

文章编号:1004-4574(2012)02-0135-07

改进的物元可拓模型在台风灾害预评估中的应用

刘少军^{1,2}, 张京红¹, 何政伟², 蔡大鑫¹, 田光辉¹

(1. 海南省气象科学研究所, 海南气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘 要:以数值天气预报产品为信息源,选择降水量、降水强度、最大风速、经济易损性作为评价因子,建立了可拓模型,并进行了台风灾前的灾害预测性评估。针对物元可拓法在台风灾害预评估应用中的不足之处(当待评估的数据超出某一指标评价指标范围,其关联度函数就会出现无法计算的情况),对原有模型中经典域的量值作规格化处理 and 改变关联度计算,以海南岛的台风历史灾害数据为基础,建立了新的评估模型,并将 GIS 与评估模型结合开展实例应用,结果表明:该方法是可行性。

关键词:台风;灾害预评估;可拓法

中图分类号:P444

文献标志码:A

Application of improved matter-element extension model to typhoon disaster pre-assessment

LIU Shaojun^{1,2}, ZHANG Jinghong¹, HE Zhengwei², CAI Daxin¹, TIAN Guanghui¹

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing of South China Sea, Research Institute of Hainan Meteorological Science, Haikou 570203, China; 2. Chengdou University of Technology, Chengdou 610059, China;)

Abstract: With evaluation factors of precipitation, precipitation intensity, maximum wind speed and economic vulnerability, extension model of typhoon disaster pre-assessment was established. In view of inadequacies of matter-element extension method in the typhoon disaster pre-assessment (when the data to be assessed are beyond the scope of a evaluation index, the correlation function will be incalculable), extension assessment method was improved by standardized processing and correlation-changing calculation. According to typhoon historical data in Hainan Island and combining GIS with the assessment model, a case study was carried out. The results indicate that the presented improved extension assessment method is feasible.

Key words: typhoon; disaster pre-assessment; extension method

我国是世界上受台风影响最严重的国家之一,每年都会给我国的沿海地区造成严重的经济损失和人员伤亡,因此对台风灾害进行灾前预评估具有重要意义。以数值天气预报的未来 3 d 内的数据为信息源,选择降水量、降水强度、最大风速、经济易损性作为评价因子,开展未来 3 d 内不同时间段台风对研究区可能造成的损失等级进行预测性评估,目的是在灾害发生前尽量采用最经济、最有效的方法消除或减少灾害所带来的损失后果。

自 20 世纪 90 年代以来,灾害等级定量评估方法研究取得了很大的进展,灾害损失的定量评估涉及两方面的工作,一是建立灾害损失评估的指标体系,二是给出灾害损失评估的定量方法。由于自然灾害成因机制

收稿日期:2010-11-12; 修回日期:2011-03-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41175096);中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2011M41);海南省自然科学基金项目(409005)

作者简介:刘少军(1980-),男,副研究员,博士研究生,主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail:cdutlsj@163.com

的复杂性和发生过程的随机性,从而使得一些灾害损失无法通过人为定量的方法去衡量,在灾害损失划分上,国内也尚未形成一个统一的、公认的评价标准^[1]。在台风灾害过程中所造成的损失是由众多灾害影响因素相互作用的结果,许多因素难以用一个准确值来表示,往往描述它的数值可能在一定范围内变动,也就是说所得到的这些评价因素可能是一个区间值^[2]。因此利用区间数替代单一实数值作为灾害等级评估,能突出各评估对象之间的差异^[3]。物元可拓方法是我国学者蔡文于 1983 年提出的,它是以形式化的模型,探讨事物拓展的可能性以及开拓创新的规律与方法^[4]。物元可拓学以物元理论和可拓数学作为其理论框架,可以从定性、定量两个角度解决问题。由于台风灾害评估等级的程度具有不确定性和模糊性,物元可拓法既考虑了灾害评估的不确定性及模糊性,又能体现出评价指标对两极级别的差异及同一级别内部的不同状态^[5]。

