

文章编号: 1004- 4574( 2010) 04- 0158- 05

# 洪水灾害损失的可变模糊评价方法

徐冬梅<sup>1, 2</sup>, 陈守煜<sup>1</sup>, 邱 林<sup>3</sup>

(1 大连理工大学 水资源与防洪研究所, 辽宁 大连 116085; 2 华北水利水电学院 水利学院, 河南 郑州 450011; 3 华北水利水电学院 环境与市政工程学院, 河南 郑州 450011)

**摘 要:** 洪水灾情评价涉及人、自然、环境、社会及经济等多种因素, 是典型的多指标评价问题, 需对多因素进行综合评估。提出了一种洪水灾害损失的可变模糊评价方法, 该方法集理论的严谨性与操作的简捷性于一体, 适于处理评价标准为区间的问题, 是传统模糊评判方法的延伸。实例应用结果表明, 洪水灾害损失可变模糊评价方法评价结果的可信度高, 能够很好地对各种洪水灾情进行有效的评估, 是一种处理多因素复杂洪水灾害评价问题的新方法。

**关键词:** 洪水灾害损失; 可变模糊评价; 灾情评估

中图分类号: P426. 616 文献标识码: A

## Variable fuzzy assessment method for flood disaster loss

XU Dong-mei<sup>1, 2</sup>, CHEN Shou-yu<sup>1</sup>, QIU Lin<sup>3</sup>

(1 Water Resources and Flood Control Dalian University of Technology, Dalian 116085, China 2 Faculty of Water Conservancy Engineering North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Zhengzhou 450011, China 3 Faculty of Environmental and Municipal Engineering North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Zhengzhou 450011, China)

**Abstract** Evaluation of flood disaster loss involves all kind of factors, which consist of human, natural, environmental, social economic factors, and is a typical multi-index evaluation issue. This paper presents a variable fuzzy assessment method for flood disaster loss, the proposed method gathers the preciseness of theory and operability in practice together. It is an improvement of traditional fuzzy assessment. The results show that the technique are highly appropriate to flood disaster loss evaluation, and can be very useful for the flood disaster management and decision-making. The evaluation approach is flexible, the results are reliable, and the performance of the operation is efficient.

**Key words** flood disaster loss; variable fuzzy assessment; disaster evaluation

自然灾害是一个全球性问题, 它对发展中国家的影响尤为重要。据统计, 全世界的灾害损失中有 40% 是洪水造成的, 洪水灾害被认为是影响范围最广, 发生频数最高, 损失最为严重的少数几种自然灾害之一。在我国, 洪水灾害每年造成的经济损失已占国民经济总产值的 3.15% 左右<sup>[1]</sup>。洪水灾害损失评价是在已经获取某些灾情评价指标的基础上, 寻求各洪水灾情评价指标与洪水灾情等级之间的非线性关系, 从而对洪水灾害所造成的损失程度进行评价。灾害损失评价是防洪减灾领域的一项基础工作, 其结果是减灾决策的重要依据, 对救灾和减灾决策的制定具有重要的指导意义。

国外在洪水灾情综合评价方法研究方面做了大量工作, 我国的洪水灾害研究始于 20 世纪 80 年代。马

收稿日期: 2008- 11- 17 修订日期: 2009- 08- 23

基金项目: 水利部公益性行业科研专项 (200801015); 华北水利水电学院青年基金资助项目 (HSQJ200806); 国家自然科学基金项目 (50779005)。

作者简介: 徐冬梅 (1977- ), 女, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: xudogne@ncwu.edu.cn

宗晋<sup>[2]</sup>首先提出用 5 级灾度概念来表示灾害损失的等级, 赵阿兴<sup>[3]</sup>等人先后对自然灾害损失评估的评价指标、灾度评定进行了探讨及应用。随后相继提出了灾害损失定量评估的模糊综合评判方法<sup>[4]</sup>、灰色聚类分析法<sup>[5]</sup>、基于人工神经网络技术、遗传算法的灾情综合评价的智能模型<sup>[6-7]</sup>、投影寻踪技术<sup>[8-9]</sup>、基于免疫遗传算法的洪灾神经网络评估模型<sup>[10]</sup>等。关于评价方法的研究较多, 也取得了一些成果。然而, 洪水灾情涉及到的指标体系及影响因素具有非统一性、随机性和模糊性, 各评价方法的评价结果易产生不相容性而常常令决策者遭遇困惑, 需要探索简单实用结果稳定性高且又能充分反应系统特性的灾情评估方法, 以便能处理涉及到的模糊及不确定信息。本文基于陈守煜教授最新创立的可变模糊集理论<sup>[11-14]</sup>, 提出一种洪水灾害损失可变模糊评价方法, 该方法集成理论的严谨性及操作的简捷性于一体, 能够很好地对各种洪水灾情进行有效的评估, 是一种处理多因素复杂洪水灾害评价问题的新方法。

