

DOI:10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2020.0053

李时,秦毅,刘强,等.基于洪灾风险管理的蓄滞洪区道路规划[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):81-90. LI S, QIN Y, LIU Q, et al. Research on road planning for flood detention areas based on flood risk management[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(3): 81-90. (in Chinese)

## 基于洪灾风险管理的蓄滞洪区道路规划

李时<sup>1</sup>, 秦毅<sup>1</sup>, 刘强<sup>1</sup>, 刘哲<sup>2</sup>, 程道君<sup>2</sup>, 赵英虎<sup>2</sup>

(1. 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室(西安理工大学), 西安 710048; 2. 天津市水务局, 天津 300074)

**摘要:**道路等线状地物的科学规划是协调蓄滞洪区防洪与自身经济发展间矛盾的重要手段。基于综合考虑洪水危险度、暴露度及脆弱性的洪灾风险管理模式,对天津市大黄堡洼蓄滞洪区内道路等线状地物的科学规划进行探讨,提出由洪灾风险确定最优道路建设方案的途径。鉴于蓄滞洪区内各类财产的空间分布不具规律性,导致洪灾损失随地貌随机变化的特点,需采用水动力模型计算出的淹没结果确定洪灾风险。在天津市大黄堡洼蓄滞洪区的应用表明,依据洪灾风险规划道路是必要的,它具有能够兼顾全局防洪的优越性。所得结论为,在大黄堡洼蓄滞洪区内布设道路时,当道路方向与洪水演进主流方向呈 $90^\circ$ ,道路位置距分洪口门约10 km左右,过流涵洞尺寸为3 m时,洪水造成的经济损失最小,该方案下所产生的洪灾风险最小。

**关键词:**道路规划;洪灾风险管理;水动力学模型;蓄滞洪区;防洪

中图分类号:TV212;TV873

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



### Research on road planning for flood detention areas based on flood risk management

LI Shi<sup>1</sup>, QIN Yi<sup>1</sup>, LIU Qiang<sup>1</sup>, LIU Zhe<sup>2</sup>, CHENG Daojun<sup>2</sup>, ZHAO Yinghu<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China (Xi'an University of Technology), Xi'an 710048, China; 2. Tianjin Water Authority, Tianjin 300074, China)

**Abstract:** Scientific planning of roads and other linear features is an important means of coordinating the contradiction between flood control and detention areas and economic development. Therefore, in this paper, the flood danger, exposure, and vulnerability, the scientific planning of roads and other linear ground features were discussed based the on flood risk management model in the Dahuangpuwa flood detention area in Tianjin. Moreover, the way to determine the optimal road construction plan from flood risk was put forward. Given the irregularity of the spatial distribution of various kinds of property in the flood detention area, which leads to the characteristics of random variation of flood losses with geomorphology, flooding results calculated by hydrodynamic models need to be used to determine flood risk. The application in Dahuangpuwa flood detention area in Tianjin showed that road planning based on flood risk was necessary, and it has the advantage of taking into account the overall flood control. In conclusion, the arrangements of the road in Dahuangpuwa flood detention area, the direction of the road should be  $90^\circ$  with the mainstream direction of flood routing, while the road position should be about 10 km from the flood diversion gate and the size of the culvert should be 3 m. By doing this practice the economic loss caused by the flood may be the least, and the flood risk under this scheme may minimal.

**Key words:** road planning; flood risk management; hydrodynamic model; flood detention area; flood control

收稿日期:2019-01-22 修回日期:2019-08-17 网络出版时间:2019-09-06

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190906.0923.002.html>

基金项目:国家自然科学基金(51679184);天津市水务局科研专项(KY2015-10)

作者简介:李时(1990—),男,黑龙江双城人,主要从事水文学及水资源研究。E-mail:lishi0@163.com

通信作者:秦毅(1959—),女,江苏常州人,教授,博士,主要从事水文学水资源及河流泥沙研究。E-mail:13571991500@126.com

蓄滞洪区作为我国防洪体系中不可缺少的组成部分,在削峰减洪中起到了重要的作用<sup>[1]</sup>。但由于城市化趋势的发展,居民区不断向蓄滞洪区地带延伸,致使洪灾威胁增大,同时蓄滞洪区内人民对经济发展的需求日益迫切,使得如何协调好蓄滞洪区经济发展与防洪之间的关系成为重要的现实问题。当前我国的防洪思想及手段已从洪水控制型转向人与洪水协调关系的洪水管理型<sup>[2-4]</sup>。洪水管理即是在认识洪水特性的基础上,考虑防洪与发展的关系,基于洪灾风险采取综合的工程与非工程体系而非单一的工程措施<sup>[5]</sup>。这种防洪模式的转变,实质上就是由注重控制洪水强度转向综合考虑洪水危险度、暴露度、脆弱性三者的影响,它们也是影响风险大小的指标<sup>[6-9]</sup>。

洪水风险并不是洪水本身,而是洪水这一随机事件的发生,给人的利益可能造成的损害。因此对洪水危险度的研究实质上是研究受洪水威胁地区可能遭受洪水影响的强度和频度,即设计洪水问题<sup>[10]</sup>。目前已有大量的设计洪水频率分析研究成果,其理论日益完善。对洪水风险危险度控制通常的是将洪水滞蓄在可控范围内<sup>[11]</sup>。而物体暴露在洪水中的暴露度受到地形、地下管网、距离工程措施的距离等因素的影响,一定时间段内不会发生较大的改变,因此对暴露度的控制主要体现在规划层面上。脆弱性则是潜在损害现象可能造成的损失程度<sup>[12]</sup>,其因不同建筑物设施抵御洪水的能力不同而有所差异。随着计算机技术的发展,水文、水力学方法成为洪水风险分析中的热点<sup>[13-14]</sup>。基于可靠的地形数据运用水动力学模型,可以计算得到淹没面积、淹没水深等水力特征指标,这是目前非常主流的衡量洪水风险的方法。但水动力学模型虽然综合考虑了洪水的危险度与暴露度,能够得出不同地理位置的淹没情况,但并未结合分析区域的脆弱性,这样的洪水风险分析可能存在一定的矛盾。当洪水量级不变,洪水淹没面积较大时,淹没水深相对较小。一方面淹没面积增加会造成更多的财产受到洪灾影响而产生损失,但另一方面淹没水深减小后各类财产的损失率相应减小。所以危险度、暴露度必须结合脆弱性进行分析,通过经济损失这一指标来反应洪灾损失的大小。通过水动力学模型模拟洪水演进过程,确定各水力特征,并结合当地洪灾损失率获得洪灾损失的方法是能够可靠反映洪灾风险的。