本文将物元可拓学应用于台风灾害评估中,建立评估模型,针对当待评因子超出模型的范围将无法计算的问题,提出改进的办法,并将灾害评价方法与 GIS 结合起来,实现灾害评估结果的 GIS 显示。

1 物元可拓方法

物元可拓方法可拓首先确定各评估因子特征的经典域和节域;确定各特征的关联函数;然后将待评估的数据带入各数据类中,计算关于各特征的关联度,根据特征的权重系数计算综合关联度;最后与各类别集合的关联度大小进行比较,关联度越大,与某类别的符合程度就越高^[6]。

(1) 经典域和节域确定^[6-8]

物元是可拓学的逻辑细胞,它是将事物、特征及事物关于该特征的量值三者所组成的三元组,记作 $R = (\text{事物}, \text{特征}, \text{量值})$ 。定义:

$$R_{oj} = (M_{oj}, C_j, V_{oj}) = \begin{bmatrix} M_{oj} & c_1 & \langle a_{oj1}, b_{oj1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{oj1}, b_{oj1} \rangle \\ & & \vdots \\ & c_n & \langle a_{oj1}, b_{oj1} \rangle \end{bmatrix} \tag{1}$$

式(1)中 R_{oj} 是评价节域物元, M_{oj} 为所划分的第 j 个灾害损失等级, C_i 表示台风灾害损失等级 M_{oj} 的第 i 个评价因子, V_{oj} 为 M_{oj} 关于 C_i 所规定的量值范围,即台风灾害评价等级中对应的评价因子所取的数据范围—经典域。

设:

$$R_m = (M, C, V_m) = \begin{bmatrix} M & c_1 & V_{m1} \\ & c_2 & V_{m2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & c_1 & \langle a_{m1}, b_{m1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{m2}, b_{m2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{mn}, b_{mn} \rangle \end{bmatrix}, \tag{2}$$

式中 M 表示台风灾害损失评价等级的全体; V_{mi} 为 M 关于 c_i 所取的量值范围,即 M 的节域。

(2) 待评价物元^[6-8]

对待评估的对象 m ,把所测得的数据或分析结果用物元 R 表示为

$$R = \begin{bmatrix} m & c_1 & \nu_1 \\ & c_2 & \nu_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \nu_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中: M 表示具体某一地点的灾害损失评估; ν_i 为 m 关于评价因子 c_i 的量值,即待评点收集的具体数据。

(3) 确定关联函数^[6-8]

关联度是事物之间、因素之间关联性的量度。关联函数表达了事物具有某种性质的程度,待评灾害损失等级与定义的灾害损失等级的关联函数值可按下式计算:

$$K_j(v_j) = \begin{cases} -\frac{\rho(v_i, V_{oji})}{|V_{oji}|} & v_i \in V_{oji}, \\ \frac{\rho(v_i, V_{oji})}{\rho(V_i, V_{Mi}) - \rho(v_i, V_{oji})} & v_i \notin V_{oji}. \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$\rho(v_i, V_{oji}) = \left| v_i - \frac{a_{oji} + b_{oji}}{2} \right| - \frac{b_{oji} - a_{oji}}{2},$$

$$\rho(v_i, V_{Mi}) = \left| v_i - \frac{a_{Mi} + b_{Mi}}{2} \right| - \frac{b_{Mi} - a_{Mi}}{2}.$$

(4) 确定其评价等级^[6-8]

根据式(4),可分别计算出状态评估的对象 m 中各因素与标准物元模型中等级 j 的关联度为

$$K_j(m) = \sum_{i=1}^n w_i K_j(v_i), \quad (5)$$

式中 w_i 为各评价因子的权重,其确定方法采用层次分析法。若 $K_{j_0}(m) = \max_{j_0 \in \{1,2,\dots,m\}} K_j(m)$,则判定状态下 m 属于灾害损失等级 j_0 。

