{p=1}^k \frac{S_{jp}}{S_p} W_{ip} \eta_{ij} \quad (4)$$

$$R = r_{ijp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{p=1}^k \frac{S_{jp}}{S_p} W_{ip} \eta_{ij} \quad (5)$$

$$r_{pi} = \sum_{j=1}^m \frac{S_{jp}}{S_p} W_{ip} \eta_{ij} \quad (6)$$

式(4)~(6)中: i 为财产分类; j 为水深等级分类; p 为乡镇; S_{jp} 为 j 类水深等级下 P 类乡镇下淹没的行

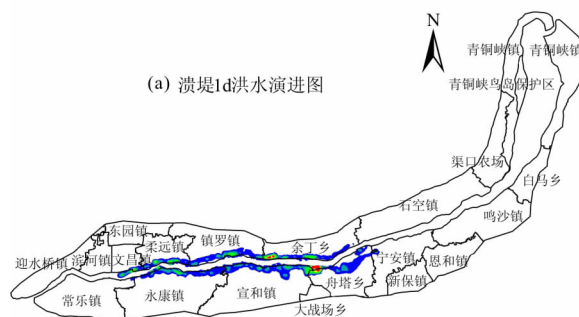
政区面积, km^2 ; S_p 为 p 乡镇的行政区面积, km^2 ; W_{ip} 为在 i 类财产类型下 p 乡镇的财产总值, 10^4 元; η_{ij} 为第 i 类财产在第 j 级水深条件下的洪灾损失率,%; r_{ij} 为第 i 类财产类型在第 j 类水深等级下的洪灾损失值, 10^4 元; R 为总经济损失值, 10^4 元; r_{pi} 为 p 乡镇在第 i 类财产类型下的洪灾损失值, 10^4 元。

按照公式(4)、(5)计算出不同水深等级下各财产类型的社会经济损失占总损失的百分比,见表4。

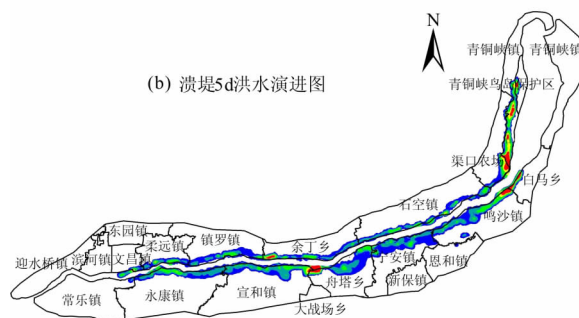
由表4可见,100年一遇洪水方案工业经济损失占总损失的比重最大,达到26.11%,其他依次为:农业损失;家庭房屋损失;家庭财产损失;道路损失。评估得到的不同洪水水深等级下各类财产损失情况可以为经济决策者提供参考,依据洪灾经济损失预测适当进行经济结构调整,从而在洪灾损失影响的情况下实现最大的社会效益。



