

基于多元联系数集对分析模型的城市突发事件应急能力评价

王松江, 孙 婕

(昆明理工大学 管理与经济学院, 昆明 650093)

摘要:针对城市突发事件应急能力评价问题,基于应急管理全过程理念,按照事前预防、事中处置和事后恢复 3 个方面建立城市突发事件应急能力评价指标体系。引入集对分析的五元联系数构建同异反评价模型对城市应急能力现状进行分析,通过五元联系数的偏联系数对潜在发展趋势进行预测,实现静态与动态分析的有效结合,为城市针对薄弱环节提升能力指明了方向。将模型应用于某城市进行实证分析,评价结果与实际情况进行比较,验证了该模型在城市突发事件应急能力评价中的可行性,可为其他城市突发事件应急能力评价提供参考。

关键词:突发事件;城市应急能力;集对理论;多元联系数

中图分类号:C931;G311;X913;D63 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)07-0001-07

突发事件是指突然发生、造成或者可能造成严重危害人类健康伤亡、经济损失、生态环境破坏,急需立即采取相应措施加以控制处理的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件以及社会安全事件^[1]。21 世纪以来突发事件频发,如 5·12 汶川地震、3·1 昆明火车站暴力恐怖袭击事件、8·12 天津滨海新区爆炸事故以及 2019 年末爆发的新冠肺炎疫情等,不仅会影响人们的生命财产安全,还会影响社会的发展稳定。突发事件给城市带来严峻的挑战,城市应急能力极大程度上决定了突发事件应对的成效。虽然各城市越来越重视应急能力建设,在应对突发事件中也发挥了一定的作用,但是仍存在薄弱之处。因此对城市突发事件应急能力进行评价研究,了解其应急能力的现状,重视能力的不足并提出相应的对策,对提高城市突发事件应急能力具有现实意义。

学者们对城市突发事件应急能力评价进行了研究。王伟等^[2]建立可拓学应急能力综合评价模型并进行实例应用;彭恒明和王铁骊^[3]基于 Z-numbers 方法对城市内涝灾害应急能力进行评价,并选取 4 座城市进行实证分析;齐春泽和代文锋^[4]构建了评价指标体系,采用云模型比较某省 3 个城市的灾害应急能力;林建伟^[5]利用改进的多层次灰色评价法评价分析城市突发公共事件应急管理能力;

Zhang 等^[6]运用证据理论方法进行城市应急能力的评价;Lu 等^[7]采用外部数据包络分析方法建立城市应急能力综合评价指标体系;田依林^[8]运用多层次模糊综合评价模型,评价分析中国某个城市突发公共事件综合应急能力。

研究发现,上述方法与模型在城市突发事件应急能力评价中发挥了一定的作用,由于突发事件的复杂性,需综合考虑评价系统中的确定与不确定因素,对于城市突发事件应急能力评价方法与模型的研究还需要不断探索,因此构建一套适用于对城市突发事件应急能力现状进行定量评价和预测发展趋势的模型有一定的理论探讨价值和实际的意义。本文引入集对分析理论与多元联系数法,构建评价模型分析城市突发事件应急能力现状,采用多元联系数的偏联系数预测发展趋势,实现动静分析,为城市突发事件应急能力评价提供新方法。

1 理论基础

集对分析是中国学者赵克勤提出的一种系统分析方法,能处理由模糊、随机、中立和信息不完全所造成的不确定性问题^[9]。在应用中主要是按照某种规则或理想方案,通过建立待评对象与规则或理想方案之间的联系数来评价研究的系统^[10]。集对是指具有一定联系的两个集合所组成的对子。假

收稿日期:2022-11-14

基金项目:国家社会科学基金(20VYJ028)。

作者简介:王松江(1960—),男,云南昆明人,昆明理工大学管理与经济学院,教授,博士研究生导师,研究方向为项目管理;孙婕(1996—),女,山西吕梁人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士研究生,研究方向为项目管理。

设问题 W 具有联系的集合 A 和 B , 组成集对 $H=(A, B)$, 对其特性展开分析共得到 N 个特性, 其中集合 A 和 B 有 S 个共有特性, P 个对立特性, F 个既不共有又不对立的特性, $F=N-S-P$, 则集对 H 的联系度(三元联系数)表示为

$$u(W)=\frac{S}{N}+\frac{F}{N}i+\frac{P}{N}j$$

(1)

