

陈为公, 张娜, 张友森, 等. 基于 DEMATEL-ISM 的城市灾害韧性影响因素研究[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 1-6, 17.
[CHEN Weigong, ZHANG Na, ZHANG Yousen, et al. Study on Influencing Factors of Urban Disaster Resilience Based on DEMATEL-ISM [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(1): 1-6, 17. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.01.001.]

基于 DEMATEL-ISM 的城市灾害韧性影响因素研究^{*}

陈为公^{1,2}, 张 娜¹, 张友森³, 程 准¹, 张 悦¹

(1. 青岛理工大学 管理工程学院, 山东 青岛 266520; 2. 山东省高校智慧城市建设管理研究中心(新型智库), 山东 青岛 266520; 3. 山东省莒县自然资源和规划局, 山东 日照 276500)

摘 要: 提高城市灾害韧性对于城市可持续发展意义重大。在确定城市灾害韧性影响因素的基础上, 将 DEMATEL(决策试验与评价实验法)与 ISM(解释结构模型法)相结合, 识别关键影响因素, 明晰影响因素之间的作用路径与层次结构, 绘制原因结果图, 构建多级递阶结构模型, 从而直观的呈现关键影响因素及作用路径。结果表明, 城市灾害韧性影响因素可划分为 7 级 3 阶的多级递阶结构, 其中, 城市管治能力是最关键的根本影响因素, 应急信息完善度是最重要的中间影响因素, 经济调节能力是最有效的直接影响因素。

关键词: 城市灾害韧性; 影响因素; DEMATEL 法; ISM 法

中图分类号: X915.5; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)01-0001-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.01.001

地震、台风等各类灾害为城市可持续发展带来障碍, 城市作为人类生产生活的重要载体, 如何提高城市防灾减灾能力成为亟待解决的问题^[1]。面临灾害的不确定性和突发性, 传统的被动防灾已无法满足未来城市发展的需求, 城市灾害韧性理念为城市综合防灾提供了新的视角。城市灾害韧性即城市系统能消化和吸收外界干扰, 维持或迅速恢复原有关键功能及主要特点的能力^[2]。通过提升城市自身的韧性以应对灾害, 对于增强城市综合防灾能力具有重要意义, 故引入城市灾害韧性理念进行研究。

近年来对灾害韧性关注度不断加强, 国内外学者在城市灾害韧性研究方面得到了一定进展。Holling 首次提出韧性理论, 用以反映系统在遭受外界冲击时保持或快速恢复稳定的能力^[3]。自 21 世纪以来, 学者将韧性与城市规划相结合, 提出了城市韧性的概念, Wilbanks 将其定义为城市系统能从多重干扰中迅速恢复, 将其对公共安全和经济发展的影响降到最小的能力^[4]。2005 年国际减灾会议宣布将城市韧性纳入灾害议程, 城市灾害韧性开始被学术界广泛研究^[5]。杨敏行等在梳理韧性概念起源和理论发展的基础上, 探讨了城市灾害韧性研究的三个发展趋势^[6]。在对城市灾害韧性进行理论研究的同时, 为分析和认识现实的城市灾害韧性, 学术界开始进行城市灾害韧性评价研究。QASIM 等通过问卷调查法确定社区洪水

灾害韧性指标, 并对巴基斯坦某洪灾易发地区的社区恢复力进行评估^[7], 对城市洪水灾害的抗灾能力研究有一定的借鉴意义, 但问卷调查法具有一定的主观性。李亚等基于韧性基线模型(BRIC), 对全国 288 个地级市的灾害韧性进行评估^[8], 此次研究对评价指标体系进行了分析, 但缺少对城市灾害冲击度的考虑。目前学术界从宏观层面对城市灾害韧性进行了一定的研究, 但对关键影响因素及其作用路径的研究相对匮乏。城市自形成以来就不断承受来自自身与外部环境的种种扰动和冲击^[9], 因此应对这些扰动因素的城市灾害韧性不仅受多种不确定性因素影响, 而且各因素间联系冗杂。因此要想从根源上提高城市灾害韧性, 对影响因素及其作用路径进行探究十分关键。

影响因素研究的本质是识别关键因素, 并明晰各因素间的作用路径, 其方法种类繁多, 如 PSR 框架理论^[10]、PCA 法^[11]、数据包络分析法^[12]等。PSR 框架理论法作为定性方法, 客观性较弱; PCA 法避免了定性方法客观性较弱的缺点, 但该方法提取出的主要元素具有一定的模糊性, 无法确切的表达其现实含义; 数据包络分析法可以贴切表达主要因素的内涵, 但对样本数量要求较高。针对此, 范琪等提出运用灰色关联模型进行关联度排序来判断各因素的影响程度^[13], 灰色关联法仅依靠因素间关联程度进行探究, 对因素间的作用路径及层次结构研究较少。张立业等通过构建