## 1 洪水灾害损失可变模糊评价方法

### 1.1 洪水灾害损失可变模糊评价方法

设有  $n$  个待评估灾情的洪灾区

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}. \tag{1}$$

洪水灾害的致灾因素众多, 时空变异性大, 孕灾环境和承灾体具有高维复杂等特点, 而洪水灾害损失评估的首要问题是准确合理的确定评价指标, 评价指标的合理与否直接影响到灾情等级的确定。综合考虑洪灾损失的特点, 选取受灾面积、受灾人口、破坏房屋和直接经济损失作为灾损程度评价指标。灾区  $j$  的灾情损失特性可用  $m$  个指标特征值表示如下

$$x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T, \tag{2}$$

则  $n$  个灾区的全体灾情损失特性可用  $m \times n$  阶矩阵表示

$$X = (x_{ij}). \tag{3}$$

式中:  $x_{ij}$  为第  $j$  个待评灾区第  $i$  个灾损评价指标的特征值;  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。评价过程依据  $m$  个灾损指标按  $c$  个灾级进行评价, 则有  $m \times n$  阶指标标准特征值矩阵

$$Y = (y_{ih}). \tag{4}$$

式中:  $y_{ih}$  为灾级  $h$  灾损指标  $i$  的标准特征值,  $h = 1, 2, \dots, c$ 。

参照指标标准值矩阵和实际情况确定灾害损失评价可变集合的吸引域矩阵  $I_{ab} = ([a_{ih}, b_{ih}])$  与范围域矩阵  $I_{cd} = ([c_{ih}, d_{ih}])$ , 评价吸引域  $[a_{ih}, b_{ih}]$  中  $D_A(x_{ij})_h = 1$  的点值矩阵  $M = (M_{ih})$ , 如图 1 所示。

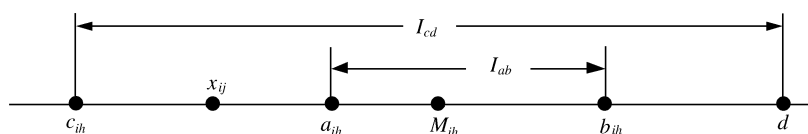


图 1 点  $x_{ij}, M_{ih}$  与区间  $I_{ab}, I_{cd}$  的位置关系图

Fig. 1 relationship of location between points  $x_{ij}, M_{ih}$  and intervals  $I_{ab}, I_{cd}$ .

$x_{ij}$  为  $I_{cd}$  区间内的任意点, 则当  $x_{ij}$  落入  $M_{ih}$  点左侧时, 相对差异函数模型为<sup>[13]</sup>

$$\begin{cases} D_A(x_{ij})_h = \left(\frac{x_{ij} - a_{ih}}{M_{ih} - a_{ih}}\right)^\beta, & x_{ij} \in [a_{ih}, M_{ih}]; \\ D_A(x_{ij})_h = \left(\frac{x_{ij} - a_{ih}}{c_{ih} - a_{ih}}\right)^\beta, & x_{ij} \in [a_{ih}, c_{ih}]. \end{cases} \tag{5}$$

$x_{ij}$  落入  $M_{ih}$  点右侧时, 其相对差异函数模型为

$$\begin{cases} D_A(x_{ij})_h = \left(\frac{x_{ij} - b_{ih}}{M_{ih} - b_{ih}}\right)^\beta, & x_{ij} \in [M_{ih}, b_{ih}]; \\ D_A(x_{ij})_h = \left(\frac{x_{ij} - b_{ih}}{d_{ih} - b_{ih}}\right)^\beta, & x_{ij} \in [b_{ih}, d_{ih}]. \end{cases} \quad (6)$$