2 改进的可拓评估方法

台风灾害预评估中选择了降水量、降水强度、最大风速、经济易损性作为评价的指标,利用可拓方法,将评价指标及其特征值作为物元,通过计算综合关联度判断灾害损失的等级。对于各指标评价数据未超出评价指标范围时,物元可拓法可以得到较好的灾害评价结果,但是,当待评估的数据超出某一指标评价指标范围,其关联度函数就会出现无法计算的情况。如:对于超出范围的待评因子,如发 $v_1 = 550, v_{0s1} = [400, 500], V_{M1} = [0, 500], \rho(v_1, V_{0s1}) = 50, \rho(v_1, V_{M1}) = 50$,则有 $K_5(v_1) = \frac{50}{50 - 50}$ 无法计算;在同一节域范围内,随着待评估的数据值的改变,关联函数值的变化与节域范围中心值关系密切,当某一因子逐渐增大对灾害等级影响时,其关联函数值可能减小,对灾害等级易产生误差。此时就不能用物元可拓法评估灾情,因此必须对原物元可拓法进行改进。目前改进的方法有:孙秀玲等提出的经典域的量值作规格化处理^[5],胡宝清等^[9]提出的最大贴适度法、最大对比度法,张龙云等^[10]提出的将关联度进行归一化处理,改变了物元可拓法的关联度和评定准则。本文在参考以上作者的提出方法的基础上,结合台风灾害评估的评价因子,以及台风灾害评估中遇到的问题,对台风灾害评估的方法进行改进,(1)在原物元可拓法的基础上,对每个经典域的量值作规格化处理即都除以节域右端点数值,得到新的物元经典域;(2)将待评物元体的量值也作规格化处理即均除以节域右端点数值;(3)计算贴适度将关联函数进行替换计算^[9-11]。

(1)在可拓法的基础上,对 R_m 每个经典域的量值 V_m 和待评物元体 R 的量值都除以 V_m 右端点数值,得到新的物元经典域:

$$R_m = (M, C, V_m) = \begin{bmatrix} M & c_1 & V_{m1}/b_{oj1} \\ & c_2 & V_{m2}/b_{oj2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{mn}/b_{ojn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & c_1 & \langle a_{m1}/b_{oj1}, b_{m1}/b_{oj1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{m2}/b_{oj2}, b_{m2}/b_{oj1} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{mn}/b_{ojn}, b_{mn}/b_{ojn} \rangle \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$R = \begin{bmatrix} m & c_1 & v_1/b_{oj1} \\ & c_2 & v_2/v_1/b_{ojn} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n/v_1/b_{ojn} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

(2)通过计算贴适度(计算距离) $F_j(v_i)$ 代替关联函数 $k_j(v_i)$,新的关联度计算表示为

$$K_j(m) = 1 - \sum_{i=1}^n w_i F_j(v_i), \quad (8)$$

其中

$$F_j(v_i) = \rho(v_i, V_{oji}).$$

(3) 若 $K_{j_0}(m) = \max_{j_0 \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(m)$, 则判定状态下 m 属于灾害损失等级 j_0 。

3 台风灾害评估物元模型的建立

以海南岛台风灾害历史数据为背景,对建立原有台风灾害评估物元模型(表 1)。根据改进的可拓评估方法,将原有的单元标准物元模型进行经典域的量值作规格化处理 and 改变关联度计算,建立新的评估模型。将台风灾害评价等级分别按数值 $M_{o5}, M_{o4}, M_{o3}, M_{o2}, M_{o1}$ 代表高、较高、中度、低、轻危险界限,则可以构造出台风灾害评价各等级的经典物元(见表 1)。

