

基于云模型的自然灾害灾情等级评估

高玉琴,陈鸿玉,刘云苹

(河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要:针对目前灾情评估指标不够全面系统,未综合反映社会、经济、环境等各方面影响,且评价方法中权重和等级评估标准的确定主观性强的问题,从灾情属性、社会影响、经济影响和自然环境影
响 4 方面归纳整理出一套较为全面的灾害灾情评估指标体系,提出基于云模型的权重确定方法和
基于云模型的灾害灾情等级评估模型,并将其应用于 6 次典型暴雨洪涝灾害灾情评估。结果表明:
基于云模型的权重确定方法能客观地综合所有专家的评价信息,基于云模型的灾害灾情等级评估
模型能有依据地得出灾情等级评估标准并客观合理地确定等级。

关键词:灾情评估;指标体系;云模型;暴雨洪涝

中图分类号:X43 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2018)06-0038-06

Study of grade assessment of natural disaster situation based on cloud model//GAO Yuqin, CHEN Hongyu, LIU Yunping(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The current disaster assessment indicators are not comprehensive and systematic enough to evaluate the impacts of social, economic and environmental aspects, and the determination of index weight and grade assessment standards is subjective. As a result, a comprehensive evaluation index system of natural disaster grade assessment is concluded covering social, economic and environmental aspects. A cloud-based weight determination method and a grade assessment model of disaster situation are proposed and have been applied to six typical rainstorm and flood events. The results of analysis and evaluation show that the weight determination based on the cloud model can integrate all the assessing information from experts objectively. The assessment method can achieve evidence-based standard of disaster grades and determine the grade level objectively and reasonably.

Key words: natural disaster situation evaluation; index system; cloud model; rainstorm flooding

自然灾害是自然变异产生的社会事件,对人身安全、农业、工业、社会、经济和生态环境都会造成极大打击和不利影响。如 2016 年全国自然灾害导致 1.9 亿人受灾,1 706 人死亡失踪,910.1 万人需要紧急安置,52.1 万间房屋倒塌,334 万间房屋损坏,农作物受灾面积达 2 622.07 万 hm^2 ,农作物绝收面积达 290.22 万 hm^2 ,直接经济损失达 5 032.9 亿元^[1]。近年来,我国自然环境脆弱性不断增高,生态环境问题突出,自然灾害呈频发、高强度态势。随着城市化水平不断提高和社会生产力发展,人口密度持续上升、经济总量和密度高速增长、区域间经济联系与合作增强,灾害防御及救援措施不断完善的同时,灾害造成的经济损失和社会影响不断增大。灾害损失特性也在发生变化:因灾死亡人数下降,受灾人数上

升,直接和间接经济损失大幅上升。据统计,20 世纪 90 年代以来我国年均灾害损失比 80 年代高 40%^[2]。为了客观、全方位地反映自然灾害破坏程度和损失特性,并为灾害救援和灾区恢复重建、未来减灾目标及对策确定、防御措施优化、减灾效益评价等提供基础和依据,有必要进行灾害灾情等级评估研究。

目前在洪涝、台风、风暴潮及地质灾害等的灾情评估方面已有诸多研究。如杨小玲等^[3]选取死亡人数、受灾人数、倒塌房屋数、农作物受灾面积、直接经济损失等指标,利用熵值法计算权重,评估 1999 年我国 22 个地区洪灾损失;刘武等^[4]对致灾因子、承灾体及防灾减灾能力三方面的 25 个因子与死亡人数、倒塌房屋数、农作物受灾面积、直接经济损

基金项目:中央高校基金前瞻性项目(2014B05814);国家自然科学基金(51309076);江苏高校优势学科建设工程项目(3014-SYS1401)
作者简介:高玉琴(1978—),女,副教授,博士,主要从事水利规划、水利经济、洪水控制与工程管理研究。E-mail:178164576@qq.com

