

文章编号: 1004- 4574(2010) 03- 0132- 07

突变理论在蓄滞洪区洪灾风险评价中的应用

李绍飞¹, 冯 平², 孙书洪¹

(1. 天津农学院 水利工程系 天津 300384 2. 天津大学 建筑工程学院 天津 300072)

摘 要: 以洪灾威胁严重的蓄滞洪区为研究背景, 从系统论角度构建了洪灾风险评价指标体系。以海河流域重点蓄滞洪区之一——大黄堡洼为研究区, 将突变理论评价法和模糊综合评价法应用于洪灾风险综合评价中, 二者评价结果大体相同, 并与相关数据显示的实际情况基本吻合, 验证了突变理论方法用于洪灾风险评价的可靠性。突变评价法根据目标在归一公式本身中的内在矛盾地位和机制确定指标重要程度, 而无需计算权重, 减少了主观人为性, 且计算简单, 便于应用, 为洪灾风险评价提供了一个新的途径。

关键词: 突变理论; 洪灾; 风险评价; 蓄滞洪区

中图分类号: 426. 66 **文献标识码:** A

Application of catastrophe theory to evaluation of flood risk in detention basin

LI Shao-fei¹, FENG Ping², SUN Shu-hong¹

(1. Tianjin Agriculture College Tianjin 300384 China 2. School of Civil Engineering Tianjin University, Tianjin 300072 China)

Abstract A multi-principle evaluation index system for flood risk was suggested according to characteristics of flood hazard in detention basin, in view of the system theory. The fundamentals and method of catastrophe theory were introduced, this system and fuzzy assessment were applied to evaluation of flood risk in Dahuangpuwa of Haihe River Basin. Results derived from the two methods are consistent, and they are in accordance with the actual situation. The proposed method is easy of calculation and is not necessary to determine the weights of evaluation indices, so that the influence of subjective factors on assessment can be minimized. This paper offers a new way for comprehensive evaluation of the flood risk.

Key words catastrophe theory; flood hazard; risk evaluation; detention basin

洪水灾害风险分析是洪水灾害风险管理的基础性工作, 是制定各项防洪减灾措施的重要依据。美国、日本等发达国家早在 20 世纪 50- 60 年代就开展了洪灾风险研究, 我国则始于 20 世纪 80 年代中期, 其后陆续开展了一些蓄滞洪区、城镇、水库与流域的洪水风险图绘制工作^[1], 也是在同一时期, 风险评价开始被应用于自然灾害这一不确定性事件。目前洪灾风险性评价已成为灾害学研究的热点问题之一, 大部分研究者一般多采用地理信息系统软件提供的空间分析功能进行洪灾风险区划与评价。然而, 区域洪灾风险影响因素众多, 具有一定的模糊性和不确定性, 上述方法属于经验性的统计方法, 忽略了指标本身连续变化这一客观事实, 且没考虑指标权重, 缺乏理论上的严谨性。近年来, 随着不确定性理论的发展, 有研究者尝试将模糊理论、人工神经网络等不确定性方法应用到洪灾风险评价中, 取得了一些研究成果^[2-3]。本文以突变理论为基础, 从系统论的观点构建蓄滞洪区洪灾风险评价指标体系, 利用初始模糊隶属函数和归一公式对其进行量

收稿日期: 2008- 06- 25 修订日期: 2009- 08- 13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50879051, 50679055); 天津农学院科学研究发展基金资助项目 (2008D018)

作者简介: 李绍飞 (1979-) 女, 副教授, 博士, 主要从事水文与水资源问题的研究. E-mail: lishaofei79@126.com

化递归运算, 最后得到蓄滞洪区内不同地点的洪灾风险的总的突变隶属函数值。该评价方法体现了指标值的连续变化特性, 减少了人为主观性又不失科学合理性, 且计算简单方便, 值得推广应用。

1 突变理论综合评价方法

突变理论 (catastrophe theory) 是法国数学家 Rene • Thom 创立的一门研究非连续变化和突变 (质变) 现象的新兴数学学科, 能够直接处理不连续性, 而不联系任何特殊的内在机制, 特别适用于内部作用尚未确知系统的研究^[4]。突变理论应用模型计算简单, 适用于多目标评价问题的研究。多目标评价即是对多个对象的选优排序, 而这些对象表现出不同的质态, 因而可用突变数学模型进行多种目标 (准则) 排序选优^[5]。