表 1 台风灾害预评估模型指标
Table 1 Indices of typhoon disaster pre-assessment model

等级	单元特征	原有的单元标准物元模型	改进后的单元标准物元模型
1	降水量 c_1 降水强度 c_2 最大风速 c_3 经济易损性 c_4	$R_{o1} = \begin{bmatrix} M_{o1} & c_1 & <0, 100 > \\ & c_2 & <0, 10 > \\ & c_3 & <0, 8 > \\ & c_4 & <0, 1 > \end{bmatrix}$	$R_{o1} = \begin{bmatrix} M_{o1} & c_1 & <0, 0.2 > \\ & c_2 & <0, 0.1 > \\ & c_3 & <0, 4/35 > \\ & c_4 & <0, 0.2 > \end{bmatrix}$
2	降水量 c_1 降水强度 c_2 最大风速 c_3 经济易损性 c_4	$R_{o2} = \begin{bmatrix} M_{o2} & c_1 & <0, 100, 200 > \\ & c_2 & <10, 20 > \\ & c_3 & <8, 16 > \\ & c_4 & <1, 2 > \end{bmatrix}$	$R_{o2} = \begin{bmatrix} M_{o2} & c_1 & <0.2, 0.4 > \\ & c_2 & <0.1, 0.20 > \\ & c_3 & <4/35, 8/35 > \\ & c_4 & <0.2, 0.4 > \end{bmatrix}$
3	降水量 c_1 降水强度 c_2 最大风速 c_3 经济易损性 c_4	$R_{o3} = \begin{bmatrix} M_{o3} & c_1 & <200, 300 > \\ & c_2 & <20, 30 > \\ & c_3 & <16, 24 > \\ & c_4 & <2, 3 > \end{bmatrix}$	$R_{o3} = \begin{bmatrix} M_{o3} & c_1 & <0.4, 0.6 > \\ & c_2 & <0.2, 0.3 > \\ & c_3 & <8/35, 12/35 > \\ & c_4 & <0.4, 0.6 > \end{bmatrix}$
4	降水量 c_1 降水强度 c_2 最大风速 c_3 经济易损性 c_4	$R_{o4} = \begin{bmatrix} M_{o4} & c_1 & <300, 400 > \\ & c_2 & <30, 40 > \\ & c_3 & <24, 32 > \\ & c_4 & <3, 4 > \end{bmatrix}$	$R_{o4} = \begin{bmatrix} M_{o4} & c_1 & <0.6, 0.8 > \\ & c_2 & <0.3, 0.4 > \\ & c_3 & <12/35, 16/35 > \\ & c_4 & <0.6, 0.8 > \end{bmatrix}$
5	降水量 c_1 降水强度 c_2 最大风速 c_3 经济易损性 c_4	$R_{o5} = \begin{bmatrix} M_{o5} & c_1 & <400, 500 > \\ & c_2 & <40, 100 > \\ & c_3 & <32, 70 > \\ & c_4 & <4, 5 > \end{bmatrix}$	$R_{o5} = \begin{bmatrix} M_{o5} & c_1 & <0.8, 1 > \\ & c_2 & <0.4, 1 > \\ & c_3 & <16/35, 1 > \\ & c_4 & <0.8, 1 > \end{bmatrix}$
	各因素的节域	$R_m = \begin{bmatrix} M & c_1 & <0, 500 > \\ & c_2 & <0, 100 > \\ & c_3 & <0, 70 > \\ & c_4 & <0, 5 > \end{bmatrix}$	$R_m = \begin{bmatrix} M & c_1 & <0, 1 > \\ & c_2 & <0, 1 > \\ & c_3 & <0, 1 > \\ & c_4 & <0, 1 > \end{bmatrix}$

对于在范围内数据进行检验:降水量 $c_1 = 495$, 降水强度 $c_2 = 32$, 最大风速 $c_3 = 26$, 经济易损性 $c_4 = 2.2$ 。改进后的模型计算方法:归一化处理后,求待评物元中的每个新的数据关于新的经典域的距离点与区间的距离 $F_j(v_i)$,

$$F_j(v_i) = \begin{vmatrix} 0.79 & 0.59 & 0.39 & 0.19 & -0.01 \\ 0.22 & 0.12 & 0.02 & -0.02 & 0.08 \\ 0.2571 & 0.1428 & 0.0285 & -0.028 & 0.0857 \\ 0.24 & 0.04 & -0.04 & 0.16 & 0.36 \end{vmatrix} \quad (9)$$

利用层次分析法(AHP)来确定各因子的权重为: $w_i = (0.25, 0.2, 0.5, -0.1)$ 。

计算关联度 $K_j(m) = (0.653\ 943, 0.761\ 086, 0.880\ 229, 0.986\ 771, 0.979\ 629)$, 通过计算 $K_{j_0}(m) = \max_{j_0 \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(m) = 0.986\ 771$, 判断灾害等级属于 4 级, 与原模型计算等级一致。