失及灾情指数 5 项评价指标进行了相关性分析,研究了台风灾害评估影响因子的选取问题;殷克东等^[5]从人员伤亡损失、渔农业及生活设施直接经济损失三方面建立指标体系,由层次分析法和熵值法确定权重,评估广东省 7 次风暴潮灾害的社会经济损失;程立海等^[6]选择平均地震烈度、死亡失踪人数、万人死亡和失踪率、倒塌房屋数、万人倒塌房屋率、地质灾害危险度及万人转移安置率等指标对 2008 年汶川地震重灾区中各市/县灾情进行等级评价;史莲梅等^[7]基于 1984—2014 年新疆雹灾受灾面积、总成灾面积、农作物播种面积、新疆生产总值及以县为单位的雹灾频次等统计数据,构建雹灾经济损失指标和风险度指标,评估新疆冰雹灾害。此外水利部于 2012 年批准《洪涝灾情评估标准》,主要选取死亡人数、受灾人数、农作物受灾面积、倒塌房屋数、直接经济损失及水利设施经济损失占直接经济损失比例等指标进行场次及区域年度洪涝灾情等级评估^[8]。

以上研究存在一些不足:①灾情评估选取的指标不够全面系统,只考虑了农业影响,忽视工业及第三产业影响;考虑了社会经济影响,未考虑自然环境影响;指标零散,未形成全面系统的评估指标体系;灾情信息上报指标有待全面扩充。②采用的评估方法主要有模糊综合评判法、熵权法、灰色聚类法、灰色关联度法、物元分析法等,但大多数方法的权重和等级评估标准往往依靠经验确定,主观性较强。熵权法虽能确定客观权重,但依赖于大量具有代表性的数据信息,当数据代表性不强时效果较差。③一般方法通过比较案例评估值与等级临界值的大小确定案例等级,同一灾情等级内的不同案例的灾情差别难以准确表达。于庆东等^[9]基于灰色聚类的灾情分级模型研究了同一等级内不同案例的排序方法,但不够直观。

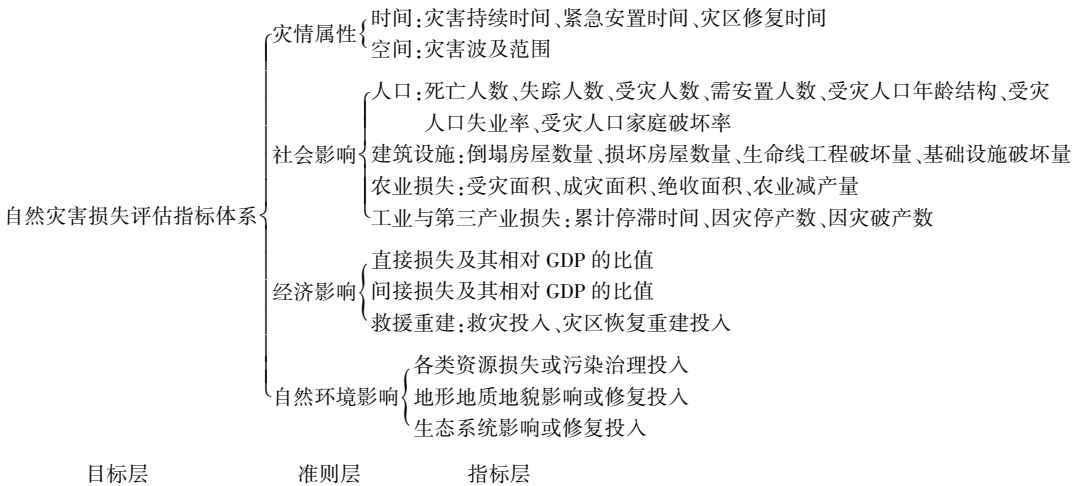
本文归纳整理出一套较为全面的、考虑各方面影响的灾情评估指标体系,可为不同灾种灾情评估的指标选择提供参考,为灾情信息上报指标和内容提供参考;将基于云模型的评价方法应用于灾情评估的权重确定及模型构建,从而客观地将专家权重评价信息转化为定量数据,有依据地提出等级评估标准以及直观有效地确定等级。