^{*} 收稿日期: 2020-07-06 修回日期: 2020-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71471094)

第一作者简介: 陈为公(1971-), 男, 汉族, 辽宁沈阳人, 博士, 教授, 主要从事工程项目管理研究。E-mail: ch.ylh@163.com

通讯作者: 张娜(1997-), 女, 汉族, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事工程项目管理研究。E-mail: 812231966@qq.com

ISM 模型对关键影响因素进行探析^[14], ISM 法能弥补上述研究的不足, 将各因素间的相互作用关系予以充分考虑, 但忽视了关键因素的确定。

目前国内外学者对于城市灾害韧性的研究主要集中在理论研究和韧性评价两方面, 鲜有从根源上对城市灾害韧性影响因素及其作用路径进行探究, 已有文献中对影响因素的研究方法大多无法有效识别关键因素并考虑其作用路径。鉴于此, 为有效明晰城市灾害韧性的影响因素及作用路径, 本文采用既能明确关键因素, 又能梳理因素间逻辑关系的 DEMATEL-ISM 法对城市灾害韧性影响因素进行影响强度评判, 同时明晰因素间内在联系和层次结构, 从而提供相应建议, 以期提升城市灾害韧性, 维持城市系统的长效运转提供理论依据。

1 城市灾害韧性影响因素确定

联合国减灾署将“韧性”界定为“一个系统、社区处于危险时能迅速并有效的抵抗、吸收、适应并恢复的能力”^[15]。基于此, 城市灾害韧性可以考虑为: 当城市受到灾害威胁时, 可以不借助外界力量, 维持城市有序运转不被破坏、即使破坏后也能迅速恢复城市正常运转、不断增强自身能力以更好应对灾害的能力。城市灾害韧性的内涵涉及经济、设施、管理三个维度。城市经济韧性强调城市用以抵挡灾害及灾后复原的经济潜力。城市设施韧性是指城市减灾设施场所等应对灾害的能力; 城市管理韧性体现相关管理措施对于抵御灾害的作用水平。其具体内涵如表 1 所示。

表 1 城市灾害韧性理论内涵

韧性维度	内涵	具体内容
城市经济韧性	城市防灾工作资金投入	资金投入量及分配方案
	财务风险管理	个人: 就业情况及可支配收入 国家: 财政收入及经济稳定性
城市设施韧性	基础设施	学校、医院等基础设施稳定性
	应急设施	避难所等应急设施完备性
城市管理韧性	灾前准备	管理结构及措施的科学性
	灾时应急	应急预案与能力
	灾后救援	救援能力及信息完善度

结合我国各大城市应对灾害的实际情况及相关文献^[8,16-18], 并结合表 1 中城市灾害韧性的理论内涵, 遵循层次分明、系统完整、简明科学的原则^[19], 构建了城市灾害韧性影响因素体系(图 1)。

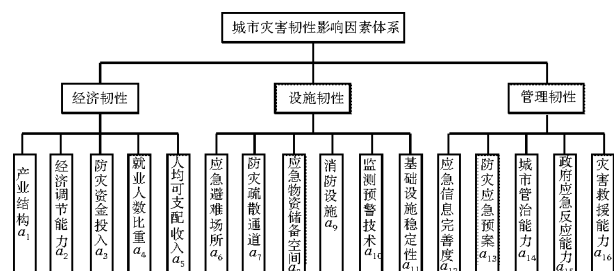


图 1 城市灾害韧性影响因素体系

2 基于 DEMATEL-ISM 综合建模方法介绍

城市灾害韧性受各类因素影响, 且因素间作用机制往往比较复杂。因此, 要有效识别出影响城市灾害韧性的关键因素, 并明确各影响因素间的作用路径, 需寻求能解决关键因素识别与相互关系明晰的方法。

DEMATEL 法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, 决策实验分析法) 侧重于利用矩阵论和图论对影响因素进行强度评判, 通过测算各影响因素的原因度等指标对复杂系统进行要素分析^[20]; ISM 法 (Interpretative Structural Modeling, 解释结构模型法) 通过建立可达矩阵等划分影响因素层次, 将关系冗杂的复杂系统转化为简明清晰、直观条理的多级递阶结构形式^[21-22]。

DEMATEL 法能针对复杂系统识别出关键影响因素, 但无法明确的探析因素间内在机理及层次结构, 而 ISM 法能够将因素间的逻辑关系予以直观呈现。二者均着眼于复杂系统进行因素分析, 因此基于此共性将两种方法相结合, 可以实现优势互补, 为复杂系统定量分析和科学决策提供强有力的支持。城市属于涉及因素众多且作用关系繁琐的复杂系统, 因此相较于其他方法, DEMATEL-ISM 法在研究城市灾害韧性问题时更加具有优势。其具体步骤如下。