式中: u 为集合 A 和 B 的联系度; S/N 为集合 A 和 B 的同一度; F/N 为集合 A 和 B 的差异度; P/N 为集合 A 和 B 的对立度; i 为集合 A 和 B 差异度系数, 规定 $i \in [-1, 1]$; j 为集合 A 和 B 对立度系数, 规定 $j = -1$ 。若令 $a = S/N, b = F/N, c = P/N$, 式(1)可简化为 $u = a + bi + cj$, a, b, c 3 个数满足归一化条件^[11], 即 $a + b + c = 1, a, b, c \in [0, 1]$ 。

1.1 五元联系数

集对分析三元联系数的表达式为 $u = a + bi + cj$, 对 bi 项进行拓展为多元联系数 $u = a + b_1i_1 + b_2i_2 + \cdots + b_ni_n + cj$, 当 $n = 3$ 时, $u = a + b_1i_1 + b_2i_2 + b_3i_3 + cj$, 可简化为 $u = a + bi + cj + dk + el$, 该式称为五元联系数, 其中 a, b, c, d, e 表示联系分量, 满足归一化条件, 即 $a + b + c + d + e = 1, a, b, c, d, e \in [0, 1]$; 此外, 联系分量具有层次性, $a > b > c > d > e$, “>”读作“正于”, 可将五元联系数与城市突发事件应急能力等级相对应, 用 a, b, c, d, e 分别刻画应急能力“高”“较高”“中等”“较低”“低”。

1.2 五元联系数的偏联系数

多元联系数的伴随函数, 即偏联系数, 反映了研究对象在同异反确定不确定联系状态的发展趋势, 其中五元联系数的各阶偏联系数如下。

一阶偏联系数:

$$\partial u = \partial a + i\partial b + j\partial c + k\partial d$$

(2)

式中: $\partial a = \frac{a}{a+b}; \partial b = \frac{b}{b+c}; \partial c = \frac{c}{c+d}; \partial d = \frac{d}{d+e}$ 。

二阶偏联系数:

$$\partial^2 u = \partial(\partial u) = \partial^2 a + i\partial^2 b + j\partial^2 c$$

(3)

式中: $\partial^2 a = \frac{\partial a}{\partial a + \partial b}; \partial^2 b = \frac{\partial b}{\partial b + \partial c}; \partial^2 c = \frac{\partial c}{\partial c + \partial d}$ 。

三阶偏联系数:

$$\partial^3 u = \partial^2(\partial u) = \partial^3 a + i\partial^3 b$$

(4)

式中: $\partial^3 a = \frac{\partial^2 a}{\partial^2 a + \partial^2 b}; \partial^3 b = \frac{\partial^2 b}{\partial^2 b + \partial^2 c}$ 。

四阶偏联系数:

$$\partial^4 u = \partial^3(\partial u) = \partial^4 a$$

(5)

式中: $\partial^4 a = \frac{\partial^3 a}{\partial^3 a + \partial^3 b}$ 。

2 评价模型

2.1 建立城市突发事件应急能力评价指标体系

为全面选取城市突发事件应急能力评价指标体系, 课题组实地调研走访了京津冀、长三角、珠三角和川滇具有代表性地区的应急管理局(厅)等有关部门, 邀请应急管理专家参与问卷调查, 并结合城市突发事件应急管理的相关报道、文献[2, 12-13], 从全过程视角出发, 将城市突发事件应急能力按照事前、事中、事后划分, 筛选建立了城市突发事件应急能力评价指标体系, 见表 1。

表 1 城市突发事件应急能力评价指标体系

目标层	准则层	指标层
城市突发事件应急能力评价	事前预防能力 C_1	应急法规完备程度 C_{11}
		应急资源储备水平 C_{12}
		应急预案健全程度 C_{13}
		应急队伍组建情况 C_{14}
		宣传培训演练水平 C_{15}
		监测预警系统 C_{16}
		应急场所建设情况 C_{17}
	事中处置能力 C_2	资金保障能力 C_{21}
		公众自救能力 C_{22}
		协同联动水平 C_{23}
		信息管理水平 C_{24}
		应急响应能力 C_{25}
		指挥协调能力 C_{26}
		救援救治能力 C_{27}
		物资调配能力 C_{28}
	事后恢复能力 C_3	事件调查评估 C_{31}
		恢复重建能力 C_{32}
		善后安置水平 C_{33}
		保险服务水平 C_{34}
		经验总结改进 C_{35}

2.2 划分城市突发事件应急能力评价指标等级

考虑专家评语集描述习惯, 把城市突发事件应急能力等级从高到低划分为 I 级、II 级、III 级、IV 级和 V 级, 分别对应高、较高、中等、较低和低 5 个定性结论, 将各指标进行量化, 评分均为百分制且划分标准一致, 见表 2。