$x_{ij}$ 落入  $I_{cd}$ 区间外时

$$D_A(x_{ij})_h = -1, \quad x_{ij} \notin [c_{ih}, d_{ih}]. \quad (7)$$

式 (5), (6)中  $\beta$  为非负指数, 常取  $\beta = 1$ , 即相对差异函数模型为线性函数,  $D_A(x_{ij})_h$  为点  $x_{ij}$  对灾情等级  $h$  的相对差异函数.  $D_A(x_{ij})_h$  确定以后, 根据式 (8) 求解指标  $i$  对  $h$  级的相对隶属度  $\mu_A(x_{ij})_h$ :

$$\mu_A(x_{ij})_h = \frac{1 + D_A(x_{ij})_h}{2}. \quad (8)$$

设  $m$  个指标的权向量为

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m), \quad (9)$$

满足  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ . 权重的确定采用陈守煜教授在中提出的有序二元比较方法<sup>[13-15]</sup>.

应用文献 [16-17] 建立的模糊可变识别模型, 样本  $j$  级别  $h$  的综合相对隶属度为

$$u'_{hj} = \frac{1}{\left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_i (1 - \mu_A(x_{ij})_h)^a]^{1/p}}{\sum_{i=1}^m [\omega_i \mu_A(x_{ij})_h]^a}\right]^{1/p}}. \quad (10)$$

式中:  $a$  为优化准则参数,  $a = 1$  为最小一乘方准则,  $a = 2$  为最小二乘方准则;  $P$  为距离参数,  $P = 1$  为海明距离,  $P = 2$  为欧氏距离;  $i$  为评价指标序号,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

由式 (10) 可得非归一化的综合相对隶属度矩阵

$$U' = (u'_{hj}). \quad (11)$$

将式 (11) 归一化处理得到综合相对隶属度矩阵

$$U = (u_{hj}), \quad (12)$$

$$\text{式中: } u_{hj} = u'_{hj} / \sum_{h=1}^c u'_{hj}. \quad (13)$$

应用级别特征值公式<sup>[15]</sup>

$$H = (1 \ 2 \ \dots \ c) \cdot U. \quad (14)$$

### 1 2 求解步骤

- (1) 根据已有观测资料及评价标准, 确定待评估灾区的灾情指标特征值与指标标准值矩阵  $X, Y$ ;
- (2) 参照指标标准值矩阵  $I$  结合实际情况确定灾害评价可变模糊集的吸引 (为主) 域矩阵与范围域矩阵  $I_{ab}, I_{cd}$ ;
- (3) 根据实际情况确定灾害评价吸引域  $I_{ab}$  中  $D_A(x_{ij})_h = 1$  的点值矩阵  $M$ ;
- (4) 根据式 (5-7) 计算相对差异度矩阵, 再由式 (8) 计算指标对  $h$  级的相对隶属度矩阵;
- (5) 通过有序二元比较法确定指标  $i$  的权向量;
- (6) 采取不同的参数  $a, p$  的组合, 利用式 (10) 求得综合相对隶属度矩阵并作归一化处理;
- (7) 求级别特征值矩阵, 根据评价标准做出灾损评价。

## 2 实例分析

新疆 1996 年 7 月发生特大洪水灾害, 约有 10 个地、州、市受灾, 灾情损失详见表 1. 选取 10 个受灾区域为研究对象, 考虑受灾面积、受灾人口、破坏房屋和直接经济损失等 4 项灾损指标, 结合新疆国民经济发展水平、人口密度等, 灾损等级划分为极重灾、重灾、中灾、轻灾和微灾 5 个等级, 各级别划分详见表 2.

表 1 新疆“96.7”洪水受灾水害损失统计表  
Table 1 Statistics of disaster loss of “96.7” flood in Xinjiang Province

编号	地区	受灾面积 / $10^4 \text{ km}^2$	受灾人口 / $10^4$ 人	破坏房屋 / $10^4 \text{ m}^2$	直接经济损失 / $10^7$ 元
1	乌鲁木齐	0 154 3	6 000	20 690	3 480
2	塔城	1 374 0	5 970	6 235	1 608
3	博州	0 260 1	4 350	2 843	0 177
4	昌吉	2 352 0	9 400	54 500	7 910
5	吐鲁番	1 667 3	2 960	58 72 8	4 946
6	哈密	0 545 8	2 620	5 105	1 826
7	巴州	1 079 2	4 540	21 713	7 880
8	克州	0 341 0	5 600	1 556	0 395
9	喀什	0 214 0	20 000	1 890	1 430
10	兵团	4 602 6	24 270	13 592	6 327

