

基于FAHP防洪保护区洪水风险分析的 溃口选择研究

苑希民¹, 田俊玲², 庞金龙¹, 田福昌¹

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072;

2. 中国电子科技集团公司第十五研究院, 北京 100083)

摘要: 针对溃口位置选择的重要性, 结合洪水风险图溃口位置确定原则, 构建溃口选择指标体系, 根据建立的模糊互补矩阵, 运用改进的模糊层次分析法确定各项评价指标的权重; 然后, 运用专家打分法得到各项指标的评分值; 最后, 利用各项指标权重和指标的专家评分值对备选堤防段进行综合评价。并结合黄河宁夏中卫河北段溃口选择实例进行分析, 以此说明模糊层次分析法在洪水风险图溃口选择过程中应用的科学合理性。

关键词: 洪水风险图; 溃口选择; 模糊层次分析法; 洪水风险分析; 中卫河北防洪保护区

中图分类号: TV877

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0135-07

Research on burst location choice of flood risk analysis in flood protection area based on FAHP

YUAN Ximin¹, TIAN Junling², PANG Jinlong¹, TIAN Fuchang¹

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. China Electronics Technology Group Corporation No. 15 Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: In accordance with the importance of burst location choice and combining the principle of determining the burst location of flood risk map, the paper constructed an index system of burst location choice. According to fuzzy complementary matrix, this paper determined the weight of each evaluation applied by improved fuzzy analytic hierarchy process; secondly, this paper aims to get the evaluation value each index through experts grading system; thirdly, according to the weight and the value of indexes, this paper carried out a comprehensive evaluation to alternative dike segment. This paper combined with the breach selection example of the northern section of Zhongwei of Yellow River in Ningxia to demonstrate the scientific rationality of FAHP in the breach selection process of flood risk map.

Key words: flood risk map; breach selection; fuzzy analytic hierarchy process; flood risk analysis; flood protection zone in the north of Zhongwei river

在我国, 每年洪水灾害都会给人民群众造成重大的生命和财产损失。为了最大程度地降低洪水损失, 国家防汛抗旱总指挥部决定在全国推广洪水风险图^[1,2], 以达到为各级防汛指挥部门制定合理的防洪指挥方案, 指挥当地群众及时撤离危险区域, 合理估计洪灾损失, 指导洪泛区和洪水威胁地区建设的目的。

在洪水风险图编制过程中, 溃口的选择至关重

要。它是一、二维水动力学模型计算^[3-5]、损失评估^[6]、避洪转移^[7]等后续工作的基础。由于影响溃口选择的因素众多, 并且很多因素具有很强的模糊性, 很难做出精确的判断, 而模糊层次分析法是在对各种因素定性分析的基础上进行定量计算, 然后对不同方案的计算结果横向比较, 从而最终确定出溃口位置, 保证了溃口选择的科学合理性。

近年来, 模糊数和层次分析法相结合的模糊层

收稿日期: 2015-10-09; 修回日期: 2016-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51209158); 高等学校学科创新引智计划资助(B14012)

作者简介: 苑希民(1968-), 男, 江苏徐州人, 博士(后), 教授, 研究方向为防洪减灾及神经网络。

通讯作者: 庞金龙(1988-), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 研究方向为河流动力学及水利信息化。

次分析法^[8-9]已经在各个领域得到了迅速的发展和应。例如,徐兵兵等^[10]运用改进的模糊层次分析法对南苕溪临安段的水质进行综合评价;刘海燕等^[11]把GIS和模糊层次分析法相结合对南极考察站的选址进行研究;周礼胜^[12]以模糊层次分析法和信息熵为基础进行应急物资库存管理研究;曾露等^[13]将多目标模糊层次分析法用于水利工程项目后评价。而模糊层次分析法在洪水风险图编制过程中却鲜有提及,将此方法应用于洪水风险图溃口的选择。

