

基于带有 3 种否定的模糊集 FScom 的自然灾害灾情评估模型研究^①

杨 磊¹, 潘正华²

1. 兴义民族师范学院 数学科学学院, 贵州 兴义 562400; 2. 江南大学 理学院, 江苏 无锡 214122

摘要: 提出基于带有 3 种否定的模糊集 FScom 的自然灾害灾情评估模型, 将该方法应用到雾灾灾情评估中去, 并将所得的结果与灰色关联度法的评价结果进行对比分析, 说明该模型的评价结果更符合实际.

关键词: 模糊集 FScom; 模糊综合评判; 语气算子; 自然灾害

中图分类号: O159 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2017)09-0095-07

近些年, 不少学者从定性和定量两方面着手对自然灾害灾情的评估指标体系和灾情等级划分进行研究^[1-4], 并采用聚类分析法^[5-6]、模糊模式识别法^[7-8]、灰色关联度法^[9-10]、模糊综合评判法^[11-12]、层次分析法^[13]、神经网络法^[14-15]等方法对自然灾害灾情作出评估.

自然灾害具有多等级, 这些等级间具有不同的否定关系, 而上述的灾情评估方法都不能对自然灾害多等级间的关系进行分析处理. 原因在于上述所有方法是以经典集合、zadeh 模糊集及其拓展模糊集为理论基础, 只有一种否定关系. 然而, 这些多等级间的关系可以用具有 3 种否定关系(矛盾否定关系、对立否定关系以及中介否定关系)的模糊集 FScom^[16]进行描述与处理. 本文对灾害灾情评估方法进行探索, 提出基于 FScom 集理论的自然灾害灾情评估模型, 给出了该方法在雾灾灾情评估中的应用, 并将所得结果与灰色关联度法的评价结果进行对比分析, 说明该模型是合理、有效的.

1 理论知识

1.1 FScom 集的基本概念

定义 1^[16] 设 U 是论域. 映射 $\Psi_A: U \rightarrow [0, 1]$. 确定 U 上的一个模糊子集 A , 映射 Ψ_A 称为 A 的隶属函数, $\Psi_A(x)$ 称为 x 对于 A 的隶属程度(简称隶属度), 记为 $A(x)$.

定义 2^[16] 设 A 是 U 上的模糊子集, $\lambda \in (0, 1)$.

1) 映射 $\Psi^\neg: \{A(x) \mid x \in U\} \rightarrow [0, 1]$. 若 $\Psi^\neg(A(x)) = 1 - A(x)$, 则 Ψ^\neg 确定了 U 上的一模糊子集(记作 A^\neg), $\Psi^\neg(A(x))$ 记为 $A^\neg(x)$, A^\neg 称为 A 的“对立否定集”.

2) 映射 $\Psi^\sim: \{A(x) \mid x \in U\} \rightarrow [0, 1]$. 若

① 收稿日期: 2016-10-09

基金项目: 贵州省教育厅自然科学研究青年项目(黔教合 KY 字[2014]319); 国家自然科学基金资助项目(60973156, 61375004); 贵州省教育厅自然科学研究重点项目(黔教合 KY 字[2015]408); 黔西南州科技计划项目(2015-1-51).

作者简介: 杨 磊(1988-), 男, 四川南充人, 讲师, 主要从事模糊集理论、非经典逻辑及其推理与应用的研究.

$$\Psi^{\sim}(A(x)) = \begin{cases} \frac{2\lambda - 1}{1 - \lambda}(A(x) - \lambda) + 1 - \lambda & \text{当 } \lambda \in \left[\frac{1}{2}, 1\right) \text{ 且 } A(x) \in (\lambda, 1] & (1) \\ \frac{2\lambda - 1}{1 - \lambda}A(x) + 1 - \lambda & \text{当 } \lambda \in \left[\frac{1}{2}, 1\right) \text{ 且 } A(x) \in [0, 1 - \lambda) & (2) \\ \frac{1 - 2\lambda}{\lambda}A(x) + \lambda & \text{当 } \lambda \in \left(0, \frac{1}{2}\right] \text{ 且 } A(x) \in [0, \lambda) & (3) \\ \frac{1 - 2\lambda}{\lambda}(A(x) + \lambda - 1) + \lambda & \text{当 } \lambda \in \left(0, \frac{1}{2}\right] \text{ 且 } A(x) \in (1 - \lambda, 1] & (4) \\ \text{Max}(A(x), 1 - A(x)) & \text{其它} & (5) \end{cases}$$

则 Ψ^{\sim} 确定了 U 上的一模糊子集(记作 A^{\sim}), $\Psi^{\sim}(A(x))$ 记为 $A^{\sim}(x)$, A^{\sim} 称为 A 的“中介否定集”.

