

# 基于熵权-TOPSIS模型的城市基础设施韧性评价研究 ——以沈阳市为例

阎卫东<sup>1</sup>,丁春雷<sup>2</sup>,王晓磊<sup>1</sup>

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**在概括分析城市基础设施韧性机理的基础上,从经济、社会、生态环境、工程技术、治理和基础设施6个维度建立了城市基础设施韧性评价体系,并基于熵权-TOPSIS模型对2016—2020年沈阳市城市基础设施韧性进行了评价研究,结果表明:沈阳市的城市基础设施韧性处在较为稳定的发展阶段;经济韧性水平和治理韧性水平有明显的波动起伏;能源供给和道路交通基础设施的韧性水平还有待提高。最后,结合上述结论为提升沈阳市的城市基础设施韧性提出了相关建议。

**关键词:**城市基础设施;韧性;评价体系;作用机理;TOPSIS

**中图分类号:**F426;TU992 **文献标志码:**A

**引用格式:**阎卫东,丁春雷,王晓磊.基于熵权-TOPSIS模型的城市基础设施韧性评价研究:以沈阳市为例[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(1):71-78.

韧性的词源是拉丁语“resilio”。1973年霍林首次将韧性的概念引入到生态学科,形成生态韧性的理论<sup>[1]</sup>。20世纪90年代,学术界对“韧性”的研究逐渐发展为“演化韧性”,主旨是打破对平衡状态的追求,强调在不断地适应中个体逐渐演化出自主学习和自我创新的能力。城市基础设施韧性是指基础设施工程在面对灾害扰动时能够吸收冲击并通过适应、转变从而保持或尽快恢复自身基本功能的能力<sup>[2]</sup>。

近年来,城市基础设施韧性评价是国内外学者的研究热点。国外学者通过构建韧性理论及模型框架、定量分析模型、系统仿真等研究城市基础设施的韧性问题。Dianat H等<sup>[3]</sup>采用因果循环图和UNISDR计分卡开

发的定量复原力测量工具,完善了城市的韧性系统。Renald A等<sup>[4]</sup>由结构方程模型的位置分析发现了影响雅加达抗灾性城市适应性模型的4个因素,分别为空间布局、技术创新、减灾和灾害适应。Wehrle R等<sup>[5]</sup>提出的迭代框架结合了专家知识的启发和严肃的游戏应用程序,可以提高城市基础设施的抗逆力并开展相关评估。Zhu Q等<sup>[6]</sup>开发了一个新的马尔可夫决策过程模型,用于城市基础设施韧性升级的成本效益分析。Brucherseifer E等<sup>[7]</sup>对城市基础设施特征、危机管理和复原力措施进行了全面的需求分析,得出“数字孪生”范式非常适合提升关键基础设施韧性的结论。Jingran S等<sup>[8]</sup>利用基于Agent建模技术,提出采用拟议方法分

收稿日期:2023-04-22

基金项目:辽宁省教育厅基本科研项目(LJKMZ20220943);辽宁省教育厅2020年度科学研究项目(lnqn202035)

作者简介:阎卫东(1964—),男,黑龙江伊春人,教授,博士研究生导师。

配资源来提高城市基础设施网络的复原力。

国内学者对城市基础设施韧性问题在单个或多个维度展开评价研究。张振等<sup>[9]</sup>基于熵权-TOPSIS模型从社会、生态、基础设施和经济4个层面评价了长春市的城市韧性。石媛<sup>[10]</sup>运用Delphi法和AHP法建立起城市社区减灾能力评价体系,为社区减灾治理提供新的研究视角。项英辉等<sup>[11]</sup>构建了由7项安全指标构成的城市道路交通设施安全评价指标体系。姜宇道<sup>[12]</sup>运用层次分析法、综合模糊分析法对社区韧性评价体系进行了实践研究。周诗伟等<sup>[13]</sup>采用基础设施抵御冲击的能力和恢复能力作为韧性评估指标,构建了城市基础设施的韧性评估模型。余硕等<sup>[14]</sup>利用TOPSIS熵权法对长三角城市群2007—2016年基础设施韧性度进行了测算。