(1) 依据城市灾害韧性影响因素体系确定出直接影响关系矩阵 B , 即初步确定影响因素的作用关系。

(2) 为消除量纲不同带来的影响, 对 B 矩阵规范化处理得到矩阵 C 。

(3) 求取综合影响矩阵 T , 明确各因素对城市灾害韧性影响因素体系中其他因素的影响程度。

(4) 计算相关指标, 以确定各影响因素的总影响程度、总被影响程度、类别属性及重要程度。

(5) 为充分考虑因素自身影响, 求解整体影响矩阵 H 。

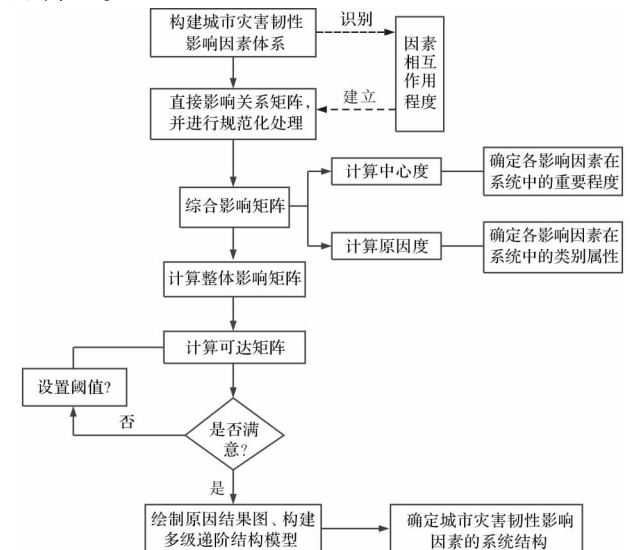


图 2 基于 DEMATEL-ISM 的城市灾害韧性影响因素研究流程图

(6)引入阈值 λ , 去除影响较小的指标。

(7)计算可达矩阵 F , 呈现指向性因素矩阵。

(8)将矩阵进行层次化处理。

(9)绘制原因结果图, 构建城市灾害韧性影响因素多级递阶结构模型。

基于 DEMATEL-ISM 的城市灾害韧性影响因素研究流程图如图 2 所示。

3 基于 DEMATEL-ISM 的城市灾害韧性影响因素研究模型构建

3.1 计算综合影响矩阵 T

运用德尔菲法邀请 20 位城市发展相关领域的专家学者对图 1 中的影响因素作用关系进行打分, 打分依据 0~4 打分法, 即 0、1、2、3、4 分别为无影响、低影响、中影响、较高影响以及高影响^[23]。由此获得直接影响关系矩阵 $B = [b_{ij}]_{n \times n}$,

b_{ij} 即城市灾害韧性影响因素 a_i 对城市灾害韧性影响因素 a_j 的影响程度。其中, 当 $i=j$ 时, $b_{ij}=0$ 。为统一量纲, 对矩阵 B 进行规范化处理得到标准化矩阵 $C = [c_{ij}]_{n \times n}$ 。从而使 C_{ij} 处于 $[0, 1]$ 区间内, 即

$$C = \frac{B}{\max_{1 \leq i \leq 16} \sum_{j=1}^{16} b_{ij}} \quad (1)$$

得到标准化矩阵后, 为表示出各城市灾害韧性影响因素对其他因素的影响程度, 根据式(2)求取综合影响矩阵 T :

$$T = C + C^2 + \cdots + C^n = C \frac{I - C^{n-1}}{I - C} \quad (2)$$

式中: I 为单位矩阵, 由于 C_{ij} 属于 $[0, 1]$, 因此 $n \rightarrow \infty$ 时, $C^{n-1} \rightarrow 0$, 故

$$T = C(I - C)^{-1} \quad (3)$$

由此求出城市灾害韧性影响因素综合影响矩阵 T , 如表 2 所示。

表 2 城市灾害韧性影响因素综合影响矩阵 T

因素	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
a_1	0.02	0.10	0.04	0.01	0.00	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.01	0.06	0.05	0.01	0.07	0.05
a_2	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.04	0.01	0.01	0.04	0.01	0.05	0.04	0.01	0.06	0.02
a_3	0.10	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02
a_4	0.02	0.06	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.08	0.01	0.11	0.10	0.02	0.07	0.04
a_5	0.02	0.07	0.02	0.04	0.01	0.03	0.13	0.04	0.03	0.13	0.03	0.08	0.07	0.07	0.06	0.09
a_6	0.03	0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.03	0.02	0.06
a_7	0.03	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.03	0.02	0.08
a_8	0.02	0.10	0.06	0.03	0.01	0.04	0.07	0.02	0.04	0.07	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05
a_9	0.02	0.07	0.04	0.02	0.03	0.03	0.07	0.09	0.03	0.06	0.02	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04
a_{10}	0.02	0.06	0.04	0.02	0.01	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06
a_{11}	0.03	0.06	0.03	0.04	0.01	0.04	0.08	0.06	0.10	0.07	0.02	0.16	0.12	0.03	0.04	0.12
a_{12}	0.07	0.12	0.03	0.02	0.01	0.07	0.07	0.08	0.07	0.06	0.02	0.05	0.06	0.02	0.06	0.08
a_{13}	0.03	0.07	0.05	0.06	0.01	0.07	0.09	0.06	0.07	0.09	0.02	0.10	0.05	0.05	0.06	0.07
a_{14}	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.08	0.04	0.03	0.01	0.06	0.03
a_{15}	0.02	0.06	0.02	0.02	0.01	0.05	0.08	0.03	0.05	0.08	0.01	0.09	0.10	0.02	0.03	0.06
a_{16}	0.06	0.11	0.05	0.03	0.03	0.08	0.13	0.13	0.04	0.08	0.06	0.13	0.07	0.03	0.06	0.07