随着经济的不断发展,路网密度必然加大,它可视为包括蓄滞洪区在内的区域经济发展的一个重要指标。但随着公路、铁路等线状地物的建设,蓄滞洪

区在分滞洪水时必然会受其影响。以往道路选线是以保证行车安全、迅速的前提下,力争路线短捷为首要原则,并考虑与环境保护相结合,与周围景观、环境相协调,缺少对所涉区域防洪安全的顾及,即便有防洪评价工作,但由于评价范围的局限性使防洪安全评价也具有局限性特点。因此,对道路等线状地物的科学规划是兼顾防洪功能和蓄滞洪区自身经济发展的一个切入点,即在道路路由的科学规划中充分考虑全局性洪灾风险。对洪灾风险分析应综合考虑洪水危险度、暴露度及脆弱性三方面。本文以天津市大黄堡洼蓄滞洪区为例,在上述洪灾风险管理模式思想下,利用水动力学模型求解蓄滞洪区洪水演进中的各项水力特征值并分析洪灾损失分布情况,据此寻求风险最低的道路建设方案,为道路规划部门提供可以考虑全局防洪的规划方法,即依据防洪风险的多方案比选法,为防洪管理单位提供管理依据,同时也可作为洪水风险图应用的范例。

## 1 研究区域概况

天津市大黄堡洼蓄滞洪区是北运河的滞洪洼淀,处在青龙湾减河与北京排污河两河流之间,地处天津市宝坻区、武清区和宁河区境内。蓄滞洪区北起筐儿港北堤,东至青龙湾减河右堤和青龙湾故道左堤,西以黄沙河左堤及北京排污河左堤为界,南到津榆公路,总面积约 277 km<sup>2</sup>。区内地势西北高、东南低,地面高程北部为 3.2 m,南部高程 1.2 m,平均高程 1.5 m(国家 85 高程)<sup>[15]</sup>。地处温带大陆季风性气候,多年平均降雨量约为 611 mm,主要集中在 7、8 月,占比达全年降雨量 50% 以上<sup>[16]</sup>。

狼儿窝分洪闸是大黄堡洼的进洪闸,位于青龙湾减河右堤。该闸设计流量为 430 m<sup>3</sup>/s,校核流量为 720 m<sup>3</sup>/s。狼儿窝引河退水闸是大黄堡洼的退水闸,建成于 1977 年,位于武清区大黄堡乡陈庄南,北京排污河左堤,设计流量 50 m<sup>3</sup>/s。大黄堡洼内由分区隔埝划分为 5 个滞洪分区。当遭遇 20 a 一遇洪水时,启用 I 区;遭遇 50 a 一遇洪水时,启用 I、II 区;遭遇 100 a 一遇洪水时,启用 I 至 IV 区。

## 2 道路规划方案设置

因地表形态和建筑物分布非均匀,不同道路布设位置和方向下的阻水结果不同,所导致的洪灾风险也不同,而道路涵洞尺寸直接决定了道路的阻水能力,因此在制定大黄堡洼蓄滞洪区内的道路规划方案时,分别对道路布设方向、布设位置以及道路过水涵洞尺寸 3 个影响因素进行考虑。分析地形资料

后发现,蓄滞洪区北侧高程多集中在 3 m 以上,道路的高程不能过低,否则或导致洪水漫溢,故本次道路规划高程设置为 5 m。方案设置注意了如下几点:(1)由于大黄堡洼蓄滞洪区内经济财产分布不均匀,在考虑布设方向时,与洪水主流演进方向呈 30°角和呈 150°角造成的洪灾损失和洪水风险并不相同。(2)已有道路建设大部分布置在区域的南侧,即洪水演进方向的下游,若附加道路布设在下游受到分区隔埝阻水的影响显著,不利于分析不同方案的洪灾分布变化规律,而若附加道路布设于靠近上游则不利于洪水的畅泄。故本次方案布设位置分别为距分洪口门 10 km 与 12 km。(3)根据规范要求,涵洞尺寸应小于 5 m<sup>[17]</sup>。故本次涵洞设置 1、2、3、4 m 四个方案,其中不同布设方向、不同布设位置时控制涵洞尺寸为 3 m,原因在于水动力学模型试算中发现 3 m 涵洞是淹没面积变化的临界值,在下文的洪灾损失要素分析中将进一步详细阐述。故具体方案见表 1。

表 1 道路布设方案  
Tab. 1 The road layout scheme

方案	与洪水主流演进方向夹角/°	距分洪口门距离/km	涵洞尺寸/m
布设方向	0	10	3
	30	10	3
	60	10	3
	90	10	3
	120	10	3
	150	10	3
布设位置	90	10	3
	90	12	3
涵洞	90	10	1
	90	10	2
	90	10	3
	90	10	4

### 3 模型构建与参数率定

当前采用水动力学模型分析洪水在某一地区的传播是比较普遍的方法,这里采用 DHI MIKE FLOOD 模型进行洪水演进模拟,对河道采用 MIKE11 进行一维模型模拟,对蓄滞洪区采用 MIKE21 进行平面二维模拟<sup>[18-19]</sup>,通过青龙湾减河狼儿窝分洪闸处设置虚拟河道,采用标准连接方式实现一二维的耦合<sup>[20-21]</sup>。

#### 3.1 基本方程

##### 3.1.1 圣维南方程组

描述一维河道的 MIKE 11 基本方程是圣维南

方程组,公式为

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:Q 为流量, m<sup>3</sup>/s; q 为单宽侧向入流, m<sup>2</sup>/s; A 为过水面积, m<sup>2</sup>; h 为水位, m; R 为水力半径, m; C 为谢才系数; α 为动量修正系数。

##### 3.1.2 平面二维浅水方程

描述平面二维水流运动的 MIKE 21FM 基本方程是平面二维浅水方程,公式为

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = q \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} u - \\ f_v = \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} + g \frac{n^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} v + \\ f_v = \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{cases} \quad (2)$$

式中:u、v 为 x、y 方向的垂线平均流速, m/s; z 为水位, m; h 为水深, m; f 为柯氏力系数; E<sub>x</sub>、E<sub>y</sub> 为 x、y 方向的紊动黏滞系数; q 为包括取水排水在内的源项。

##### 3.1.3 一二维模型耦合采用标准连接

在分洪口门处建立虚拟河段并通过标准连接将河段末端与二维模型连接,因此从 MIKE21 来看,标准连接就是一个边界条件。

#### 3.2 模型模拟范围

一维河网的计算范围为青龙湾减河从土门楼至潮白新河汇入处,北京排污河从筐儿港至东堤头,潮白新河从吴村闸至宁车沽闸,北运河从土门楼至筐儿港,永定新河从屈家店至河口。二维模型计算范围为大黄堡洼蓄滞洪区,面积约 273 km<sup>2</sup>。