尽管学者提出了城市基础设施韧性研究的不同方法,但不同城市需要依据自身情况做出客观分析。笔者采用熵权-TOPSIS法对沈阳市的城市基础设施韧性水平进行量化分析,并根据分析结果提出对策与建议,旨在城市基础设施系统发生扰动后及时采取社会性和实践性的调整措施,从而更好地应对下一次的威胁。

## 一、城市基础设施韧性的作用机理

### 1. 灾害扰动下的韧性作用过程

城市基础设施韧性可以概括为人、外部环境和硬件设施这三大系统。当外界发生扰动时,作用于整个系统的冲击将会同时刺激城市基础设施3个系统,称为“作用共振”阶段;当扰动引起刺激之后,系统开始多个维度中做出抵抗反应,以应对和适应此次冲击,称为“机能共生”阶段;当冲击过后,整个系统对于此次扰动带来的冲击进行总结、重构并进一步向前演化,称为“能力共进”阶段。灾害扰动下的韧性作用过程可以概括为“作用共振—机能共生—能力共进”的演变过程。在作用共振阶段,城市管理者应更加重视韧性培育,认清城市的未知风险,及时做出

应急反应。在机能共生阶段,要放大3个系统中各项因素对韧性的正向作用,抑制产生负向的干扰。在能力共进阶段,要通过此次扰动认识城市基础设施系统的不足,总结学习经验,构筑更具韧性的城市基础设施。

### 2. 各个系统的韧性作用调节

当灾害来临导致城市基础设施系统发生扰动时,为了抵抗威胁,各个系统在多元协同的韧性作用调节下使城市基础设施系统快速恢复。

(1)经济系统通过创建多样化的营商环境、打造强有力的经济产业基础、促进与其他区域以及全球经济体的紧密融合等,为城市基础设施系统提供资金保障,推动灾害应急资金投入,保证灾害来临时有充足的基金进行应对。

(2)社会系统通过“人”的需求拉动城市基础设施建设质量的提升,在“人”与城市基础设施的供需关系影响下促进城市基础设施迭代升级。

(3)生态环境系统保障城市经济社会发展的水资源调节、污染净化和环境修复,促进人与自然和谐共生,可以避免或减少城市可能面临的生态环境风险。

(4)工程技术系统通过智慧化的手段识别和应对风险,如运用大数据、城市大脑和云计算等技术方法构建灾害仿真模型,模拟灾害情景、风险概率、灾害应急的全过程。此外,采用更高的安全技术标准,实现绿色施工,不仅能够实现节材节能,更有利于防灾减灾能力提升。

(5)治理系统强调将韧性作为检测治理体系抗压能力和恢复能力的结果<sup>[15]</sup>。它注重的是系统主体的稳定,即系统在面对外部冲击时的自我组织、化解、适应能力。

(6)基础设施系统通过补齐城市基础设施韧性建设短板、促进智慧城市建设等措施,提升城市基础设施配置水平和运行效率,及时高效地传递灾害信息,减少应急反应时间<sup>[16]</sup>。同时,发挥基础设施系统的自主调节能力,能够降低灾害对基础设施的破坏。

### 3. 韧性能力提升后的正向效益反馈

城市基础设施系统在经历上一次灾害的

冲击后,城市基础设施韧性水平实现跨越发展并带来多方面的正向效益反馈。

(1)整个系统产生对风险因素的约束效应。城市基础设施系统在经历灾害冲击之后,经过进一步的改造和升级,使自身在面临下一次害扰动时,产生对风险因素的抑制和阻碍作用,进而做出回避风险的选择以及采取回避的行为,这在很大程度上规避了许多不必要的损失<sup>[17]</sup>。

(2)经济效益和环境效益。据 2019 年 6 月世界银行和全球减灾与恢复基金发布的报告显示,在低收入和中等收入国家投资建设韧性基础设施所取得的回报可达初始资金投入的 4 倍,这更有利于增强韧性基础设施建设的融资吸引力。同时,更具韧性的城市基础设施系统所带来的环境效益可以塑造更安全、更绿色的居住环境,打造城市和生态系统之间的良性循环<sup>[18]</sup>。