1.1 突变理论基本原理

突变理论的特点是根据系统的势函数将系统的临界点分类, 研究分类临界点附近非连续变化状态的特征, 进行评价时常用的突变模型有尖点突变、燕尾突变和蝴蝶突变, 见表 1。

表 1 初等突变模型的势函数及示意图

Table 1 Potential function of elementary catastrophe model and its schematic diagram

类型	势函数 $f(X)$ 表达式	分歧方程	示意图
尖点突变	$\frac{1}{2}X^4 + \frac{1}{2}aX^2 + bX$	$a = -6X^2, b = 8X^3$	
燕尾突变	$\frac{1}{5}X^5 + \frac{1}{3}aX^3 + \frac{1}{2}bX^2 + cX$	$a = -6X^2, b = 8X^3, c = -3X^4$	
燕尾突变	$\frac{1}{6}X^6 + \frac{1}{4}aX^4 + \frac{1}{3}bX^3 + \frac{1}{2}cX^2 + dX$	$a = -10X^2, b = 20X^3, c = -15X^4, d = 4X^5$	

注: X 为状态变量, $f(X)$ 表示势函数, a, b, c, d 表示状态变量的控制变量, 重要性从左至右排序, 由突变模型的内在机制决定。

状态变量和控制变量是矛盾着的两个方面, 诸控制变量之间又相互作用以构成矛盾, 系统所处的任一状态乃是状态变量与控制变量的统一, 也是诸控制变量之间的相互作用的统一。势函数 $f(X)$ 的所有临界点集合成一平衡曲面 M , 通过 $f(X) = 0$ 即可得到该平衡曲面方程; 通过 $f''(X)$, 可得到 M 的奇点集 S ; 令 $f(X) = 0$ 且 $f''(X) = 0$ 可得到反映状态变量与各控制变量间关系的分解形式的分歧方程 B , 见表 1 图 1 (尖点突变模型)。图 1 中分歧集 B 是 S 于控制空间上的投影, S 是 M 上一个尖点褶皱的两条折痕, 折痕于控制空间上的投影就是分歧集 B 上的两条折痕线。当 a, b 的关系符合 $8u^3 + 27v^2 = 0$ (分歧方程) 时, 系统就会发生突变。 M 上的每一点都表示了系统在 X, a, b 综合作用下的某一状态, 可以把 M 分为 3 部分: 上叶、中叶、下叶。当 $a > 0$ 势函数呈光滑变化; 当 $a < 0$ 时, 则在 M 上出现一个尖点形褶皱, 在这里发生函数的突变; 当 a, b 符合分歧方程, 系统状态发生根本性突变, 势函数值从上 (下) 叶直接向下 (上) 叶突跳 (越过中叶)。从评价的角度, 把上叶定为系统某种质态的“肯定” (优), 下叶定为“否定” (劣)。突变现象可发生在折痕上任一点, 但各点突变程度是不同的, 这是质变中的量变现象; 同处于 M 上 (下) 叶的点, x 值不同表示同一质态上的量也是不同的, x 值 (绝对值) 越大, 同一质态下量的程度越高, 因此, x 值的大小代表了对评价等级的“隶属程度”。

1.2 归一公式的导出

通过分解形式的分歧方程可导出归一公式, 归一公式将系统内部各控制变量的不同质态归化为可比较的同一种质态, 即用状态变量表示的质态。运用归一公式, 可求出表征系统状态特征的系统总突变隶属函数值, 这是利用突变理论进行综合分析评判的基本运算公式。

常用的 3 种突变模型的归一公式为^[3]

$$\text{尖点突变: } X_a = a^{1/2} \quad X_b = b^{1/3}, \tag{1}$$

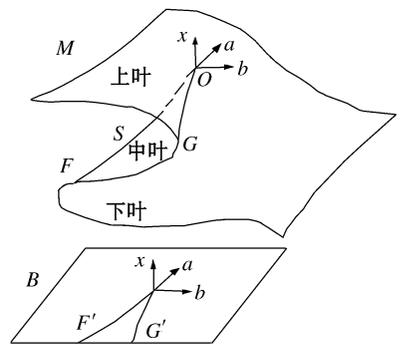


图 1 尖点突变的平衡曲面和分歧集

Fig 1 Equilibrium surface and bifurcation set of cusp catastrophe model

$$\begin{aligned} \text{燕尾突变: } X_a &= a^{1/2} \quad X_b = b^{1/3} \quad X_c = c^{1/4}, & (2) \\ \text{蝴蝶突变: } X_a &= a^{1/2} \quad X_b = b^{1/3} \quad X_c = c^{1/4} \quad X_d = d^{1/5}. & (3) \end{aligned}$$