#### 3.3 边界条件

##### 3.3.1 上边界条件

一维河道模型的上游边界条件为土门楼闸、木厂闸、筐儿港、吴村闸、屈家店等闸站的洪水过程,引沟入潮洪水过程概化为点源加入引沟入潮汇潮白新河河口位置处。各洪水过程采用流域规划成果。另根据黄庄洼调度原则:当潮白新河流量超过 2 160 m<sup>3</sup>/s 时,开始向黄庄洼蓄滞洪区分洪。理论上讲,潮白新河洪水演进计算需将黄庄洼分洪流量扣除。但由于

受黄庄洼蓄滞洪区的地形等资料的限制,本文未将其考虑在内,处理为吴村闸流量过程超过 $2\ 160\ \text{m}^3/\text{s}$ 时按 $2\ 160\ \text{m}^3/\text{s}$ 计算,这样的处理方法是有利于工程设计的。

### 3.3.2 下边界条件

一维模型下游边界条件位于永定新河河口处,

按流域防洪规划中 72 年典型设计潮位过程考虑。一维河道模型的上下边界条件见图 1。

二维模型边界分上下界条件:上边界条件为狼儿窝分洪闸分洪流量过程,由一维模型计算得到;下边界根据青龙湾减河和北京排污河堤防高程,均按开边界考虑。

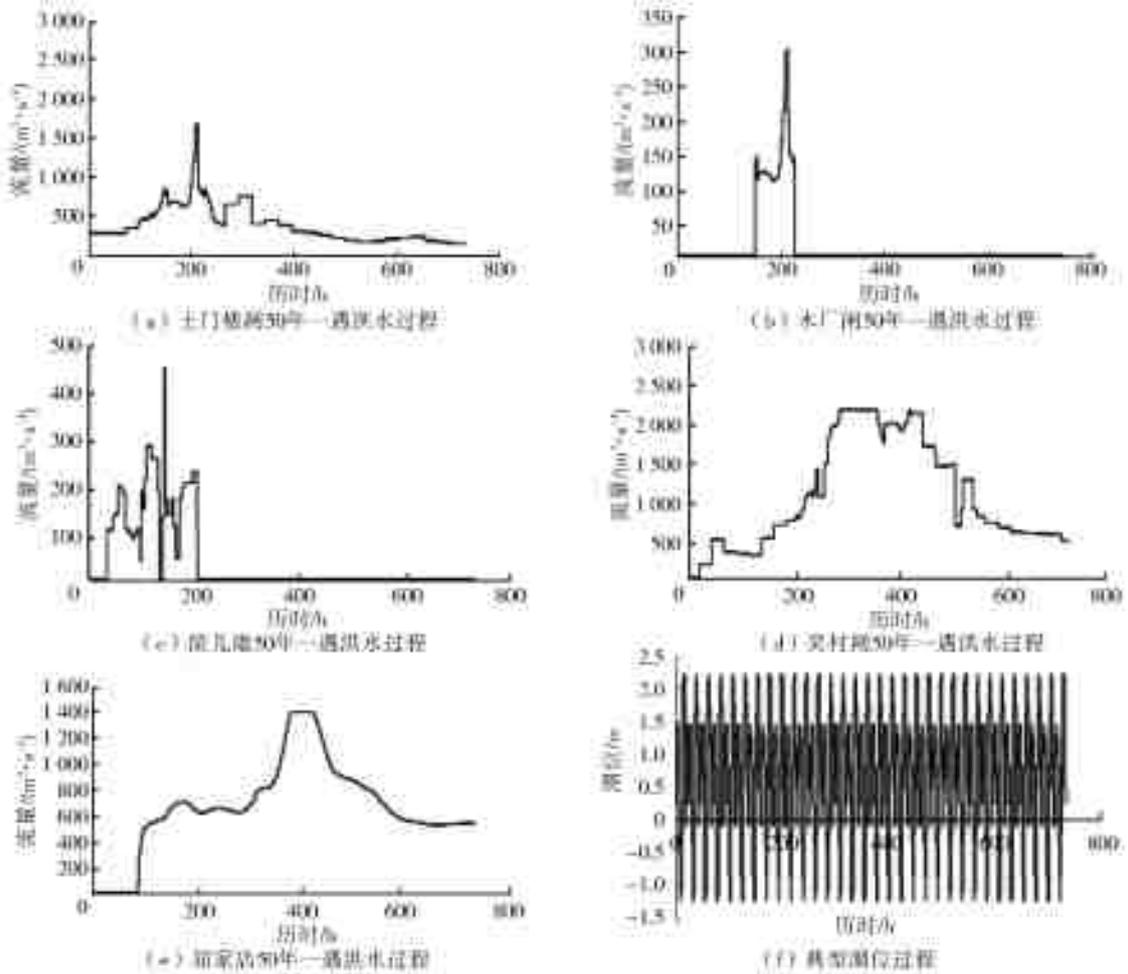


图 1 一维模型上游洪水过程及下游潮位过程

Fig. 1 Upstream flood process and downstream tidal process of one-dimensional model

## 3.4 参数率定

### 3.4.1 MIKE11 模型参数

MIKE11 一维河道模型的参数文件主要是定义模型模拟的河床糙率。本次模型计算中选取的糙率主要参照《天津市主要行洪河道资料汇编(北四河)》《天津市防汛手册》等相关规划中的设计糙率资料,见表 2,并根据地形、地貌踏勘成果进行确定。

### 3.4.2 MIKE21 模型参数

MIKE21 模型包含以下 4 个参数。

(1) 网格剖分。网格的质量直接影响到各方案计算结果的质量。由于 Mike 模型生成的网格对于局部位置例如涵洞等的处理效果较差,本次网格剖

表 2 相关河道糙率取值

Tab. 2 Roughness coefficient of relevant rivers

河系名称	河段名称	主槽糙率	滩地糙率
北运河	北运河干流	0.022 5	0.050
	青龙湾减河	0.020 0	0.035
	北京排污河	0.022 5	0.035
潮白河	潮白新河	0.022 5	0.040
永定河	永定新河	0.022 5	0.050~0.033

分采用 SMS 软件<sup>[22]</sup>进行,对蓄滞洪区内的堤防、高地较高线状地物、桥梁和涵洞适当加密,并人为调整为渐变型网格形式,提高网格质量。本项目二维模型计算区域网格划分共计 63 701 个,网格单元最大面积  $0.004\ 4\ \text{km}^2$ ,最小网格面积,  $0.000\ 5\ \text{km}^2$ ,计算节点 32 325 个。