3) 映射 $\Psi^{\neg}: \{A(x) \mid x \in U\} \longrightarrow [0, 1]$. 若 $\Psi^{\neg}(A(x)) = \text{Max}(A^{\neg}(x), A^{\sim}(x))$, 则 Ψ^{\neg} 确定了 U 上的一模糊子集(记作 A^{\neg}), $\Psi^{\neg}(A(x))$ 记为 $A^{\neg}(x)$, A^{\neg} 称为 A 的“矛盾否定集”.

以上定义的论域 U 上的模糊子集, 我们称为“具有矛盾否定、对立否定和中介否定的模糊集”, 简记为 FScom (Fuzzy Sets with Contradictory negation, Opposite negation and Medium negation).

1.2 语气算子

语气算子^[17] 是一个映射 $H_{\alpha}: F(U) \longrightarrow F(U) (\alpha > 0)$, 论域 U 上的模糊集 A 经过其作用变换成模糊集 $H_{\alpha}A$, 二者的关系是: $(H_{\alpha}A)(u) = [A(u)]^{\alpha}$.

当 $\alpha > 1$ 时, 称为集中化算子; 当 $\alpha < 1$ 时, 称为散漫化算子.

特别地, 当 $\alpha = 4$ 时, H_4 叫“极”; 当 $\alpha = 2$ 时, H_2 叫“很”; 当 $\alpha = 0.75$ 时, $H_{0.75}$ 叫“比较”; 当 $\alpha = 0.5$ 时, $H_{0.5}$ 叫“有点”或者“略”; 当 $\alpha = 0.25$ 时, $H_{0.25}$ 叫“微”或者“稍微有点”.

同一个语气词作用在一对对立模糊集上, 得到的还是一对对立模糊集.

下面以模糊集 FScom 及其模糊综合评判^[18] 为理论基础, 并结合语气算子来建立一种自然灾害灾情评估模型.

2 基于 FScom 集理论的自然灾害灾情评估模型

2.1 建立因素集与评判集

2.1.1 用 FScom 集理论对灾害等级间的关系进行表示

自然灾害具有多等级, 并且这些等级间具有不同的否定关系. 具有 3 种否定的模糊集 FScom 可以指出模糊信息中具有 3 种否定关系: 矛盾否定关系、对立否定关系以及中介否定关系, 能很好表示与处理这些灾害等级之间的关系.

2.1.2 建立因素集和评判集

1) 因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$: 由评估指标构成, u_i 表示第 i 个评估指标 ($i = 1, 2, \dots, m$);

2) 评判集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$: 由灾害等级构成, v_j 表示第 j 个灾害等级 ($j = 1, 2, \dots, n$), 按照从轻到重或者从重到轻进行排列.

2.2 求各对象的评判矩阵

2.2.1 建立各指标等级的隶属函数

隶属函数是一个 Fuzzy 映射 $f: U \rightarrow F(V)$

$$u_i \mid \longrightarrow f(u) = \frac{r_{i1}}{v_1} + \frac{r_{i2}}{v_2} + \dots + \frac{r_{in}}{v_n}$$

建立各指标关于各等级的隶属函数分 3 步:

1) 根据评估指标中的数据建立单项指标 u_i 关于一个灾害等级 v_j ($j \neq 1, n$) 的隶属函数;

2) 关于单项指标 u_i : 与灾害等级 v_j 具有不同否定关系的灾害等级, 由 FScom 集定义(定义 2)可知, 只需要确定参数就可确定其隶属函数;

3) 关于单项指标 u_i : 由语气词作用在灾害等级 v_j 上得到的灾害等级, 其隶属函数可由语气算子 H_α 表示。

在评估体系中有 m 个评估指标, 每个评估指标有对应的 n 个等级, 要计算一个对象对于每个指标的每个等级的隶属度, 就需要建立相应的隶属函数:

- 1) 以 zadeh 模糊集及其拓展模糊集为理论基础的模糊综合评判中需要建立 $m \times n$ 个隶属函数;
- 2) 以模糊集 FScom 为理论基础的模糊综合评判中只需要建立 m 个隶属函数, 但需要计算参数 λ 。