1 洪水风险图溃口位置选择方法概述

与一些发达国家相比,我国洪水风险图编制工作起步较晚,很多方面的工作都尚处于探索阶段。对于洪水风险图溃口位置的选择,目前还没有形成一个通用的规范。溃口位置确定的一般方法是,首先,进行现场调研,查看历史溃痕,并走访河道沿岸的居民和当地防汛部门,了解洪水出险情况,收集洪灾资料;其次,走访各地统计部门,收集河道沿岸的人口、耕地、村庄、第二产业产值、第三产业产值等各种社会经济资料;然后查看堤防堤防薄弱地段和地势低洼地段以及河势变化较大地段,并对其进行分类统计;然后按堤段将各类资料汇编成册,并对危险程度较大的堤段重点标注;最后,邀请当地防汛部门、工程设计部门、河道管理部门、水文局、统计局等多部门的多位专家,参照资料册并结合多年工作经验,在相互探讨的基础上最终确定溃口位置。

这种方法的优点是信息量大,面面俱到,并且有助于大家集思广益,从而使考虑的因素更加全面,但是其缺点在于各位专家容易相互干扰,且容易受从众心理和权威人物的影响,导致得到的结论存在一定程度的片面性。

2 洪水计算主要步骤及溃口设定原则

2.1 洪水计算主要步骤

2.1.1 基础资料收集与整理 通过现场调研和与相关部门协调,收集与洪水计算相关的自然地理、水文与洪水、构筑物及其调度规则、社会经济和洪涝灾害等资料。基础资料搜集工作完成以后,对资料进行合理性审查,包括资料的可靠性、一致性、代表性审查,并根据洪水风险图编制要求对资料进行标准化、规范化整编。

2.1.2 方案设定 基础资料收集并整理完成后,对防洪保护区内的可能洪水来源及其影响进行全面分

析,最终明确洪水风险图编制所考虑的洪水。在综合考虑防洪保护区的洪水计算区划分、堤防现状、洪水量级、洪水特点等因素的基础上,设定防洪保护区洪水风险图编制的计算方案,并根据不同的计算方案,确定各个典型方案的相关信息,包括溃口位置、溃口宽度、内外边界条件、入流边界条件、参数取值和计算内容等。

2.1.3 建模计算 建立河道一维水动力学模型和防洪保护区二维水动力学模型。并根据调研实测资料对已建模型进行验证,对相应参数进行率定。利用已建好并通过实测洪水验证的模型,改变不同的边界条件,设定适当的参数,对既定的各个典型方案进行洪水演进计算,并根据地形和历史洪水资料对计算结果进行合理性检查。

2.2 溃口设定原则

2.2.1 溃口数量的确定 根据《洪水风险图编制技术细则(试行)》^[14]规定,溃口数量按防洪保护区计算区范围内的河道长度来确定。其确定原则为:

- (1) 50 km 以下的设置 1 个溃口;
- (2) 50 ~ 150 km 范围内的设置 2 ~ 3 个溃口;
- (3) 150 km 以上的设置 3 ~ 4 个溃口。

2.2.2 溃口位置的确定 流域洪水风险图溃口选择主要从内部条件和外部条件两部分考虑^[15-16]。内部条件主要指堤身情况、堤基情况和堤防防护情况等;外部条件主要指堤防受到的荷载作用情况、堤防遭受历史洪灾情况和堤防后的社会经济情况等。

(1) 内部条件。①堤身情况,主要包括堤顶高程,堤身材料,堤防临、背河堤坡比,堤防防洪等级和穿堤建筑物等情况。②堤基情况,主要包括堤基的地层岩性、地层土质类型和水文地质等工程地质条件,堤基防渗处理和堤基加固等情况。③堤防防护情况,主要包括工程防护和植被护坡。

(2) 外部条件。①荷载作用,主要包括由于河势急弯或河道突然束窄等因素造成的河水冲刷和历史上遭受的地震荷载作用情况。②历史洪灾,主要包括堤防历史上遭受的洪水灾害次数、洪水流速、洪水淹没范围、淹没水深,造成的人员伤亡情况和财产损失情况。③堤后社会经济情况,主要包括堤防后防洪保护区内的人口数量和人口密度,保护区的工业产值、农业产值、渔业产值、林业产值、畜牧业产值、第二产业产值、第三产业产值以及公共设施等情况。