4 GIS 与评估模型的结合

由于台风是一个动态变化的复杂系统,其结构、强度、路径、风雨分布等在不同阶段会产生一系列急剧变化,在不同时刻对同一地点造成的影响也是动态变化的。将评价方法与 GIS 结合起来,充分发挥 GIS 的空间分析功能,实现灾害评估结果的 GIS 显示。对评价因子进行 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的网格划分,对获取的数据进行归一化处理,按改进后的单元标准物元模型,进行各图层单元格与五级灾害等级的关联度计算,根据各因子的权重,计算 4 个图层中同一坐标单元格对不同灾害等级的关联度,并根据最大隶属度确定单元格灾害等级,具体流程见图 1。

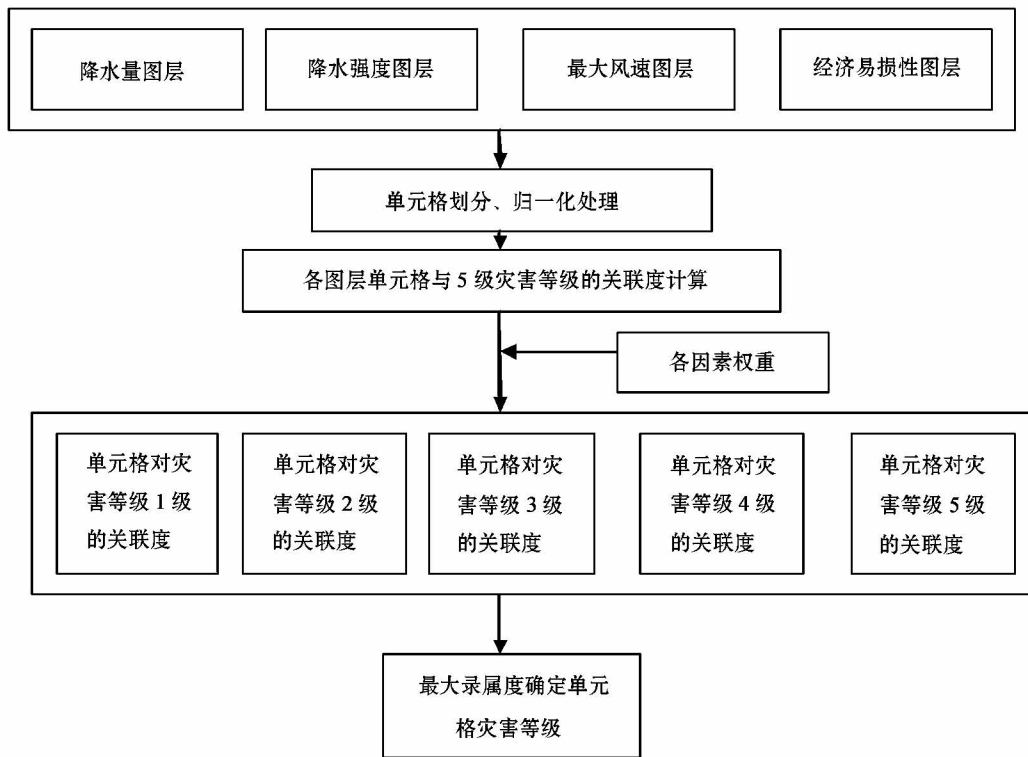


图 1 基于 GIS 的台风灾害预评估流程^[12]

Fig. 1 Workflow of typhoon disaster pre-assessment based on GIS^[12]

以 2009 年 10 月 11 日 - 13 日影响海南岛的强热带风暴“芭玛”过程中为例,以数值天气预报的数据为基础,通过提取降水量、降水强度、最大风速,进行数据归一化处理,利用 ARCGIS 插值为 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的网格(图 2),采用表 1 中改进后的单元标准物元模型,结合经济易损性图层进行灾害等级的预评估,评估结果见图 3。