表 2 城市突发事件应急能力等级及评分标准

应急能力等级	评分区间	评分说明
I	[90, 100]	高
II	[80, 90)	较高
III	[70, 80)	中等
IV	[60, 70)	较低
V	[0, 60)	低

2.3 计算各评价指标权重

本文选用层次分析法来计算各评价指标的权重,通过实地调研邀请应急管理专家采用1~9比例标度法^[14]对 layers 指标两两重要性进行比较打分,构造各层指标的判断矩阵,计算各层指标的权重值以及判断矩阵的最大特征根,并进行一致性检验。此外,结合受邀专家的工作资历赋予一定的权重,确定各评价指标的最终权重值,使结果更具说服力。

2.4 构建城市突发事件应急能力同异反评价模型

在由层次分析法确定指标权重后,邀请专家对各评价指标应急能力等级进行评分,根据公式 $x_{ij} = \frac{Y_{ij}}{Y}$ 得到评价矩阵 X , Y 表示受邀专家的总人数, Y_{ij} 表示认为评价指标 i 为应急能力等级 j 的专家人数,结合评价指标权重向量矩阵 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 和系数矩阵 $E = (1, i, j, k, l)$, 构建五元联系数同异反评价模型:

$$u = WXE^T =$$
$$(w_1, w_2, \dots, w_n) \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & x_{n4} & x_{n5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ i \\ j \\ k \\ l \end{pmatrix} =$$
$$\sum_{i=1}^n w_i x_{i1} + \sum_{i=1}^n w_i x_{i2} i + \sum_{i=1}^n w_i x_{i3} j + \sum_{i=1}^n w_i x_{i4} k + \sum_{i=1}^n w_i x_{i5} l \tag{6}$$

可简化为五元联系数:

$$u = a + bi + cj + dk + el \tag{7}$$

式中: u 为综合联系数,根据集对理论的意义知, $\sum_{i=1}^n w_i x_{i1} = a$ 为同一测度分量,表示应急能力等级属于“高”的程度; $\sum_{i=1}^n w_i x_{i2} = b$ 为差异测度偏同分量,表示应急能力等级属于“较高”的程度; $\sum_{i=1}^n w_i x_{i3} = c$ 为差异测度居中分量,表示应急能力等级属于“中等”的程度; $\sum_{i=1}^n w_i x_{i4} = d$ 为差异测度偏反分量,表示应急能力等级属于“较低”的程度; $\sum_{i=1}^n w_i x_{i5} = e$

为对立测度分量,表示应急能力等级属于“低”的程度; a, e 为确定项, b, c, d 为不确定项, i, j, k 为差异度系数,规定 $i, j, k \in [-1, 1]$; l 为对立度系数,规定 $l = 1$ 。

2.5 应急能力的态势及趋势分析

根据五元联系数 $u = a + bi + cj + dk + el$ 中各联系分量间的大小关系,运用五元联系数的集对势对城市突发事件应急能力进行态势分析,各阶偏联系数的集对势对应应急能力的发展趋势进行预测。当 $e \neq 0$ 时,将同一度联系分量 a 和对立度联系分量 e 的比值称为集对势,记 $\text{shi}(H) = a/e$ 。在计算应急能力评价的联系数时,以应急能力“高”为理想参照集,在式 $\text{shi} = a/e$ 中, a 表示应急能力高的数值,若 $\text{shi} > 1$,称为同势,表明评价对象应急能力较高,若 $\text{shi} = 1$,称为均势,表明评价对象应急能力处于“势均力敌”状态,若 $\text{shi} < 1$,称为反势,表明评价对象应急能力较低。依据五元联系数中 a, b, c, d, e 的大小关系,参考标准的 181 种态势表^[15],得到各评价指标的集对势等级。

3 实例分析

通过对京津冀、长三角、珠三角和川滇等地的实地调研,以 S 市为例,通过查阅相关资料和实地走访,深入了解该市突发事件应急管理的情况,并应用构建的模型对 S 市突发事件应急能力进行评价分析,同时验证该模型的可行性。

3.1 计算各评价指标权重

为获得 S 市突发事件应急能力各评价指标的权重值,实地走访邀请了该省应急管理厅长期从事应急管理工作的 5 位专家独立打分,按照 1~9 比例标度法对评价指标的重要性两两比较打分构成判断矩阵。

某位专家打分情况及利用 SPSSPRO 计算各指标权重结果见表 3~表 6。表 3~表 6 中,CI 为一致性指标, $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值, n 为判断矩阵的阶数;RI 为平均随机一致性指标,根据各判断矩阵的阶数 n 查表确定对应的 RI 值;CR 为一致性比率, $CR = CI / RI$ 。