1.3 基于突变理论的多准则评价方法

突变评价法是在突变理论的基础上发展起来的一种综合评价方法, 主要步骤如下^[6]

(1) 构建评价指标体系。按内在作用机理, 将系统分解为若干评价指标组成的多层系统;

(2) 对底层指标(控制变量)进行原始数据规范化。使用归一公式之前, 应将控制变量的原始数据转化到 0~1 范围内的无量纲可比较数值, 即将突变理论与模糊数学相结合, 产生一种多维的在 [0, 1] 之间取值的越大越优型的突变模糊隶属度值;

(3) 归一运算。利用归一公式进行综合量化递归运算, 求出评价系统的总突变隶属度值。根据初始模糊隶属函数值, 按归一公式计算各控制变量对应的 X 值时必须遵循两个原则, 即“互补”与“非互补”原则。若诸控制变量间不存在明显的相互关联作用, X 值遵循大中取小的“非互补”原则; 若诸控制变量之间存在明显的相互关联作用, 则应遵循“互补”原则, 即取诸控制变量相应的突变级数值的平均值作为系统的 x 值。从理论上可以证明, 只有遵循上述原则, 才能满足突变理论中分歧方程的要求。

(4) 重复上述步骤, 求出不同评价系统的总突变隶属函数值, 进行不同系统间综合评价。

2 蓄滞洪区洪灾风险评价指标

蓄滞洪区是指位于江河堤防背水侧、用于临时贮存洪水的低洼地区, 是洪灾主要发生地带。我国主要江河中下游河道行洪能力普遍偏低, 为保证上游洪水安全下泄, 共开辟了 98 处大规模蓄滞洪区, 总面积 34506km², 人口 1800 万人, 主要集中在长江、黄河、淮河和海河流域的中下游地区。作为高洪灾风险区, 蓄滞洪区不仅是洪水泛滥时蓄洪滞洪的空间, 更是千万民众赖以生存和发展的场所, 一旦分洪, 损失十分严重。构建蓄滞洪区洪灾风险评价指标, 是进行洪灾风险评价的基础, 具有理论意义和实际应用价值。

洪水灾害是自然界洪水作用于人类社会的产物, 具有自然性和社会性的双重属性, 洪灾风险评价已不局限于洪水灾害本身的研究, 而是将其与社会经济特性有机地结合起来。根据系统论和灾害学理论, 致灾因子、孕灾环境、承灾体特征及灾情之间相互作用、相互联系, 构成了功能复杂的洪水灾害系统, 本文依此为理论依据, 深入分析了蓄滞洪区洪灾形成机制和洪灾风险组成因素, 以致灾因子、孕灾环境、承灾体属性、社会承灾能力为准则层构建了具有普遍意义的评价指标体系(见图 2)。该指标体系包含目标层、准则层、指标层 3 个层次, 共 15 项评价指标, 基本能够全面反应蓄滞洪区的洪灾风险程度。同一层次各指标按其对上—层指标的影响程度从左向右排序。准则层指标 B₁, B₃ 反映了洪灾的自然属性, 即洪水危险性; B₂, B₄ 反映了洪灾的社会属性, 即社会易损性。指标 R₁, R₂ 刻划了可能遭受洪水影响的强度。R₄ 刻划了洪水的频度(可用多少年一遇来表达), 洪水危险性分析就是研究受洪水威胁地区可能遭受洪水影响的强度和频度。R₉, R₁₀, R₁₁ 描述了下垫面因素, 其中 R₁₁ 地物孕灾度反映了研究区域不同地物覆盖对洪水贡献能力的大小, 采用公式 $EA_{veg} = \sum_{i=1}^n C_i^{veg} * P_i^{veg}$ 计算, 其中 n 是地物类型数, C^{veg} 是不同地物类型(包括林地、草地、农田、湿地滩涂、建设用地、裸地等)的径流形成能力, 具体量化取值见参考文献 [7], P^{veg} 是各类地物类型所占比重。R₁₀ 河湖网络密度反映了河网分布及其对洪水危险程度的影响。离河道愈近的地方, 洪水危险性愈高, 不同级别的河流对洪水危险的影响程度不同(干流较一级支流、一级支流较二级支流具有更强的影响力), 且同一级别河流所处地形不同, 影响程度也不同(平原区河流具有更强的影响力)。若研究区地处平原地带, 高程变化不明显, 且河流级别区别不大, 可仅用河流长度来表述河湖网络这项指标, 具体可用河网密度