(2)糙率参数。本次模型中糙率参数选取按照地形、地貌特点,并参照流域规划及相关经验进行选取,糙率取值参考见表 3。

表 3 大黄堡注蓄滞洪区内不同土地类型糙率取值  
Tab. 3 Roughness coefficient of different landuse types in Dahuangpuwa flood detention area

土地类型	糙率取值	土地类型	糙率取值
村庄	0.100	耕地	0.070
湿地	0.035	草地	0.040
水田	0.040	林地	0.065

注:本表参照《天津市大黄堡注蓄滞洪区洪水风险图》(已审核)糙率取值。

(3)时间步长。本次模型计算中,时间积分和空间离散设定为低阶,最大时间步长设置为 5 s,最小 1 s。

(4)干湿边界。本次计算中,模型中干水深(drying depth)、淹没深度(flooding depth)、湿水深(wetting depth)分别设定为 0.005、0.01、0.05 m。

### 3.5 模型合理性分析

因缺少实测洪水演进数据,故建模的质量只能从河道断面水位、流速场分布和水量平衡的角度进行合理性评价。

#### 3.5.1 河道断面水位对比

选取 MIKE11 模型计算潮白新河 50 年一遇洪水水位与《北三河系防洪规划》(中水北方勘测设计研究院有限公司,2008)中采用潮白河及潮白新河(苏庄以下)50 年设计水位进行对比分析,选取典型位置进行比较,见图 2。经比较可知,潮白新河典型位置 50 年一遇设计水位与模型计算水位相差较小,在 0.2 m 的范围内,可以采用该模型对本次方案进行模拟计算。

#### 3.5.2 流场合理性分析

蓄滞洪区洪水流场分布与 DEM 整体高程分布基本一致,地形坡度较大且无阻水建筑物处流速较大,地势低洼及高速公路路基阻水处积水较深,流速较小,洪水流动的趋势遵循由高到低的原则,各方案模拟结果较为合理。典型位置流场与地形分布见图 3。

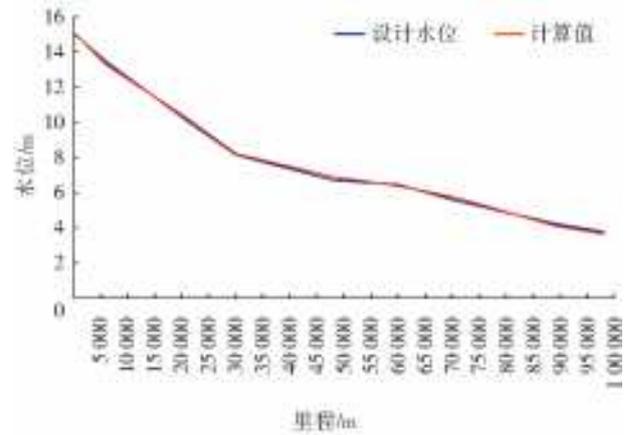


图 2 潮白新河水位计算结果与设计水位对比  
Fig. 2 Comparisons between calculated and designed water levels of Chaobaixin River

#### 3.5.3 水量平衡分析

河道一维模型与蓄滞洪区二维模型通过 MIKE FLOOD 的耦合,实现了河道洪水传播和蓄滞洪区洪水演进的同步模拟,在模拟过程中,水量平衡情况见表 4。不同频率水量误差均在 0.02% 以内,水量基本平衡。

综上所述,模型从一维的河道断面水位到二维流速场分布最后到一二维耦合的水量平衡分析均合理,模型计算的洪水演进过程与调度规则相符合,所以本次洪水演进计算基本合理,可以采用本次构建的模型进行后续道路规划研究的计算。

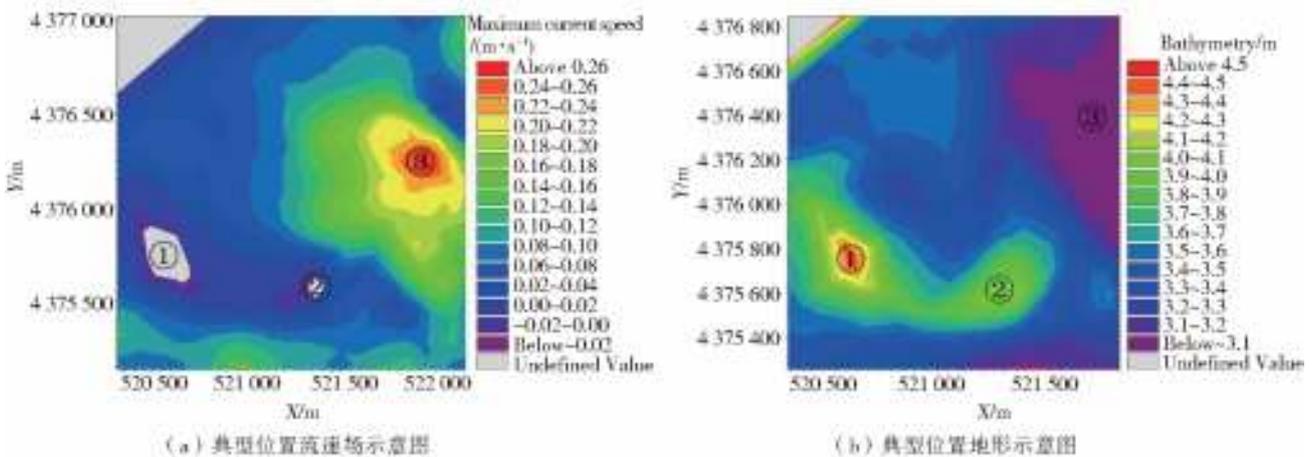


图 3 典型位置流场地形示意图

Fig. 3 Schematic diagram of flow field at typical location

表 4 水量平衡统计

Tab. 4 The statistics of water balance

频率	上游河道来水量/万 m <sup>3</sup>	下游河道出水量/万 m <sup>3</sup>	分洪水量/万 m <sup>3</sup>	差值/万 m <sup>3</sup>	差比/%
20 a 一遇	391 426	389 398	2 107	79	0.020
50 a 一遇	562 842	559 338	3 461	43	0.008
100 a 一遇	727 851	695 420	32 304	127	0.017

## 4 洪灾风险分析

洪水风险是洪水造成损失的概率,通过分析一定频率洪水在区域里的传播特征,进而统计相应频率洪水造成的风险损失,并据此比选道路布设方案是兼顾区域防洪的道路路由决策途径。