表 2 自然灾害指标和等级划分标准  
Table 2 Indices and classification criteria of natural disasters

受灾情况	极重灾	重灾	中灾	轻灾	微灾
受灾面积 / $10^4 \text{ km}^2$	> 10	[ 1 10]	[ 0 1 1]	[ 0 01 0 1]	< 0 01
受灾人口 / $10^4$ 人	> 10	[ 1 10]	[ 0 1 1]	[ 0 01 0 1]	< 0 01
破坏房屋 / $10^4 \text{ m}^2$	> 10	[ 1 10]	[ 0 1 1]	[ 0 01 0 1]	< 0 01
直接经济损失 / $10^7$ 元	> 10	[ 1 10]	[ 0 1 1]	[ 0 01 0 1]	< 0 01

由表中资料可得新疆“96.7”洪水灾害评估现状指标特征值  $X$ 、指标标准值矩阵  $Y$ ，结合各指标物理意义确定吸引域矩阵  $I_{ab}$ 、范围域矩阵  $I_{cb}$ 、点值矩阵  $M$ ，其中指标为开区间的吸引域与范围域的确定以相邻指标区间距离作为参考距离。

综合考虑各项因素确定受灾人口最为重要，以其作为标准与其它各指标进行二元比较分析，得到二元比较判断矩阵并作一致性检验，确定权重为  $\omega = (0.221, 0.331, 0.178, 0.279)$ 。

取各参数评价结果平均情况进行等级评价，将计算所得级别特征值从大到小排序，洪水灾区受损严重程度依次为：兵团、昌吉、巴州、吐鲁番、塔城、喀什、乌鲁木齐、哈密、克州、博州，可见兵团受损情况最为严重，博州受损程度较轻。从表 3 中可以看出，计算所得 4 组评价结果基本一致，级别特征值稳定在一个范围内，波动较小。不同参数组合下的评价结果稳定，从而说明了可变模糊评价法具有较高的可靠性。将上述评价结果与文献 [5] 所采用的灰色聚类法计算结果相比较，比较结果见表 3 两种方法评价结果趋势一致，灰色聚类法由于受自身理论的限制，导致白化函数无法体现各灾级内的变化，而且采用最大聚类向量法判定灾害级别存在着较大的潜在风险。可变模糊评价法用级别特征值体现灾害损失程度，评价结果以连续实数的形式精确刻画各评灾对象之间灾害损失的差异，以量化概念表征模糊事物进展程度，更加直观表征损失动态，利于确切掌握灾损的宏观信息。例如哈密，文献 [5] 中属于极重灾、重灾和中灾的聚类向量分别为 0 134 0 085 和 0 175 差别并不显著，据此判断其属于中等灾情可能造成评价结果失真，而洪水灾害损失可变模糊评价方法采用 4 组典型参数的级别特征值均值作为评判标准，结果波动较小，均值为 3 64 刚刚超过中灾，属于重灾中偏轻的灾害，使决策者更直观清晰的掌握该区域灾害的真实情况。昌吉、吐鲁番、巴州等经灰色聚类法评判属于极重灾区，3 个灾区的 4 项灾情评价指标中有 3 项都属于重灾指标，有些是刚刚达到重灾标准，有 1 项极重灾指标，据此判定为全部为极重灾，评价结果稍显悲观，且分不清 3 个灾区的受灾损失的轻重缓急。洪水灾损可变模糊法评估灾损严重程度依次为昌吉、巴州、吐鲁番，其中昌吉为重灾偏极重灾区，较其他两区更为严重，需要更为重视，而巴州、吐鲁番属于重灾区，对于损失程度大的指标应特殊考虑。以上分析及结果比对均表明，洪水灾害可变模糊评价法评估的成果更加可信可行，且操作简单，是一种快速可靠的洪水灾害评估评价方法。