3 基于 FAHP 的溃口选择

在洪水风险图溃口选择过程中,为了最大程度

地减小人的主观因素所造成的不确定性和个人偏向性,本文引入基于 FAHP 的溃口选择方法。FAHP 将决策过程中的相关定性指标量化,用少量的定量信息使决策过程数量化。FAHP 在对决策过程中各种因素定性和定量分析的基础上,根据各因素间的层次关系,建立层次结构模型。然后对同一目标下各要素的重要程度进行横向比较,并用量的方法表示出来,构成模糊判断矩阵,进而求解出各因素权重,最后用模糊数的思想模拟人类思维的不确定

性进行模糊综合评价。模糊一致矩阵的引入,解决了传统层次分析法由于判断矩阵一致性和人类思维一致性的差异,需要进行一致性检验的问题,大大提高了计算效率和精度。

3.1 建立溃口选择层次结构模型

洪水风险图溃口位置的选择,受多种因素影响,具有层次性和模糊性的特点。根据溃口位置确定原则,建立如图 1 所示的溃口选择层次结构模型。

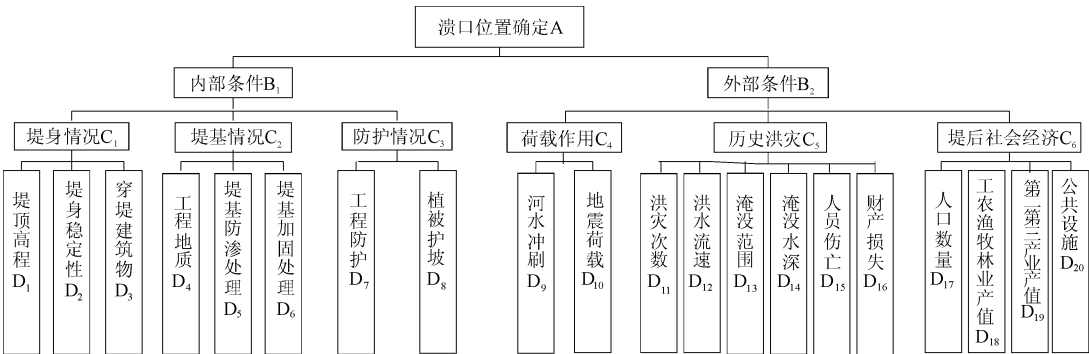


图 1 溃口选择层次结构模型

3.2 构建模糊互补矩阵

在溃口选择层次结构模型中,同一目标下各要素的重要性两两比较,从而构建出模糊互补矩阵。矩阵中用 0.1 ~ 0.9 标度表示。比如对某指标层的两个要素 Y_i 和 Y_j 相对于目标 X 的重要性进行判断,如果认为 Y_i 和 Y_j 同样重要,那么 $y_{ij} = 0.5, y_{ji} = 1 - 0.5 = 0.5$;认为 Y_i 比 Y_j 明显重要,那么 $y_{ij} = 0.7, y_{ji} = 1 - 0.7 = 0.3$;认为 Y_i 比 Y_j 极端重要,那么 $y_{ij} = 0.9, y_{ji} = 1 - 0.9 = 0.1$ 。0.1 ~ 0.9 标度的详细表述见表 1。模糊互补矩阵如表 2 所示。

针对溃口选择层次模型,共可构建 $A - B, B_1 - C, B_2 - C, C_1 - D, C_2 - D, C_3 - D, C_4 - D, C_5 - D, C_6 - D$ 9 个模糊互补矩阵。

表 1 0.1 ~ 0.9 标度

标度	意义说明
0.5	两个元素比较,同等重要
0.6	两个元素比较,前者比后者稍微重要
0.7	两个元素比较,前者比后者明显重要
0.8	两个元素比较,前者比后者重要得多
0.9	两个元素比较,前者比后者极端重要
0.1, 0.2, 0.3, 0.4	反比较

表 2 目标 X 下的判断矩阵

X	Y_1	Y_2	...	Y_m
Y_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1m}
Y_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2m}
...	...	...	...	...
Y_m	y_{m1}	y_{m2}	...	y_{mm}