### 4.1 洪灾风险损失计算方法

洪灾损失分析需根据水动力学模型模拟得到的淹没面积、淹没水深等特征,结合研究区域内的各类财产初值与财产损失率进行估算。

$$W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s_{ij} p_{ij} c_i \quad (3)$$

式中:  $W$  为洪灾经济损失总额;  $s_{ij}$  为第  $i$  类财产类型第  $j$  级淹没水深等级的洪灾损失率,天津市水科院 2013 年确定的天津市地区洪灾损失率见表 5;  $p_{ij}$  为第  $i$  类财产类型第  $j$  级淹没水深等级区内的淹没统计数量,如公路淹没长度、居民房屋淹没面积等;  $c_i$  为第  $i$  类财产类型价值初值,主要参照现行市价赋值。可见洪灾损失可由淹没面积、淹没水深求得,故可称其为损失要素。

表 5 天津市洪灾损失率

Tab. 5 Flood loss rate in Tianjin

单位: %

淹没水深/m	财产类型							
	家庭财产	家庭住房	农业	工业资产	商业资产	铁路	一级公路	二级公路
0.05~0.5	10	20	25	9	8	8	10	3
0.5~1.0(含 0.5)	20	40	30	17	23	12	15	9
1.0~1.5(含 1.0)	35	50	35	22	38	17	20	15
1.5~2.5(含 1.5)	45	80	45	40	43	27	29	20
2.5~5.0(含 2.5)	60	100	50	50	60	32	34	22
5.0 以上(含 5.0)	70	100	55	65	70	40	45	30

### 4.2 洪灾损失要素分析

#### 4.2.1 不同道路布设方向时的淹没面积分析

相同布设位置与相同涵洞尺寸时,道路不同布设方向的淹没水深见图 4,淹没面积即水深大于零的范围,其变化规律见图 5。

由图 4、5 可以看出:对 50 a 一遇洪水,从道路布设方向与淹没面积的变化规律来看,当道路与洪水演进方向之间角度小于 90°时,道路对洪水的阻碍作用相对较弱,淹没面积偏大,变化范围在 78.05~82.46 km<sup>2</sup>;当道路与洪水演进方向之间角度大于 90°时,道路对洪水的阻碍作用相对较强,淹没面积也相应偏小,变化范围在 65.46~66.69 km<sup>2</sup>;当道路与洪水演进方向呈 90°时,道路阻水能力最强,淹没面积最小为 64.65 km<sup>2</sup>。

#### 4.2.2 不同道路布设位置时的淹没面积分析

相同道路布设方向与相同涵洞尺寸时,道路不同布设位置的淹没面积统计结果见表 6。由该表可

以看出:对 50 年一遇洪水,从道路布设位置与淹没面积的变化规律来看,当道路与分洪口门的距离不同时,淹没面积基本没有变化,造成这一现象的原因可能是蓄滞洪区内分区隔堤阻水特性的影响,分区隔堤的阻水能力高于道路,其对洪水淹没面积影响较大,而道路不同布设位置的影响较小。

#### 4.2.3 不同道路涵洞尺寸时的淹没面积分析

由上述分析可知,道路布设位置即与分洪口门距离对其洪水演进影响较小,而道路布设方向在道路与洪水主流演进方向呈 90°时其阻水特性最强,在这种情况下改变道路不同阻水(过水)能力,即改变道路涵洞尺寸,可进一步分析道路对洪水演进的影响。不同涵洞尺寸的淹没水深见图 6,淹没面积变化规律见图 7。

由图 6、7 可以看出:对 50 年一遇洪水,从涵洞尺寸与淹没面积的变化规律来看,淹没面积随涵洞尺寸增大呈现抛物线型变化,而非简单的单调减少变化,当道路涵洞尺寸为 3m 时,淹没面积最小为 64.65 km<sup>2</sup>。