表 3 城市灾害韧性影响因素的 DEMATEL 分析结果

	影响因素	影响度 r_i	被影响度 e_i	中心度 m_i	中心度排序	原因度 n_i	因素属性
a_1	产业结构	0.573	0.516	1.089	12	0.057	原因因素
a_2	经济调节能力	0.379	1.020	1.398	7	-0.641	结果因素
a_3	防灾资金投入	0.372	0.470	0.842	16	-0.098	结果因素
a_4	就业人数比重	0.718	0.401	1.119	11	0.318	原因因素
a_5	人均可支配收入	0.910	0.156	1.066	13	0.754	原因因素
a_6	应急避难场所	0.417	0.595	1.012	14	-0.179	结果因素
a_7	防灾疏散通道	0.381	0.998	1.378	9	-0.617	结果因素
a_8	应急物资储备空间	0.626	0.697	1.323	10	-0.071	结果因素
a_9	消防设施	0.797	0.590	1.387	8	0.207	原因因素
a_{10}	监测预警技术	0.776	0.949	1.725	4	-0.173	结果因素
a_{11}	基础设施稳定性	1.004	0.417	1.421	6	0.587	原因因素
a_{12}	应急信息完善度	0.890	1.224	2.114	1	-0.334	结果因素
a_{13}	防灾应急预案	0.940	0.938	1.879	3	0.002	原因因素
a_{14}	城市管治能力	0.471	0.474	0.944	15	-0.003	结果因素
a_{15}	政府应急反应能力	0.734	0.755	1.489	5	-0.021	结果因素
a_{16}	灾害救援能力	1.146	0.934	2.080	2	0.212	原因因素

3.2 计算影响程度 r 、被影响程度 e 、中心度 m 、原因度 n

计算出城市灾害韧性影响因素综合影响矩阵 T 后,在此基础上求解中心度 m_i 、原因度 n_i 、影响度 r_i 和被影响度 e_j 。其中,中心度 m_i 表明影响因素的重要程度;原因度 n_i 强调因素属性, n_i 为负则为结果因素,反之则为原因因素,结果因素是影响城市灾害韧性的直接因素,原因因素为间接因素;影响度 r_i 体现各因素对其他因素的作用程度;被影响度 e_j 则说明各影响因素受其他因素的作用程度。

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, i = 1, 2, \dots, 16; \quad (4)$$

$$e_j = \sum_{i=1}^n t_{ij}, j = 1, 2, \dots, 16; \quad (5)$$

$$m_i = r_i + e_j, i = j; \quad (6)$$

$$n_i = r_i - e_j, i = j。 \quad (7)$$

依据式(4)~式(7)计算城市灾害韧性影响因素的各项指标(表3)。

3.3 求取整体影响矩阵 H 和可达矩阵 F

3.2 节中求取的四类指标体现了各影响因素之间的关系,为充分考虑因素自身,在此基础上计算整体影响矩阵 H :

$$H = I + T。 \quad (8)$$

整体影响矩阵 H 中含有影响程度较小的指标,为简化系统结构,引入阈值 λ 将矩阵 H 中的冗余信息去除。通常文献中根据专家经验选取 λ 值,此种方法客观性较差,而用基于统计分布的均值与标准差之和计算可降低主观性影响^[24-25]。计算公式如下,其中, $\lambda \in [0, 1]$ 。

$$\lambda = \alpha + \beta。 \quad (9)$$

式中: α 、 β 分别为综合影响矩阵 T 中所有因素的均值和标准差。根据上式求出阈值 λ 结果如下:

$$\alpha = 0.043, \beta = 0.031, \lambda = \alpha + \beta = 0.074。 \quad (10)$$

根据 λ 值简化整体影响矩阵 H ,从而计算可达矩阵 F 。在可达矩阵中, f_{ij} 代表因素 a_i 与 a_j 的影响程度, $f_{ij} = 1$ 即因素 a_i 与 a_j 有直接影响,若 $f_{ij} = 0$ 则表示因素 a_i 与 a_j 没有直接影响:

$$f_{ij} = \begin{cases} 1, & h_{ij} \geq \lambda \\ 0, & h_{ij} < \lambda \end{cases} (i, j = 1, 2, \dots, 16)。 \quad (11)$$

