

# 基于组合权重的模糊可变模型及在防洪风险评价中应用

刘 冀, 王本德\*

(大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 针对以往防洪工程体系风险评价中多采用主观权重法确定各评价指标权重的不足, 提出基于主客观组合权重的模糊可变模式识别模型. 模型采用投影寻踪法计算客观权重, 在投影目标函数中引入信息熵, 投影值计算采用可变模糊集模型, 从而增加了模型的可靠性. 对于主客观权重的组合方法, 模型采用最小鉴别信息原理推导出主客观权重组合公式. 计算实例表明, 该模型能较好地考虑评价指标的主客观权重, 模型识别结果稳定、有效.

**关键词:** 可变模糊集; 组合权重; 防洪工程体系; 风险评价; 投影寻踪; 信息熵

**中图分类号:** TV87; O159 **文献标志码:** A

## 0 引言

防洪体系由旨在减少洪水灾害的各种工程措施和非工程措施组成. 工程措施主要包括水库、堤防、塘坝、蓄滞洪区等. 洪水风险是不可能完全消除的, 因此, 任何防洪工程措施都不同程度地存在一定的风险, 特别是随着风险区内社会经济的飞速发展, 相同量级的洪水将造成更大的损失. 我国的防洪工程体系正处于不断的发展完善之中, 防洪工程体系中包括众多的子系统, 其相互关联, 风险分析较为复杂, 因此, 针对防洪工程体系的风险评估方法相对落后. 纪昌明等<sup>[1]</sup>建立了防洪工程体系综合风险评价的物元模型; 程卫帅等<sup>[2]</sup>定义了防洪体系的失事序列, 并基于失事序列建立了防洪体系系统风险评估模型; 陈守煜<sup>[3]</sup>创立了防洪工程体系综合评判的可变模糊集方法. 但在以往研究中, 各评价指标的权重确定多采用主观方法, 然后进行相应的风险综合识别, 此类方法存在较大的主观性和人为干扰因素, 且未能体现决策矩阵自身所暴露出的各评价指标对决策的贡献量大小, 因此没能充分利用决策矩阵提供的信息.

针对上述问题, 本文建立基于主、客观组合权重的模糊可变模式识别模型, 模型采用投影寻踪 (projection pursuit, PP) 方法计算评价指标的客观权重, 并建立模糊可变一维投影值计算公式,

PP 法的求解采用实数编码加速遗传算法. 在进行主、客观权重组合时采用最小鉴别信息原理, 从而推导出权重组合公式.

## 1 基于主客观组合权重的模糊可变识别模型

### 1.1 模糊可变风险识别模型

风险具有模糊性, 评定各风险量级的标准通常为—区间, 因此, 防洪工程体系的风险识别问题属于模糊识别问题. 针对防洪工程体系的风险识别问题, 本文采用可变模糊集方法<sup>[3]</sup>进行识别, 该方法能够科学、合理地确定样本指标对各级指标标准区间的相对隶属度和相对隶属函数, 并且能够通过变化模型参数, 综合确定样本所处的风险等级, 从而提高对样本等级评价的可信度.

**定义 1** 设论域  $U$  上的对立模糊概念, 以  $\tilde{A}$  与  $\tilde{A}^c$  表示吸引与排斥性质, 对  $U$  中的任意元素  $u$ ,  $u \in U$ , 在参考连续统区间  $[1, 0]$  (对  $\tilde{A}$ ) 与  $[0, 1]$  (对  $\tilde{A}^c$ ) 的任一点上, 吸引与排斥的相对隶属度分别为  $\mu_{\tilde{A}}(u)$ 、 $\mu_{\tilde{A}^c}(u)$ , 满足  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(u) \leq 1, 0 \leq \mu_{\tilde{A}^c}(u) \leq 1$ , 且  $\mu_{\tilde{A}}(u) + \mu_{\tilde{A}^c}(u) = 1$ .

采用模糊可变识别模型(1)可得到  $u$  对各级别  $h$  的综合相对隶属度  $\nu_{\tilde{A}}(u)_h$ :

收稿日期: 2006-12-15; 修回日期: 2009-02-12.

基金项目: 国家科技支撑计划课题资助项目(2006BAB14B05).