1 灾害灾情评估指标体系

灾害灾情评估是为了根据各方面造成的损失及影响大小进行分等级综合管理。在参考已有研究成果的基础上,从灾情属性、社会影响、经济影响、自然环境影响 4 方面构建较为系统全面的灾情评估指标体系,如表 1 所示。

灾情属性是对灾害影响波及范围、时长、紧急救援安置和灾区恢复重建难度的描述。社会影响主要包括灾害对人类健康及生命的破坏,对房屋、生命线工程及公共基础设施等的破坏,对农业、工业、服务业等产业活动的直接和间接影响。经济影响分为直接损失、间接损失以及紧急救援和灾区重建投入。其中直接损失主要是指灾害对社会造成的可用经济货币衡量的直接损失或修复费用;间接损失主要是由直接损失和破坏所导致对灾区未来可持续发展和周边地区无法起到支撑和流通作用而造成的损失;紧急救援和灾区重建投入是指灾时救援和安置受灾人员的人财物投入,以及灾后灾区恢复正常社会秩序、建设生产恢复到灾前水平的各类投入。自然环境影响主要是水土资源、矿产资源、林木植被资源、景观资源、生物资源等的损失或污染,地形地质地貌的改变,局部生态系统的平衡破坏等。灾害的自然环境影响可以理解为自然资源损失和在环境保护、生态重建中的更高投入。

表 1 灾害灾情评估指标体系



2 基于云模型的灾情等级评估模型

为了客观综合地考虑所有专家依靠经验给出的权重信息,反映主观信息中蕴含的模糊性和随机性,提出基于云模型的专家评价信息的权重确定方法,并将云模型相关方法应用到评估模型构建与案例等级确定。

2.1 云模型理论

云模型是由李德毅^[10-11]提出的用语言值表示的定性概念与其定量数值表示之间的不确定性转换模型,构成定性和定量间的不确定性映射,便于刻画自然语言描述中蕴含的随机性和模糊性。用云的数字特征反映概念的整体特性,对理解定性概念的内涵和外延有极其重要的作用^[12]。云用期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e 这 3 个数字特征来整体表征一个概念。云模型是云的具体实现方式,从不同角度可分为不同模型:①根据定性概念和定量表示的转换方向云模型可分为正向云模型和逆向云模型;②根据对称性云模型可分为对称云模型、半云模型、组合云模型;③根据维度可以从一维云模型推广到二维乃至任意维云模型。正态分布和正态隶属函数的普遍性奠定了正态云模型普适性的理论基础^[13],研究中常用正态云模型。

2.2 云模型精度检验与参数修正

逆向云模型有可能云滴离散度较大,需要对其进行精度检验与参数修正。

描述定性概念的云滴服从正态分布 $N(E_x, E_n^2 + H_e^2)$,由中心极限定理知,当任意一个云滴 $x \in [E_x - Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}, E_x + Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}]$ 时,定性概念的确定程度可以用置信度 $1-\alpha$ 来表示,其中, $Z_{\alpha/2}$ 为标准正态分布的双侧百分位点。

精度检验步骤如下:①运用正向云模型生成若干云滴,如云滴数目 $n_1 = 1\ 000$;②选择定性概念确定程度并查出 $Z_{\alpha/2}$ 值,如确定程度为 95%,则 $Z_{\alpha/2} = 1.96$;③计算出 $x < E_x - Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}$ 的云滴点的均值 X_L 和 $x > E_x + Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}$ 的云滴点的均值 X_H ,当满足式(1)时云模型精度较高,否则需要对云参数进行修正^[14-15]。

$$|(d - d_0)/d| \times 100\% \leq 20\% \tag{1}$$

其中 $d = X_H - X_L$ $d_0 = 2Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}$

