

中文引用格式:杨钰莹,郭海湘. 灾害链视角下城市韧性影响因素研究[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(11): 190–197.

英文引用格式:YANG Yuying, GUO Haixiang. Urban resilience influence factors from perspective of disaster chain[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(11): 190–197.

灾害链视角下城市韧性影响因素研究^{*}

杨钰莹^{1,2}讲师, 郭海湘^{**3,4,5}教授

(1 南京信息工程大学 应急管理学院, 江苏 南京 210044; 2 南京信息工程大学 公共安全治理
研究院, 江苏 南京 210044; 3 中国地质大学(武汉) 经济管理学院, 湖北 武汉 430078;

4 中国地质大学(武汉) 自然灾害风险防控与应急管理实验室, 湖北 武汉 430078;

5 湘潭大学 公共管理学院, 湖南 湘潭 411105)

中图分类号:X915.5

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.11.0778

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金资助(24YJCZH387);湖北省自然科学基金创新群体项目资助(2024AFA015);江苏省教育厅高校哲学社会科学研究项目(2024SJYB0148);南京信息工程大学人才启动经费资助(2024r030)。

【摘要】 为提升城市应对灾害链的韧性,提出灾害链视角下城市韧性影响因素分析框架和方法。首先,围绕韧性城市的核心能力建立灾害链视角下的城市韧性影响因素清单;其次,提出改进的决策实验室分析(DEMATEL)-解释结构模型(ISM)用于识别顶层设计因素,明晰影响因素之间的层级结构与作用路径,并从经济和人口视角分析韧性提升路径;最后,以成都在灾害链情境下的韧性建设实践为例验证本文理论分析的合理性。研究结果表明:顶层设计因素主要集中在预防、准备和适应方面;保险保障、灾害链场景下应急指挥与政府部门联动处置断链减灾能力、灾害链情景下应急资源准备充分程度、生态环境修复与治理是根本影响因素;住房质量、医疗救助能力、应急疏散能力和生活基本保障是直接影响因素;提升经济韧性的重要路径包括加强保险保障或加快基础设施修复促进经济恢复;提升人口韧性主要通过加强住房保障、生命保障、应急疏散保障和生活保障等实现;成都在灾害链情境下的韧性建设较为良好,但部分环节仍需优化。

【关键词】 灾害链; 城市韧性; 影响因素; 决策实验室分析(DEMATEL); 解释结构模型(ISM)

Urban resilience influence factors from perspective of disaster chain

YANG Yuying^{1,2}, GUO Haixiang^{**3,4,5}

(1 School of Emergency Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210044, China; 2 Institute of Public Safety Governance, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210044, China; 3 School of Economics and Management, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei 430078, China;

4 Laboratory for Natural Disaster Risk Prevention, Control, and Emergency Management, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei 430078, China; 5 School of Public Administration, Xiangtan University, Xiangtan Hunan 411105, China)

* 文章编号:1003-3033(2025)11-0190-08; 收稿日期:2025-06-20; 修稿日期:2025-09-13

** 通信作者:郭海湘(1978—),男,湖南湘乡人,博士,教授,主要从事复杂系统模拟与优化决策、应急管理方面的研究。E-mail: faterdumk0732@sina.com。

Abstract: To enhance urban resilience against disaster chains, this study proposed an analytical framework and methodology for identifying influencing factors from a disaster chain perspective. Firstly, a comprehensive list of urban resilience influencing factors was established by focusing on the core capacities of resilient cities within disaster chain contexts. Secondly, an improved fuzzy DEMATEL-ISM integrated method was introduced to identify top-level factors, clarify hierarchical structures and interaction pathways among influencing factors, and analyze resilience enhancement approaches from economic and demographic perspectives. Finally, taking the resilience construction practice of Chengdu in the context of disaster chain as an example, the rationality of this theoretical analysis was verified. Results indicate that the top-level design factors, aimed at addressing disaster chains, primarily focus on prevention, preparedness, and adaptation. Fundamental factors include insurance protection, emergency command in the disaster chain scenario and government departments' ability to jointly handle chain disruptions to reduce disasters, adequacy of emergency resource preparation, and ecological environment restoration and governance. Direct influencing factors encompass housing quality, medical assistance capacity, emergency evacuation capacity, and basic living security. The most effective approaches to enhance economic resilience in disaster chains are strengthening insurance protection and accelerating infrastructure repair, both promoting economic recovery. Enhancing population resilience relies primarily on measures such as housing security, life support, emergency evacuation support, and basic living security. Chengdu maintains relatively sound resilience construction under disaster chain scenarios, though certain aspects require further optimization.