作者简介: 刘 冀(1980-), 男, 博士, E-mail: syaulj1980@yahoo.com.cn; 王本德\*(1938-), 男, 教授, 博士生导师.

$$v_{\tilde{A}}(u)'_h = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_i (1 - \mu_{\tilde{A}}(u)_{ih})]^p}{\sum_{i=1}^m [\omega_i \mu_{\tilde{A}}(u)_{ih}]^p} \right\}^{\frac{\alpha}{p}}} \quad (1)$$

式中  $\omega_i$  为第  $i$  个指标的权重。由此或见,式(1)有 2 个参数  $(\alpha, p)$ ,  $\alpha$  为模型优化准则参数,  $\alpha = 1$  为最小一乘方准则,  $\alpha = 2$  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, 故此模型的参数有 4 种组合, 是一个变化的模型。将  $v_{\tilde{A}}(u)'_h$  归一化得到  $v_{\tilde{A}}(u)_h$ , 应用级别特征值式(2)便可得到  $u$  所属级别。

$$H = (1 \quad 2 \quad \dots \quad c) \times v_{\tilde{A}}^T(u)_h \quad (2)$$

### 1.2 基于投影寻踪的客观权重计算方法

投影寻踪的基本思路是:把高维数据通过某种组合投影到低维子空间上,对于投影得到的构形,采用投影指标函数(目标函数)来衡量投影暴露某种特征结构的可能性大小,寻找出使投影指标函数达到最优(即能反映高维数据结构或特征)的投影值<sup>[4]</sup>。投影方向向量反映了各个指标对投影值的贡献大小,因而,各方向的投影向量归一化后可作为评价指标的权重。由于投影向量直接通过决策矩阵求得,不含任何主观因素,可作为客观权重。

投影寻踪方法就是把矩阵  $\mu_{\tilde{A}}(u)_{mh}$  综合成以  $a = (a(1), a(2), \dots, a(m))$  为单位长度投影方向的一维投影值  $p_j(i)$ , 本文采用模糊可变速别式(3)作为投影值计算公式,即

$$p_j(i) = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [a(i) \cdot (1 - \mu_{\tilde{A}}(u)_{ih})]^p}{\sum_{i=1}^m [a(i) \cdot \mu_{\tilde{A}}(u)_{ih}]^p} \right\}^{\frac{\alpha}{p}}} \quad (3)$$

式(3)中  $a(i)$  满足约束:  $a(i) > 0, \sum_{i=1}^m a^2(i) = 1$ 。

构造投影目标函数:

$$F(a) = S(a) \cdot D(a) \cdot E(a) \quad (4)$$

$$D(a) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^h (R - r_{ij}) [u(R - r_{ij})] \quad (5)$$

$$E(a) = - \sum_{i=1}^m a^2(i) \ln a^2(i) \quad (6)$$

式中:  $S(a)$  为投影值  $p_j(i)$  的标准差;  $D(a)$  为  $p_j(i)$  的局部密度,  $r_{ij} = |p_j(i) - p_j(j)|$ ,  $u(t)$  为单位阶跃函数, 当  $t < 0$  时  $u(t) = 0$ , 否则  $u(t) = 1$ ,  $R$  一般取 0.1S;  $E(a)$  为  $a^2(i)$  的信息熵, 熵值越大意味着人为添加的约束和假定越少。

采用加速遗传算法<sup>[5]</sup> 求解式(7)、(8)便可得出  $a(i)$ , 于是得到各指标的客观权重  $\omega_2(j) = a^2(j)$ 。

$$\max F(a) = S(a) \cdot D(a) \cdot E(a) \quad (7)$$

$$\text{s. t. } a(i) > 0, \sum_{i=1}^m a^2(i) = 1$$

### 1.3 主客观权重组合方法

设主观权重向量为  $w_1$ , 客观权重向量为  $w_2$ , 组合权重为  $w$ 。依据最小鉴别信息原理<sup>[6]</sup>, 应使组合权重  $w(i)$  与  $w_1(i)$ 、 $w_2(i)$  尽可能地接近, 为此建立如下目标函数:

$$\min F = \sum_{i=1}^m w(i) \left[ \ln \frac{w(i)}{w_1(i)} \right] + \sum_{i=1}^m w(i) \left[ \ln \frac{w(i)}{w_2(i)} \right] \quad (8)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w(i) = 1; w(i) > 0$$