云参数修正步骤如下:①生成 n_1 个属于置信区间 $[E_x - Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}, E_x + Z_{\alpha/2}\sqrt{E_n^2 + H_e^2}]$ 的云滴;②计算云滴的样本均值 $\bar{X}$ 与方差 S^2 ;③按照基于贝叶斯理论的修正方法^[16]计算:

$$\begin{cases} E_x^{(1)} = \left[\frac{\bar{X}}{(E_n^2 + H_e^2)/n_1} + \frac{E_x}{E_n^2} \right] / \left[\frac{1}{(E_n^2 + H_e^2)/n_1} + \frac{1}{E_n^2} \right] \\ E_n^{(1)} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sum_{i=1}^{n_1} |x_i - E_x^{(1)}| / n_1 \\ H_e^{(1)} = \sqrt{S^2 - (E_n^{(1)})^2} \end{cases} \tag{2}$$

式中: $E_x^{(1)}$ 、 $E_n^{(1)}$ 和 $H_e^{(1)}$ 分别为修正后的期望、熵和超熵; x_i 为第 i 个云滴。修正后再对新的云模型参数进行精度检验和参数修正,直至满足精度要求。

2.3 基于云模型的权重确定方法

基于云模型的专家评价信息的权重确定步骤如下:

步骤 1 邀请 n 位专家(为保证权重计算结果具有说服力,需邀请 10 位以上专家进行评价)给出 m 个指标的权重分配结果,构成评价矩阵 $V = (V_{ij})$,其中 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

步骤 2 运用无需确定度的逆向云算法,计算指标 i 的 n 个权重评估值得到权重云模型参数 (E_x^i, E_n^i, H_e^i) 。

步骤 3 对指标 i 的权重云模型进行精度检验与参数修正。

步骤 4 对修正后的指标 i 的权重云模型,运用正向云算法随机生成 t 个(如 $t = 1\ 000$)云滴,以云滴点确定度 $\mu(x_i)$ 最大时对应的 x_i 作为指标 i 的权重计算值。

步骤 5 对 m 个指标的权重计算值进行归一化处理得到权重向量 $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ 。

基于云模型的权重计算方法,可以在已有专家评价价值的基础上,通过提取专家评价期望(E_x)和不确定性特征值(E_n 和 H_e),生成符合专家评价特点的任意数量的评价价值(云滴),最终计算得到权重向量,增加了权重计算的样本数,提高了可信度。随着 t 的增大,基于云模型计算的权重将趋向于权重云模型的期望值,趋向于指标的专家权重打分的算术平均值。基于云模型计算的权重向量考虑了专家评价的随机性和模糊性,对于定性评价权重计算的不确定性方法研究具有重要意义。

2.4 基于云模型的灾情等级评估流程

不同于以往研究中根据专家经验直接确定灾情等级评估标准,本模型主要依据案例的评估总体情况结合实际确定具有随机性和模糊性的灾情等级标尺云,并以此确定各案例的灾情等级,具体步骤如下:

步骤 1 指标数据归一化。为了衡量单指标的灾害损失程度,需要选定各指标的参考上限。可以根据评估对象已有历史资料中各指标的历史最大值

作为指标参考上限,以原始数据与相应指标参考上限的比值为指标值。设 p 个案例的指标数据矩阵 $Y = (Y_{ik})$, 其中 $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, p$ 。

步骤2 评估向量计算。计算各案例的灾情评估值,形成灾情评估向量 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_p)^T$, 其中向量中的元素 z_k 可以表示为

$$z_k = \sum_{i=1}^m (Y_{ik} \omega_i) \tag{3}$$

步骤3 云模型生成。对 Z 运用无需确定度的逆向云算法求得总体灾情云模型,并进行精度检验与修正。

步骤4 高水平灾情云与低水平灾情云计算。以总体灾情云的 E_x 值为分界线,将案例分为高水平 and 低水平案例:灾情评估值大于 E_x 的案例为高水平案例,反之为低水平案例。对所有高水平案例的灾情评估值重复步骤3得到高水平灾情云模型,同理得低水平灾情云模型。