(3)人文效益和社会效益。城市基础设施韧性提升后带来的人文效益体现在两个方面:一方面,城市基础设施在结束一个扰动之后,人们便会开始发掘更科学的韧性基础设

施治理范式;另一方面,更具韧性的基础设施可衍生出更科学先进的工程、技术手段,从而能够采用更智慧的手段来识别并化解风险<sup>[19]</sup>。城市基础设施韧性提升后带来的社会效益包括:①为影响区内的人们提供更多的就业机会,提高人民的社会福利、医疗保障水平等;②优化资源配置,合理利用资源;③提高政府公信力;④促进人才进步。

二、构建城市基础设施韧性评价指标体系

基于对城市基础设施韧性的作用机理的分析,笔者发现城市基础设施的韧性的影响因素包含经济、社会、生态、工程技术、治理和基础设施 6 个维度。笔者参考国家 2021 年 11 月 26 日发布的《安全韧性城市评价指南》,借助中国知网、Web of Science 等数据库并以“基础设施韧性”“韧性城市”“城市生命线韧性”“resilience of infrastructure”“resilience city”等为关键词,对城市基础设施韧性的影响因素进行识别概括,构建了城市基础设施韧性评价指标体系(见表 1)。

表 1 城市基础设施韧性评价指标体系

目标层	准则层	指标层
城市基础设施韧性评价指标体系 X	经济韧性	城市公共安全预算支出 $X_1$ ; 人均地区生产总值 $X_2$ ; 外贸依存度 $X_3$ ; 城市公开财政负债率 $X_4$
	社会韧性	每万人互联网宽带用户数 $X_5$ ; 每万人移动电话用户数 $X_6$ ; 每万人卫生机构数量 $X_7$ ; 基础设施韧性公众满意度 $X_8$
	生态环境韧性	人均公园绿地面积 $X_9$ ; 工业二氧化硫排放量 $X_{10}$ ; 工业废水排放量 $X_{11}$ ; 工业废物综合利用率 $X_{12}$ ; 地面材料吸水性 $X_{13}$ ; 应急泄洪能力 $X_{14}$
	工程技术韧性	基础设施结构安全性 $X_{15}$ ; 新建绿色建筑占比 $X_{16}$ ; 韧性规划实施成效 $X_{17}$ ; 灾害评估技术标准水平 $X_{18}$ ; R&D 人员全时当量水平 $X_{19}$ ; R&D 经费支出 $X_{20}$ ; 科技机构数量 $X_{21}$ ; 新技术普及程度 $X_{22}$ ; 智慧城市大脑水平 $X_{23}$ ; 基础设施数字化水平 $X_{24}$
	治理韧性	各层级的责权利匹配度 $X_{25}$ ; 政府人员专业管理水平 $X_{26}$ ; 公众参与度 $X_{27}$ ; 建筑企业单位数量 $X_{28}$ ; 建筑业从业人员数 $X_{29}$ ; REITs 投融资模式应用情况 $X_{30}$ ; 企业自有施工机械台数 $X_{31}$ ; 灾前监测预警和灾害模拟水平 $X_{32}$ ; 灾后救助系统水平 $X_{33}$ ; 灾后重建系统水平 $X_{34}$
	基础设施韧性	救援物资通畅度 $X_{35}$ ; 城市人均道路面积 $X_{36}$ ; 城市人均轨道交通长度 $X_{37}$ ; 城市轨道交通应急能力 $X_{38}$ ; 供电量 $X_{39}$ ; 天然气储气能力 $X_{40}$ ; 集中供热面积 $X_{41}$ ; 能源设施保障满意率 $X_{42}$ ; 5G 通讯覆盖率 $X_{43}$ ; 救援信息通畅度 $X_{44}$ ; 供水综合生产能力 $X_{45}$ ; 排水管道长度 $X_{46}$ ; 城市给排水保障满意率 $X_{47}$ ; 每万人卫生健康设施投资 $X_{48}$ ; 应对突发公共卫生事件的设施保障水平 $X_{49}$ ; 应对气候变化健康风险的设施保障水平 $X_{50}$