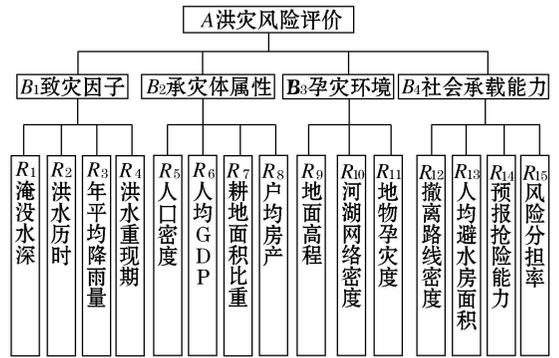


图 2 蓄滞洪区洪灾风险评价指标

Fig. 2 Evaluation indices of flood risk in detention basin

(即单位流域面积上的河流总长度, 单位 km/km^2) 来计算该指标值; 若河流级别、地形坡度差别显著, 则应充分考虑各项影响因素, 据其不同的影响程度乘以权重系数来加以量化。 $R_5 \sim R_8$ 反映的是洪灾的社会经济易损性, R_6 人均 GDP 反映了当地经济发展水平; 蓄滞洪区的来洪特点, 居民房屋等不动产受损坏很严重, R_8 户均房产值单位万元/户, 每间房屋可结合当地经济情况按一定价值计算统计, 户均房产值 = 区域房产总值/总户数。 $R_{12} \sim R_{15}$ 表达了洪灾过后, 社会对灾情的抵抗能力及灾后恢复能力。 R_{12} , R_{13} 刻划了洪水来时安全转移人口能力, R_{12} 的计算方法采用区域撤离路线总长度除以区域面积, 单位是 km/km^2 。 R_{14} 预报抢险能力与预警及时有效性和救援能力有关, 可用发生洪水时预警所能通及的范围来表示预警能力, 用救援能达到的有效范围来表示救援能力, 二者加权平均。 R_{15} 风险分担率 (FRD) 是衡量灾区恢复能力的主要指标。 灾区恢复能力是指受灾后快速恢复正常生产、生活的能力, 主要与灾损率、灾区的经济水平、邻区援助能力、灾区投保率等有关, 但鉴于资料难以调研统计, 可采用风险分担率 (R_{15}) 近似表述, 采用公式 $\text{风险分担率} = \text{年均水灾补偿} / \text{水灾期望损失}$ 计算。

3 在大黄铺洼蓄滞洪区的应用

以海河流域重点蓄滞洪区之一大黄铺洼为研究区。 大黄铺洼总面积约 274.11km^2 , 可使北运河下游的防洪能力达到 50a 一遇, 是保护天津市区、津蓟铁路、津围公路必不可少的蓄洪工程。 1949 年以来, 经历了 1954、1956、1962 年等多次滞洪运用, 最大进洪流量分别达到了 $412\text{m}^3/\text{s}$ 、 $443\text{m}^3/\text{s}$ 、 $397\text{m}^3/\text{s}$ 。 滞洪区包括 108 个村庄, 现有人口 45.2 万, 耕地面积 7378hm^2 , 国民生产总值 87925 万元。 区内已经形成交织的交通网。 柳河干渠、清污渠、大尔路、九园路、西杜庄干渠等隔堤将其划分成 I、II、III、IV、V 共 5 个滞洪分区 (图 3)。 按现行防洪调度运用方案和北运河防洪规划总体布局, 北运河 50a 一遇洪水, 使用 I、II、III 共 3 个分区, 滞洪水位 2.30m, 受灾面积 150.68km^2 , IV、V 区可不再启用。