3.1.1 计算准则层指标权重

准则层指标包括事前预防能力 C_1 、事中处置能力 C_2 和事后恢复能力 C_3 。构造判断矩阵见表 3。

表 3 准则层指标判断矩阵

C	C ₁	C ₂	C ₃	权重	λ _{max}	CI	RI	CR	结果
C ₁	1	1/2	2	0.297 0	3.009 2	0.004 6	0.525	0.008 8<0.1	判断矩阵满足一致性
C ₂	2	1	3	0.539 6					
C ₃	1/2	1/3	1	0.163 4					

3.1.2 计算指标层指标权重

事前预防能力 C_1 包括应急法规完备程度 C_{11} 、应急资源储备水平 C_{12} 、应急预案健全程度 C_{13} 、应急队伍组建情况 C_{14} 、宣传培训演练水平 C_{15} 、监测预警系统 C_{16} 和应急场所建设情况 C_{17} 。构造判断矩阵见表 4。

事中处置能力 C_2 包括资金保障能力 C_{21} 、公众自救能力 C_{22} 、协同联动水平 C_{23} 、信息管理水平 C_{24} 、应急响应能力 C_{25} 、指挥协调能力 C_{26} 、救援救治能力 C_{27} 和物资调配能力 C_{28} 。构造判断矩阵见表 5。

事后恢复能力 C_3 包括事件调查评估 C_{31} 、恢复重建能力 C_{32} 、善后安置水平 C_{33} 、保险服务水平 C_{34} 和经验总结改进 C_{35} 。构造判断矩阵见表 6。

同理,经计算其他 4 位专家分别对准则层和指标层各评价指标两两比较重要性打分所构成的判断矩阵的 $CR<0.1$,均通过了一致性检验,表明各元素间关系是符合逻辑的。考虑到 5 位应急管理专家工作资历的差异,赋予 5 位专家权重分别为

0.20、0.20、0.25、0.20 和 0.15,通过计算求得各评价指标的权重。最终的准则层指标权重值 W^* 和指标层指标权重值 W_i^* ,即

$$W^* = [0.277\ 5, 0.451\ 2, 0.271\ 3];$$
$$W_1^* = [0.186\ 6, 0.280\ 7, 0.299\ 2, 0.042\ 9, 0.067\ 4, 0.089\ 7, 0.033\ 5];$$
$$W_2^* = [0.099\ 6, 0.054\ 8, 0.038\ 5, 0.198\ 2, 0.165\ 2, 0.240\ 0, 0.111\ 0, 0.092\ 7];$$
$$W_3^* = [0.218\ 0, 0.345\ 9, 0.197\ 2, 0.148\ 8, 0.090\ 1].$$

3.2 构建多元联系系数同异反评价模型

为全面评价 S 市突发事件应急管理能力,课题组邀请该省应急管理厅的 20 位专家,通过实地走访和查阅资料的方式,结合自身的专业知识和工作经验,依据表 2 的评分标准对各评价指标进行等级评判,将评判结果构成评价矩阵 X ,结合所得指标权重,利用式(6)、式(7)计算该市突发事件应急能力现状五元联系系数,式(2)~式(5)计算各阶偏联系系数,对发展趋势进行预测,计算结果见表 7~表 9。

表 4 事前预防能力(C_1)次判断矩阵

C_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	权重	$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR	结果
C_{11}	1	4	5	8	6	3	7	0.398 2	7.565 7	0.094 3	1.341	0.070 3<0.1	判断矩阵满足一致性
C_{12}	1/4	1	3	6	4	1/2	5	0.166 5					
C_{13}	1/5	1/3	1	5	3	1/3	4	0.100 7					
C_{14}	1/8	1/6	1/5	1	1/4	1/6	1/3	0.024 0					
C_{15}	1/6	1/4	1/3	4	1	1/4	3	0.061 4					
C_{16}	1/3	2	3	6	4	1	5	0.211 4					
C_{17}	1/7	1/5	1/4	3	1/3	1/5	1	0.037 9					

表 5 事中处置能力(C_2)次判断矩阵

C_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}	权重	$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR	结果
C_{21}	1	5	4	6	8	7	2	3	0.328 0	8.288 3	0.041 2	1.404	0.029 3<0.1	判断矩阵满足一致性
C_{22}	1/5	1	1/2	2	4	3	1/4	1/3	0.071 3					
C_{23}	1/4	2	1	3	5	4	1/3	1/2	0.106 5					
C_{24}	1/6	1/2	1/3	1	3	2	1/5	1/4	0.047 9					
C_{25}	1/8	1/4	1/5	1/3	1	1/2	1/7	1/6	0.023 1					
C_{26}	1/7	1/3	1/4	1/2	2	1	1/6	1/5	0.032 7					
C_{27}	1/2	4	3	5	7	6	1	2	0.231 9					
C_{28}	1/3	3	2	4	6	5	1/2	1	0.158 5					