注:  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{16}$ 、 $X_{19}$ 、 $X_{20}$ 、 $X_{21}$ 、 $X_{28}$ 、 $X_{29}$ 、 $X_{31}$ 、 $X_{36}$ 、 $X_{37}$ 、 $X_{39}$ 、 $X_{40}$ 、 $X_{41}$ 、 $X_{42}$ 、 $X_{43}$ 、 $X_{45}$ 、 $X_{46}$ 、 $X_{47}$ 、 $X_{48}$  为定量数据,其余为定性数据; $X_4$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$  为负向指标,其余为正向指标。

部分指标解释:①R&D意为“研究与试验发展”,是国际上对科学技术活动进行测度所使用的一个通用术语;②各层级的责权利匹配度指的是在落实各层级部门职责和权力的同时,保证各个管理部门的利益匹配;③新技术普及程度表示5G、人工智能、云计算等新技术基础设施以及深度应用互联网、大数据的融合型基础设施的普及程度。

三、研究方法 with 数据来源

1. 熵权法

熵权法是将物理学中热力学熵的方法运用于社会系统中,判断指标离散程度的数学方法<sup>[20]</sup>。熵值的离散程度越大,指标对评价结果的影响越大,反之亦然。其计算步骤如下。

(1) 构建原始决策矩阵

假设矩阵分为  $m$  个年份、 $n$  个评价指标,则构成初始决策矩阵  $X = (X_{ij})_{m \times n}$ ,其中,  $X_{ij}$  表示第  $i$  行第  $j$  列的指标。

(2) 数据标准化

评价指标的数据单位、数据的正负性存在较大差异,需要通过极差法对指标数据进行无量纲化、数据平移、标准化处理,最终得到在  $[0,1]$  数据区间内的无量纲数据。

计算正向指标  $X_{ij}^+$ :

$$X_{ij}^+ = \frac{X_{ij} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}}$$
 (1)

计算负向指标  $X_{ij}^-$ :

$$X_{ij}^- = \frac{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\} - X_{ij}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}}$$
 (2)

(3) 确定指标权重  $P_{ij}$

①计算第  $i$  个年份数据中第  $j$  个指标占该项指标的比例:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}}$$
 (3)

②计算第  $j$  个指标的熵值:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}), k = 1/\ln(n)$$
 (4)

③计算差异系数:

$$G_i = 1 - E_j$$
 (5)

某项指标的信息效用值取决于该指标的信息熵与1之间的差值。信息效用值越大,对评价的重要性也就越大,权重也就越大。

④计算指标权重:

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n 1 - E_j} \quad j = (1, 2, \dots, n)$$
 (6)

式中:  $X_{ij}$  为所有三级指标;  $X_{ij}^+$  为正向指标;  $X_{ij}^-$  为负向指标;  $P_{ij}$  为指标所占比例;  $E_j$  为熵值;  $G_i$  为差异系数;  $W_j$  为指标权重。

2. TOPSIS 综合评价法

TOPSIS 法通过结合熵权法计算的评价指标权重找出每个指标中的最优和最劣理想值<sup>[21]</sup>,进而计算各项指标与正、负理想解之间的距离,得到各评价指标与理想解的贴进度<sup>[22]</sup>,并进行排序以此作评价目标优劣程度的依据。其计算步骤如下。

①计算城市基础设施韧性各项指标到最优值  $D_i^+$ 、最劣值之间的欧氏距离  $D_i^-$ 。

最优欧氏距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_j^+ - X_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$$
 (7)

最劣欧氏距离:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_j^- - X_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$
 (8)

②计算历年评价方案与最优值之间的相对邻近度值,即韧性得分。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$
 (9)