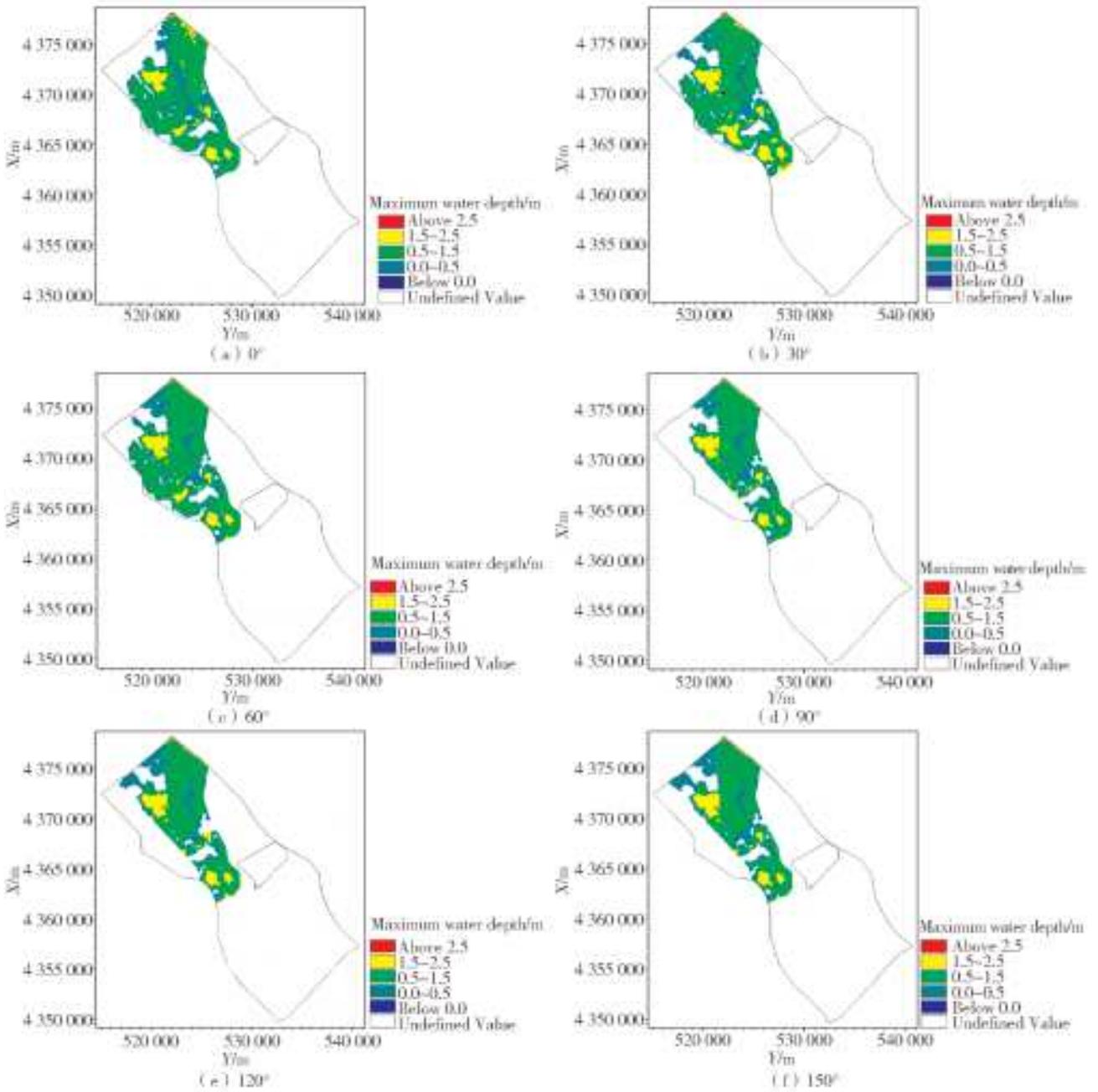


图 4 附加道路不同布置方向淹没水深

Fig. 4 Inundated depth of additional road in different layout directions

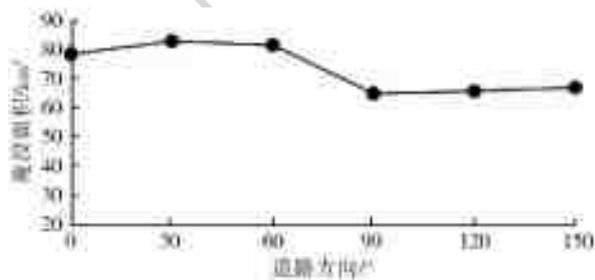


图 5 大黄堡洼不同道路布置方向下淹没面积变化

Fig. 5 Variation of inundation area under different road layout directions in Dahuangpuwa

通过对各方案淹没面积的分析可以解释这一结果：淹没面积分布可划分为两部分，一部分为附加

表 6 附加道路不同布置位置洪水淹没面积

Tab. 6 Inundated area of additional road in different layout locations

布置位置(距分洪口门距离)/km	淹没面积/km <sup>2</sup>
10	64.65
12	64.65

道路上游淹没面积,定为  $A_{上}$ ;另一部分为附加道路下游淹没面积,定为  $A_{下}$ 。随着涵洞尺寸增大,  $A_{上}$  逐渐减小,  $A_{下}$  逐渐增大。总淹没面积  $A$  的变化趋势取决于  $A_{上}$  与  $A_{下}$  变化的幅度,若  $A_{上}$  减小的幅度大于  $A_{下}$  增加的幅度则  $A$  减小,反之则增加,受具体区域地形地貌影响,  $A$  的变化规律不同,也进一

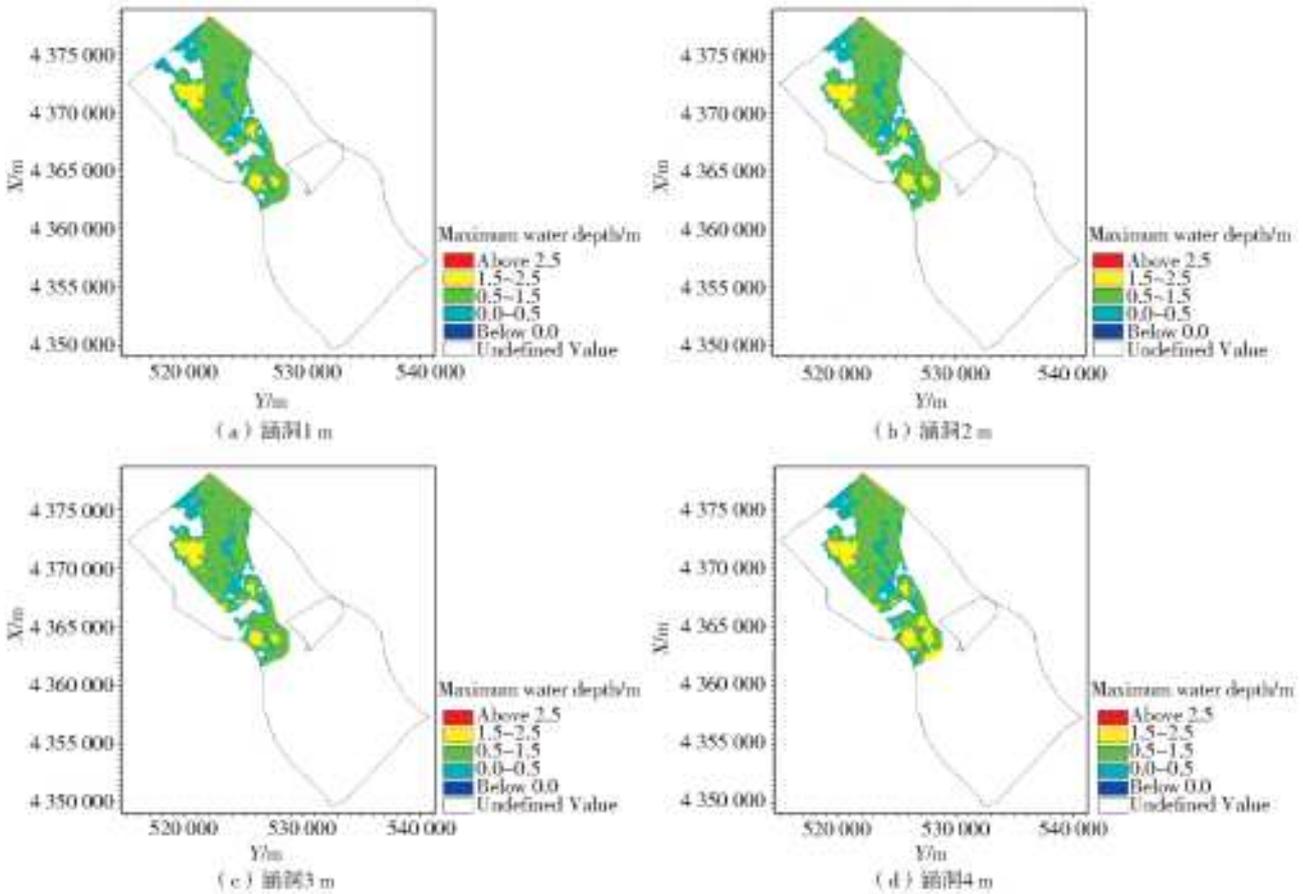


图 6 附加道路不同涵洞尺寸方案淹没水深  
Fig. 6 Inundated depth of additional road in different culvert sizes