3.3 计算各因素权重

(1) 在得到模糊互补矩阵后,首先求出模糊互补矩阵 Y 每一行的和 y_i ,然后用转换公式(2)将模糊互补矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times m}$ 转换成模糊一致性矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$

$$y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} \tag{1}$$

$$r_{ij} = \frac{y_i - y_j}{2(n - 1)} + 0.5 \tag{2}$$

(2) 有了模糊一致矩阵,根据数学方法就可以求出矩阵的排序向量 W_1 ,求解矩阵排序向量的常用方法有和法和方根法。这里采用方根法求解:

$$W_1 = W_1(w_1, w_2, \dots, w_m)^T$$
$$= \left[\frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{1j}}}{\sum_{i=1}^m \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{ij}}}{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{ij}}}}, \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{2j}}}{\sum_{i=1}^m \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{ij}}}{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{ij}}}}, \dots, \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{mj}}}{\sum_{i=1}^m \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{ij}}}{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m r_{ij}}}} \right]^T \tag{3}$$

(3) 利用公式(4) 将模糊一致矩阵:

$$R = (r_{ij})_{m \times m}$$
转换为互反型矩阵 $E = (e_{ij})_{m \times m}$ 。

$$e_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ji}} \tag{4}$$

(4) 以排序向量 $W_1 = W_1(w_1, w_2, \cdots, w_m)^T$ 作为叠代初值 $U_1 = U_1(u_1, u_2, \cdots, u_m)^T$, 利用特征值法进行叠代, 求取精度更高的排序向量 W_k , 步骤如下:

用互反矩阵 $E = (e_{ij})_{m \times m}$ 左乘 U_1 , 求得特征向量 U_2 , 并求 U_1, U_2 的无穷范数 $\|U_1\|_\infty, \|U_2\|_\infty$ 。

$$U_2 = EU_1 \tag{5}$$

判断: 取叠代计算精度 $\alpha = 0.0001$, 若 $\|U_2\|_\infty - \|U_1\|_\infty < \alpha$, 则将 U_2 进行归一化处理, 所得的特征向量 W_2 即为方案排序向量, 叠代结束。否则, 以 $U_2 = U_2(u_1, u_2, \cdots, u_m)^T$ 作为新初值, 再次叠代, 直至达到精度要求。

3.4 溃口选择的模糊综合评价

重复上述步骤, 利用模糊互补矩阵 $A - B, B_1 - C, B_2 - C, C_1 - D, C_2 - D, C_3 - D, C_4 - D, C_5 - D, C_6 - D$ 求得 9 组排序权重值。经组合计算, 可以得到溃口选择评价指标体系中各指标的综合权重值。然后, 在现场调查的基础上, 采用百分制的专家评分法, 得到每个备选堤防段溃口选择指标体系中各指标评分值。

堤后社会经济情况越好, 专家评分越高, 则说明堤防危险程度越高; 而堤身情况、堤基情况、堤防防护情况、荷载作用和历史洪灾这 5 项指标则正好相反, 专家评分越高, 说明堤防危险程度越低。为了解决这一矛盾, 这里采用公式(6), 计算各备选堤防段的综合评分值。

$$S = \sum_{i=1}^{16} P_i M_i + \sum_{j=17}^{20} (100 - P_j) M_j \tag{6}$$

式中: S 为堤防的综合评价值; P_i 和 M_i 为堤身情况、堤基情况、堤防防护情况、荷载作用和历史洪灾 4 个指标下 16 项子指标的指标评价值和综合权重值; P_j 和 M_j 为堤后社会经济下 4 项子指标的指标评价值和综合权重值。

最后, 根据各备选堤防段的综合评分值, 按分数从高到低进行排序, 得分最低的堤防段确定为溃口位置。

4 应用实例分析

4.1 黄河宁夏中卫河北段堤防概况

黄河宁夏中卫河北段从沙坡头水利枢纽起, 至胜金关止。堤防为等级 4 级的土堤, 防洪标准为 20

年一遇。堤防大部分为堤路结合, 少部分为未实施堤路结合的老堤防工程。堤路结合段堤高为 2 ~ 4 m, 堤顶宽度为 13 ~ 26 m, 临、背水边坡比为 1: 2; 未实施堤路结合老堤段堤高为 1 ~ 4 m, 堤顶宽度为 4 ~ 6 m, 临背水边坡比为 1: 1.5 ~ 1: 2。考虑防风蚀以及防汛抢险交通要求, 目前堤顶硬化为顶铺 0.10 m 厚的碎石, 背水侧布置 40 ~ 80 m 宽幅生态林带。