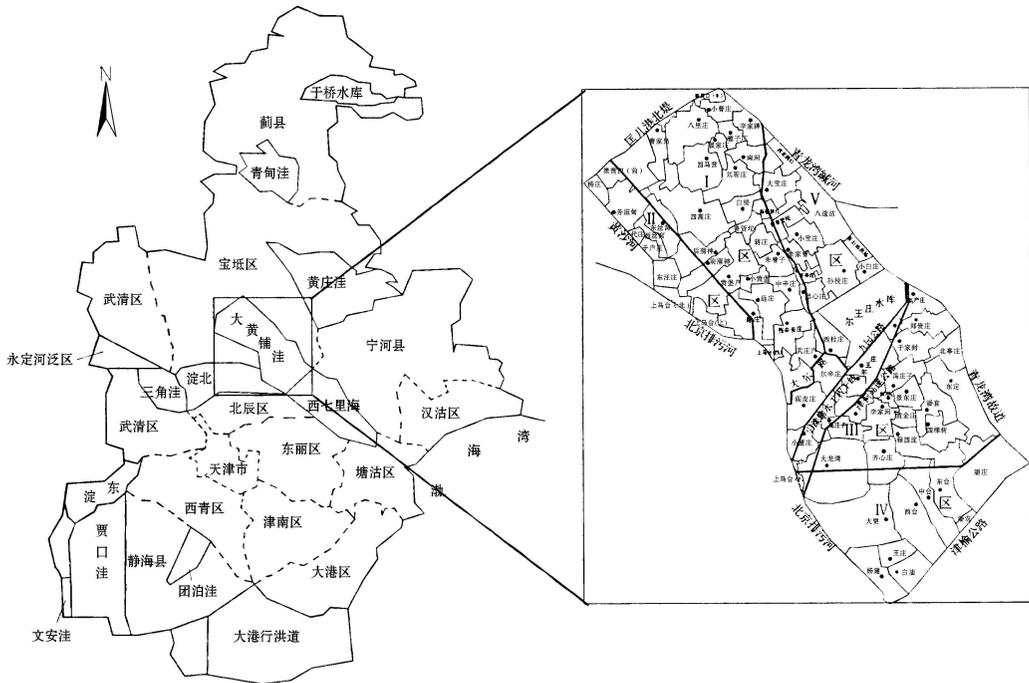


图 3 大黄铺洼滞洪分区及评价单元分布图

Fig. 3 Zoning of flood detention in Dahuangpuwa and distribution of evaluated elements

3.1 洪灾风险评价计算

在北运河 50a 一遇洪水情况下, 以研究区内被淹没的 I 区、II 区、III 区共 3 个滞洪分区内的 36 个行政村为单元进行洪灾风险综合评价。 本文分别用突变理论评价模型和模糊综合评价法进行评价, 并对两种方法的结果加以分析比较。 据相关资料和数据显示, 研究区内 36 个评价单元的历史洪水重现期 (R_4) 和预报抢

险能力 (R_{14}) 这两项指标原始数值基本相同, 因此, 这两指标在洪灾风险评价中已无实际意义, 将其剔除。所有评价单元的其它 13 项指标原始值可通过蓄滞洪区二维洪水演进模拟、实地调研统计、查阅《天津市大黃浦洼蓄滞洪区建设规划报告》《黃庄、大黃堡洼蓄滞洪区群众转移安置预案》等相关报告获取。

洪灾风险评价的对象是滞洪区内自然 - 经济 - 社会的复合系统, 指标尚无明确的统一标准, 本文在参考国家、行业及地方规定或颁布的有关标准或文件基础上, 结合研究区自然地理、水文气象条件、社会经济及其对洪灾影响的实际情况和特点, 确定各项评价指标的分级标准, 见表 2。I, II, III, IV, V 代表了微险、轻险、中险、重险、特险 5 个洪灾风险评价等级^[9], 并赋以 [0, 1] 范围内的数值区间 [0, 0.2], [0.2, 0.4], [0.4, 0.6], [0.6, 0.8], [0.8, 1.0] 作为 5 个评价等级对应的特征值变化范围, 实现洪灾风险评价等级的量化。