步骤5 灾情等级标尺云构建。首先根据总体灾情云、高水平灾情云和低水平灾情云,结合各案例灾情等制定 S' 个评价等级的评估值区间。设第 s 等级的评估值区间为 $[a_s, b_s]$ ($s = 1, 2, \dots, S'$), 其云参数 (E_{xs}, E_{ns}) 根据式(4)计算^[17], H_{es} 根据评价语言的不确定性人为指定,一般取为 0.005。其次对各等级云进行精度检验。各等级云即构成灾情等级标尺,生成标尺云图。

$$\begin{cases} E_{xs} = (a_s + b_s)/2 \\ E_{ns} = (b_s - a_s)/6 \end{cases} \tag{4}$$

步骤6 各案例等级确定。计算案例灾情评估值与各等级云的确定度,第 k 个案例灾情评估值与第 s 个等级云模型的确定度为 $\eta_{ks} = \exp[-(x_k - E_{xs})^2 / 2E_{ns}'^2]$, 其中 E_{ns}' 为以 E_{ns} 为期望、

H_{es} 为方差的正态随机数。以确定度最大的等级为该案例等级,以确定度第二大的等级为该案例的等级偏向,从而反映同一等级中不同案例的灾情差别。如“中灾偏向大灾”的案例比“中灾偏向小灾”的案例灾情严重。

3 实例验证

将基于云模型的灾情等级评估模型应用于 6 次典型的暴雨洪涝灾害灾情评估。其中案例 1 ~ 3 为 2015 年发生的 3 次暴雨洪涝灾害实例^[18], 案例 4 ~ 6 为《洪涝灾情评估标准》中的评估实例。

根据灾害损失数据统计情况,选取社会影响中的人口、建筑设施、农业损失指标,以及经济影响中的直接经济损失指标进行分析。其中人口指标有受灾人数和死亡人数,分别记为 u_1 、 u_2 ; 建筑设施指标选取房屋倒塌数量,记为 u_3 ; 农业损失指标选取农作物受灾面积,记为 u_4 ; 直接经济损失记为 u_5 。由于目前缺乏全面的统计资料,暂未选取灾情属性及自然环境影响指标。6 次典型暴雨洪涝灾害损失统计数据如表 2 所示。

3.1 权重确定

邀请 10 名专家评估指标权重,以基于云模型的专家评价信息的赋权方法计算权重,专家评估权重情况及基于云模型计算权重结果如表 3 所示。

3.2 案例评估值与灾情云模型计算

根据式(3)计算得到 6 个案例的灾情评估值分别为 0.100 6, 0.133 5, 0.106 4, 0.636 5, 0.387 9 和 0.530 4。对 6 个案例的灾情评估值运用逆向云算法(公式(1)(2)(3)),经精度检验与参数修正,得到总体灾害云模型参数 (E_x, E_n, H_e) 为 (0.309 2, 0.222 8, 0.012 2)。以总体灾情云 $E_x = 0.309 2$ 为分界点,将

表 2 6 次暴雨洪涝灾害损失统计数据

案例	灾害详情	受灾人数/ 万人	死亡 人数/人	房屋倒塌数量/ 万间	农作物受灾 面积/hm ²	直接经济 损失/亿元
1	2015 年 5 月 18—22 日福建暴雨	29.90	11	0.28	34.00	30.60
2	2015 年 7 月 20—25 日福建暴雨	41.80	16	0.27	21.00	40.00
3	2015 年 8 月 16—19 日四川暴雨	148.10	30	0.36	91.00	8.80
4	“2008·06”珠江流域洪灾	1 842.96	50	5.24	957.85	131.07
5	200601 号台风“珍珠”台风灾害	1 106.30	36	1.60	368.90	84.60
6	2007 年河南陕西山西山洪灾害	195.15	179	2.34	146.20	38.48