堤防位于黄河的河漫滩上, 地形较平坦, 向黄河方向倾斜, 由于河水的冲刷, 在河岸边形成陡坎, 陡坎高度 2 ~ 4 m。此段河道河床平均比降为 0.803‰, 河床为二元结构, 表层为砂土及卵石混合层, 下层为砂卵石。河道弯曲且支叉较多, 为非稳定分叉河道。

黄河宁夏段洪水主要由上游降雨汇流而成, 洪水多发生在 7 - 9 月份。自 1904 年至今, 黄河宁夏段共发生过 7 次大量级洪水, 给当地老百姓的生命财产安全造成了严重伤害。此外, 由于贺兰褶皱带及陇西系构造活动, 中卫河北段也是个地震多发带, 历史上共发生过强震九起, 地震频繁且破坏性大。

4.2 拟定备选溃口位置

黄河宁夏中卫河北段河长 48.5 km, 共有整治工程 11 处, 其中险工工程 3 处, 控导工程 8 处, 坝垛总计 162 道, 工程长度 13.9 km。黄河中卫河北段河道整治工程情况如表 3 所示。

表 3 中卫河北段整治工程

序号	工程位置	工程	坝垛数	工程
		性质	/个	长度/m
1	李家庄	险工	15	1000
2	新弓湾(太平渠)	控导	18	950
3	城郊西园	控导	8	660
4	新墩	险工	22	2105
5	双桥	控导	9	1600
6	杨家湖(莫楼、夹渠)	控导	6	1359.7
7	冯庄(新庙)	控导	25	2154.5
8	跃进渠口	控导	20	1613
9	跃进渠退水	险工	21	1000
10	福堂(河沟)	控导	6	620
11	凯歌湾(胜金)	控导	12	820

由于河段长度小于 50 km, 依据溃口数量确定原则, 需选定一处溃口位置。根据专家意见和现场调查, 从上述 11 个整治工程中初选出 4 个整治工程, 作为溃口最终确定的备选堤防段, 分别为新弓湾、新墩、杨家湖和跃进渠口, 备选溃口位置见图 2。

4.3 溃口选择指标评价

邀请当地水利方面最具有声望的6位专家,请他们结合实际情况给出4个备选堤防段溃口选择指标体系中各指标的评分值,并根据各位专家的工作

年限、职称级别和对当地情况的熟知程度等赋予每位专家不同的权重,加权平均后得到每个溃口选择评价指标的综合值。

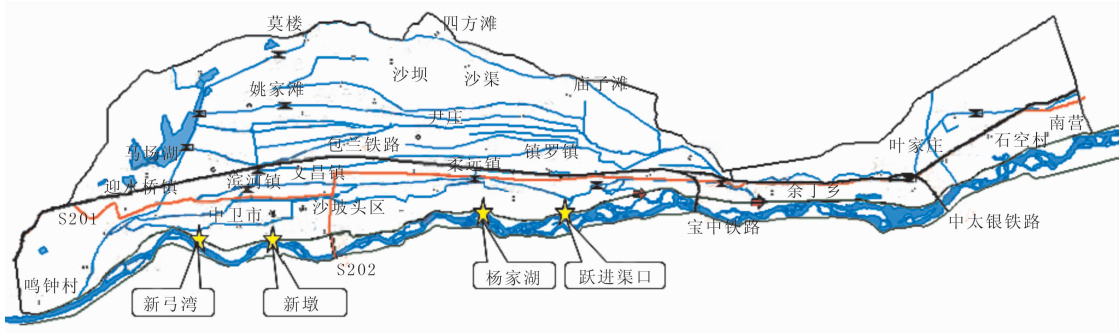


图2 备选溃口位置图

表4 溃口选择评价指标综合值

评价指标	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃	D ₁₄	D ₁₅	D ₁₆	D ₁₇	D ₁₈	D ₁₉	D ₂₀
新弓湾	85	85	81	89	91	90	91	82	73	85	85	88	84	85	90	88	95	93	93	94
新墩	88	80	84	89	91	91	93	84	86	85	85	89	84	88	94	89	93	90	91	92
杨家湖	88	89	87	90	91	94	94	89	82	88	71	69	71	70	72	74	75	82	84	81
跃进渠口	87	89	85	90	91	94	95	89	85	89	72	71	72	74	73	77	72	80	82	79