式中:  $D_i^+$  为最优欧氏距离;  $D_i^-$  为最劣欧氏距离;  $Z_j^+$  为正理想解;  $Z_j^-$  为负理想解;  $C_i$  为历年评价方案与最优值之间的相对邻近度值。

3. 数据来源

定量指标的数据来源:2017—2021 年的《沈阳统计年鉴》、2016—2020 年的《沈阳市国民经济和社会发展统计公报》。定性指标是采用李克特5级量表,通过发放问卷的方式对定性指标进行1~5范围内分数量化。运用 SPSS 26.0



版本软件对调查问卷数据进行信度检验, Cronbach's Alpha 的计算结果为 0.999,数据可靠性高,一致性检验结果较为理想。

四、沈阳市城市基础设施韧性评价

1. 城市基础设施韧性综合评价

将 2016—2020 年的评价指标数据代入

表 2 城市基础设施韧性评价体系指标层的权重计算结果

指标层	权重	指标层	权重	指标层	权重	指标层	权重	指标层	权重
$X_1$	1.845	$X_{11}$	1.814	$X_{21}$	1.463	$X_{31}$	3.463	$X_{41}$	1.717
$X_2$	1.842	$X_{12}$	1.207	$X_{22}$	2.034	$X_{32}$	1.963	$X_{42}$	1.183
$X_3$	1.401	$X_{13}$	1.767	$X_{23}$	2.156	$X_{33}$	3.682	$X_{43}$	5.190
$X_4$	1.300	$X_{14}$	1.642	$X_{24}$	1.902	$X_{34}$	2.921	$X_{44}$	2.082
$X_5$	1.581	$X_{15}$	1.842	$X_{25}$	1.703	$X_{35}$	1.886	$X_{45}$	2.592
$X_6$	1.216	$X_{16}$	1.254	$X_{26}$	2.022	$X_{36}$	1.237	$X_{46}$	1.234
$X_7$	1.241	$X_{17}$	1.868	$X_{27}$	1.171	$X_{37}$	2.028	$X_{47}$	4.535
$X_8$	1.292	$X_{18}$	1.692	$X_{28}$	1.605	$X_{38}$	1.851	$X_{48}$	2.040
$X_9$	2.940	$X_{19}$	1.400	$X_{29}$	2.578	$X_{39}$	1.433	$X_{49}$	3.332
$X_{10}$	1.453	$X_{20}$	2.682	$X_{30}$	2.162	$X_{40}$	2.714	$X_{50}$	3.337

在得到城市基础设施韧性评价体系指标层的权重计算结果后,将指标权重计算结果代入式(7)~式(9)得到沈阳市 2016—2020 年的城市基础设施韧性得分:0.284(2016 年)、

式(1)~式(6)分别得到城市基础设施韧性评价体系中准则层的权重:经济韧性(0.063)、社会韧性(0.052)、生态环境韧性(0.073)、工程技术韧性(0.213)、治理韧性(0.247)、基础设施韧性(0.353)以及指标层的权重(见表 2)。

0.359(2017 年)、0.533(2018 年)、0.640(2019 年)、0.705(2020 年)和各准则层的韧性得分(见表 3)。

表 3 城市基础设施韧性评价体系准则层得分

准则层	2016 年			2017 年			2018 年			2019 年			2020 年		
	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$
经济韧性	0.994	0.000	0.000	0.796	0.308	0.279	0.176	0.873	0.832	0.026	0.980	0.974	0.334	0.780	0.700
社会韧性	0.746	0.554	0.426	0.426	0.670	0.611	0.184	0.895	0.829	0.116	0.931	0.890	0.679	0.733	0.519
生态韧性	0.654	0.634	0.492	0.857	0.334	0.281	0.822	0.378	0.315	0.770	0.577	0.428	0.013	0.062	0.828
工程技术韧性	0.931	0.362	0.280	0.755	0.337	0.309	0.430	0.656	0.605	0.362	0.761	0.678	0.270	0.947	0.778
治理韧性	0.841	0.398	0.321	0.703	0.557	0.442	0.615	0.431	0.412	0.524	0.697	0.571	0.556	0.808	0.592
基础设施韧性	0.071	0.008	0.100	0.062	0.023	0.265	0.047	0.042	0.475	0.026	0.054	0.675	0.026	0.065	0.716