Keywords: disaster chain; urban resilience; influencing factors; decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL); interpretative structural modeling (ISM)

0 引言

灾害链指一种灾害引发或导致一系列次生灾害及灾害事件,其具有链式传导与级联放大的特征。如 2023 年京津冀等地遭受极端强降雨,引发严重洪涝、滑坡、泥石流等灾害。相较于单一灾种,灾害链风险治理因需考虑多种灾害的相互作用和叠加效应,其复杂性与挑战性显著提升,使得通过韧性城市建设增强抗灾能力的需求更为迫切。城市应对灾害链的韧性水平受许多因素影响,找出关键影响因素并分析其相互关系,确定关键改进路径,对提升城市应对灾害链的韧性至关重要。

国内外关于灾害韧性理论和实践的研究取得了较大进展^[1]。在灾害韧性影响因素方面,主要关注人口特征、社会保障、教育、经济、基础设施、政治制度、政府政策、政府组织机构^[2]、心理^[3]、个人/家庭社会关系网络特征^[4]、生态环境^[5]等因素。多数研究采用定性、定量或定性定量相结合的方法识别关键影响因素。定性方法主要包括文献分析^[6]、访谈法^[7]等。这些方法简单易用,适合于非程序化决策。定量方法多采用灰色关联分析^[8]、敏感性分析^[9]、相关性分析^[10]等。但灰色关联分析及敏感性分析法需基于灾害韧性的评估,且对数据质量和样

本量要求较高,相关性分析仅能在因素之间呈线性相关时使用。定性定量相结合的影响因素研究主要采用决策实验室分析 (Decision-making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)^[11] 及其改进方法^[12] 或者解释结构模型法 (Interpretative Structural Modeling Method, ISM)^[13], 通过将主观性因素转化为客观数据进一步分析影响因素的相互影响程度或层级结构。同时,学者们常将 DEMATEL 和 ISM 模型结合来厘清影响因素间的影响程度与层级结构^[14-17]。但以上定性方法容易受到参与者主观性的影响,主流定量方法无法明晰影响因素之间的关系,采用 DEMATEL 及其改进方法或者 ISM 模型的研究普遍忽视了对专家领域熟悉度与专业资质的差异化考量,且未进一步从经济与人口方面出发分析韧性提升路径,而 DEMATEL 法和 ISM 法结合使用过程中存在将整体影响矩阵转化为可达矩阵这一步骤的主观性较强的问题。

因此,笔者拟采用文献研究法,从韧性的核心能力出发,厘清灾害链视角下城市韧性影响因素,采用专家咨询法补充应急管理现代化和智慧化建设因素并完善清单,采用 ISM 法识别灾害链视角下城市韧性顶层设计因素,并将模糊 DEMATEL 法和 ISM 法结合,建立多级递阶 ISM,识别根本因素、中间因素

和直接因素,并分析经济韧性和人口韧性的提升路径;为降低模糊 DEMATEL-ISM 法中整体影响矩阵转化为可达矩阵的主观影响,引入最大类间方差法确定整体影响矩阵转化为可达矩阵的阈值;以成都在灾害链情境下的韧性建设实践为例验证文中方法的合理性,以期为影响因素研究提供一套可用方法,为系统提升灾害链视角下的城市韧性提供参考。

1 灾害链视角下城市韧性影响因素清单构建

1.1 灾害链视角

灾害链视角不仅关注单一灾害,还关注原生灾害引发的次生灾害、衍生灾害,强调灾害之间的链式传导关系。

1.2 影响因素清单构建

预防、准备、响应、恢复、适应能力是组成韧性城市的核心能力,贯穿城市灾害应急管理的全过程。从核心能力出发列举影响因素清单可全面厘清灾害链视角下城市韧性影响因素,防止漏掉一些关键影响因素。因此,通过文献研究收集与城市/灾害韧性相关的影响因素,从中筛选出与这些能力相关的影响因素。此外,由于灾害链的风险防控具有高度复杂性和不确定性,应急管理现代化和智慧化建设对于灾害链的断链减灾极为重要^[18],是影响灾害链视角下城市韧性的重要方面之一。因此,补充了应急管理现代化和智慧化的因素,并邀请 10 名相关研究人员或应急管理部门人员,经过 3 轮访谈,完善灾害链视角下城市韧性影响因素清单。

2 基于 ISM-模糊 DEMATEL-最大类间方差法-ISM 方法的综合建模

2.1 基于 ISM 的顶层设计因素识别

为更清晰地表达灾害链视角下城市韧性影响因素的影响关系和层次关系,采用 ISM 法梳理灾害链视角下城市韧性影响因素结构,初步识别出灾害链视角下城市韧性顶层设计相关的影响因子,位于高层次的影响因素即为灾害链视角下城市韧性顶层设计因素。ISM 法的邻接布尔矩阵构造过程中邀请访谈对象判断不同影响因素之间的影响关系,得出邻接矩阵。