4.4 计算各评价指标权重

邀请当地水利专家对图1中同一目标下各评价指标的重要性进行两两比较判断,并结合表1,得到溃口选择层次结构模型中4个层次的9个模糊互补矩阵。

$$A - B = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_1 - C = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.7 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 \\ 0.3 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_2 - C = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.6 \\ 0.3 & 0.5 & 0.4 \\ 0.4 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$C_1 - D = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.9 \\ 0.2 & 0.5 & 0.9 \\ 0.1 & 0.1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$C_2 - D = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.9 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 \\ 0.1 & 0.8 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$C_3 - D = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}, C_4 - D = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 \\ 0.2 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$C_5 - D = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.4 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.7 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.5 & 0.8 \\ 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$C_6 - D = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.1 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.6 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

以模糊互补矩阵 $C_6 - D$ 为例计算排序权重值,步骤如下:

- (1) 利用公式 $y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}$ 和 $r_{ij} = \frac{y_i - y_j}{2(m - 1)} + 0.5$,将 $C_6 - D$ 转换为模糊一致矩阵 $R = (e_{ij})_{4 \times 4}$;
- (2) 利用方根法求得矩阵 R 的排序向量:
 $W_1 = [0.554 \quad 0.313 \quad 0.085 \quad 0.048]^T$;
- (3) 利用转换公式 $e_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ji}}$,将判断矩阵 R 转换成互反矩阵 $E = (e_{ij})_{4 \times 4}$;

$$R = (e_{ij})_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.583 & 0.733 & 0.783 \\ 0.417 & 0.5 & 0.65 & 0.7 \\ 0.267 & 0.35 & 0.5 & 0.55 \\ 0.217 & 0.3 & 0.45 & 0.5 \end{bmatrix}$$
$$E = (e_{ij})_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 \\ 0.5 & 1 & 1.727 & 2 \\ 0.25 & 0.58 & 1 & 1.143 \\ 0.2 & 0.5 & 0.875 & 1 \end{bmatrix}$$

(4) 取叠代计算精度 $\alpha = 0.0001$, 以排序向量 $W_1 = U_1 = [0.554 \ 0.313 \ 0.085 \ 0.048]^T$ 作为叠代初值, 叠代 4 次后得到 $U_5 = (0.519 \ 0.237 \ 0.132 \ 0.112)^T$, 经计算满足 $\|U_5\|_\infty - \|U_4\|_\infty \leq 0.0001$ 。于是, $U_5 = (0.519 \ 0.237 \ 0.132 \ 0.112)^T$ 即为模糊互补矩阵 $C_6 - D$ 求得的排序权重值。同理, 模糊互补矩阵 $A - B$ 、 $B_1 - C$ 、 $B_2 - C$ 、 $C_1 - D$ 、 $C_2 - D$ 、 $C_3 - D$ 、 $C_4 - D$ 、 $C_5 - D$ 求得的排序权重值如表 5 所示。

4.5 溃口位置确定

根据表 5 的结果, 可以得到 20 个溃口选择评价指标的综合权重, 再结合表 4 中专家给出的评分值, 计算出新弓湾、新墩、杨家湖和跃进渠口 4 个备选堤

防段的综合评分值。
利用公式(6) 计算得到新弓湾、新墩、杨家湖和跃进渠口四个备选堤段的综合评分值分别为: $S_1 = 74.074$; $S_2 = 76.908$; $S_3 = 78.057$; $S_4 = 78.202$ 。
显然 $S_1 \leq S_2 \leq S_3 \leq S_4$, 说明新弓湾堤防段危险程度最高, 所以最终确定新弓湾为溃口位置。