2.2.2 求各对象的评判矩阵

设对象集 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_p\}$, 求出对象 $t_k (k=1, 2, \dots, p)$ 的关于单项指标 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 对于灾害等级 $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 在 $[0, 1]$ 区间上的隶属度 r_{ij} , 由此得出对象 t_k 的评判矩阵 $\mathbf{R}_k = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

2.3 得出评判结果

2.3.1 确定权重集

权重反映各因素对于对象的重要程度, 对各个因素应赋予相应的权数 a_i , 得到权重向量 $\mathbf{A} = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, 其中 $a_i \geq 0, a_1 + a_2 + \dots + a_m = 1$ 。

2.3.2 得出各对象的评判集

通过运算:
$$c_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^m a_i \cdot r_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_i \cdot (\sum_{l=1}^n r_{il} - r_{ij})} \quad (j=1, 2, \dots, n)$$
 得出对象 t_k 的评判集 $C_k = \{c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kn}\}$ 。

由最大隶属度原则, 可得出该对象的灾情等级。

3 在雾灾灾情评估中的应用

雾灾灾害的主要评价指标与灾害等级划分标准^[19] 如下:

表 1 雾灾灾害等级和各指标分级标准

灾害等级	死亡人数 / 人	受伤人数 / 人	受灾面积 / 万 km ²	大雾持续时间 / h	直接经济损失 / 万元
极重灾	[100, +∞)	[300, +∞)	[8, 10)	[24, +∞)	[10 ⁵ , +∞)
重灾	[30, 100)	[100, 300)	[6, 8)	[18, 24)	[10 ⁴ , 10 ⁵)
中灾	[3, 30)	[30, 100)	[4, 6)	[12, 18)	[10 ³ , 10 ⁴)
小灾	[1, 3)	[10, 30)	[2, 4)	[6, 12)	[10 ² , 10 ³)
微灾	0	[1, 10)	[0, 2)	[0, 6)	[10, 10 ²)

4 个地区 4 次雾灾灾情^[19] 如下:

表 2 4 个地区雾灾情况

地区编号	死亡人数 / 人	受伤人数 / 人	受灾面积 / 万 km ²	大雾持续时间 / h	直接经济损失 / 万元
1	15	28	4.7	9	1 000
2	3	11	1.5	7	400
3	8	17	3.6	18	1 800
4	35	68	8.3	36	3 000

现对 4 次雾灾灾情进行评判。

3.1 建立因素集与评判集

5 个灾害等级: “极重灾”、“重灾”、“中灾”、“小灾”、“微灾” 是 5 个不同的模糊集, 用模糊集 FScom 描述它们之间的关系:

- 1) “小灾”与“重灾”互为对立否定, “中灾”是“重灾”与“小灾”的中介否定集;
- 2) “极重灾”是将语气词“极”作用在“重灾”上得到的;

3) “微灾”即“微小灾”是将语气词“微”作用在“小灾”上得到的.

根据 FScom 集与语气算子的定义, 这 5 个模糊集可表示为: v 表示模糊集“重灾”; v^\neg 表示模糊集“小灾”; v^\sim 表示模糊集“中灾”; H_4v 表示模糊集“极重灾”; $(H_{0.25}v)^\neg$ 表示模糊集“微灾”.

由此建立如下因素集和评判集:

1) 因素集 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$, 其中: u_1 表示死亡人数, u_2 表示受伤人数, u_3 表示受灾面积, u_4 表示大雾持续时间, u_5 表示直接经济损失;

2) 评判集 $V = \{H_4v, v, v^\sim, v^\neg, (H_{0.25}v)^\neg\}$.

3.2 求评判矩阵

3.2.1 建立单项指标等级的隶属函数

对于评价指标死亡人数, 建立模糊集“重灾”的隶属函数为(x 单位为人):

$$v(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 2 \\ 1 - \frac{(31-x)}{(31-2)} & 2 < x < 31 \\ 1 & x \geq 31 \end{cases} \quad (6)$$

根据 FScom 集定义可知: 模糊集“中灾”的隶属函数为 $v^\sim(x)$; 模糊集“小灾”是模糊集“重灾”的对立否定, 其隶属函数为 $v^\neg(x) = 1 - v(x)$. 由语气算子定义可知: 模糊集“极重灾”的隶属函数为: $(H_4v)(x) = [v(x)]^4$; 模糊集“微灾”的隶属函数为 $(H_{0.25}v)^\neg(x) = 1 - (H_{0.25}v)(x) = 1 - [v(x)]^{0.25}$.