表 3 指标权重专家评估值及云模型计算值

指标	权重										云模型 计算值
	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7	专家 8	专家 9	专家 10	
u_1	0.12	0.11	0.13	0.09	0.11	0.1	0.15	0.10	0.11	0.10	0.1125
u_2	0.35	0.32	0.34	0.34	0.35	0.30	0.35	0.37	0.33	0.35	0.3394
u_3	0.08	0.10	0.09	0.12	0.09	0.12	0.08	0.08	0.10	0.10	0.0959
u_4	0.10	0.13	0.11	0.10	0.11	0.12	0.09	0.12	0.12	0.10	0.1100
u_5	0.35	0.34	0.33	0.35	0.34	0.36	0.33	0.33	0.34	0.35	0.3422

6个案例分为低水平案例(案例1~3)和高水平案例(案例4~6)。同理可得经精度检验与参数修正后的高水平灾情云参数和低水平灾情云参数分别为(0.523 6, 0.089 9, 0.025 8)和(0.113 5, 0.016 7, 0.005 4)。对3个灾情云分别生成1000个云滴,在[0,1]区间生成云图如图1所示。

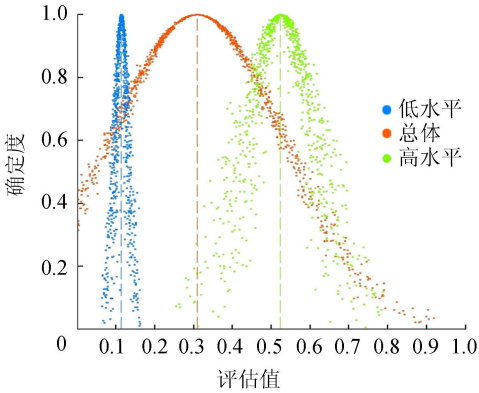


图1 各灾情云图

3.3 灾情等级标尺云计算

由图1可直观看出,低水平案例的灾情评估值集中在[0.06,0.16],评估值越接近0.1135对应的“低水平案例灾情云”的确定度越接近1。同时对案例1~3的灾情分析发现灾情影响均较小,所以初步界定低水平案例整体属于一般灾害。高水平案例的灾情评估值集中在[0.25,0.80],评估值越接近0.5236对应的“高水平案例灾情云”的确定度越接近1。对案例4~6的灾情分析发现灾情影响很大,初步界定高水平案例整体属于重大灾害。总体灾情云的灾情评估值主要集中在[0,0.8],评估值越接近0.3092对应的“总体灾情云”的确定度越接近1。总体灾情云融合了一般灾情与重大灾情,反映了灾害损失的平均水平,初步认定评估值处于0.3092附近的案例属于较大灾害。

根据上述分析,考虑到比重大灾害更严重的灾害(即“特别重大灾害”)发生的可能性,以及构建等距的灾情等级标尺,制定灾情等级的评估区间如表4所示。其中,直线区间[0, 0.115)和(0.805, 1]分别表示评估值属于该区间时对“一般灾害”和“特别重大灾害”的确定度为1。

表4 灾情等级评估区间

灾情等级	区间类型	评估区间
一般灾害	直线区间	[0, 0.115)
	半降云	[0.115, 0.345]
较大灾害	对称云	[0.115, 0.575]
重大灾害	对称云	[0.345, 0.805]
特别重大灾害	半升云	[0.575, 0.805]
	直线区间	(0.805, 1]

按照式(4)对各云模型区间计算云参数,得到一般灾害、较大灾害、重大灾害、特别重大灾害的云模型参数(E_s, E_n, H_e)分别为(0.115, 0.077, 0.005)、(0.345, 0.077, 0.005)、(0.575, 0.077, 0.005)、(0.805, 0.077, 0.005)。经云模型精度检验可知均符合要求。生成灾害等级评估标尺云图如图2所示。