4.6 溃口位置选择合理性分析

中卫河北防洪保护区遭遇 100 年一遇洪水时, 溃口位置为新弓湾, 分别绘制其淹没水深图和到达时间图, 如图 3 所示。

表 5 指标排序权重值

模糊互补矩阵	排序权重					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
$A - B$	0.6	0.4				
$B_1 - C$	0.522	0.201	0.277			
$B_2 - C$	0.48.59	0.238	0.323			
$C_1 - D$	0.610	0.292	0.098			
$C_2 - D$	0.668	0.107	0.225			
$C_3 - D$	0.6	0.4				
$C_4 - D$	0.8	0.2				
$C_5 - D$	0.168	0.153	0.153	0.153	0.202	0.171
$C_6 - D$	0.519	0.237	0.132	0.112		

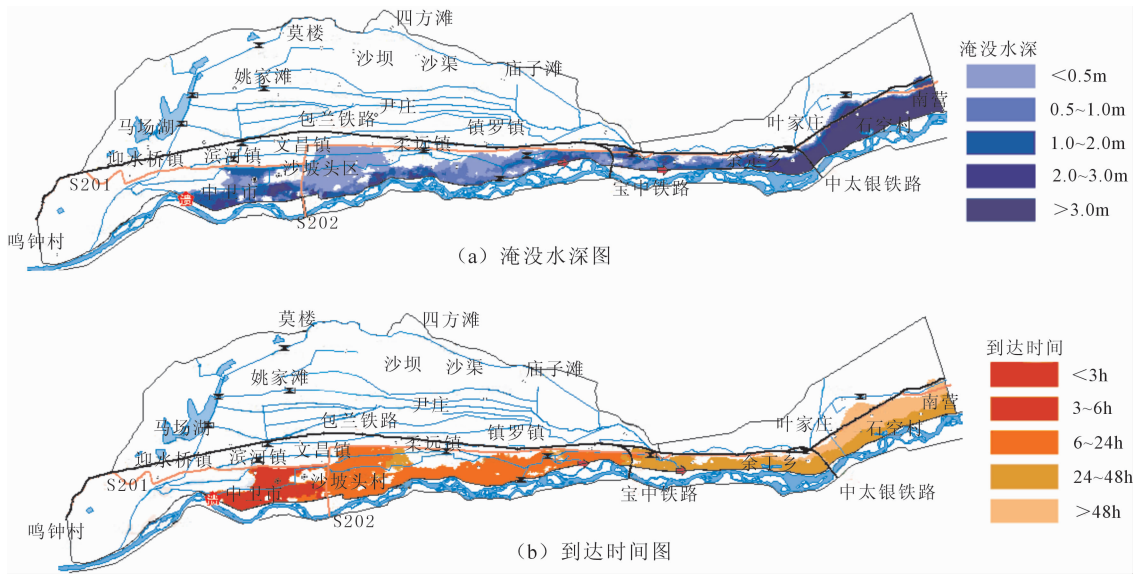


图 3 洪水风险图

从图 3 中可以看出, 当洪水从新弓湾溃口进入防洪保护区后, 沿着地势由西向东演进, 并在 24 h 内已经淹没新墩险工、杨家湖险工和跃进渠口控导等地。淹没水深最大的地方主要集中在地势低洼处和阻水线状地物前, 淹没面积达 49.39 km²。

将模型计算结果导入洪水损失评估系统并叠加

相应的社会经济信息, 进行洪水损失计算。经过统计, 此次洪水共计影响人口 3.98 万人, 淹没耕地面积 2 864.95 hm², 淹没房屋面积 482.11 万 m², 造成损失 10.25 亿元。当中卫河北防洪保护区遭遇 100 年一遇洪水, 新弓湾溃口溃决时, 洪水淹没范围广, 洪灾损失大, 溃口选择较为合理。