表 6 事后恢复能力(C_3)次判断矩阵

C_3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{35}	权重	$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR	结果
C_{31}	1	2	1/3	3	4	0.227 7	5.098 8	0.024 7	1.11	0.022 2<0.1	判断矩阵满足一致性
C_{32}	1/2	1	1/4	2	3	0.141 8					
C_{33}	3	4	1	5	6	0.487 5					
C_{34}	1/3	1/2	1/5	1	2	0.087 4					
C_{35}	1/4	1/3	1/6	1/2	1	0.055 6					

表 7 现状五元联系数计算结果

准则层	指标层	权重	现状五元联系数	态势
事前预防能力 0.277 5	应急法规完备程度	0.186 6	$0.25 + 0.25i + 0.20j + 0.10k + 0.20l$	同势
	应急资源储备水平	0.280 7	$0.25 + 0.30i + 0.10j + 0.15k + 0.20l$	同势
	应急预案健全程度	0.299 2	$0.20 + 0.15i + 0.10j + 0.30k + 0.25l$	反势
	应急队伍组建情况	0.042 9	$0.20 + 0.25i + 0.20j + 0.20k + 0.15l$	同势
	宣传培训演练水平	0.067 4	$0.20 + 0.20i + 0.30j + 0.20k + 0.10l$	同势
	监测预警系统	0.089 7	$0.25 + 0.25i + 0.15j + 0.05k + 0.30l$	反势
	应急场所建设情况	0.033 5	$0.20 + 0.25i + 0.25j + 0.15k + 0.15l$	同势
	合计	1.000 0	$0.23 + 0.23i + 0.15j + 0.18k + 0.21l$	同势
事中处置能力 0.451 2	资金保障能力	0.099 6	$0.25 + 0.30i + 0.15j + 0.20k + 0.10l$	同势
	公众自救能力	0.054 8	$0.15 + 0.20i + 0.30j + 0.30k + 0.05l$	同势
	协同联动水平	0.038 5	$0.20 + 0.20i + 0.20j + 0.15k + 0.25l$	反势
	信息管理水平	0.198 2	$0.15 + 0.20i + 0.25j + 0.30k + 0.10l$	同势
	应急响应能力	0.165 2	$0.15 + 0.20i + 0.30j + 0.25k + 0.10l$	同势
	指挥协调能力	0.240 0	$0.10 + 0.10i + 0.25j + 0.30k + 0.25l$	反势
	救援救治能力	0.111 0	$0.20 + 0.25i + 0.30j + 0.15k + 0.10l$	同势
	物资调配能力	0.092 7	$0.25 + 0.35i + 0.05j + 0.15k + 0.20l$	同势
	合计	1.000 0	$0.16 + 0.20i + 0.24j + 0.25k + 0.15l$	同势
事后恢复能力 0.271 3	事件调查评估	0.218 0	$0.25 + 0.35i + 0.15j + 0.10k + 0.15l$	同势
	恢复重建能力	0.345 9	$0.30 + 0.15i + 0.20j + 0.15k + 0.20l$	同势
	善后安置水平	0.197 2	$0.20 + 0.30i + 0.30j + 0.05k + 0.15l$	同势
	保险服务水平	0.148 8	$0.15 + 0.20i + 0.25j + 0.30k + 0.10l$	同势
	经验总结改进	0.090 1	$0.20 + 0.25i + 0.35j + 0.10k + 0.10l$	同势
	合计	1.000 0	$0.24 + 0.24i + 0.23j + 0.14k + 0.15l$	同势
	总合计	1.000 0	$0.20 + 0.22i + 0.21j + 0.20k + 0.17l$	同势