对于评价指标受伤人数, 建立模糊集“重灾”的隶属函数为(y 单位为人):

$$v(y) = \begin{cases} 0 & y \leq 12 \\ 1 - \frac{(102-y)}{(102-12)} & 12 < y < 102 \\ 1 & y \geq 102 \end{cases} \quad (7)$$

根据 FScom 集定义可知: 模糊集“中灾”的隶属函数为 $v^\sim(y)$; 模糊集“小灾”是模糊集“重灾”的对立否定, 其隶属函数为 $v^\neg(y) = 1 - v(y)$. 由语气算子定义可知: 模糊集“极重灾”的隶属函数为 $(H_4v)(y) = [v(y)]^4$; 模糊集“微灾”的隶属函数为 $(H_{0.25}v)^\neg(y) = 1 - (H_{0.25}v)(y) = 1 - [v(y)]^{0.25}$.

对于评价指标受灾面积, 建立模糊集“重灾”的隶属函数为(z 单位为万 km^2):

$$v(z) = \begin{cases} 0 & z \leq 2.1 \\ 1 - \frac{(6.1-z)}{(6.1-2.1)} & 2.1 < z < 6.1 \\ 1 & z \geq 6.1 \end{cases} \quad (8)$$

根据 FScom 集定义可知: 模糊集“中灾”的隶属函数为 $v^\sim(z)$; 模糊集“小灾”是模糊集“重灾”的对立否定, 其隶属函数为 $v^\neg(z) = 1 - v(z)$. 由语气算子定义可知: 模糊集“极重灾”的隶属函数为 $(H_4v)(z) = [v(z)]^4$; 模糊集“微灾”的隶属函数为 $(H_{0.25}v)^\neg(z) = 1 - (H_{0.25}v)(z) = 1 - [v(z)]^{0.25}$.

对于评价指标大雾持续时间, 建立模糊集“重灾”的隶属函数为(t 单位为 h):

$$v(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 7 \\ 1 - \frac{(19-t)}{(19-7)} & 7 < t < 19 \\ 1 & t \geq 19 \end{cases} \quad (9)$$

根据 FScom 集定义可知: 模糊集“中灾”的隶属函数为 $v^\sim(t)$; 模糊集“小灾”是模糊集“重灾”的对立否定, 其隶属函数为 $v^\neg(t) = 1 - v(t)$. 由语气算子定义可知: 模糊集“极重灾”的隶属函数为 $(H_4v)(t) = [v(t)]^4$; 模糊集“微灾”的隶属函数为 $(H_{0.25}v)^\neg(t) = 1 - (H_{0.25}v)(t) = 1 - [v(t)]^{0.25}$.

对于评价指标直接经济损失, 建立模糊集“重灾”的隶属函数为(w 单位为万元):

$$v(w) = \begin{cases} 0 & w \leq 110 \\ 1 - \frac{(10\ 500 - w)}{(10\ 500 - 110)} & 110 < w < 10\ 500 \\ 1 & w \geq 10\ 500 \end{cases} \quad (10)$$

根据 FScom 集定义可知: 模糊集“中灾”的隶属函数为 $v^-(w)$; 模糊集“小灾”是模糊集“重灾”的对立否定, 其隶属函数为 $v^+(w) = 1 - v(w)$. 由语气算子定义可知: 模糊集“极重灾”的隶属函数为 $(H_4 v)(w) = [v(w)]^4$; 模糊集“微灾”的隶属函数为 $(H_{0.25} v)^+(w) = 1 - (H_{0.25} v)(w) = 1 - [v(w)]^{0.25}$.

3.2.2 参数 λ 值的确定

由 FScom 集定义可知: 要计算各指标关于模糊集“中灾”的隶属函数, 需要计算模糊集“中灾”相对于“重灾”的参数 λ .

下面以评价指标死亡人数为例给出 λ 值的计算方法, 从表 1 的数据可看出: 对于数据 $x \in [0, 30]$, 属于“中灾”的概率为 $\frac{d(30, 3)}{d(30, 0)} = 0.5667$, “中灾”在数值上更靠近“重灾”, 所以本文取 $\lambda = \text{Max}(0.5667, 1 - 0.5667) = 0.5667$.

根据上述方法可得出其他各项指标等级相应的参数值, 见表 3.