表 6 溃口选择综合评价

溃口选择指标	权重值 M_i	新弓湾	新墩	杨家湖	跃进渠
		评分值	评分值	评分值	口评分
		P_{1i}	P_{2i}	P_{3i}	值 P_{4i}
堤顶高程	0.191	85	88	88	87
堤身稳定性	0.091	85	80	89	89
穿堤建筑物	0.031	81	84	87	85
工程地质	0.081	89	89	90	90
堤基防渗处理	0.013	91	91	91	91
堤基加固处理	0.027	90	91	94	94
工程防护	0.100	91	93	94	95
植被护坡	0.066	82	84	89	89
河水冲刷	0.140	73	86	82	85
地震荷载	0.035	85	85	88	89
洪灾次数	0.016	85	85	71	72
洪水流速	0.015	88	89	69	71
淹没范围	0.015	84	84	71	72
淹没水深	0.015	85	88	70	74
人员伤亡	0.019	90	94	72	73
财产损失	0.016	88	89	74	77
人口数量	0.067	95	93	75	72
工农渔牧林业产值	0.031	93	90	82	80
第二、第三产业产值	0.017	93	91	84	82
公共设施	0.014	94	92	81	79

5 结 论

基于 FAHP 防洪保护区洪水风险分析溃口的选择,对影响溃口选择的各种因素进行定性和定量分析,然后将分析过程中的定性因素定量表示出来,实现了定性分析和定量分析的有机结合。FAHP 只需较少的定量数据,再结合人类大脑定性分析就能做出合理性决策,这是传统优化技术无法替代的。笔者以黄河宁夏中卫河北段溃口选择为例,基于 FAHP 对防洪保护区溃口选择过程进行分析,并对最终选定的溃口位置从淹没范围、淹没水深和洪灾损失等方面进行合理性检验,证明了模糊层次分析法在洪水风险图溃口选择中的应用具有科学合理性,对洪水风险图工作的推动具有重要的参考价值。

模糊一致矩阵的引入,克服了传统层次分析法为得到一致性矩阵多次盲目调整的弊端,大大减小了工作量,提高了计算精度。然而,当模糊互补矩阵中因素较少时,从模糊互补矩阵向模糊一致矩阵转化过程中,很容易造成原始信息的部分丢失,这必然会 影响计算的精度。针对这个问题,还有待我们深入研究。

参考文献:

[1] 向立云. 关于我国洪水风险图编制工作的思考[J]. 中国水利,2005(17):14-16.

[2] 李娜,向立云,程晓陶. 国外洪水风险图制作比较及对我国洪水风险图制作的建议[J]. 水利发展研究,2005,(6):28-32.

[3] Blade E, Gomez-Valentin 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, 2012,42:17-29.

[4] Zolghadr M, Hashemi M R, Hosseinipour E Z, et al. Modeling of flood wave propagation through levee breach using MIKE21, a case study in Helleh River, Iran[C]//. World Environmental and Water Resources Congress, 2010: 2683-2693.

[5] 付成威,苑希民,杨敏. 实时动态耦合模型及其在洪水风险图中的应用[J]. 水利水运工程学报, 2013(5):32-38.

[6] 李琼. 洪水灾害风险分析与评价方法的研究及改进[D]. 武汉:华中科技大学,2012.

[7] 张永领. 公众洪灾应急避险模式和避险体系研究[J]. 自然灾害学报,2013,22(4):227-233.

[8] Chang Dayong. Applications of the extent aanlysis method on fuzzy AHP[J]. European journal of Operational Research,1996,95(3):649-655.

[9] Mordeson J N, Wierman M J, Clark T D, et al. The analytic heararchy process[M]. Springer Berlin Heidelberg, 2013:93-117.

[10] 徐兵兵,张妙仙,王肖肖. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9):2066-2072.

[11] 刘海燕,庞小平. 利用 GIS 和模糊层次分析法的南极考察站选址研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(2):249-252+257.

[12] 周礼胜. 基于模糊层次分析法和信息熵的应急物资库存管理研究[D]. 北京:中国科学技术大学,2010.

[13] 曾露,贾立敏. 多目标模糊层次分析法在水利工程项目后评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(6):615-616+620.

[14] 全国重点地区洪水风险图编制项目组. 洪水风险图编制技术细则(试行)附录[R]. 北京:中国水利水电科学研究院,2013.

[15] 介玉新,胡韬,李青云,等. 层次分析法在长江堤防安全评价系统中的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版),2004,44(12):1634-1637.

[16] 田林钢,靳聪聪,巴超. 改进的模糊层次分析法在海堤工程安全评价中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2013,46(3):317-320+327.