表 8 一阶、二阶偏联系数计算结果

准则层	指标层	权重	一阶偏联系数	趋势	二阶偏联系数	趋势
事前预防能力 0.277 5	应急法规完备程度	0.186 6	$0.50 + 0.56i + 0.67j + 0.33k$	同势	$0.47 + 0.45i + 0.67j$	反势
	应急资源储备水平	0.280 7	$0.45 + 0.75i + 0.40j + 0.43k$	同势	$0.38 + 0.65i + 0.48j$	反势
	应急预案健全程度	0.299 2	$0.57 + 0.60i + 0.25j + 0.55k$	同势	$0.49 + 0.71i + 0.31j$	同势
	应急队伍组建情况	0.042 9	$0.44 + 0.56i + 0.50j + 0.57k$	反势	$0.44 + 0.53i + 0.47j$	反势
	宣传培训演练水平	0.067 4	$0.50 + 0.40i + 0.60j + 0.67k$	反势	$0.56 + 0.40i + 0.47j$	同势
	监测预警系统	0.089 7	$0.50 + 0.63i + 0.75j + 0.14k$	同势	$0.44 + 0.45i + 0.84j$	反势
	应急场所建设情况	0.033 5	$0.44 + 0.50i + 0.63j + 0.50k$	反势	$0.47 + 0.44i + 0.56j$	反势
	合计	1.000 0	$0.50 + 0.61i + 0.45j + 0.46k$	同势	$0.45 + 0.58i + 0.49j$	反势
事中处置能力 0.451 2	资金保障能力	0.099 6	$0.45 + 0.67i + 0.43j + 0.67k$	反势	$0.41 + 0.61i + 0.39j$	同势
	公众自救能力	0.054 8	$0.43 + 0.40i + 0.50j + 0.86k$	反势	$0.52 + 0.44i + 0.37j$	同势
	协同联动水平	0.038 5	$0.50 + 0.50i + 0.57j + 0.38k$	同势	$0.50 + 0.47i + 0.60j$	反势
	信息管理水平	0.198 2	$0.43 + 0.44i + 0.45j + 0.75k$	反势	$0.49 + 0.49i + 0.38j$	同势
	应急响应能力	0.165 2	$0.43 + 0.40i + 0.55j + 0.71k$	反势	$0.52 + 0.42i + 0.43j$	同势
	指挥协调能力	0.240 0	$0.50 + 0.29i + 0.45j + 0.55k$	反势	$0.64 + 0.39i + 0.45j$	同势
	救援救治能力	0.111 0	$0.44 + 0.45i + 0.67j + 0.60k$	反势	$0.49 + 0.41i + 0.53j$	反势
	物资调配能力	0.092 7	$0.42 + 0.88i + 0.25j + 0.43k$	反势	$0.32 + 0.78i + 0.37j$	反势
	合计	1.000 0	$0.44 + 0.45i + 0.49j + 0.63k$	反势	$0.49 + 0.48i + 0.44j$	同势
事后恢复能力 0.271 3	事件调查评估	0.218 0	$0.42 + 0.70i + 0.60j + 0.40k$	同势	$0.37 + 0.54i + 0.60j$	反势
	恢复重建能力	0.345 9	$0.67 + 0.43i + 0.57j + 0.43k$	同势	$0.61 + 0.43i + 0.57j$	同势
	善后安置水平	0.197 2	$0.40 + 0.50i + 0.86j + 0.25k$	同势	$0.44 + 0.37i + 0.77j$	反势
	保险服务水平	0.148 8	$0.43 + 0.44i + 0.45j + 0.75k$	反势	$0.49 + 0.49i + 0.38j$	同势
	经验总结改进	0.090 1	$0.44 + 0.42i + 0.78j + 0.50k$	反势	$0.52 + 0.35i + 0.61j$	反势
	合计	1.000 0	$0.50 + 0.51i + 0.62j + 0.48k$	同势	$0.50 + 0.45i + 0.56j$	反势
	总合计	1.000 0	$0.48 + 0.51i + 0.51j + 0.54k$	反势	$0.48 + 0.50i + 0.49j$	反势

综合后城市突发事件应急能力五元联系数为 $u = 0.20 + 0.22i + 0.21j + 0.20k + 0.17l$ ，其 $\text{shi}(H) = \frac{a}{e} = 1.18 > 1$ ，为同势区，且 $a < b, b > c$ ， $c > d, d > e$ ，查表知为同势 47 级，总体应急能力较强。其中事前预防能力五元联系数为 $u_1 = 0.23 + 0.23i + 0.15j + 0.18k + 0.21l$ ，且 $a > e, a = b, b >$