2.2 问卷设计与语义转换

剔除顶层设计因素后的影响因素后,进一步识

别灾害链视角下城市韧性的根本因素、中间因素和直接因素,分别指影响系统结构的最重要的因素、起到传递因果关系的重要要素及可操作因素。

根据 WANG Maojiun 等^[19]的研究设定语言变量设计问卷。通过问卷调查,判断每对因素之间的相互作用。收集灾害链视角下城市韧性影响因素之间作用程度的数据,有针对性地选取灾害研究领域专家量化评估灾害链影响因素影响关系。鉴于专家在经验与理论知识上的掌握差异直接影响评估准确性,需要评价每位专家的可信度。设非常熟悉、比较熟悉和一般熟悉的专家问卷加权分别为 1、0.8 和 0.6,表示 100%、80%和 60%的可信度。不太了解的专家问卷数据加权值定为 0,予以剔除。最后,通过加权平均获得最终的评价矩阵。

表 1 语义转化^[19]

Table 1 Semantic conversion table	
语义	三角模糊数
没有影响	(0, 0, 0.2)
较弱影响	(0, 0.2, 0.4)
弱影响	(0.2, 0.4, 0.6)
强影响	(0.4, 0.6, 0.8)
非常强影响	(0.8, 1, 1)

由于专家的定性评价语言存在模糊性,采用三角模糊数将定性问题转化为定量问题,以减少主观差异,增强决策的客观性和可靠性。邀请 1.2 节中的研究对象填写调查问卷,收集灾害链视角下城市韧性影响因素影响矩阵数据。通过表 1 语义转化表将初始直接影响矩阵转化为三角函数值,构建原始模糊直接影响矩阵。

设 l 和 r 分别为三角模糊数 T 的下限和上限; m 为可能性最大的值,则该三角模糊数表示为 $T = (l, m, r), l < m < r$ 。

2.3 三角模糊数转化与综合矩阵计算

设影响因素集为 $X = \{X_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$, n 为因素集中因素的数量, X_i 为因素集中的因素。构建原始模糊直接影响矩阵 $A (A = [a_{ij}]_{n \times n})$, $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, r_{ij})$ 。 a_{ij} 为矩阵 A 的组成元素,表示 X_i 因素对 X_j 因素的影响程度, i 表示行因素 X_i 对应的行号, j 为列因素 X_j 对应的列号, $j = 1, 2, \dots, n$, l_{ij} 、 m_{ij} 和 r_{ij} 的含义分别与 l 、 m 和 r 的含义对应。 $i = j$ 时, $a_{ij} = 0$ 。

利用模糊语言清晰转化法^[20]将三角模糊数直接影响矩阵 A 作清晰化处理,得到 $B (B = [b_{ij}]_{n \times n})$, b_{ij} 为处理后的 a_{ij} 。

将 B 规范化处理得到矩阵 C ($C = [c_{ij}]_{n \times n}$), c_{ij} 为处理后的 b_{ij} , $0 \leq c_{ij} \leq 1$ 。进一步得到综合影响矩阵 Z ($Z = [z_{ij}]_{n \times n}$), z_{ij} 为处理后的 c_{ij} 。综合影响矩阵反映的是各指标间的综合关系,包括直接关系和间接关系,见下式:

$$C = B / \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \tag{1}$$

$$Z = C + C^2 + \dots + C^n = \sum_{r=1}^n C^r \tag{2}$$

式中 C^r 为矩阵 C 的 r 次方。

当 $n \rightarrow \infty, C^{n-1} \rightarrow 0$, 得到以下公式。

$$Z = C(I - C)^{-1} \tag{3}$$

式中 I 为单位矩阵。

2.4 影响度、被影响度、中心度和原因度计算

对于影响因素 X_i , 其影响度 e_i 、被影响度 f_i 、中心度 m_i 、原因度 n_i 的计算公式见下:

$$e_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} \tag{4}$$

$$f_i = \sum_{i=1}^n z_{ij} \tag{5}$$

$$m_i = e_i + f_i \tag{6}$$

$$n_i = e_i - f_i \tag{7}$$

影响度高表示该因素对其他因素的影响更为显著;被影响度高表示其受其他因素的影响更大;高中心度的因素具有较高的影响度和被影响度,在整个系统中起到连接和调控其他因素的作用;原因度高表示该因素对其他因素的直接影响更大。原因因素(原因度为正)表示该因素对其他因素影响的效果更为显著,结果因素(原因度为负)表示该因素受其他影响影响的效果更为显著。

2.5 多级递阶 ISM 构建

1) 计算整体影响矩阵。2.4 节中 4 类指标体现了各影响因素间的关系,为充分考虑因素自身,在此基础上计算整体影响矩阵 H ($H = [h_{ij}]_{n \times n}$), h_{ij} 为处理后的 z_{ij} , 见下式:

$$H = Z + I \tag{8}$$

2) 选取合理的阈值并建立可达性矩阵。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 中的冗杂信息去除。如果根据专家经验选取 λ 值,存在主观性较强的问题。孙晶^[21]在研究复杂系统阈值确定方法研究中证明,最大类间方差法计算可用于 DEMATEL-ISM 中,能降低主观性影响。计算步骤如下:

步骤 1:将要分类的数值从小到大排列,首先计

算数组的加权“方差和”,迭代每个范围组合,计算类别间方差和 s 见下式:

$$s = w_1 \cdot (m_1 - m_0)^2 + w_2 \cdot (m_2 - m_0)^2 \tag{9}$$

式中: m_0 为待分类的数据均值; w_1 、 w_2 分别为 2 组数据的比重; m_1 、 m_2 为 2 组数据的均值。

步骤 2:找到最大值,选取最大类间方差分组阈值所对应的较强影响关系集合中最小的影响关系值作为可达矩阵的筛选阈值从而可以确定 λ 值,其中, $\lambda \in [0, 1]$ 。

步骤 3:根据 λ 值简化整体影响矩阵 H , 计算可达矩阵 K ($K = [k_{ij}]_{n \times n}$), k_{ij} 为处理后的 h_{ij} 。在可达矩阵中, $k_{ij} = 1$ 即因素 i 对 j 有直接影响,若 $k_{ij} = 0$ 则表示因素 i 对 j 没有直接影响。

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & h_{ij} \geq \lambda \\ 0, & h_{ij} < \lambda \end{cases}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{10}$$

3) 确定多级递阶解释结构模型。将可达矩阵进行层次化处理得到可达集合 $S(X_i)$ 、先行集合 $Q(X_i)$ 及最高集要素集合 $L(X_i)$ 。如果 $S(X_i) = S(X_i) \cap Q(X_i)$ 成立,表明其他因素可到达因素 X_i , 而 X_i 不能到达其他指标,因此, X_i 为多层递阶 ISM 中的最高层因素。将相应的行和列从矩阵 K 中删除。重复以上操作,直到将所有指标划分为不同层次,从而确定多级递阶 ISM。

3 灾害链视角下城市韧性影响因素分析

3.1 影响因素清单分析

表 2 为最终的灾害链视角下城市韧性影响因素清单及编码。

3.2 顶层设计影响因素分析

表 3 为初始灾害链视角下城市韧性影响因素的层次结构。初始灾害链视角下城市韧性影响因素关系结构的层数较多,第 6 层开始因素数量开始减少,结合第 6 层及以上的影响因素内容分析,发现 6 层及以上因素对其他因素的影响广泛,即对灾害链视角下城市韧性的影响具有多层的间接影响,是政府在深化落实加强灾害链应急管理统筹规划顶层设计中需要重点考虑的因素。其中, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_{11} 、 S_{13} 、 S_{14} 、 S_{15} 、 S_{16} 属于灾前预防方面的顶层设计影响因素。 S_{18} 、 S_3 、 S_{20} 、 S_{21} 属于临灾准备应急规划设计的最重要的影响因素。 S_{22} 、 S_{25} 、 S_{20} 、 S_{29} 、 S_{30} 这 6 个因素属于灾中响应最重要的应急规划应注意的因素。 S_{32} 、 S_{36} 、 S_{25} 这 3 个因素属于灾后恢复中应

注意的顶层设计因素。 S_{39} 、 S_{40} 这 2 个因素属于适应规划中应注意的顶层设计因素。

表 2 灾害链视角下城市韧性影响因素清单及编码

Table 2 List and coding of factors influencing urban resilience from the perspective of disaster chain	
能力	影响因素及编码
预防	生态环境保护 S_1
	灾害链防灾减灾资金投入与科学规划 S_2
	灾害链动态综合监测精准预警 S_3
	灾害链灾害隐患点早期识别、排查、治理与维护 S_4
	应急规划实施情况的监督检查 S_5
	灾害链应急预案质量 S_6
	灾害链防灾减灾知识宣传教育 S_7
	基础设施抗灾能力 S_8
	住房质量 S_9
	灾害链场景下应急避难场所与应急疏散路径规划 S_{10}
	应急资源保障体系建设 S_{11}
	保险保障 S_{12}
	智能化防控技术应用 S_{13}
	应急管理信息化水平 S_{14}
	应急管理法律法规完善度 S_{15}
	灾害链场景下应急管理人才与专业队伍建设 S_{16}
	社会力量建设 S_{17}
准备	社会公众灾害链防灾意识与防灾准备 S_{18}
	灾害链场景下应急资源准备充分程度 S_{19}
	灾害链动态综合监测精准预警 S_3
	应急通信与信息传递 S_{20}
	灾害链风险感知识别与联合会商研判能力 S_{21}
能力	影响因素及编码
响应	基层自治能力 S_{22}
	灾害链场景下应急指挥与政府部门联动 处置断链减灾能力 S_{23}
	灾害链场景下应急队伍协作救援 S_{24}
	社会援助 S_{25}
	灾害链场景下应急资源供应与优化分配能力 S_{26}
	医疗救助能力 S_{27}
	应急疏散能力 S_{28}
	应急通信与信息传递 S_{20}
	人口素质 S_{29}
	灾害链应对经验 S_{30}
恢复	生活基本保障 S_{31}
	经济基础 S_{32}
	保险保障 S_{12}
	基础设施修复 S_{33}
	住房重建 S_{34}
	经济恢复 S_{35}
	政府援助 S_{36}
	社会援助 S_{25}
	心理健康支持 S_{37}
适应	生态环境修复与治理 S_{38}
	灾害链应对经验总结 S_{39}
	灾害链防灾减灾规划优化 S_{40}