采用拉格朗日乘子法求解上述问题, 可得

$$w(i) = \frac{[w_1(i) w_2(i)]^{0.5}}{\sum_{i=1}^m [w_1(i) w_2(i)]^{0.5}} \quad (9)$$

将组合权重代入式(1)中求出  $v_{\tilde{A}}(u)'_h$ , 并进行归一化, 按式(2)计算便可得到样本所处级别。

## 2 实 例

引用文献[1]中防洪工程体系各组成部分的风险指标与风险分级, 见表 1。

表 1 防洪工程体系风险指标及分级

Tab. 1 Risk indexes and classification of flood control engineering system

风险分级	水库 综合风险率	堤防 风险度	蓄滞洪区 洪灾风险度	湖泊 洪灾风险度	河道工程 糙率变化率
微险	0~0.25	0~0.25	0~0.25	1~5	-0.070~-0.045
轻险	0.25~0.50	0.25~0.50	0.25~0.50	5~7	-0.045~-0.025
中险	0.50~0.75	0.50~0.75	0.50~0.75	7~9	-0.025~0.010
重险	0.75~0.90	0.75~0.90	0.75~0.90	9~10	0.010~0.045
特险	0.90~1.00	0.90~1.00	0.90~1.00	10~12	0.045~0.070

设待评价样本的相应各项指标值为  $x_i = (0.189 \ 0.268 \ 0.313 \ 6.200 \ 0.019)$ . 采用本文建立的模糊可变主观组合权重识别模型进行

样本风险级别辨识, 步骤如下:

首先构造模糊可变集合评价方法的各项参数  $(a, b, c, d, M)$  取值矩阵:

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [0, 0.25] & [0.25, 0.50] & [0.50, 0.75] & [0.75, 0.90] & [0.90, 1.00] \\ [0, 0.25] & [0.25, 0.50] & [0.50, 0.75] & [0.75, 0.90] & [0.90, 1.00] \\ [0, 0.25] & [0.25, 0.50] & [0.50, 0.75] & [0.75, 0.90] & [0.90, 1.00] \\ [1, 5] & [5, 7] & [7, 9] & [9, 10] & [10, 12] \\ [-0.07, -0.045] & [-0.045, -0.025] & [-0.025, 0.01] & [0.01, 0.045] & [0.045, 0.07] \end{bmatrix}$$

$$I_{cd} = \begin{bmatrix} [0, 0.50] & [0, 0.75] & [0.25, 0.90] & [0.50, 1.00] & [0.75, 1.00] \\ [0, 0.50] & [0, 0.75] & [0.25, 0.90] & [0.50, 1.00] & [0.75, 1.00] \\ [0, 0.50] & [0, 0.75] & [0.25, 0.90] & [0.50, 1.00] & [0.75, 1.00] \\ [1, 7] & [1, 9] & [5, 10] & [7, 12] & [9, 12] \\ [-0.07, -0.025] & [-0.07, 0.01] & [-0.045, 0.045] & [-0.025, 0.07] & [0.01, 0.07] \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.625 & 0.90 & 1.00 \\ 0 & 0.25 & 0.625 & 0.90 & 1.00 \\ 0 & 0.25 & 0.625 & 0.90 & 1.00 \\ 1 & 5 & 8 & 10 & 12 \\ -0.07 & -0.045 & -0.0075 & 0.045 & 0.07 \end{bmatrix}$$

根据矩阵  $I_{ab}$ 、 $I_{cd}$ 、 $M$  与判断评价指标  $x_i$  落入  $M$  点的左侧或右侧, 计算指标对各等级标准的相对隶属度

二元比较法<sup>[3]</sup> 确定, 为便于比较采用文献[3]中确定的各指标权向量  $w_1 = (0.141 \ 0.276 \ 0.181 \ 0.373 \ 0.030)$  作为主观权重. 客观权重  $w_2$  按 1.2 节方法计算得到, 由式(9) 可计算得到组合权重  $w$ , 结果见表 2.