3.4 划分影响因素级别

将可达矩阵进行层次化处理得到可达集合 $S(a_i)$ 、前因集合 $Q(a_i)$ 以及最高集要素集合 $L(a_i)$,若 $S(a_i) = S(a_i) \cap Q(a_i)$,则取 $S(a_i)$ 为最高层因素,依次将已分层因素删除后重复上述操作,直至所有影响因素层次划分完毕。

$$\left\{ \begin{array}{l} S(a_i) = \{a_j | a_j \in A, f_{ij} = 1\} \\ Q(a_i) = \{a_j | a_j \in A, f_{ji} = 1\} \\ L(a_i) = \{a_j \in A | S(a_i) \cap Q(a_i) = S(a_i)\} \end{array} \right\} (i, j = 1, 2, \dots, 16)。 \quad (12)$$

根据上式将城市灾害韧性影响因素可达矩阵进行层次化处理,第一层影响因素分解结果如表4所示,将其依次分层处理直至结束,最终层次化处理结果为:

$$L_1 = \{2, 6\}; L_2 = \{1, 8\}; L_3 = \{3, 7, 12\}; L_4 = \{10, 13\}; L_5 = \{9, 15, 16\}; L_6 = \{4, 5, 11\}; L_7 = \{14\}。 \quad (13)$$

表4 城市灾害韧性第一层影响因素分解表

因素	可达集合 $S(a_i)$	前因集合 $Q(a_i)$	交集
a_1	1,2	1,3	1
a_2	2	1,2,8,12,16	2
a_3	1,3	3	3
a_4	4,10,12,13,15	4	4
a_5	5,7,10,12,16	5	5
a_6	6	6,13,16	6
a_7	6,7	5,6,7,11,13,15	6,7
a_8	2,8	8,9,12,16	8
a_9	8,9,12,13	9,11	9
a_{10}	10,12,13	4,5,10,13,15,16	10,13
a_{11}	7,9,11,12,13,16,	11,14	11
a_{12}	2,8,12,16	4,5,9,10,11,12,13,15,16	12,16
a_{13}	6,7,10,12,13	4,9,10,11,13,15	10,13
a_{14}	11,14	14	14
a_{15}	7,10,12,13,15	4,15	15
a_{16}	2,6,7,8,10,12,16	5,7,11,12,16	7,12,16

3.5 绘制原因结果图,构建多级递阶结构模型

为将所得结果加以直观呈现,根据上文求得的原因度和中心度,构建以原因度为纵坐标、以中心度为横坐标的城市灾害韧性影响因素原因结果图(图3)。将原因结果图与3.4节中划分出的层次化处理结果相结合,构建城市灾害韧性影响因素多级递阶结构模型,以清晰反映各影响因素作用途径(图4)。

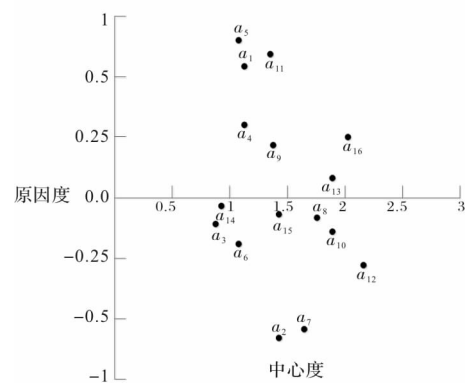


图3 城市灾害韧性影响因素原因结果图

原因结果图(图3)可以直观的展示各因素的原因度和中心度。原因度是划分因素属性的重要指标,根据原因度大于零归为原因因素,小于零为结果因素的原则,将所有城市灾害韧性影响因素划分为7个原因因素和9个结果因素,原因因素通常是影响城市灾害韧性的间接因素,结果因素则是直接因素。结果表明, a_{12} (应急信息完善度)为中心度值最大的因素,中心度能反映出各影响因素的重要程度,说明应急信息完善度重要度最高,应充分重视措施的可行性及科学性。