表 3 灾害链视角下城市韧性影响因素的初始层次分解

Table 3 Initial hierarchical decomposition of factors influencing urban resilience from the perspective of disaster chain	
层级	影响因素
第 1 层	S_{31} 、 S_{37} 、 S_9
第 2 层	S_{10} 、 S_{12} 、 S_{24} 、 S_{27}
第 3 层	S_{28} 、 S_{34} 、 S_{19}
第 4 层	S_{23} 、 S_{35} 、 S_{38} 、 S_{17}
第 5 层	S_{26} 、 S_4 、 S_{33}
第 6 层	S_1
第 6 层及以上	S_8 、 S_{11} 、 S_7 、 S_{25} 、 S_{36} 、 S_{18} 、 S_{32} 、 S_3 、 S_{21} 、 S_{22} 、 S_6 、 S_{20} 、 S_{29} 、 S_{14} 、 S_{15} 、 S_2 、 S_{13} 、 S_{40} 、 S_5 、 S_{39} 、 S_{16} 、 S_{30}

总体来看,以上因素主要集中在灾前预防、临灾准备以及灾后适应这 3 方面,说明灾害链视角下城市韧性的顶层设计需要更多关注这 3 个方面,这与我国的防灾减灾工作的重心相吻合。因此,灾害链防灾减灾工作应聚焦灾前预防、临灾准备以及灾后适应方面的顶层因素,投入更多的精力建设这些方面。

3.3 影响度、被影响度、中心度和原因度分析

图 1、图 2 显示了灾害链视角下城市韧性顶层设计因素之外的其他影响因素影响度、被影响度、中心度和原因度。影响度较大的因素有 S_{26} 、 S_{33} 、 S_{23} 、 S_{19} 、 S_{28} 、 S_2 。被影响度较大的因素有 S_{28} 、 S_{27} 、 S_{23} 、 S_{24} 、 S_{35} 、 S_{33} 。中心度较大的影响因素有 S_{23} 、 S_{28} 、 S_{33} 、 S_{26} 、 S_{27} 、 S_{24} 。中心度能反映出各影响因素的重要程度,说明这 6 个影响因素重要度最高,应充分重视这

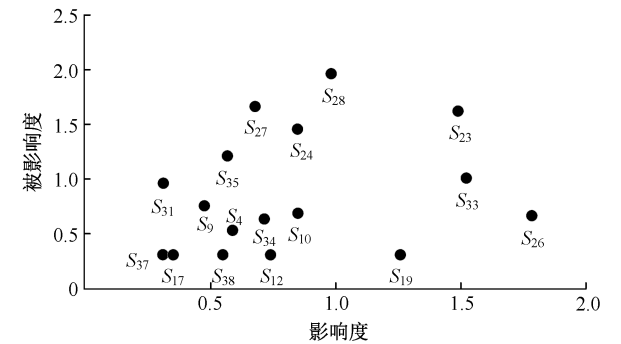


图 1 影响因素的影响度和被影响度
Fig. 1 Impact degree and affected degree of influencing factors

些能力的建设与强化。间接影响因素有 S_{26} 、 S_{19} 、 S_{33} 、 S_{12} 、 S_{38} 、 S_{10} 、 S_{34} 、 S_4 、 S_{17} 。直接影响因素有 S_{28} 、 S_{27} 、 S_{34} 、 S_{35} 、 S_{31} 、 S_{24} 、 S_9 、 S_{23} 。