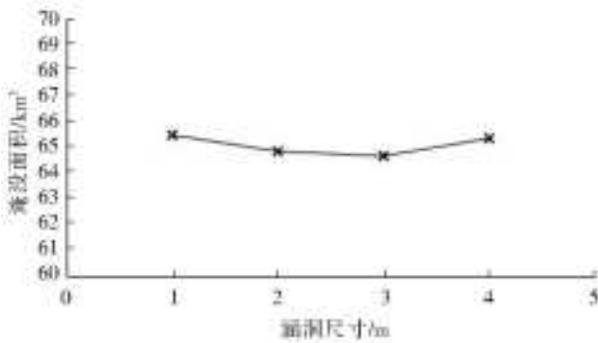


图 7 大黄堡洼不同涵洞尺寸下淹没面积变化  
Fig. 7 Variation of inundation area under different culvert sizes in Dahuangpuwa

步说明针对淹没面积不存在规律性变化的特点,需要采用二维水动力学模型具体地区具体分析计算。本次涵洞由 1 m~3 m,  $A_{上}$  减小的幅度大于  $A_{下}$  增加的幅度,总淹没面积  $A$  呈减小趋势;涵洞大于 3 m 时,  $A_{上}$  减小的幅度小于  $A_{下}$  增加的幅度,  $A$  呈增加的趋势。

### 4.3 道路布设方案优选

淹没面积减小的同时会造成淹没水深的增加,故仅从淹没面积或淹没水深的变化无法判断造成洪灾风险损失的变化。由于蓄滞洪区内财产类型与

分布缺乏一般规律,洪灾损失不会存在随淹没面积或者淹没水深单调变化的规律,需要具体情况具体计算。因而下文从洪灾损失角度进一步探讨各附加道路布设方案的洪灾风险,采用式(3)进行计算。

#### 4.3.1 不同道路布设方向时的洪灾损失分析

大黄堡洼蓄滞洪区 50 年一遇洪水,相同布设位置与相同涵洞尺寸时不同道路布设方向的洪灾损失变化情况见图 8。可知,洪灾损失与淹没面积变化趋势相一致。当道路与洪水主流演进方向之间角度小于  $90^\circ$  时,道路对洪水的阻碍作用相对较弱,淹没面积偏大,洪灾损失也相应偏大,变化范围在 186 113~194 226 万元;当道路与洪水演进方向之间角度大于  $90^\circ$  时,道路对洪水的阻碍作用较强,淹没面积相对偏小,洪灾损失也相应偏小,变化范围在 174 150~176 638 万元;当道路与洪水主流演进方向呈  $90^\circ$  时,道路阻水能力最强,淹没面积最小,洪灾损失也最小为 172 107 万元。由此可知,当道路与洪水演进方向呈  $90^\circ$  时,洪灾损失最小,即洪灾风险最小。

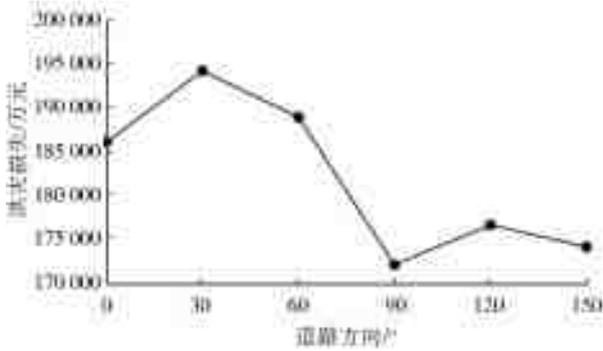


图8 大黄堡洼蓄滞洪区洪灾损失随道路方向的变化

Fig. 8 The change of economic loss with the direction of road in Dahuangpuwa flood detention area

#### 4.3.2 不同道路布设位置时的洪灾损失分析

大黄堡洼蓄滞洪区 50 a 一遇洪水,道路不同布设位置的洪灾损失情况见表 7。从该表看出:当道路与分洪口门的距离不同时,淹没面积基本没有变化,洪灾损失变化较小,由此可知道路布设位置对洪灾风险的影响较小,这可能是由于大黄堡洼蓄滞洪区内承灾体财产分布具体特点导致的。

表 7 道路不同布设位置下经济损失

Tab. 7 Economic loss under different road layout location

布设位置(距分洪口门距离)/km	洪灾损失/万元
10	172 107
12	171 347

#### 4.3.3 不同道路涵洞尺寸时的洪灾损失分析

50 a 一遇,不同涵洞尺寸条件下洪灾损失变化情况见图 9。

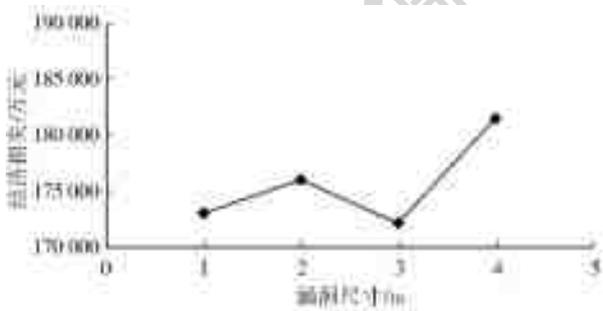


图9 大黄堡洼蓄滞洪区经济损失随涵洞尺寸变化

Fig. 9 The change of economic loss with the culvert size in Dahuangpuwa flood detention area

洪灾经济损失随着涵洞尺寸变化波动较大。附加道路涵洞尺寸为 3 m 时,洪灾损失最小为 172 107 万元,此时的洪灾风险最小;随着涵洞尺寸的增加,经济损失有增有减,变化趋势不稳定,究其原因是由各分类财产损失变化趋势不一和具体的财产空间分布特点决定的。综合各项损失情况可知,大黄堡洼蓄滞洪区内修建道路时,应选择道路路由方向与洪

水主流演进方向呈  $90^\circ$ ,道路位置距分洪口门 10 km 左右,且涵洞尺寸为 3 m 的道路建设方案,此时洪灾的风险最小。

## 5 结 论

蓄滞洪区存在着防洪与自身经济发展的矛盾问题,而道路工程的建设是反映经济发展的重要指标,同时也影响着蓄滞洪区的防洪功能。本文以道路的科学规划作为兼顾两者的切入点,利用水动力学模型求解蓄滞洪区洪水演进中的各项水力特征值并分析洪灾损失分布情况。从蓄滞洪区全局考虑,分析道路规划不同方案的洪灾风险,力求在保障蓄滞洪区防洪功能的前提下,寻求道路建设的最佳方案,为道路规划部门提供可以考虑全局防洪的规划方法,也为防洪管理单位提供管理依据,同时也可作为洪水风险图应用的范例。