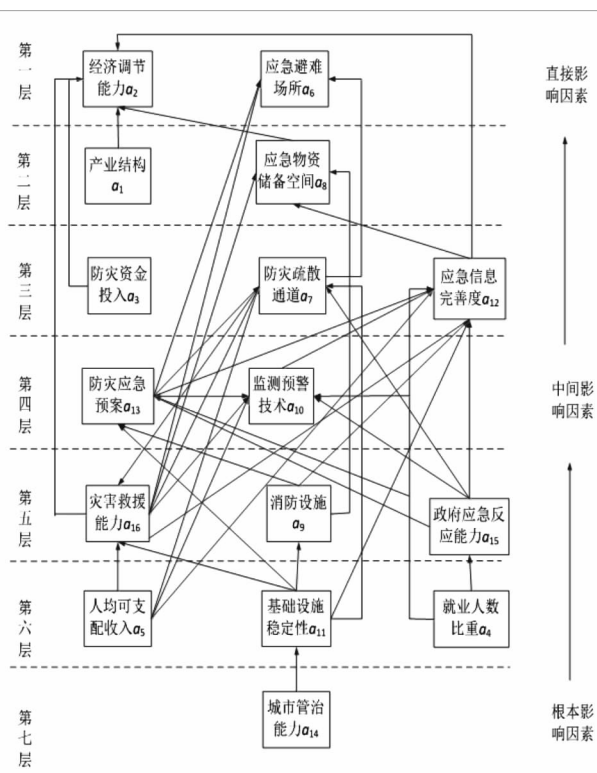


图4 城市灾害韧性影响因素多级递阶结构模型

多级递阶结构模型(图4)对因素间层级结构及作用路径予以直观呈现,在该模型中顶层因素为直接影响因素,其余因素通过作用于本层发挥作用;处于最底层的因素称为根本影响因素,发挥决定性作用;其余各层为中间影响因素,起中间过渡作用。由图4可知,城市灾害韧性影响因素被划分为三阶七层,通过各层级因素间的作用路径,可知根本影响因素 a_{14} (城市管治能力)通过中间层过渡影响因素的传导作用,以多种途径影响到直接影响因素,从而增强城市灾害韧性,其中一条重要的途径是“城市管治能力→基础设施稳定性→防灾疏散通道→应急避难场所”。

4 结果分析与优化策略

4.1 DEMATEL 分析

DEMATEL 法能够识别出城市灾害韧性关键影响因素,由 DEMATEL 相关指标计算结果可分析出:

(1)影响度:得分值靠前的因素分别是灾害救援能力、基础设施稳定性、防灾应急预案,表示这三项因素容易影响其他因素,因此应加强救援队伍的建设,设置足够数量的基础设施稳定性,并制定完备的防灾应急预案。

(2)被影响度:排名较高的因素是应急信息完善度、经济调节能力、防灾疏散通道,即这些因素受其他因素影响较大,通过这三项因素可以判断其他影响因素的作用程度。

(3)中心度:中心度排名前三位的因素依次为

应急信息完善度、灾害救援能力、防灾应急预案,中心度强调影响因素的重要程度,因此这三项因素是重要的城市灾害韧性影响因素,完善这些因素对于增强城市灾害韧性至关重要。

(4)原因度:产业结构为排名最高的原因因素,说明产业结构最易影响其他因素;结果因素中得分最高的为城市管治能力,说明其最易受其他因素影响;

由此可知,通过 DEMATEL 法可从 16 个因素中识别出 8 个关键因素,即灾害救援能力、基础设施稳定性、防灾应急预案、应急信息完善度、经济调节能力、防灾疏散通道、产业结构、城市管治能力。通过对以上 8 个关键因素的科学把握能有效加强城市灾害韧性。

4.2 ISM 分析

ISM 法能够直观呈现城市灾害韧性影响因素间的相互作用关系和层级结构,分析结果表明:

(1)以多级递阶结构模型为介质,所有影响因素被划分为三阶七层,城市管治能力因素位于第七层,称为根本影响因素,对城市灾害韧性发展起关键作用;第二、三、四、五、六层为中间影响因素,包括产业结构等;经济调节能力、应急避难场所处于模型的第一层,属于直接影响因素,对城市灾害韧性的增强有着直接推动作用。

(2)城市管治能力作为根本影响因素,对于增强城市灾害韧性有着关键影响。提高城市管治能力,会直接影响基础设施稳定性,继而通过作用于灾害救援能力、消防设施、应急信息完善度以及防灾疏散通道等间接因素对城市灾害韧性施加影响。显然,要想从根本上提高城市灾害韧性,增强城市管治能力十分关键。第二至六层中间影响因素通过对直接因素施加影响而发挥作用,在直接影响因素中,经济调节能力的加强能大大提高城市经济韧性,应急避难场所的完善利于城市设施韧性的增强,而这两者都对增强城市灾害韧性有重要意义。

4.3 DEMATEL-ISM 综合分析

对 DEMATEL-ISM 进行综合分析可发现,ISM 中分析出的根本影响因素城市管治能力是 DEMATEL 筛选出的关键因素;ISM 分析得出的直接影响因素对应于 DEMATEL 中的结果因素;DEMATEL 影响度、中心度排名前三的因素与 ISM 模型的中间影响因素相吻合。由上述分析可发现两种方法在对城市灾害韧性影响因素的重要程度和类型划分上有高度的一致性,也进一步证明了模型分析的科学性和准确性。

综合分析结果表明城市管治能力是最关键的根本影响因素;在中间影响因素层中,应急信息完善度重要性最高,防灾资金投入重要性最差;在直接影响因素中,经济调节能力最重要,应急避难场所重要性最弱。