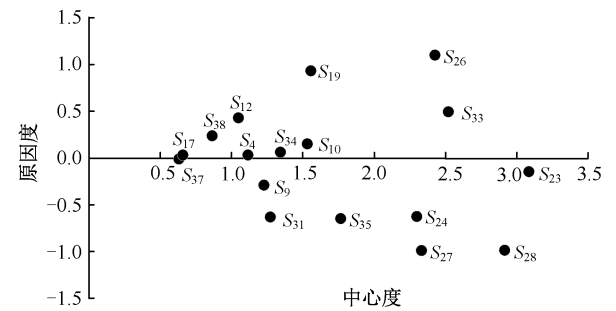


图 2 影响因素的中心度和原因度

Fig. 2 Centrality and causality of influencing factors

3.4 多级递阶 ISM 分析

按 2.5 节中介绍的阈值确定方法,基于综合影响矩阵采用最大化类间方差法计算,选取最大类间方差 0.003 8 所对应的较强影响关系集合中最小的影响关系值 0.128 2 为阈值,简化综合影响矩阵,并转化为可达矩阵。根据可达矩阵可绘制初始灾害链视角下城市韧性影响因素的层次结构,如图 3 所示。可以看出,灾害链视角下城市韧性影响因素关系结构的层数有 4 层。其中,根本影响因素为 S_{12} 、 S_{23} 、 S_{19} 、 S_{38} ;直接影响因素为 S_9 、 S_{27} 、 S_{28} 、 S_{31} 。研究结果同原因度分析结果基本一致,证明该方法是可靠的。其中,增强经济韧性,最重要的路径是 $S_{12} \rightarrow S_{35}$ 及 $S_{33} \rightarrow S_{35}$ 。增强人口韧性最重要的路径中,强化住房保障最重要的路径为 $S_{12} \rightarrow S_{35} \rightarrow S_{34} \rightarrow S_9$ 及 $S_{23} \rightarrow S_{33} \rightarrow S_{35} \rightarrow S_{34} \rightarrow S_9$;强化生活保障最重要的路径是 $S_{23} \rightarrow S_{33} \rightarrow S_{27}$ 及 $S_{19} \rightarrow S_{26} \rightarrow S_{27}$;强化应急疏散保障最重要的路径是 $S_{23} \rightarrow S_{26} \rightarrow S_{24} \rightarrow S_{28}$ 、 $S_{19} \rightarrow S_{26} \rightarrow S_{24} \rightarrow S_{28}$ 及 $S_{38} \rightarrow S_4 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{28}$;强化生活保障最重要的路径是 $S_{19} \rightarrow S_{26} \rightarrow S_{31}$ 。

最终形成的灾害链视角下城市韧性影响因素的总层次结构如图 4 所示。

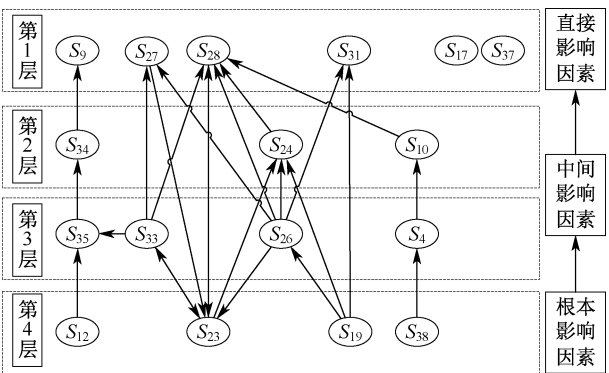


图 3 灾害链视角下城市韧性影响因素的层次结构
Fig. 3 Hierarchical structure diagram of factors affecting urban resilience from the perspective of disaster chain

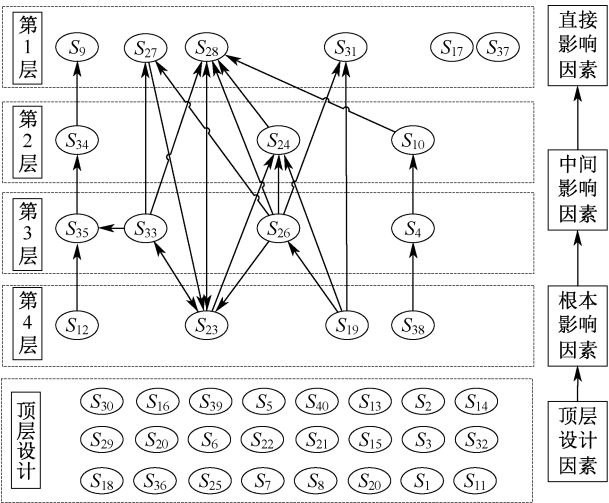


图 4 灾害链视角下城市韧性影响因素的总层次结构
Fig. 4 Overall hierarchical structure diagram of factors affecting urban resilience from the perspective of disaster chain

4 案例分析

以成都市在灾害链情境下的韧性建设实践为例,验证文中方法的科学性和有效性。收集成都韧性城市建设、防灾减灾建设相关资料,并结合本文选取的影响因素清单进行分析,见表 4。

表 4 成都市在灾害链情境下的韧性建设实践分析

Table 4 Analysis of resilience construction practice in Chengdu city under disaster chain situation