以天津市大黄堡洼蓄滞洪区进行示例研究,分别从道路布设方向、布设位置以及道路过水涵洞尺寸三个影响因素进行考虑确定其规划道路布设方案并建立一二维耦合水动力模型。确定模型构建合理后,针对天津市大黄堡洼蓄滞洪区内规划道路布设的不同方案,进行洪水演进计算及洪灾风险损失计算。确定在大黄堡洼蓄滞洪区内布设道路时,当道路方向与洪水演进方向呈  $90^\circ$ ,道路位置距分洪口门约 10 km 左右,涵洞尺寸为 3 m 时,洪水造成的经济损失最小。因此从洪水风险的管理角度认为该道路建设方案为最佳方案。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘树坤. 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. (LIU S K. The risk analysis and mitigation measures of the Yellow River beach area and the flood diversion area[M]. Zhengzhou: Yellow River water conservancy press. 1999. (in Chinese))
- [2] 英若智,杜维素. 关于防洪新理念的几点思考[J]. 南水北调与水利科技,2003,1(6):22-24. (YING R Z, DU W S. Consideration on new concept of flood control [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2003, 1(6): 22-24. (in Chinese)) DOI:10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2003. 06. 009.
- [3] CHANGON S A. Research agenda for floods to solve policy failure[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1985, 111(1): 54-64. DOI: 10. 1061/(asce)0733-9496(1985)111:1(54).
- [4] 刘树坤. 国外防洪减灾发展趋势分析[J]. 水利水电科技

- 进展,2000,20(1):2-9. (LIU S K. Analysis of development trend of overseas flood control and disaster mitigation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2000,20 (1):2-9. (in Chinese))
- [5] 向立云. 洪水管理的基本概念[J]. 中国水利,2008(21):35-38. (XIANG L Y. Basic concepts on flood management [J]. China Water Resources,2008(21):35-38. (in Chinese)) DOI;CNKI;SUN;SLZG. 0. 2008-21-018.
- [6] DEVIN, L. B. and HOBBA L. J. Considerations for establishing flood mitigation priorities and appropriate level of adjustment (Australia)[A]. Proceedings of the Floodplain Management Conference [C], Canberra; Australian Government Publishing Service,1997,261-266.
- [7] MASKREY A. Disaster mitigation:a community based approach[M]. Oxford:Oxfam,1989.
- [8] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options-a manual for policy makers and planners[R]. New York: United Nations,1991.
- [9] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Internationally agreed glossary of basic term related to disaster[R]. 1990. 22-32p.
- [10] 秦德智. 洪水灾害风险管理及保险研究[M]. 深圳:石油工业出版社,2004. (QIN D Z. Flood risk management and insurance research[M]. Shenzhen: Petroleum Industry Press,2004. (in Chinese))
- [11] CRICHTON D. Role of insurance in reducing flood risk [J]. Geneva Papers on Risk & Insurance Issues & Practice, 2008, 33 (1): 117-132. DOI: 10. 1057/palgrave. gpp. 2510151.
- [12] ALEXANDER D E. Natural Disasters[M]. London; UCL Press Limited,1993.
- [13] 刘树坤,沈振明. 利用洪水风险图指导洪泛区及城市建设[J]. 灾害学,1991,6(4):26-31. (LIU S K, SHEN Z M. Construction of inundating area and city under guide of flood risk map[J]. Journal of Catastrophology, 1991, 6 (4): 26-31. (in Chinese)) DOI; CNKI; SUN; ZHXU. 0. 1991-04-004.
- [14] 向立云. 洪水风险分析及近期防洪策略[J]. 灾害学, 1992,7(3):79-83. (XIANG L Y. Flood risk analysis and recent mitigation strategy [J]. Journal of Catastrophology, 1992, 7 (3): 79-83. (in Chinese)) DOI;CNKI;SUN;ZHXU. 0. 1992-03-019.
- [15] 郑敬伟. 大黄堡洼蓄滞洪区防洪减灾、洪水资源化、经济发展与生态修复合理模式的探寻[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2005. (ZHENG J W. Exploration of rational models for flood control and disaster reduction, flood resource utilization, economic development and ecological restoration in dahuanpuwa flood detention area [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research,2005. (in Chinese))
- [16] 杨小柳,周杏雨,王月玲,等. 蓄滞洪区洪水资源化的益损定量分析——以大黄堡洼为例[J]. 水科学进展, 2014,25(5):739-744. (YANG X L, ZHOU X Y, WANG Y L, et al. Quantitative benefit/loss analysis of floodwater utilization in a flood detention area; Case study of Dahuangpu Wa [J]. Advances in Water Science,2014,25(5):739-744. (in Chinese)) DOI:10. 14042/j. cnki. 32. 1309. 2014. 05. 013.
- [17] JTG D60-2015. 公路桥涵设计通用规范[S]. (JTG D60-2015. General specifications for design of highway bridges and culverts[S]. (in Chinese))
- [18] 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,2008,39(10):1256-1263. (WANG C H, CAO W H, ZHANG S Q. Tidal current and its sediment transport capacity in Yellow River estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (10): 1256-1263. (in Chinese)) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2008. 10. 013.
- [19] 魏凯,梁忠民,王军. 基于 MIKE21 的濛洼蓄滞洪区洪水演算模拟[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(6):16-19. (WEI K, LIANG Z M, WANG J. Flood routing simulation of mengwa detention basin based on MIKE21 [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2013,11(6):16-19. (in Chinese)) DOI:10. 3724/SP. J. 1201. 2013. 06016.
- [20] LIU Q, QIN Y, ZHANG Y, et al. A coupled 1D-2D hydrodynamic model for flood simulation in flood detention basin[J]. Natural Hazards,2015,75(2):1303-1325. DOI:10. 1007/s11069-014-1373-3.
- [21] 周洁,董增川,朱振业,等. 基于 MIKE FLOOD 的洪泽湖周边滞洪区洪水演进模拟[J]. 南水北调与水利科技,2017,15(5):56-62. (ZHOU J, DONG Z C, ZHU Z Y, et al. Flood routing simulation of Hongze Lake detention basin based on MIKE FLOOD [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15 (5): 56-62. (in Chinese)) DOI:10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2017. 05. 009.
- [22] 张昊. Mike Flood 和 SMS 软件网格文件的转换方法 [J]. 河北水利,2017(11):44. (ZHANG H. Transformation methods of Mike Flood and SMS software grid files [J]. Hebei water resources, 2017 (11): 44. (in Chinese)) DOI;CNKI;SUN;HBLS. 0. 2017-11-040.