(a) 溃堤1d洪水演进图



(b) 溃堤5d洪水演进图



(c) 溃堤7d洪水演进图

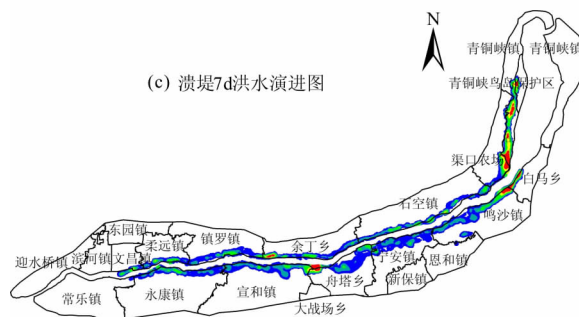


图6 不同计算时刻洪水淹没范围图

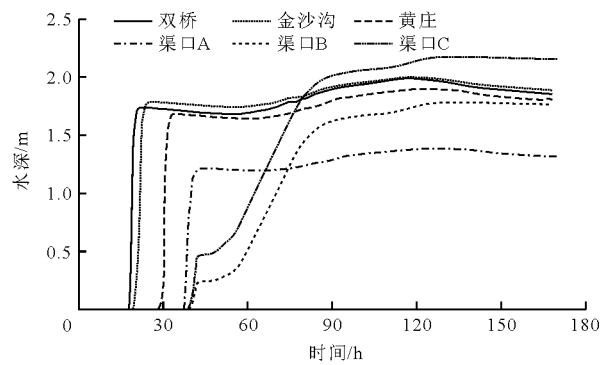


图7 左岸控制点洪水过程线

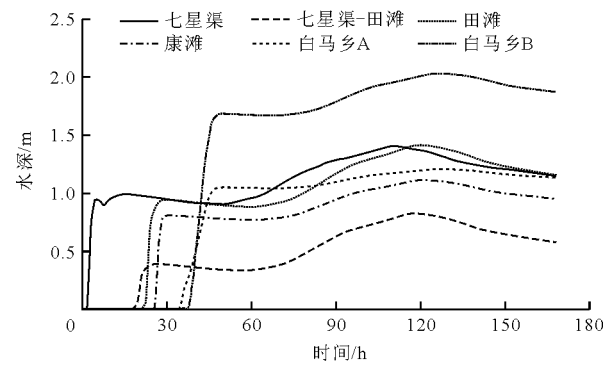


图8 右岸控制点洪水过程线

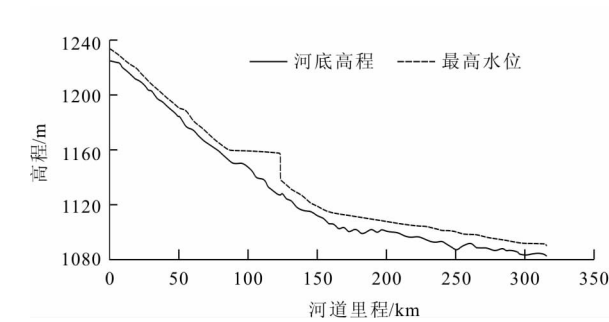


图9 下河沿至石嘴山河段中泓线水位变化过程

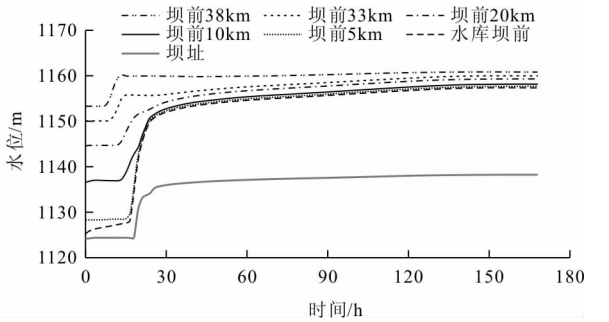


图10 控制点水位变化过程

表2 溃漫堤洪水方案洪水影响指标

水深等级/m	淹没面积/km ²	淹没耕地/km ²	房屋面积/10 ⁴ m ²	道路/km	受影响人口数	受影响 GDP/10 ⁴ 元
<0.5	74.7	39.3	484.5	227.3	20224	64880
0.5~1.0	46.2	22.5	127.4	112.8	11494	36739
1.0~2.0	30.9	11.8	31.5	63.6	7868	24759
2.0~3.0	14.6	3.3	8.7	14.8	2035	6488
>3.0	5.7	1.7	0.0	6.6	647	2263
合计	172.0	78.6	654.2	425.2	42269	135130

表3 各类财产洪灾损失率 %

水深等级/m	家庭财产	家庭住房	农业	工业资产
0.0~0.5	13	2	55	4
0.5~1.0	25	8	65	9
1.0~2.0	40	12	75	17
2.0~3.0	50	15	90	28
>3	62	16.5	95	38

按照公式(5)计算出各乡镇不同财产类型的社

会经济损失值,见表5。

表5统计结果表明,文昌镇在受影响乡镇中家庭财产损失最大;舟塔乡在受影响乡镇中农业、工业及家庭房屋损失均最大;宁安镇在受影响乡镇中道路损失最大。评估得到的各乡镇各类财产的损失可以为洪水管理提供参考,为不同乡镇提供合理的洪水预案,为更有效地、因地制宜地进行洪水抢险和避险转移提供信息支撑。

表4 溃漫堤洪水方案下不同水深等级的各财产类型社会经济损失占比统计值 %

水深等级/m	家庭财产损失	家庭房屋损失	农业损失	工业损失	道路损失	合计
0.0~0.5	4.65	7.53	11.05	5.90	1.41	30.54
0.5~1.0	5.00	9.87	7.16	7.25	2.10	31.38
1.0~2.0	6.27	4.71	4.60	6.52	1.97	24.07
2.0~3.0	2.07	1.97	1.30	3.73	0.55	9.62
>3	0.50	0.00	0.77	2.71	0.41	4.39
合计	18.49	24.08	24.88	26.11	6.44	100

表 5 溃漫堤洪水方案下各乡镇不同财产类型社会经济损失统计值 10⁴ 元

乡镇	家庭财产	农业	工业	家庭房屋	道路	乡镇	家庭财产	农业	工业	家庭房屋	道路
常乐镇	2	5	5	0	8	鸣沙镇	480	1744	1271	1944	623
永康镇	185	385	288	1762	416	余丁乡	203	241	1028	1305	208
宣和镇	252	536	316	2096	333	镇罗镇	322	780	461	1967	208
文昌镇	3450	198	2107	499	83	石空镇	450	674	912	1064	333
舟塔乡	1871	4357	4612	3074	623	白马乡	65	257	720	26	83
柔远镇	922	2700	1566	631	83	宁安镇	3307	3881	3099	1106	1039
恩和镇	8	21	24	0	8	城关镇	423	289	447	71	108