序号	成都市在灾害链情境下的韧性建设实践分析	对应选取的影响因素(编码)
1	以公园城市理念推进山水林田湖草综合治理,防治洪涝及地质灾害链,成为全球超大城市生态治理典范	S_1 、 S_2 、 S_{38}
2	注重智慧城市建设。近 2 年增加 34.5 亿元用于灾害防治及应急管理;构建空天地一体化的智能化灾害监测体系,初步建成地震、山洪、洪涝、森林火灾动态监测预警体系,开展地质、地震专项风险调查,进行危房改造;建设城市安全风险综合监测预警平台,整合物联网、行业部门和公众感知数据,覆盖燃气、供水、桥梁等高风险领域,动态监测中高风险隐患点;构建多灾种预警信息发布平台,同步研发地震预警软件,强化应急通信保障机制及信息员队伍建设,全面升级防灾减灾救灾能力	S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_9 、 S_{13} 、 S_{14} 、 S_{20}

续表 3

序号	成都市在灾害链情境下的韧性建设实践分析	对应选取的影响因素(编码)
3	印发突发地质、气象等灾害应急预案,职责明确,关注次生、衍生灾害的处理	S_6
4	建成“1+N”防灾减灾体验馆及国家级科普教育基地,推动公园、学校、社区、民营机构安全体验馆建设,提升公众防灾减灾意识和应急能力	$S_7、S_{18}$
5	修复和升级电网、水网、燃气、道路、住宅、医院、学校、应急避难所、货运枢纽等基础设施,减少故障风险	$S_8、S_{33}$
6	推行住房“以旧换新”并提升抗震标准	$S_9、S_{34}$
7	建设多灾兼顾应急避难场所(人均 1.5㎡),社区云广播可快速切换预警并优化疏散路线	$S_{10}、S_{28}$
8	构建成都市圈救灾物资协同保障体系,建成市级集散中心-区县仓库-镇街基层点-前置储备库四级救灾物资集散体系;建立储备抗洪抢险、地震救援等 5 大类 1.4 万台(套)装备;开展应急调运实战演练,建立快速配送机制	$S_{11}、S_{19}、S_{26}$
9	逐步推广巨灾保险、农业保险、住房保险,覆盖地震、暴雨、洪水等灾种	S_{12}
10	初步形成驻蓉军队+消防救援+专业/社会/基层/专家力量的应急救援力量体系	S_{16}
11	建立社会力量统筹协调平台;社区“一核引领”模式整合警务、物业与志愿者,实现“小事不出院落”	$S_{17}、S_{22}、S_{25}$
12	部分区开展地震、洪涝灾害应急联动处置桌面推演;开展成德眉资跨区域应急演练和救援力量建设	$S_{23}、S_{24}$
13	医疗资源丰富,床位数 16.72 万张,每千人口床位数为 7.86 张,位列全国前列	S_{27}
14	教育水平稳步提升但高学历人口占比偏低、平均受教育年限较短、文盲率较高	S_{29}
15	地震、滑坡、洪涝、干旱灾害链发生较多,经验较丰富	S_{30}
16	基本生活保障体系完善,居民收入稳步增长	S_{31}
17	成都市作为西部经济中心,经济发展稳步增长,2024 年国内生产总值达 2.35 万亿元(位居全国第 7),同比增长 6.2%	S_{32}

以上分析表明:文中所提出的影响因素清单与成都在灾害链情境下的韧性建设实践高度吻合,证明该清单的合理性。然而,成都虽加强了灾害链视角下的城市韧性,但某些方面还有待加强,如 $S_3、S_6、S_7、S_{18}、S_{23}、S_{24}、S_{26}$ 。此外, $S_5、S_{12}、S_{21}、S_{35}、S_{36}、S_{37}、S_{39}、S_{40}$ 是成都在灾害链情境下的韧性建设实践中有所忽略的方面,建议加强应急规划实施情况的监督检查、引入灾害保险机制、加强灾害链风险感知识别与联合会商研判能力、增设经济恢复、政府援助、灾后心理援助服务,同时,总结灾害链应对经验总结、优化灾害链防灾减灾规划优化。

5 结 论

1) 灾害链视角下城市韧性规划顶层设计影响因素主要集中在预防、准备和适应方面。根本影响因素为保险保障、灾害链场景下应急指挥与政府部

门联动处置断链减灾能力、灾害链情景下应急资源准备充分程度、生态环境修复与治理。直接影响因素为住房质量、医疗救助能力、应急疏散能力、生活基本保障。

2) 增强经济韧性,最重要的路径是保险保障→经济恢复及基础设施修复→经济恢复。增强人口韧性可通过住房保障、生命保障、应急疏散保障、生活保障达成目的。

3) 案例分析结果表明:成都在灾害链情境下的韧性建设实践与本文提出的影响因素清单高度吻合,印证了该清单的合理性。此外,成都在灾害链情境下的韧性建设较为良好,但部分环节仍需优化。

4) 文中选取的影响因素具有合理性和现实性,但不同阶段不同类型灾害链情景下各影响因素的重要性可能不同,未来有待进一步探究。

参 考 文 献

[1] SAJA A M A, TEO M, GOONETILLEKE A, et al. An inclusive and adaptive framework for measuring social resilience to disasters[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2018, 28: 862–873.