为了更精确的反映出基础设施准则层的韧性水平,将基础设施准则层划分为道路交

通、能源、通讯、给排水、健康卫生 5 个子系统并计算各系统的韧性得分(见表 4)。

表 4 基础设施韧性准则层子系统得分

准则层	2016 年			2017 年			2018 年			2019 年			2020 年		
	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$	$D_i^+$	$D_i^-$	$C_i$
道路交通	0.031	0.000	0.000	0.023	0.010	0.312	0.015	0.018	0.548	0.004	0.029	0.885	0.021	0.022	0.516
能源供给	0.028	0.008	0.218	0.026	0.008	0.234	0.010	0.025	0.719	0.006	0.028	0.830	0.013	0.025	0.667
给排水	0.043	0.000	0.000	0.042	0.002	0.053	0.041	0.008	0.155	0.021	0.023	0.532	0.000	0.043	1.000
通讯	0.025	0.000	0.014	0.021	0.009	0.300	0.002	0.023	0.914	0.003	0.022	0.884	0.003	0.024	0.904
健康卫生	0.029	0.000	0.000	0.022	0.016	0.420	0.015	0.016	0.519	0.015	0.018	0.556	0.008	0.026	0.765

## 2. 评价结果分析

### (1) 综合评价结果分析

权重排名较高的指标有5G通讯覆盖率、企业自有施工机械台数、灾后救助系统水平、应对气候变化健康风险的设施保障水平、应对突发公共卫生事件的设施保障水平。沈阳市城市基础设施韧性得分在2016—2020年稳步上升,韧性得分由2016年的0.284增长到2020年的0.705,增长速度较快且发展水平稳定。

### (2) 准则层评价结果分析

①经济韧性。经济韧性得分在2016—2019年处于稳步增长的趋势,但在2020年经济韧性得分首次下降。由统计分析可知,2019—2020年地方人均财政税收收入、城市公共安全预算支出、外贸依存度都有所下降。

②社会韧性。社会韧性得分在2016—2019年不断提高,由0.426提高到0.890,但在2020年降到0.519。从统计分析,2020年每万人移动电话用户数和每万人卫生机构数量有所下降,表明社会韧性水平不高,需要着重关注这两项指标并积极采取解决措施。

③生态环境韧性。2016—2017年生态环境韧性水平下降,从统计分析,2016—2017年生态环境韧性水平下降的根源是工业废物综合利用率有所下降。而2017—2020年生态韧性得分有所提高。

④工程技术韧性。2016—2020年工程技术韧性得分不断提高。从统计分析来看,2018年R&D人员全时当量水平、R&D经费支出、绿色建筑比重、科技机构数量水平都有所提高,说明沈阳市城市基础设施建设获得了很好的技术和资金支持。

⑤治理韧性。治理韧性整体评分波动起伏较大,较不稳定。从统计分析来看,2018年和2020年治理韧性水平有所下降的原因可能是由沈阳市建筑业从业人员数和企业自有施工机械台数这两项指标水平的下降所引起的。

⑥基础设施韧性。2016—2020年基础设施韧性得分稳定上升,基础设施准则层的5个子系统韧性得分分别为0.516,0.667,1.000,0.904,0.765,得分最高的是通讯基础设施,得分最低的是道路交通基础设施。2019—2020年,道路交通基础设施韧性得分出现下降趋势,分析统计数据发现,2019—2020年沈阳市城市人均道路面积由 $12.09\text{ m}^2$ 下降到 $11.56\text{ m}^2$ 。2019—2020年能源供给基础设施韧性得分下降,分析指标数据发现供电量、天然气储气能力、集中供热面积3项指标有所下降,原因是沈阳市城镇人口的不断提高导致人们对能源的需求进一步加大。通讯、给排水和健康卫生3类基础设施的韧性水平在稳步提高。因此,沈阳市提高城市基础设施韧性的工作重心应放在交通和能源这两大类基础设施上。