表 2 洪灾风险评价指标分级标准
Table 2 Standards of evaluation indices of flood risk

洪灾风险等级 及其特征值范围	I	II	III	IV	V	备注
淹没水深 /m	[0, 0.4]	[0.4, 0.8]	[0.8, 1.3]	[1.3, 2.0]	[2.0, 3.0]	> 3.0 特征值为 1.0
淹没历时 /h	[0, 60]	[60, 120]	[120, 160]	[160, 200]	[200, 250]	> 250 特征值为 1.0
年均降雨量 /mm	[0, 400]	[400, 600]	[600, 800]	[600, 800]	[1000, 1500]	> 1500 特征值为 1.0
人口密度 / (人 · km ⁻²)	[0, 50]	[50, 150]	[150, 250]	[250, 500]	[500, 1000]	> 1000 特征值为 1.0
人均 GDP / (万元 / 人)	[0, 0.8]	[0.8, 1.5]	[1.5, 2.5]	[2.5, 3.5]	[3.5, 4.5]	> 4.5 特征值为 1.0
耕地百分比 /%	[0, 10]	[20, 30]	[30, 50]	[50, 70]	[70, 100]	
户均房产 / (万元 / 户)	[0.0, 2.0]	[2.0, 4.0]	[4.0, 6.0]	[6.0, 8.0]	[8.0, 10.0]	> 10.0 特征值为 1.0
地面高程 /m	[4.0, 5.0]	[3.0, 4.0]	[2.0, 3.0]	[1.0, 2.0]	[0, 1.0]	> 5.0 特征值为 0
河湖网络 / (km ² · km ⁻²)	[0, 0.15]	[0.15, 0.30]	[0.30, 0.45]	[0.45, 0.60]	[0.60, 0.75]	> 0.75 特征值为 1.0
地物覆盖指数	[0, 1.5]	[1.5, 3.0]	[3.0, 4.5]	[4.5, 6.0]	[6.0, 7.5]	> 7.5 特征值为 1.0
撤离路线密度 / (km ² · km ⁻²)	[0.7, 1.0]	[0.5, 0.7]	[0.3, 0.5]	[0.1, 0.3]	[0.0, 0.1]	> 1.0 特征值为 0
人均避水房 / (m ² / 人)	[1.5, 3.0]	[0.8, 1.5]	[0.3, 0.8]	[0.1, 0.3]	[0.0, 0.1]	> 3.0 特征值为 0
风险分担率 /%	[70, 80]	[60, 70]	[50, 60]	[40, 50]	[0, 40]	> 80 特征值为 0
	很强	强	中等	弱	很弱	

首先, 参照表 2 中各指标分级标准及各洪灾风险等级特征值的上下限, 采用隶属度函数法, 将 36 个单元的每个指标原始值转化成 [0, 1] 范围内的模糊隶属度函数。然后, 按照上述突变理论多准则评价方法, 采用各突变系统的归一公式逐步向上综合计算, 直到算出最高层指标的突变级数。具体计算过程如下 (以大黃堡村为例):

如图 2 底层指 R_1, R_2, R_3 构成燕尾突变 (R_4 已剔除), 对于大黃堡村, R_1, R_2 的指标原始值分别为 1.625m 和 196h (根据蓄滞洪区二维洪水演进模拟结果), R_3 值为 579mm, 采用隶属度函数法, 将指标值规范化以后, R_1, R_2, R_3 的取值分别变为 0.728, 0.780, 0.379, 又它们构成燕尾突变, 故根据式 (2) 有

$$X_{R_1} = (0.728, 0.9)^{1/2} = 0.853, X_{R_2} = (0.780, 0)^{1/3} = 0.920, X_{R_3} = (0.379, 0)^{1/3} = 0.784$$

由于各控制变量之间可以互相弥补不足, 综合起来, 共同对上一层评价指标产生作用, 因此按“互补”原则, 取均值有 $B_1 = (X_{R_1} + X_{R_2} + X_{R_3}) / 3 = 0.853$ 。指标 R_5, R_6, R_7, R_8 构成蝴蝶突变, R_9, R_{10}, R_{11} 构成燕尾突变, R_{12}, R_{13}, R_{15} 构成燕尾突变 (R_{14} 已剔除), 采用前面介绍的归一公式 (3) 和 (2), 均取“互补”原则, 可计算出 $B_2 = 0.824, B_3 = 0.764, B_4 = 0.812$ 。准则层指标 B_1, B_2, B_3, B_4 构成燕尾突变, 按“互补”原则, 可计算出 $A = 0.938, A = 0.938$ 就是大黃堡村的洪灾风险等级评价价值。同理, 可求得其它 35 个评价单元的洪灾风险等级评价价值, 见表 3。

为便于分析突变理论法评价结果的可靠性, 本文将模糊综合评价法应用到上述 36 个单元的洪灾风险综合评价中, 指标的选取同突变评价法, 权重确定采用 AHP 法, 指标分级标准以及洪灾风险等级特征值划分采用表 2 数据, 见表 3。