将  $w$  代入式(1) 中, 通过变换与之相应的不同参数组合可解得综合相对隶属度, 经归一化后应用级别特征值公式(2) 便可得到此样本的级别特征值  $H_i$ , 见表 3.

$$\mu_{\tilde{A}}(u)_{m_i} = \begin{bmatrix} 0.622 & 0.378 & 0 & 0 & 0 \\ 0.464 & 0.964 & 0.036 & 0 & 0 \\ 0.374 & 0.874 & 0.126 & 0 & 0 \\ 0.200 & 0.700 & 0.300 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.372 & 0.628 & 0.129 \end{bmatrix}$$

主观权重由专家经验直接给出或者通过有序

表 2 不同参数组合下的组合权重

Tab. 2 Combined weights of different parameters combination

评价指标	$\alpha = 1, p = 1$		$\alpha = 1, p = 2$		$\alpha = 2, p = 1$		$\alpha = 2, p = 2$	
	$w_2$	$w$	$w_2$	$w$	$w_2$	$w$	$w_2$	$w$
水库综合风险率	0.179 8	0.163 2	0.065 8	0.101 3	0.201 9	0.179 0	0.163 4	0.166 4
堤防风险度	0.309 8	0.299 8	0.376 1	0.339 1	0.334 9	0.322 6	0.456 4	0.389 1
蓄滞洪区风险度	0.271 5	0.227 3	0.359 2	0.268 3	0.334 1	0.260 9	0.309 3	0.259 4
湖泊风险度	0.238 4	0.305 7	0.198 1	0.286 1	0.128 2	0.232 0	0.067 6	0.174 1
河道工程糙率变化率	0.000 5	0.004 0	0.000 8	0.005 2	0.000 9	0.005 5	0.003 3	0.011 0

表 3 不同模型参数组合下的评价结果

Tab. 3 Assessment results of different model parameters combination

项目	级别特征值	评价级别
$\alpha = 1, p = 1$	1.807	2
$\alpha = 1, p = 2$	1.858	2
$\alpha = 2, p = 1$	1.760	2
$\alpha = 2, p = 2$	1.735	2

故该流域的防洪工程体系综合风险评价等级为 II 级, 与文献[3]中仅采用主观权重的评价结果一致. 同时, 由表 3 易知, 虽然变换了模型的参数, 但评价结果稳定, 显示出了本模型的稳定性和有效性.

### 3 结 语

本文提出的基于主客观权重组合的模糊可变识别模型,能够将决策矩阵自身提供的信息和决策者的主观参与有机地结合起来,充分体现了决策的科学性.模型采用投影寻踪方法计算评价指标的客观权重,通过在投影目标函数中引入信息熵,采用模糊可变模型作为投影值计算公式,从而增加了模型计算结果的稳定性.对于主客观权重的组合,依据最小鉴别信息原理得到权重组合公式.计算实例表明,采用本模型进行防洪工程体系风险识别具有科学、有效、稳定的优点,模型具有一定的应用价值.

### 参考文献:

- [1] 纪昌明,李继清,张玉山. 防洪工程体系综合风险评价的物元模型[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(1):86-90
- [2] 程卫帅,陈 进. 防洪体系系统风险评估模型研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(1):114-120
- [3] 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
- [4] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京:科学出版社, 2002
- [5] 金菊良,杨晓华,丁 晶. 基于实数编码的加速遗传算法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2000, 32(4):20-24
- [6] 朱雪龙. 应用信息论基础[M]. 北京:清华大学出版社, 2001

## Variable fuzzy model based on combined weights and its application to risk assessment for flood control engineering

LIU Ji, WANG Ben-de\*

( School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China )

**Abstract:** Considering the disadvantages of using subjective weights in the former studies for the risk assessment of the flood control engineering system, the variable fuzzy pattern recognition model based on the combination of the subjective and objective weights is developed. Projection pursuit (PP) method is employed to calculate the objective weights in the model, and the information entropy is considered in the PP object function. The model's reliability is improved due to using variable fuzzy sets model for the projection value calculation. The combined weights formulas are obtained based on the minimum discriminating information principle. The case shows that subjective and objective weights can be taken into account comprehensively in the presented model, and the identification result is stable and valid.

**Key words:** variable fuzzy sets (VFS); combined weights; flood control engineering system; risk assessment; projection pursuit; information entropy