4.4 优化建议及策略

(1)增强根本因素,提升城市管治能力。城市管治能力是最关键的根本因素,要想提升城市

管治能力, 首先需要根据我国城市层级特点建立相适应的防灾管理组织, 按照城市、区县、社区的不同层级分别构建灾害应对指挥中心等, 自上而下切实落实各项防灾举措。同时城市管治应以法律作为支撑, 可借鉴各国相关法律条文如日本的《防灾对策基本法》、德国的《灾害救助法》等^[26], 并在此基础上结合我国各城市的地理位置、发达程度等实际情况制定贴合的灾害应对制度。

(2) 落实中间因素, 保障应急信息完善度。中间影响因素中, 重要度最高的应急信息完善度因素应着重考虑, 而防灾资金投入重要性最差, 可以不做重点考虑。对于应急信息的把控, 一方面, 灾害信息的收集工作十分关键, 应结合大数据等技术进行灾害信息的准确与快速收集, 如借用全球定位系统、遥感技术等准确收集灾害的监测及发生的数据; 另一方面应急信息的有效发布对于降低灾害影响至关重要, 各级政府部门应当通过指定的官方媒体渠道进行实时播报, 避免非官方媒体公布错误数据而造成民众恐慌; 同时应当利用数字技术建立网络共享平台, 民众可在此平台上查询临近避难所、周围道路损坏等情况, 加强民众信息共享度。

(3) 重视直接因素, 强化经济调节能力。在直接影响因素中, 经济调节能力最重要, 应予以充分重视, 而重要性最弱的应急避难场所因素不必重点考察。强化经济调节能力, 首先要调整产业结构, 推动第三产业发展, 促进产业多样性发展, 从而增加经济结构稳定性, 保障财政收入; 其次要保障防灾资金的充沛程度, 相关政府部门做好防灾资金的预算, 并提高防灾资金的使用效率, 对于防灾资金投资不到位的项目应予以惩罚; 在灾后重建工作中, 可以通过增加就业机会、给予财政补贴等经济手段分担灾区民众的损失, 使灾区能够尽快恢复到正常的生产生活中。

5 结论

(1) 在城市灾害韧性内涵特征的基础上, 构建了由经济韧性、设施韧性及管理韧性三部分组成的城市灾害韧性影响因素体系, 为城市灾害韧性影响因素研究提供了理论基础。

(2) 运用 DEMATEL-ISM 法对城市灾害韧性影响因素进行深入探析, 既能识别出关键影响因素, 确定各因素的属性和重要性, 又能以多级递阶结构模型为媒介将层次结构和作用路径进行直观呈现, 同时大大降低了运算的复杂程度。

(3) 分析结果显示, 城市管治能力、应急信息完善度、经济调节能力分别是最重要的根本影响因素、中间影响因素及直接影响因素, 基于此对城市灾害韧性的优化提出了策略及建议。

参考文献:

- [1] 王屹, 曾坚. 高密度城市中心区的防灾规划体系构建[J]. 建筑学报, 2012(S2): 144-148.
- [2] BOZZA A, ASPRONE D, MANFREDI G. Developing an integrated framework to quantify resilience of urban systems against disasters[J]. *Natural Hazards*, 2015, 78(3): 1729-1748.
- [3] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1973, 4(1): 1-23.
- [4] WILBANKS T J, SATHAYE J. Integrating mitigation and adaptation as responses to climate change: a synthesis[J]. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 2007, 12(5): 957-962.
- [5] CIMELLARO G P, REINHORN A M, BRUNEAU M. Framework for analytical quantification of disaster resilience[J]. *Engineering Structures*, 2010, 32(11): 3639-3649.
- [6] 杨敏行, 黄波, 崔翀, 等. 基于韧性城市理论的城市防治研究回顾与展望[J]. *城市规划学刊*, 2016(1): 48-55.
- [7] SAID Qasim, MOHAMMAD Qasim, RAJENDRA Prasad Shrestha, et al. Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhtunkhwa province of Pakistan[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2016, 18(Complete): 100-106.
- [8] 李亚, 翟国方. 我国城市灾害韧性评估及其提升策略研究[J]. *规划师*, 2017, 33(8): 5-11.
- [9] 刘严萍, 王慧飞, 钱洪伟, 等. 城市韧性: 内涵与评价体系研究[J]. *灾害学*, 2019, 34(1): 8-12.
- [10] 洪增林, 李永红, 张玲玉, 等. 一种基于主成分分析法的区域性地质灾害危险性评估方法[J]. *灾害学*, 2020, 35(1): 118-124.
- [11] 罗耀文, 任周鹏, 葛咏, 等. 基于 PCA-GWR 方法的村级贫困时空格局及致贫因素分析[J]. *地球信息科学学报*, 2020, 22(2): 231-245.
- [12] 刘浩, 马琳, 李国平. 中国城市全要素生产率的演化格局及其影响因素[J]. *地理研究*, 2020, 39(4): 880-891.
- [13] 范琪, 蒋浩鹏. 基于灰色关联理论的山区公路线形影响因素分析[J/OL]. *公路*, 2020, 65(5): 51-54.
- [14] 胡俊锋, 杨佩国, 吕爱锋, 等. 基于 ISM 的区域综合减灾能力评价指标体系研究[J]. *灾害学*, 2014, 29(1): 75-80.
- [15] 李彤玥, 牛品一, 顾朝林. 弹性城市研究框架综述[J]. *城市规划学刊*, 2014(5): 23-31.
- [16] 陈长坤, 陈以琴, 施波, 等. 雨洪灾害情境下城市韧性评估模型[J]. *中国安全科学学报*, 2018, 28(4): 1-6.
- [17] 徐漫辰. 适灾韧性理念下的社区灾害脆弱性实证研究[J]. *规划师*, 2019, 35(5): 94-98.
- [18] 许兆丰, 田杰芳, 张靖. 防灾视角下城市韧性评价体系及优化策略[J]. *中国安全科学学报*, 2019, 29(3): 1-7.
- [19] 胡立伟, 李林育, 古含焱, 等. 山区长大下坡路段货车车风险因素识别[J]. *长安大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(1): 116-126.
- [20] 张仕廉, 聂李琴. 基于 DEMATEL 方法的建筑施工安全管理行为影响因素分析[J]. *安全与环境工程*, 2017, 24(1): 121-125.
- [21] 杨姝, 李俊龙. 基于 DEMATEL-ISM 法的民航飞行员综合安全能力结构模型研究[J]. *安全与环境工程*, 2018, 25(4): 169-174.
- [22] 姜沁瑶, 李洁. 基于 ISM 的建筑工人安全意识影响因素[J]. *土木工程与管理学报*, 2016, 33(3): 106-110, 117.
- [23] 杨传明, 李晓峰. 多粒度复杂产品供应链低碳设计[J]. *计算机集成制造系统*, 2016, 22(7): 1717-1725.
- [24] 孙品. 复杂系统 DEMATEL 阈值确定方法研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
- [25] 薛伟, 耿志伟, 王海滨, 等. 集成 DEMATEL/ISM 的木材产业园消防风险影响因素研究[J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2019, 52(06): 99-104.
- [26] 游志斌. 当代国际救灾体系比较研究[D]. 北京: 中共中央党校, 2006.

(下转第 17 页)

The Identification and Differentiation of Temperate Storm Surge Disaster Chains—A Case Study on the Storm Surge in Laizhou Bay

YU Liangju^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China*; 2. *Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*)

Abstract: Temperate storm surge disasters are mainly concentrated in the Bohai Sea and the Yellow Sea coast, of which the Laizhou Bay coast is a frequently-hit area. We take the identification of the composition of the disaster chain along the Laizhou Bay coast as the research goal, and analyze the causes and occurrence of disasters through typical disaster events and its evolutionary rules et al. and identify the disaster types and disaster-causing factors during the occurrence of the temperate storm surge disaster chain at last. According to the disaster-causing process, five disaster chains are proposed to distinguish the role of major disaster-causing factors in disaster losses in different industries. The research results can provide the decision support for the early forecast and mitigation of temperate storm surge disaster chains.

Key words: temperate storm surge; disaster chain; Laizhou Bay; natural hazard

(上接第 6 页)

Study on Influencing Factors of Urban Disaster Resilience Based on DEMATEL-ISM

CHEN Weigong^{1,2}, ZHANG Na¹, ZHANG Yousen³, CHENG Zhun¹ and ZHANG Yue¹

(1. *School of Management, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China*; 2. *University Research Center for Smart City Construction and Management of Shandong Province, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China*; 3. *Bureau of natural resources and planning of Juxian County, Shandong Province, Rizhao 276500, China*)

Abstract: It is of great significance to improve the resilience of urban disasters for maintaining the sustainable development of cities. On the basis of determining the influencing factors of urban disaster resilience, combining DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) and ISM (Interpretative Structural Modeling), identifying the key influencing factors, clarifying the action path and hierarchical structure between the influencing factors, drawing the cause result diagram, building the multilevel hierarchical structure model, so as to intuitively present the key influencing factors and the action path. The results show that the influencing factors of urban disaster resilience can be divided into 7 levels and 3 levels. Among them, urban governance ability is the most critical fundamental influencing factor, emergency information perfection is the most important intermediate influencing factor, and economic regulation ability is the most effective direct influencing factor. Combining the research results with the actual situation of urban disaster resilience, this paper puts forward strategies and suggestions for enhancing urban disaster resilience, thus provide targeted guidance for improving urban disaster resilience.

Key words: resilience of urban disasters; influencing factors; DEMATEL method; ISM method