3.2 计算结果分析

对于突变理论评价法, 计算结果的洪灾风险的等级划分, 可按如下思路来确定: 参照表 2 利用隶属度函数法转化得到的各指标隶属度取值均为正向指标, 即指标的隶属度取值愈大, 其导致的洪灾风险程度愈高。在突变评价指标体系给定的前提下, 底层指标对应的隶属度值与系统目标的评价价值应具有一定的对应关系, 所以, 当底层指标的隶属度函数值均分别取 5 个洪灾风险等级的分级界限, 即 $x_1 = 0, x_2 = 0.2, x_3 =$

0.4 $x_5 = 0.8$ $x_6 = 1.0$ 时(分别表达了微险、轻险、中险、重险、特险 5 个洪灾风险等级的临界状态),利用突变评价法进行计算,所得到的洪灾风险综合评价值 $y_1 = 0.8399$ $y_2 = 0.9040$ $y_3 = 0.9448$ $y_4 = 0.9753$ $y_5 = 1.0$ 也相应地表征了 5 个洪灾风险等级的临界态势。因此,可得到突变评价法的洪灾风险等级划分,见表 4。对于模糊综合评价法,计算结果的洪灾风险等级划分与底层单项指标的隶属度函数值分级界限一致,见表 4。

表 3 两种方法的洪灾风险评价结果

Table 3 Results of flood risk from two evaluation methods

评价单元	大黄堡	小黄堡	赵庄	陈庄	张辛安	中辛台	朱曹子	武庄户	白楼
突变法结果	0.9389	0.9232	0.9106	0.9189	0.9153	0.9175	0.9363	0.9176	0.9368
模糊法结果	0.6013	0.5219	0.4498	0.4751	0.5201	0.4839	0.5595	0.5436	0.5292
评价单元	刘靳庄	四马营	前蒲棒	后蒲棒	汪曹庄	雅子庄	翟家庄	李家牌	东丝窝
突变法结果	0.9345	0.9218	0.9416	0.9187	0.9462	0.9214	0.9456	0.9493	0.9008
模糊法结果	0.5462	0.4298	0.5853	0.4856	0.6108	0.5194	0.6002	0.6039	0.3895
评价单元	务滋甸	尔王庄	黄花淀	郑贵庄	于家堦	冯庄子	景家庄	潘套	四棵树
突变法结果	0.9075	0.9183	0.9179	0.9349	0.9155	0.9130	0.9174	0.9164	0.9007
模糊法结果	0.4387	0.5105	0.5197	0.4654	0.4599	0.4626	0.4791	0.4608	0.3593
评价单元	李家河	小宋庄	小田庄	小高庄	小龙湾	小董庄	阎皮庄	尔辛庄	北辛庄
突变法结果	0.8972	0.9179	0.9237	0.9245	0.9170	0.9397	0.9325	0.9154	0.9002
模糊法结果	0.3857	0.4883	0.5475	0.5326	0.4602	0.5594	0.5534	0.4799	0.3829

表 4 两种评价法的洪灾风险等级划分

Table 4 Gradation of flood risk from two evaluation methods

洪灾风险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
突变理论评价值	[0.0000, 0.8399]	[0.8399, 0.9040]	[0.9040, 0.9448]	[0.9448, 0.9753]	[0.9753, 1.0000]
模糊综合评价值	[0.0, 0.2]	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]	[0.6, 0.8]	[0.8, 1.0]

由表 3 和表 4 可看出,突变评价法计算结果表明: 36 个评价单元中,洪灾风险等级为轻险(II 级)的有东丝窝、四棵树、李家河和北辛庄等 4 个村庄;风险等级为重险(IV 级)的有汪曹庄、翟家庄、李家牌等 3 个村庄;其它 29 个村庄洪灾风险等级为中险(III 级),其中,风险等级属于中险偏重,即评价结果在 0.9262~0.9448(0.9262 为底层指标隶属度函数值均取 0.5 时,由突变法计算得出的系统目标综合评价值)范围的有大黄堡、朱曹子、白楼、刘靳庄、前蒲棒、郑贵庄、小董庄、阎皮庄等 8 个村庄;另外 21 个村庄洪灾风险等级属中等偏轻。模糊综合评价法表明:风险等级为重险的有 4 个村庄,其中包括了突变法得出的 3 个重险区;轻险的有 4 个村庄,与突变法完全一致;其余 28 村庄洪灾风险为中险,其中,属中险偏重的,即评价结果在 0.5~0.6 之间的有小黄堡等 14 个村庄,其它 14 个村庄洪灾风险等级属中等偏轻。