表 9 三阶、四阶偏联系数计算结果

准则层	指标层	权重	三阶偏联系数	趋势	四阶偏联系数	趋势
事前预防能力 0.277 5	应急法规完备程度	0.186 6	$0.51 + 0.40i$	同势	0.56	同势
	应急资源储备水平	0.280 7	$0.37 + 0.58i$	反势	0.39	反势
	应急预案健全程度	0.299 2	$0.41 + 0.70i$	反势	0.37	反势
	应急队伍组建情况	0.042 9	$0.45 + 0.53i$	反势	0.46	反势
	宣传培训演练水平	0.067 4	$0.58 + 0.46i$	同势	0.56	同势
	监测预警系统	0.089 7	$0.49 + 0.35i$	同势	0.58	同势
	应急场所建设情况	0.033 5	$0.52 + 0.44i$	同势	0.54	同势
	合计	1.000 0	$0.44 + 0.54i$	反势	0.45	反势
事中处置能力 0.451 2	资金保障能力	0.099 6	$0.40 + 0.61i$	反势	0.40	反势
	公众自救能力	0.054 8	$0.54 + 0.54i$	均势	0.50	均势
	协同联动水平	0.038 5	$0.52 + 0.44i$	同势	0.54	同势
	信息管理水平	0.198 2	$0.50 + 0.56i$	反势	0.47	反势
	应急响应能力	0.165 2	$0.55 + 0.49i$	同势	0.53	同势
	指挥协调能力	0.240 0	$0.62 + 0.46i$	同势	0.57	同势
	救援救治能力	0.111 0	$0.54 + 0.44i$	同势	0.55	同势
	物资调配能力	0.092 7	$0.29 + 0.68i$	反势	0.30	反势
	合计	1.000 0	$0.51 + 0.52i$	反势	0.50	均势
事后恢复能力 0.271 3	事件调查评估	0.218 0	$0.41 + 0.47i$	反势	0.47	反势
	恢复重建能力	0.345 9	$0.59 + 0.43i$	同势	0.58	同势
	善后安置水平	0.197 2	$0.54 + 0.32i$	同势	0.63	同势
	保险服务水平	0.148 8	$0.50 + 0.56i$	反势	0.47	反势
	经验总结改进	0.090 1	$0.60 + 0.36i$	同势	0.63	同势
	合计	1.000 0	$0.53 + 0.45i$	同势	0.54	同势
总计		1.000 0	$0.49 + 0.51i$	反势	0.49	反势

$c, c < d, d < e$, 查表知为同势 36 级; 事中处置能力五元联系数为 $u_2 = 0.16 + 0.20i + 0.24j + 0.25k + 0.15l$, 且 $a > e, a < b, b < c, c < d, d > e$, 查表知为同势 65 级; 事后恢复能力五元联系数为 $u_3 = 0.24 + 0.24i + 0.23j + 0.14k + 0.15l$, 且 $a > e, a = b, b > c, c > d, d < e$, 查表知为同势 30 级。在指标层 20 个因素中, 处于同势的因素有 16 个, 处于反势的因素有 4 个, 从五元联系数态势来看, 该市突发事件应急能力处于同势的因素远多于处于反势的因素, 表明该市突发事件应急能力总体位于同势区, 即应急能力水平较高的程度。事前预防能力、事中处置能力和事后恢复能力均处于同势区, 在事前预防能力中, “应急预案健全程度” 处于反势 119 级, “监测预警系统” 处于反势 136 级。事中处置能力处于同势 65 级, 为弱同势区, 表明该市亟待提高突发事件应急处置能力, 并重点关注其指标层中处于反势的因素“协同联动水平”和“指挥协调能力”。

综合后的一阶偏联系数为 $\partial u = 0.48 + 0.51i + 0.51j + 0.54k$, 其 $\text{shi}(H) = \frac{0.48}{0.54} < 1$, 处于反势, 表明该市突发事件应急水平呈现一阶下降趋势; 综合后的二阶偏联系数为 $\partial^2 u = 0.48 + 0.50i + 0.49j$, 其 $\text{shi}(H) = \frac{0.48}{0.49} < 1$, 处于反势, 表明该市突发事件

应急水平呈现二阶下降趋势; 综合后的三阶偏联系数为 $\partial^3 u = 0.49 + 0.51i$, $\text{shi}(H) = \frac{0.49}{0.51} < 1$, 处于反势, 表明该市突发事件应急水平呈现三阶下降趋势; 综合后的四阶偏联系数为 $\partial^4 u = 0.49$, 即 $\frac{a}{a+b} < 0.5$, $a < b$, 故该市突发事件应急能力的同势小于不确定势, 表明该市突发事件应急水平呈现四阶下降趋势。从各阶偏联系数发展趋势来看, 虽然综合应急水平呈现潜在下降趋势, 但其中有一些因素呈现提高趋势, 也有一些因素呈现潜在降低趋势, 需重点关注出现在反势区次数较多的指标层因素, 如“应急队伍组建情况”“物资调配能力”和“事件调查评估”等。

通过分析和预测 S 市突发事件应急能力的现状与发展趋势, 虽然该市总体应急能力处于较高水平, 但存在个别指标因素处于较低水平, 在事前预防阶段, 应健全应急预案, 努力达成“横向到边、纵向到底”的目标, 确保应急预案的可操作性和适用性; 重视监测预警系统, 以便在突发事件发生之前和萌芽时期政府和应急部门及时作出响应; 加强应急队伍建设, 提高领导者的素养, 完善应急专家库等。在事中处置阶段, 加强各有关机构和部门的协同联动, 避免各自为战, 实现协同作战; 构建应急指