表 3 参数 λ 值

参 数	死亡人数 / 人	受伤人数 / 人	受灾面积 / 万 km ²	大雾持续时间 / h	直接经济损失 / 万元
λ	0.5667	0.7	0.6667	0.6667	0.9

3.2.3 求各对象的评判矩阵

下面求 4 个地区的评判矩阵, 以 1 号地区为例给出求评判矩阵的方法.

以指标死亡人数为例, 将 1 号地区死亡人数 15 人代入(6)式, 求出关于“重灾”的隶属度:

$$v(15) = 1 - \frac{(31 - 15)}{(31 - 2)} = 0.4483$$

因为 $v(15) = 0.4483$, $\lambda = 0.5667$, 根据(5)式得出关于“中灾”的隶属度:

$$v^-(15) = \text{Max}(0.4483, 1 - 0.4483) = 0.5517$$

关于模糊集“极重灾”的隶属度 $(H_4 v)(15) = [v(15)]^4 = 0.0404$; 关于模糊集“小灾”的隶属度 $v^+(15) = 1 - v(15) = 0.5517$; 关于模糊集“微灾”的隶属度 $(H_{0.25} v)^+(15) = 1 - (H_{0.25} v)(15) = 1 - [v(15)]^{0.25} = 0.1817$.

类似地, 可求出 1 号地区的其它指标: 受伤人数、受灾面积、大雾持续时间、直接经济损失关于各模糊集在 $[0, 1]$ 区间的隶属度, 从而得到该地区雾灾的综合评判矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.0404 & 0.4483 & 0.5517 & 0.5517 & 0.1817 \\ 0.0010 & 0.1778 & 0.5370 & 0.8222 & 0.3507 \\ 0.1785 & 0.6500 & 0.6500 & 0.3500 & 0.1021 \\ 0.0008 & 0.1667 & 0.5002 & 0.8333 & 0.3611 \\ 0.0001 & 0.0857 & 0.7853 & 0.9143 & 0.4590 \end{bmatrix}$$

3.3 得出评判结果

取权重向量 $A = (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)$.

通过运算:

$$c_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^m a_i \cdot r_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_i \cdot (\sum_{l=1}^n r_{il} - r_{ij})} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

可得:

1 号地区的评判集为 $C_1 = \{0.023\ 3, 0.187\ 1, 0.453\ 0, 0.557\ 4, 0.176\ 4\}$.

用上述方法可求出其它 4 个地区的评判集: 2 号地区的评判集 $C_2 = \{0, 0.005\ 8, 0.189\ 3, 0.828\ 9, 0.617\ 8\}$; 3 号地区的评判集 $C_3 = \{0.077\ 8, 0.205\ 1, 0.406\ 7, 0.482\ 4, 0.167\ 0\}$; 4 号地区的评判集 $C_4 = \{0.365\ 7, 0.494\ 6, 0.379\ 8, 0.102\ 9, 0.033\ 8\}$. 运用最大隶属度原则, 划分这 4 次雾灾灾情等级如下:

表 4 4 地区雾灾灾情等级

地区编号	本文方法评价等级	灰色关联度法评价等级	地区编号	本文方法评价等级	灰色关联度法评价等级
1	小灾	小灾	3	小灾	小灾
2	小灾	微灾	4	重灾	中灾

3.4 评判结果比较

由表 4 可以直观看出: 1 号、3 号地区与文献[19]中用灰色关联度法得出的结论一致; 对于 2 号、4 号地区, 本文方法评价的等级高于用灰色关联度法评价的等级.

由表 1 与表 2 可知:

1) 对于 2 号地区, 从每一个单项指标等级上来看: 死亡 3 人, 属于中灾; 受伤 11 人, 属于小灾; 受灾面积 1.5 万 km^2 , 属于微灾; 大雾持续 7h, 属于小灾; 直接经济损失 400 万元, 属于小灾. 从数据直观分析上来看, 2 号地区灾情等级应该高于微灾, 本文方法得出的结果符合实际.

2) 对于 4 号地区, 从每一个单项指标等级上来看: 死亡 35 人, 属于重灾; 受伤 68 人, 属于中灾; 受灾面积 8.3 万 km^2 , 属于极重灾; 大雾持续 36h, 属于极重灾; 直接经济损失 3 000 万元, 属于中灾. 从数据直观分析上来看, 4 号地区灾情等级应该高于中灾, 本文方法得出的结果符合实际.