总体上,两种方法的评价结果基本一致,且与实地调研情况吻合较好。只是个别村庄(如大黄堡)评价结果有小幅差别,另外,突变法得出的风险等级为中险偏重的村庄数少于模糊综合法,这些主要是由于模糊综合评价法运用 AHP 法确定权重时过多突出了几个重要影响因子对评价结果的贡献,且主观人为性较强,而突变法将评价指标按之间的相对重要性排序,利用归一公式的内在机理突出重要因子对评价结果的贡献,同时也较好地兼顾了其它因素对评价结果的影响。比如大黄堡和尔王庄,用突变法得出的结果分别为中险偏重和中险偏轻,用模糊综合法得到的结果则为重险和中险偏重,后种方法的风险程度高于前者。根据洪水演进模拟结果及实地调研获取的信息可知,这两个村庄受洪水危险程度较高,淹没水深大、洪水历时长,且人口多、经济较富裕(尤其大黄堡),尔王庄耕地面积占很大比重。但同时这两个村庄社会承灾能力也较强,防洪救灾设施较完备,撤离路线密集宽广,建有相当面积避水房。突变法在强调主要影响因素的同时,更全面地综合了所有影响因素,评价等级稍低于模糊综合法,且无需人为确定指标权重,更值得推广应用。

4 结论

洪灾风险评价的对象是滞洪区内自然-经济-社会的复合系统,属于多准则、多层次的综合评价问题,且具有一定的模糊性和不确定性。本文构建了蓄滞洪区洪灾风险评价指标体系,并以大黄堡洼蓄滞洪区为研究区,将突变理论评价法和模糊综合评价法应用于洪灾风险综合评价中,两种方法评价结果大体相同,并与

实地调研获知的具体情况基本吻合,验证了突变评价法的合理可靠性,开辟了洪灾风险评价的新途径。

突变理论是研究非连续变化和突变(质变)现象的新兴数学学科,被誉为“微积分以后数学上的一次革命”,根据 Rene· Thom 归纳出的初等突变理论模型,只要找到一组适当的状态变量和控制变量,那么分析、了解突变现象和解剖支配系统的动力学就容易得多,这就为研究洪灾风险等级的突变现象提供了新途径。突变理论虽然证明涉及数学基础较深,但应用模型相对简单。目前,将突变理论应用于洪灾风险评价中尚少见,该方法的关键技术问题在于:(1)底层指标初始模糊隶属函数值的确定。(2)评判指标体系的分解以及同层指标按重要性的排序。(3)如何将计算出的洪灾风险总突变隶属函数值,与评语集合相对应,得出合理的解释。主要优点是:对各指标重要性的量化是根据目标在归一公式本身中的内在矛盾地位和机制确定的,不是由决策者的主观“权重”确定的,在突出重要因子对评价结果的贡献的同时,能够较好地兼顾其它影响因素的作用,从而,减少了主观人为性,增强了科学性,且计算简单,特别是将其应用于多层次复杂系统评价决策时更体现出优越性,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 王栋,潘少明,吴吉春. 洪水风险分析的研究进展与展望 [J]. 自然灾害学报, 2006 15(1): 33- 34.
- [2] 黄民生,黄呈橙. 洪灾风险评价等级模型探讨 [J]. 灾害学, 2007, 22(1): 1- 5.
- [3] 黄涛珍,王晓东. BP 神经网络在洪涝灾损失快速评估中的应用 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2003 31(4): 457- 460
- [4] Poston T, Ian Stewart Catastrophe Theory and Application [M]. Lond: Pitman, 1978 172- 191.
- [5] 都兴富. 突变理论在经济领域的应用(下册) [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1994 22- 31.
- [6] 周绍江.. 突变理论在环境影响评价中的应用 [J]. 人民长江, 2003 34(2): 52- 54
- [7] 高吉喜,中村武洋等. 洪水易损性评价—洞庭湖地区案例研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004
- [8] 冯利华. 洪水等级和灾度的初步研究 [J]. 科学(中译本), 1997 (3) : 64- 65