[2] CUTTER S L, BURTON C G, EMRICH C T. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions[J].

- Journal of Homeland Security and Emergency Management, 2010, 7(1): 1–22.
- [3] SHING E Z, JAYAWICKREME E, WAUGH C E. Contextual positive coping as a factor contributing to resilience after disasters[J]. Journal of Clinical Psychology, 2016, 72(12): 1 287–1 306.
- [4] SADRI A M, UKKUSURI S V, LEE S, et al. The role of social capital, personal networks, and emergency responders in post-disaster recovery and resilience: a study of rural communities in Indiana[J]. Natural Hazards, 2018, 90: 1 377–1 406.
- [5] YANG Yuying, GUO Haixiang, CHEN Linfei, et al. Multiattribute decision making for the assessment of disaster resilience in the Three Gorges reservoir area[J]. Ecology and Society, 2020, 25 (2): DOI: 10.5751/ES-11464-250205.
- [6] BHATTARAI S, MAYCOCK B, ALFONSO H, et al. Development of an integrated pathways model of factors influencing the progress of recovery after a disaster[J]. Asia Pacific Journal of Public Health, 2020, 32(5): 226–234.
- [7] TORABI E, DEDEKORKUT-HOWES A, HOWES M. Adapting or maladapting: building resilience to climate-related disasters in coastal cities[J]. Cities, 2018, 72: 295–309.
- [8] MA Fei, WANG Zuohang, SUN Qipeng, et al. Spatial-temporal evolution of urban resilience and its influencing factors: evidence from the Guanzhong plain urban agglomeration[J]. Sustainability, 2020, 12(7): DOI: 10.1016/j. regsus. 2024. 100159.
- [9] ZHANG Nan, HUANG Hong. Resilience analysis of countries under disasters based on multisource data[J]. Risk Analysis, 2018, 38(1): 31–42.
- [10] WU Yi, QUE Wei, LIU Yunguo, et al. Is resilience capacity index of Chinese region performing well? Evidence from 26 provinces[J]. Ecological Indicators, 2020, 112: DOI: 10.1016/j. ecolind. 2020. 106088.
- [11] HIETE M, MERZ M, COMES T, et al. Trapezoidal fuzzy DEMATEL method to analyze and correct for relations between variables in a composite indicator for disaster resilience[J]. OR Spectrum, 2012, 34: 971–995.
- [12] 王亮, 赖佳燕, 张自欣, 等. 基于文本挖掘和改进 DEMATEL 法的化工事故关键因素识别[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(3): 20–28.
- WANG Liang, LAI Jiayan, ZHANG Zixin, et al. Identification of critical factors in chemical accidents based on text mining and improved DEMATEL method[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(3): 20–28.
- [13] ZHAO Yunfei, CAI Jianming, TANG Lan, et al. Hierarchical and networked analysis of resilience factors in mountain communities in Southwest China[J]. Natural Hazards, 2024, 120(2): 1 519–1 556.
- [14] HUANG Guanying, LI Dezhi, ZHU Xiongwei, et al. Influencing factors and their influencing mechanisms on urban resilience in China[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 74: DOI: 10.1016/j. scs. 2021. 103210.
- [15] 黄亚江, 李书全, 李益铎, 等. 基于 DEMATEL-ISM-ANP 的地铁运营安全韧性综合评价[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6): 171–177.
- HUANG Yajiang, LI Shuquan, LI Yixin, et al. Comprehensive evaluation on subway operation safety resilience based on DEMATEL-ISM-ANP[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(6): 171–177.
- [16] 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.
- [17] 钟鸣, 肖璐, 张倩, 等. 山洪视角下社区韧性影响因素及其定量分析[J]. 地理科学进展, 2022, 41(3): 423–436.
- ZHONG Ming, XIAO Lu, ZHANG Qian, et al. Influencing factors and quantitative analysis of community resilience to flash floods[J]. Progress in Geography, 2022, 41(3): 423–436.
- [18] 叶霄, 朱鸿鹄, 田坤, 等. 应急管理视角下特大库区滑坡科学观测与早期预警[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(3): 221–231.
- YE Xiao, ZHU Honghu, TIAN Kun, et al. Scientific observation and early warning of extremely large reservoir landslides from perspective of emergency management[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(3): 221–231.
- [19] WANG Maojiun, CHANG Tienchien. Tool steel materials selection under fuzzy environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 72(3): 263–270.
- [20] OPRICOVIC S, TZENG G H. Defuzzification within a multicriteria decision model[J]. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2003, 11(5): 635–652.
- [21] 孙晶. 复杂系统 DEMATEL 阈值确定方法研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.

作者简介: 杨钰莹 (1993—), 女, 湖南汨罗人, 博士, 讲师, 主要从事灾害应急管理等方面的研究。E-mail: 1458564932@ qq. com.