5 结论

由于台风灾害过程中所造成的损失受众多因素相互影响,难以用一个准确值来表示,往往描述它的数值可能在一定范围内变动,在灾害评估过程中采用可拓方法从定性、定量两个角度解决问题的优点,实现区间数替代单一实数值作为灾害等级评估。在建立的可拓模型中,当待评估的数据超出某一指标评价范围,其关联度函数就会出现无法计算的情况。针对物元可拓法在海南岛台风灾害预评估应用中存在的不足,通过参考相关文献^[9-12],通过对模型中的经典域的量值作规格化处理和改进关联度的计算方法,实现灾害评估模型的改进。将灾害评价模型与 GIS 结合起来,开展了实例的应用。

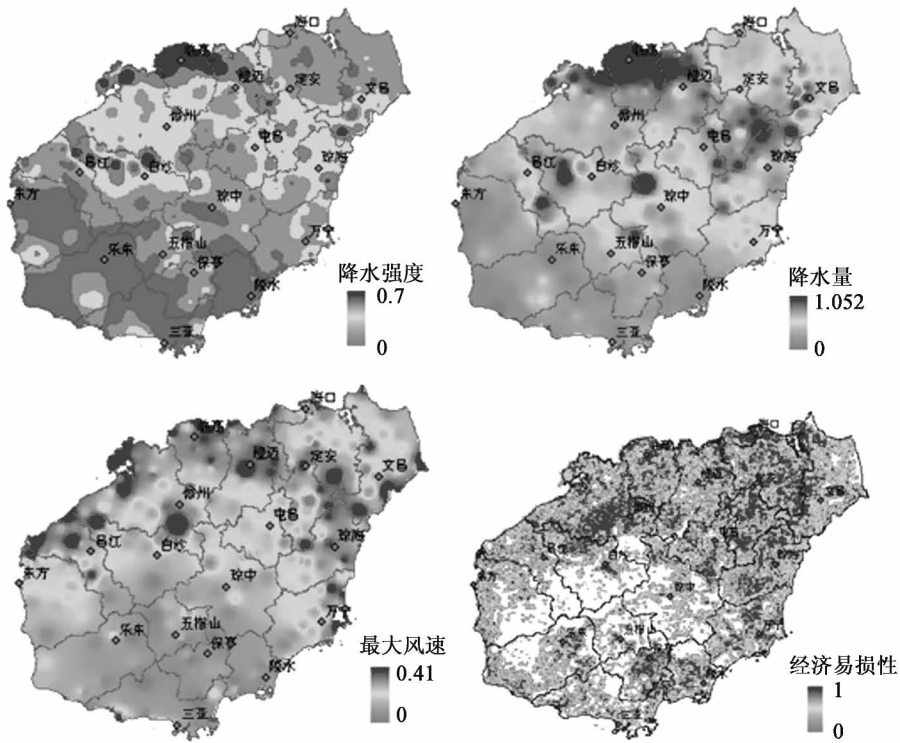


图 2 台风灾害预评估的数据图层

Fig. 2 Data layers of typhoon disaster pre-assessment

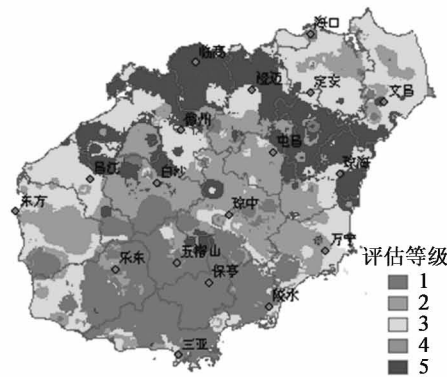


图 3 台风灾害预评估结果

Fig. 3 Result of typhoon disaster pre-assessment

存在问题:由于篇幅的限制,对实例的对比验证分析未深入阐述,对以海南岛为背景建立可拓物元模型的节域范围的具体方法、及数值天气预报产品的获取、插值未能一一介绍。虽然建立的模型在一定程度上能反映出台风过程中灾害等级的变化,但利用物元可拓法建立起来的单元标准物元模型的因子选择、各因素的节域范围和权重的确定需要根据更多的实例来不断验证和改进,以便能更准确地表达台风受灾的程度。