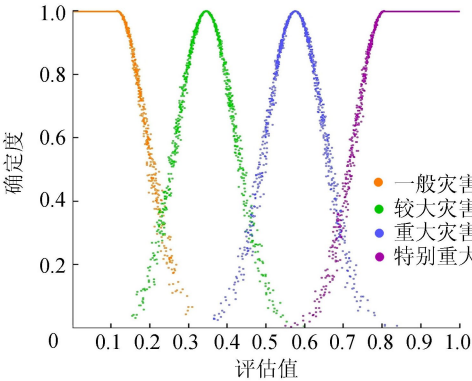


图2 灾情等级评估标尺云图

3.4 案例灾情等级确定

计算各案例的灾情评估值与标尺云中各等级云的确定度,并根据最大确定度原则确定案例等级,结果如表5、图3所示(图中数字标号表示各案例序号,虚线与各等级云模型的交点为案例评估值对各等级云的确定度)。

表5 各案例等级确定度及等级评估结果

案例	确定度				云模型评估结果	按《洪涝灾情评估标准》评估结果
	一般灾害	较大灾害	重大灾害	特别重大灾害		
1	1	0.005 5	0	0	一般灾害	一般灾害
2	0.974 3	0.020 2	0	0	一般灾害	一般灾害
3	1	0.017 3	0	0	一般灾害	一般灾害
4	0	0.000 9	0.717 3	0.170 6	重大灾害	重大灾害
5	0.000 5	0.858 5	0.055 3	0.000 0	较大灾害	较大灾害
6	0	0.090 6	0.820 2	0.001 9	重大灾害	特别重大灾害

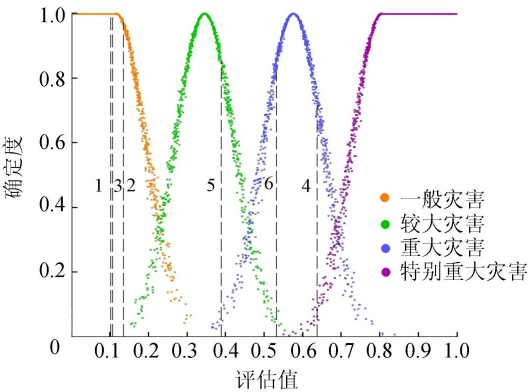


图3 案例等级确定

由表5和图3可知;案例4和案例6确定度最大的等级均为“重大灾害”,确定度第二大的等级分别是“特别重大灾害”和“较大灾害”。除了简单地

认为二者均为“重大灾害”等级,也可以说案例4的灾害等级为“重大灾害并偏向特别重大灾害”,案例6的灾害等级为“重大灾害并偏向较大灾害”。这是符合实际情况的:案例4指标数据中,除死亡人数小于案例6的外,其他指标值为案例6的2.2~9.4倍。因此,综合来看,案例4的灾情影响比案例6严重。这说明云模型方法能表达同一等级不同案例的灾情等级偏向,直观地反映同等级灾害的灾情差异。

由表5可知,应用云模型方法的评估结果与按照《洪涝灾情评估标准》认定的结果相比,案例1~5结果相同,案例6结果不同。案例1~5结果的一致性表明本文模型应用于暴雨洪涝灾害灾情评估的合理性和适用性。案例6在《洪涝灾情评估标准》评价中,既适用于指标体系认定方法,也适用于直接认定方法(“死亡人口达到100人或直接经济损失达到200亿元时,认定为特别重大灾害;死亡人口达到50人不足100人或直接经济损失达到100亿元不足200亿元时,认定为重大灾害。”)。前者结论与本文结果相同,为“重大灾害”;后者结论与本文结果不同,为“特别重大灾害”。根据就高原则,得出采用《洪涝灾情评估标准》评价的结论为“特别重大灾害”。本文模型与《洪涝灾情评估标准》的指标体系认定方法得出的结果相同,验证了本文模型的合理性和适用性。在用直接认定法评价灾情时,本文模型与其评价结果可能不一致(例如本文算例中的案例6),这种情况将在后续研究中进一步分析。