## 五、结论与建议

### 1. 结论

笔者在明晰城市基础设施韧性作用机理的基础上,建立了沈阳市的城市基础设施韧性评价体系并进行综合评价研究。研究发现:目前沈阳市的城市基础设施韧性处在较为稳定的发展阶段;受建筑业从业人员数和企业自有施工机械台数两项指标的影响,治理韧性水平波动起伏较大;经济韧性得分受外贸依存度降低的影响在2020年出现下降趋势;社会韧性水平不高,需重点关注每万人移动电话用户数和每万人卫生机构数量这两项指标。在城市基础设施韧性的5个子系统中,通讯、给排水和健康卫生3类基础设施的韧性水平在稳定提高;能源供给基础设施受城镇人口快速增加的影响,韧性水平出现起伏;城市人均道路面积下降导致了交通基础设施韧性水平降低。

### 2. 建议

基于研究结果为提升沈阳市的城市基础设施韧性水平提出以下建议:

(1)构建韧性的经济结构体系,加强防御金融风险的能力。针对灾害等对经济韧性

的影响,可以采取针对性的调整措施,例如:减少城市财政负债率、加快复工复产、加强对外贸易交流等。采用 PPP、REITs、PPP + REITs 等以市场导向为主的投融资模式,拓宽城市基础设施韧性资金来源,为城市的备灾和救灾工作提供固定预算。

(2)政府加快相关政策的出台,健全应急管理体制。因地制宜,打造科学合理的城市基础设施韧性规划,定期开展专项审查和普法宣传其次要推动应急预案的编制、修订和管理工作,积极引导岗位工作人员的防控部署,强化各级部门应急救援能力。做好灾后的恢复和重建工作,加强应急物资的准备,保证救援和重建资金投入以及落实受灾人群的过渡安置和救济保护工作。

(3)优化基础设施治理模式,协调社会公共责任链条。对于目前灾后治理的人力和物力的储备能力不足,需充分发挥政府、市场、社会的协同管理,鼓励民间企业和其他社会组织为救灾工作提供援助,打造社会多元共治的灾害治理模式,从而保证人员整齐和设备刚需,使灾后重建工作进行顺利。

(4)加快产业结构转型升级,为基础设施提供科技赋能。通过引入高新技术产业、低能耗低污染产业等多渠道增加能源保供资源,打造煤炭天然气、油气的多能互补的综合应急调度机制。加快推进基于数字化、网络化、智能化的新型城市基础设施建设,开发基础设施管理和维护的预警和应变系统,及时处理发现的潜在风险或灾变情况。

参考文献:

[1] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems [ J ]. Annual review of ecology and systematics,1973,4(1):1 - 23.

[2] 华智亚. 韧性思维、韧性基础设施与城市运行安全[ J ]. 上海城市管理,2021,30(1):19 - 26.

[3] DIANAT H, WILLIAMS S, WILLIAMS P, et al. Planning the resilient city: investigations into using " causal loop diagram " in combination with " UNISDR scorecard " for

making cities more resilient [ J ]. International journal of disaster risk reduction, 2021, 65: 102561.

[4] RENALD A, TJIPTOHERIJANTO P, SUGANDA E, et al. Toward resilient and sustainable city adaptation model for flood disaster prone city: case study of Jakarta capital region [ J ]. Procedia-social and behavioral sciences, 2016, 227(1):334 - 340.

[5] WEHRLE R, WIENS M, SCHULTMANN F. Application of collaborative serious gaming for the elicitation of expert knowledge and towards creating situation awareness in the field of infrastructure resilience[ J ]. International journal of disaster risk reduction,2022,67:102665.

[6] ZHU Q, LEIBOWICZ B D. A markov decision process approach for cost-benefit analysis of infrastructure resilience upgrades [ J ]. Risk analysis,2022,42(7):1585 - 1602.