参考文献:

[1] 张传芳,杨春玲. 基于属性区间识别理论的灾害损失等级划分[J]. 数学的实践与认识,2007,37(2):61-66.
ZHANG Chuanfang, YANG Chunling. Classification of disaster loss based on the attribute interval recognition theory[J]. Mathematics in Practice and Theory,2007,37(2):61-66. (in Chinese)

[2] 张亦飞,程传国,郝春玲,等. 一种灾害等级的区间数评估模型[J]. 防灾减灾工程学报,2007,27(4):421-424.
ZHANG Yifei, CHENG Chuanguo, HAO Chunling, et al. A Kind of disaster loss grade assessment model based on interval numbers[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2007,27(4):421-424. (in Chinese)

[3] 郭亚军,钟田丽. 兼顾“功能性”与“均衡性”的综合评价方法及应用[J]. 中国软科学,2001(6):104-106.

- GUO Yajun, ZHONG Tianli. Multiple attribute evaluation method taking account of functionality and proportionality and its application[J]. China Soft Science, 2001(6): 104 - 106. (in Chinese)
- [4] 李琴, 王国会, 陈清华. 可拓分类方法及其在流动单元分类中的应用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(6): 1975 - 1979.
LI Qin, WANG Guohui, CHEN Qinghua. Research of the extension classification method and classification of flow units[J]. Progress In Geophysics, 2007, 22(6): 1975 - 1979. (in Chinese)
- [5] 孙秀玲, 褚君达, 马惠群, 等. 物元可拓评价法的改进及其应用[J]. 水文, 2007, 27(1): 4 - 7.
SUN Xiuling, CHU Junda, MA Huiqun, et al. Improvement and application of matter element extension evaluation method[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(1): 4 - 7. (in Chinese)
- [6] 匡乐红, 徐林荣, 刘宝琛. 基于可拓方法的泥石流危险性评价[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(5): 1 - 6.
KUANG Lehong, XU Linrong, LIU Baochen. Debris flow hazard assessment based on extension method[J]. China Railway science, 2006, 27(5): 1 - 6. (in Chinese)
- [7] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
CAI Wen. Matter Element and Application[M]. Beijing: Scientific and Technology Documentation Press, 1994. (in Chinese)
- [8] 张礼中, 林学钰, 张永波. 基于 GIS 的地下水质量可拓评价模型[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008, 27(5): 781 - 784.
ZHANG Lizhong, LIN Xueyu, ZHANG Yongbo. GIS - based groundwater quality extension evaluation model[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2008, 27(5): 781 - 784. (in Chinese)
- [9] 胡宝清, 张轩, 卢兆明. 可拓评价方法的改进及其应用研究[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2003, 36(5): 79 - 84.
HU Baoqing, ZHANG Xuan, LU Siuming. Research on building fire safety by improved extension assessment method[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2003, 36(5): 79 - 84. (in Chinese)
- [10] 张龙云, 曹升乐. 物元可拓法在黄河水质评价中的改进及其应用[J]. 山东大学学报: 工学版, 2007, 37(6): 91 - 94.
ZHANG Longyun, CAO Shengle. The application and improvement of the matter element extension method used in water quality assessment of the yellow river[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2007, 37(6): 91 - 94. (in Chinese)
- [11] 孙秀玲, 马惠群, 曹升乐. 改进的可拓方法及其在水质评价中的应用[J]. 人民黄河, 2006, 28(7): 30 - 31.
SUN Xiuling, MA Huiqun, CAO Shengle. Improvement and Application of Matter Element Extension Evaluation Method In Water Quality Assessment [J]. Yellow River, 2006, 28(7): 30 - 31. (in Chinese)
- [12] 白利平, 王业耀, 龚斌, 等. 基于可拓理论的泥石流灾害预警预报系统开发: 以北京市为例[J]. 现代地质, 2009, 23(1): 157 - 163.
BAI Liping, WANG Yeyao, GONG Bin, et al. Development of the debris flow forecasting system based on extension theory: a case study of Beijing [J]. Geoscience, 2009, 23(1): 157 - 163. (in Chinese)