4 结 论

本文使用侧向链接构建了河道及保护区一维 - 二维耦合模型,模拟了黄河宁夏段下河沿至石嘴山河段 100 年一遇设计洪水下的溃漫堤洪水过程。根据洪水模拟结果,基于 GIS 平台进行溃漫堤洪水灾情评估,得到如下结论:

(1)综合考虑溃堤时间长、河势复杂、溃堤影响严重等因素的影响,选择双桥控导及七星渠险工段作为河道左、右岸溃口。

(2)通过 100 年一遇洪水方案下溃漫堤洪水一维 - 二维耦合模型数值模拟,能较好地模拟实际工程中的溃堤失事,从而可更为真实可靠地对水库壅水及回水段漫堤进行分析。

(3)基于 GIS 平台结合受影响区域社会经济资料实现损失评估和洪水影响方案分析,得到不同乡镇、不同洪水水深等级下各财产类型的洪灾社会经济损失指标值。

(4)量化的洪灾损失指标不仅可以为经济建设者调整经济结构实现最大经济效益提供参考,也可以为洪水管理者针对不同乡镇、不同洪水水深等级制定合理的洪水预案,实现因地制宜地合理利用资源的同时能够及时、有序、充分地进行防洪抢险及避险转移。

参考文献:

[1] 韩 松. 防洪及水资源利用风险分析问题的研究[D]. 天津:天津大学,2007.

[2] 李大鸣,陈 虹,李世森. 河道洪水演进的二维水流数学模型[J]. 天津大学学报,1998,31(4):439 - 446.

[3] LIN Binliang, WICKS J M, FALCONER R A, et al. Integrating 1D and 2D hydrodynamic models for flood simulation[J]. Water Management,2006,159(1):19 - 25.

[4] LIN Binliang, FALCONER R A, LIANG Dongfang. Link-

ing one-and two-dimensional models for free surface flows [J]. Water Management,2007,160(3):145 - 151.

[5] BLADÉ E, GÓMEZ - VALENTÍN M, DOLZ J, et al. Integration of 1D and 2D finite volume schemes for computations of water flow in natural channels [J]. Advances in Water Resources, 2012,42(3):17 - 29.

[6] MORALES - HERNÁNDEZ M, GARCÍA - NAVARRO P, BURGUETE J, et al. A conservative strategy to couple 1D and 2D models for shallow water flow simulation [J]. Computers & Fluids,2013,81(9):26 - 44.

[7] DUTTA D, ALAM J, UMEDA K, et al. A two - dimensional hydrodynamic model for flood inundation simulation: a case study in the lower Mekong river basin [J]. Hydrological Processes,2007,21(9):1223 - 1237.

[8] 姜晓明,李丹勋,王兴奎. 基于黎曼近似解的溃堤洪水一维 - 二维耦合数学模型[J]. 水科学进展,2012,23(2):214 - 221.

[9] 张大伟,李丹勋,陈稚聪,等. 溃堤洪水的一维、二维耦合水动力模型及应用[J]. 水力发电学报,2010,29(2):149 - 154.

[10] 李 云,范子武,吴时强,等. 大型行蓄洪区洪水演进数值模拟与三维可视化技术[J]. 水利学报,2005,36(10):1158 - 1164.

[11] 刘海娇. 基于一维、二维水力学耦合计算模型的洪水风险分析研究[D]. 天津:天津大学,2012.

[12] 王新军,凌虹霞,王永强,等. 黄河宁夏段 2012 年洪水分析[J]. 人民黄河,2014,36(8):31 - 33 + 36.

[13] 齐鄂荣,罗 昌. 库区河道非恒定流糙率的选取及特性[J]. 武汉大学学报(工学版),2003,36(2):1 - 5.

[14] 杨克君,曹叔尤,刘兴年. 复式河槽综合糙率计算方法比较与分析[J]. 水利学报,2005,36(7):780 - 786.

[15] 刘树坤,宋玉山,程晓陶. 黄河滩区及分滞洪区风险分析和减灾对策[M]. 郑州:黄河水利出版社,1999.

[16] 王延红,丁大发,韩 侠. 黄河下游大堤保护区洪灾损失率分析[J]. 水利经济,2001,19(2):42 - 46.

[17] 康相武,吴绍洪,戴尔阜,等. 大尺度洪水灾害损失与影响预评估[J]. 科学通报,2006,51(S1):155 - 164.