4 结 语

本文从灾情属性、社会影响、经济影响和自然环境影响4方面归纳整理形成一套较为全面的、考虑各方面影响的灾情评估指标体系,可为不同灾种灾害的灾情评估指标选择提供参考。不足之处是自然环境影响中的地形地质地貌影响和生态环境影响需要根据灾害损失特性进一步细化研究,提出更为具体的评估指标。

基于云模型的权重确定方法,考虑了主观评估的随机性和模糊性,实现多位专家的评估权重到综合权重数据的不确定性转换,可以充分、综合地考虑专家意见,与普通权重确定方法相比更为客观。

提出了基于云模型的灾害灾情等级评估模型,模型评估结果与《洪涝灾害评估标准》评估结果基本一致,验证了模型的合理性和适用性。该模型能充分考虑所研究灾种的灾情总体情况,降低了对专家经验的主观依赖性。采用最大确定度原则确定案例等级,用第二大确定度等级反映同一等级不同案例的灾情等级偏向,在有效地进行灾情等级分类基

础上提高了同一等级不同案例的灾情辨识度,与一般评估方法相比更为客观科学。案例等级确定过程反映了云模型在定量评估数据转换为等级评语时能体现语言的模糊性和随机性。

参考文献:

[1] 刘南江,李群,孙舟. 2016年全国自然灾害灾情分析[J]. 中国减灾, 2017(2):50-53. (LIU Nanjiang, LI Qun, SUN Zhou. Analysis of natural disasters in China in 2016[J]. Disaster Reduction in China, 2017(2):50-53.)

[2] 唐彦东,于汐. 灾害经济学[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2016.

[3] 杨小玲,周建中,丁杰华,等. 基于熵值法的洪灾等级评估属性识别模型[J]. 人民长江, 2010, 41(12):16-19. (YANG Xiaoling, ZHOU Jianzhong, DING Jiehua, et al. Attribute recognition model for comprehensive evaluation of flood grades based on entropy method[J]. Yangtze River, 2010, 41(12):16-19. (in Chinese))

[4] 巩在武,胡丽. 台风灾害评估中的影响因子分析[J]. 自然灾害学报, 2015(1):203-213. (GONG Zaiwu, HU Li. Influence factor analysis of typhoon disaster assessment[J]. Journal of natural disasters, 2015(1):203-213. (in Chinese))

[5] 殷克东,韦茜,李兴东. 风暴潮灾害社会经济损失评估研究[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(6):835-837. (YIN Kedong, WEI Qian, LI Xingdong. The evaluation techniques of the socio-economic loss caused by storm surge disaster[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(6):835-837. (in Chinese))

[6] 程立海,唐宏,周廷刚,等. 自然灾害强度的评估方法及应用:基于综合灾情指数的研究[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1):46-50. (CHENG Lihai, TANG Hong, ZHOU Tinggang, et al. Evaluation method of natural disaster intensity and its application: a research based on comprehensive disaster condition index[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(1):46-50. (in Chinese))

[7] 史莲梅,李斌,李圆圆,等. 新疆冰雹灾害经济损失评估及风险区划研究[J]. 冰川冻土, 2017, 39(2):299-307. (SHI Lianmei, LI Bin, LI Yuanyuan, et al. Study on economic loss assessment and risk division of hail disaster in Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(2):299-307. (in Chinese))

[8] 中国水利水电科学研究院. SL579—2012 洪涝灾情评估标准[S]. 北京:中国水利水电科学出版社,2012.

[9] 于庆东,沈荣芳. 自然灾害综合灾情分级模型及应用[J]. 灾害学, 1997(3):12-17. (YU Qingdong, SHEN Rongfang. A grading model and its application of the comprehensive situation of natural disaster[J]. Journal of Catastrophology, 1997(3):12-17. (in Chinese))

(下转第60页)