表 3 可变模糊评价成果及对比  
Table 3 Result comparison of variable fuzzy evaluation

受灾区域	$a = 2, p = 1$	$a = 1, p = 1$	$a = 2, p = 2$	$a = 1, p = 2$	均值	可变模糊评判	灰色聚类法
乌鲁木齐	3.84	3.78	3.82	3.71	3.78	重灾	重灾
塔城	3.85	3.86	3.86	3.89	3.87	重灾	重灾
博州	3.29	3.29	3.31	3.32	3.30	中灾	中灾
昌吉	4.37	4.28	4.34	4.23	4.30	重灾	极重灾
吐鲁番	3.97	3.98	3.97	3.98	3.98	重灾	极重灾
哈密	3.67	3.63	3.65	3.58	3.64	重灾	中灾
巴州	4.12	4.08	4.10	4.06	4.09	重灾	极重灾
克州	3.39	3.38	3.42	3.42	3.40	中灾	中灾
喀什	3.85	3.80	4.02	3.81	3.87	中灾	中灾
兵团	4.65	4.43	4.61	4.37	4.52	极重灾	极重灾

### 3 结论

洪水灾害损失可变模糊评价方法利用相对差异函数表征受灾区域与灾情等级间的吸引特性与排斥特性,其目的在于更好的捕捉模糊信息及不确定因子;利用有序二元比较方法确定各灾损指标权重,使权重确定更简便易行。集成理论的严谨性及操作的简捷性于一体。实例应用结果表明,可变模糊评价法评价洪水灾害损失是合理的,评价结果可信用度高,方法灵活性强。最后以量化的形式表征灾害损失这一模糊事物的进展,有助于减灾决策人员及时掌握灾情,做出科学的减灾救灾决策,是进行灾情损失评估和等级划分的行之有效的新的方法。

### 参考文献:

[ 1 ] 康相武, 吴绍洪, 戴尔阜. 大尺度洪水灾害损失与影响预评估 [ J ]. 科学通报 ( 增刊 ). 2006, 51: 155- 164.  
 [ 2 ] 马宗晋. 灾害与社会 [ M ]. 北京: 地震出版社, 1990.  
 [ 3 ] 赵阿兴, 马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究 [ J ]. 自然灾害学报. 1993, 7( 3 ): 1- 7.  
 [ 4 ] 任鲁川. 灾害损失定量评估的模糊综合评判方法 [ J ]. 灾害学. 1996, 1( 4 ): 5- 10.  
 [ 5 ] 陈亚宁. 灾害损失评价的灰色聚类分析 [ J ]. 西北大学学报 ( 自然科学版 ). 1999, 29( 6 ): 551- 555.  
 [ 6 ] 魏一鸣, 万庆, 周成虎. 基于神经网络的自然灾害灾情评估模型研究 [ J ]. 自然灾害学报. 1997, 6( 2 ): 1- 6.  
 [ 7 ] 金菊良, 魏一鸣, 杨晓华. 基于遗传算法的洪水灾情评估神经网络模型 [ J ]. 灾害学. 1998, 13( 2 ): 6- 11.  
 [ 8 ] 王顺久, 张欣莉, 侯玉. 洪水灾情投影寻踪评估模型 [ J ]. 水文. 2002, 22( 4 ): 1- 4.  
 [ 9 ] 金菊良, 张欣莉. 评价洪水灾情等级的投影寻踪模型 [ J ]. 系统工程理论与实践. 2002, 140- 144.  
 [ 10 ] 高燕, 陈云, 永生等. 基于免疫遗传算法的洪水神经网络评估模型 [ J ]. 自然灾害学报. 2006, 15( 1 ): 110- 114.  
 [ 11 ] 陈守煜. 工程可变模糊集理论与模型 - 模糊水文水资源学数学基础 [ J ]. 大连理工大学学报. 2005, 45( 2 ): 308- 312.  
 [ 12 ] 陈守煜. 可变模糊集理论哲学基础 [ J ]. 大连理工大学学报 ( 社会科学版 ). 2005, 26( 1 ): 53- 57.  
 [ 13 ] 陈守煜. 可变模糊集理论兼论可拓集的数学与逻辑错误 [ J ]. 大连理工大学学报. 2007, 47( 4 ): 620- 624.  
 [ 14 ] 陈守煜. 模糊可变集合与可变模糊识别模型兼论可拓集合的数学逻辑错误 [ M ] / 数学及其应用. 北京: 原子能出版社, 2007.  
 [ 15 ] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用 [ M ]. 北京: 国防工业出版社, 1998.  
 [ 16 ] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用 [ M ]. 长春: 吉林大学出版社, 2002.  
 [ 17 ] 陈守煜. 水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法 [ M ]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005.