此外, 模糊集 FScom 的综合评判方法是基于 3 种否定思想与传统模糊综合评判方法所提出来的. 而模糊知识中的 3 种否定思想具有集合基础(模糊集 FScom)和逻辑基础(区分三种否定的模糊命题逻辑系统 FLcom)^[20], 这 3 种否定关系能更深入地对自然灾害多等级间的关系进行描述与表示. 因此文中提出的自然灾害灾情评估方法具有较强的理论基础.

通过上述分析, 可知基于 FScom 集理论的自然灾害灾情评估方法是合理的、可行的.

4 结 论

模糊集 FScom 将知识中否定关系区分为: 矛盾否定关系、对立否定关系以及中介否定关系. 这 3 种否定关系能很好地对自然灾害多等级间的关系进行刻画. 本文以语气算子、FScom 集及其模糊综合评判为理论基础, 给出一种自然灾害灾情评估模型, 并将该模型应用到雾灾灾情评估中去, 将所得的结果与灰色关联度法的评价结果进行比较. 通过对比分析, 说明该模型的评价结果更符合实际, 该方法具有可行性和有效性.

参考文献:

- [1] 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, 2(3): 1-7.
- [2] 于庆东. 灾度等级判别方法的局限性及其改进 [J]. 自然灾害学报, 1993, 2(2): 8-11.
- [3] 任鲁川. 灾害损失等级划分的模糊灾度判别法 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 13-17.
- [4] 杨仕升. 自然灾害等级划分及灾情比较模型探讨 [J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 9-13.
- [5] 冯利华. 灾害等级的灰色聚类分析 [J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 14-18.
- [6] 廖力, 邹强, 何耀耀, 等. 基于模糊投影寻踪聚类的洪灾评估模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(9): 2422-2432.
- [7] 杨思全, 陈亚宁. 基于模糊模式识别理论的自然灾害损失等级划分 [J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 56-60.
- [8] 夏兴生, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 基于历史案例的自然灾害灾情评估方法研究 [J]. 灾害学, 2016, 31(1): 219-225.
- [9] 陈亚宁, 杨思全. 自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究 [J]. 地理科学进展, 1999, 18(2): 158-162.
- [10] 李亚滨, 胡瑞卿. 基于灰色关联度的黑龙江省暴雨事件灾害评估和预评估模型研究 [J]. 灾害学, 2016, 31(2): 78-83.

- [11] 吴红华. 灾害损失评估的灰色模糊综合方法 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(2): 115—118.
- [12] 吴红华, 李正农. 灾害损失评估的区间数模糊综合评判方法 [J]. 自然灾害学报, 2006, 12(6): 149—153.
- [13] 李春梅, 罗晓玲, 刘锦鑫, 等. 层次分析法在热带气旋灾害影响评估模式中的应用 [J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 223—228.
- [14] 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.
- [15] 赵士达, 张斯文, 孙晓东. 基于 LM_BP 神经网络的地震直接经济损失快速评估方法研究 [J]. 地震研究, 2016, 39(3): 500—506.
- [16] ZHENGHUA PAN. Fuzzy Set with Three Kinds of Negations in Fuzzy Knowledge Processing [C]. Proceedings of 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. New York: IEEE Press, 2010.
- [17] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及其应用 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006: 146—148.
- [18] 杨 磊, 潘正华. 基于带有三种否定的模糊集 FScom 的模糊综合评判 [J]. 计算机工程与科学, 2011, (9): 136—140.
- [19] 周伟灿, 魏 炜. 基于灰色关联度法的雾灾损失评估模型研究 [J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 12—15.
- [20] 潘正华. 区分 3 种否定的模糊命题逻辑系统及其应用 [J]. 软件学报, 2014, 25(6): 1255—1272.

Research of the Evaluation Model of Natural Disasters Based on Fuzzy Set FScom with Three Kinds of Negation

YANG Lei¹, PAN Zheng-hua²

1. College of Mathematics Science, Xingyi Normal University for Nationalities, Xingyi Guizhou 562400, China;

2. School of Science, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China

Abstract: This paper puts forward an assessment model of natural disasters based on the theory of fuzzy set FScom. This model is applied to the assessment of a fog disaster, and the results obtained are compared with those of a gray relational analysis. The evaluation result shows that this model is more consistent with the reality.

Key words: three kinds of negative relation; fuzzy set FScom; fuzzy comprehensive evaluation; mood operator; natural disaster

责任编辑 张 拘