挥中心进行统一指挥协调,有效开展应急处置工作;提高应急物资调配效率,合理规划现有物资,减少因物资缺乏带来的问题。在事后恢复阶段,对突发事件发生的原因和损害程度进行调查评估,分析事件应对过程中的经验和不足,加以改进,提高未来突发事件发生时的应对能力。

4 结论

1)基于城市突发事件应急管理全过程,按事前预防能力、事中处置能力和事后恢复能力3个方面建立评价指标体系,并以层次分析法计算各评价指标权重,得到更为符合实际的指标权重。

2)引入数学领域的集对分析理论,运用五元联系数对城市突发事件应急能力现状进行分析,运用五元联系数的偏联系数对潜在的发展趋势进行预测,实现了静态与动态分析相结合。针对当前应急能力的不足和未来潜在在下降趋势的因素提出了建议,为城市管理者发现薄弱环节和能力提升有现实意义。

3)实例分析结果表明,评价结果与实地调研情况相符,验证了构建的城市突发事件应急能力评价模型的可靠性,可为其他城市突发事件应急能力的评价提供参考。

4)虽然在资料搜集、文献研究和实地调研专家咨询的基础上基于全过程理念建立了城市突发事件应急能力评价指标体系,但指标体系可能不够全面,需在后续研究中根据城市具体情况完善突发事件应急能力评价指标体系。

参考文献

- [1] 刘兰强.城市突发事件应急能力评估方法研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [2] 王伟,章宏帆,邵芸.基于可拓学的应急能力综合评价方法研究[J].南开大学学报(自然科学版),2015,48(3):92-98,111.
- [3] 彭恒明,王铁骊.基于 Z-numbers 的城市内涝灾害应急能力评价研究[J].中国安全生产科学技术,2020,16(5):115-121.
- [4] 齐春泽,代文锋.基于云模型的城市灾害应急能力评价[J].统计与决策,2019,35(4):41-45.
- [5] 林建伟.城市突发公共事件应急管理能力评价研究[D].厦门:厦门大学,2009.
- [6] ZHANG J H, HUANG W H, XU J. Evaluation of the city emergency capacity based on the evidence theory [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013, 2013: 542618. 1-542618. 6.
- [7] LU F X, WANG G H, WANG H B, et al. The comprehensive evaluation index system of urban emergency capacity based on external DEA[J]. The Open Cybernetics & Systems Journal, 2014, 8(1): 1158-1165.
- [8] 田依林.城市突发公共事件综合应急能力评价研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [9] 赵克勤.集对分析及其初步应用[J].大自然探索,1994(1):67-72.
- [10] 周兴慧,张吉军.基于五元联系数的风险综合评价方法及其应用[J].系统工程理论与实践,2013,33(8):2169-2176.
- [11] 李德顺,许开立,叶海云.论基于多元联系数的集对分析评价模型[J].中国安全生产科学技术,2009,5(4):110-114.
- [12] 杨洋,颜爱华,王国栋,等.城市应急能力评估指标体系研究及实践[J].中国应急救援,2019(6):32-35.
- [13] 孙宁宇.城市突发公共事件应急能力评价指标体系研究[D].大连:大连理工大学,2009.
- [14] 许艳秋,潘美芹.层次分析法和支撑向量机在个人信用评估中的应用[J].中国管理科学,2016,24(S1):106-112.
- [15] 王国平,杨洁,王洪光.五元联系数在地表水环境质量评价中的应用[J].安全与环境学报,2006(6):21-24.

Evaluation of Urban Emergency Response Capability Based on Multivariate Connection Number Set Pair Analysis Model

WANG Songjiang, SUN Jie

(Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: In view of the problems in the evaluation of urban emergency response capability, based on the whole process concept of emergency management, the evaluation index system of urban emergency response capability is established in accordance with the three aspects of pre prevention, in-process disposal and post recovery. Five-element connection number based on set pair analysis is introduced to construct the similarities and differences evaluation model to analyze the current situation of urban emergency response capability, and the potential development trend is predicted through the partial connection coefficient of the five-element connection number. The effective combination of static and dynamic analysis is realized, and it is pointed out the direction for improving the city's ability to address weak links. The model is applied to a city for empirical analysis, and the evaluation results are compared with the actual situation to verify the feasibility of the model in the evaluation of urban emergency response capacity, which can provide reference for the evaluation of other cities' emergency response capacity.

Keywords: emergency; urban emergency response capacity; set pair theory; multiple connection number