[7] BRUCHERSEIFER E, WINTER H, MENTGES A, et al. Digital twin conceptual framework for improving critical infrastructure resilience [ J ]. At-automatisierungstechnik, 2021, 69 ( 12 ): 1062 - 1080.

[8] JINGRAN S, BALAKRISHNAN S, ZHANG Z. A resource allocation framework for predisaster resilience management of interdependent infrastructure networks [ J ]. Built environment project and asset management, 2021, 11 ( 2 ): 284 - 303.

[9] 张振,张以晨,张继权,等. 基于熵权法和 TOPSIS 模型的城市韧性评估:以长春市为例 [ J ]. 灾害学,2023,38(1):213 - 219.

[10] 石媛. 韧性城市视角下城市社区减灾能力评价体系研究[ D ]. 南京:南京工业大学,2020.

[11] 项英辉,欧阳文静. 我国城市道路交通设施的安全评价[ J ]. 建筑经济,2013(9):112 - 114.

[12] 姜宇逍. 雨洪防涝视角下韧性社区评价体系及优化策略研究[ D ]. 天津:天津大学,2018.

[13] 周诗伟,黄弘,李瑞奇. 城市基础设施韧性评估与敏感性分析[ J ]. 武汉理工大学学报( 信息与管理工程版 ),2020,42(3):189 - 195.

[14] 余硕,段芳. 长三角城市群基础设施韧性度评价:基于 TOPSIS 熵权法 [ J ]. 中国房地产, 2020(27):31 - 35.

[15] 姜晓萍,李敏. 治理韧性:新时代中国社会治

理的维度与效度[J]. 行政论坛,2022,29(3): 5-12.

[16] 章蓓蓓,刘钊智. 基于韧性理论的安徽省城市韧性时空演进分析[J]. 沈阳建筑大学学报 (社会科学版),2023,25(4):406-413.

[17] SHAKER R R,RYBARCZYK G,BROWN C, et al. Emphasizing urban infrastructure resilience via scoping review and content analysis[J]. Urban science,2019,3(2):1-15.

[18] HUCK A, MONSTADT J. Urban and infrastructure resilience:diverging concepts and the need for cross-boundary learning [J]. Environmental science & policy, 2019, 100: 211-220.

[19] LIU W, SONG Z. Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks[J]. Reliability engineering & system safety,2020,193:106617.

[20] PANT R, BARKER K, ZOBEL C W. Static and dynamic metrics of economic resilience for interdependent infrastructure and industry sectors[J]. Reliability engineering & system safety, 2013,125, 92-102.

[21] ADRIANA A Z, ANDREA K G, BRIAN M, et al. Urban resilience and green infrastructure systems:towards a multidimensional evaluation [J]. Current opinion in environmental sustainability,2020,44(6):42-47.

[22] NAIM K,QIAN H,SAMIUL H,et al. Building urban infrastructure resilience through network governance[J]. Urban governance, 2023 (1): 5-13.

Evaluation of Urban Infrastructure Resilience Based on Entropy Weight-TOPSIS Model:  
A Case Study of Shenyang City

YAN Weidong<sup>1</sup>,DING Chunlei<sup>2</sup>,WANG Xiaolei<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:**Based on summarizing and analyzing the resilience mechanism of urban infrastructure, this study establishes an evaluation system of urban infrastructure resilience from six dimensions: economy, society, ecological environment, engineering technology, governance, and infrastructure, and evaluates the resilience of urban infrastructure in Shenyang from 2016 to 2020 based on the Entropy-Weight-TOPSIS model. The results show that: the resilience of urban infrastructure in Shenyang City is in a relatively stable developmental stage; there are obvious fluctuations in the level of economic resilience and governance resilience, and the resilience levels of energy supply and road transportation infrastructure require further enhancement. Finally, based on these findings, recommendations are provided to enhance the resilience of urban infrastructure in Shenyang City.

**Key words:**urban infrastructure;resilience;system of assessment;mechanism of action;TOPSIS

(责任编辑:王丽娜 英文审校:贾凡华)