

# 基于韧性理论的长株潭“3 + 5”城市群城市韧性时空演变特征研究

徐 卉, 曾群华, 李 婷

湖南科技大学建筑与设计学院, 湖南 湘潭

收稿日期: 2025年3月12日; 录用日期: 2025年5月14日; 发布日期: 2025年5月23日

---

## 摘要

随着城市面临的社会风险日益复杂化和多元化, 增强城市抵御风险的能力逐渐受到国家和社会的高度重视。为更好地增强城市抵抗不确定风险的能力, 本文以长株潭“3 + 5”城市群为研究对象, 基于熵值法和耦合协调度模型, 从“抵抗-适应-恢复”3维度构建城市韧性评价指标体系, 对2013~2022年长株潭“3 + 5”城市群的韧性水平进行综合韧性、分维度韧性评价, 研究各市城市韧性的时空演进变化。结果表明: (1) 时间维度上, “3 + 5”城市群的韧性发展总体态势良好, 但仍存在个体之间发展不充分、不均衡的问题。(2) “3 + 5”城市群各城市韧性的耦合协调度有所上升, 集聚效应增强, 但总体水平较低。(3) 空间维度上, 空间分布不均衡, 总体呈现以长沙市为中心向周围递减格局。

## 关键词

城市韧性, 熵值法, 时空演变, 湖南省

---

# Study on Temporal and Spatial Evolution Characteristics of Urban Resilience of the Chang-Zhu-Tan “3 + 5” Urban Agglomeration Based on the Resilience Theory

Hui Xu, Qunhua Zeng, Ting Li

School of Architecture and Design, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

Received: Mar. 12<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 14<sup>th</sup>, 2025; published: May 23<sup>rd</sup>, 2025

## Abstract

With the increasing complexity and diversification of social risks faced by cities, the country and society gradually attach great importance to enhancing the ability of cities to resist risks. In order to better enhance the ability of cities to resist uncertain risks, this paper takes Chang-Zhu-Tan “3 + 5” urban agglomeration as the research object, builds an urban resilience evaluation index system from the three dimensions of “resistance - adaptation - recovery” based on entropy method and coupling coordination degree model. To evaluate the comprehensive resilience and sub-dimensional resilience of the “3 + 5” urban agglomeration from 2013 to 2022, and to study the temporal and spatial evolution of urban resilience of each city. The results show that: (1) From the time dimension, the resilience development of “3 + 5” urban agglomeration is generally good, but there are still problems of insufficient and unbalanced development among individuals. (2) The coupling coordination degree of urban resilience in “3 + 5” urban agglomerations has increased, and the agglomeration effect has been enhanced, but the overall level is low. (3) In terms of spatial dimension, the spatial division is uneven, and the overall pattern is decreasing from Changsha City to the surrounding area.

## Keywords

**Urban Resilience, Entropy Method, Space-Time Evolution, Hunan Province**

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

城市是一个复杂的且处于动态变化之中的自然 - 社会复合的巨系统[1]，在其迅猛的发展轨迹中，形成了一种复杂且动态的人与地域环境之间的相互作用关系。近年来，随着城镇化迅猛发展，交通拥挤、环境污染、资源短缺等问题制约了城市社会经济的持续性发展[2][3]。在外部环境日趋错综复杂，且公共事件频发、伴随显著不确定性的情境下，传统安全观念难以满足当前环境的紧迫需求及未来城市发展的前瞻需要。因此，城市韧性这一新兴的城市理念应运而生，为新时代城市的发展指明了新的方向[4]。我国“十四五”规划中明确提出建设“韧性城市”并将其加入国家战略规划之中。在此背景下，提升城市自身韧性是实现城市抵御和应对风险灾害的必然选择，也是城市健康可持续发展的必由之路，对城市发展具有重要意义。

目前国内外学者对于城市韧性的研究主要集中在城市韧性的定义及演化、研究尺度、综合评价指标体系研究、韧性影响因素等方面的研究。(1) 城市韧性的定义及演化方面。韧性一词最早来源于拉丁语“resilio”，意为恢复到原始状态，中国学者多将其译为弹性[5]或韧性[6]。1973年，生物学家 Holling首次将韧性思维运用于生物学科[7]。自上世纪九十年代以来，国内外学者对韧性的研究逐渐从自然生态学向心理学[8]、经济学[9]、地质学[10]、社会学[11]等多学科领域蔓延，自此韧性经历了从工程韧性到生态韧性到演化韧性两次重要的转变[12]。(2) 韧性研究尺度方面。国内学者对城市韧性的研究尺度主要集中在宏观及中观角[13]，如：刘丁蓉等(2024)从城市群角度出发，对珠三角城市群内涝灾害韧性综合评估[14]。(3) 综合评价指标体系研究方面。由于城市系统的复杂性，学者对评价指标的构建各有差异。主要从城市系统、气候变化和灾害风险管理、地理学等方面进行指标构建[15]。城市系统视角常从社会、经济、生态、

基础设施四个方面对城市韧性进行研究；气候变化和灾害风险视角上，学者重在关注自然条件变化对城市可能带来的风险，多从生态修复[16]、城市治理[17]等视角进行分析。地理学视角，修春亮依据地理学和生态景观思想构建规模-密度-形态模型[18]，基于此，国内学者在此基础上尝试从抵抗力-恢复力-进化力[19]三维度出发，构建城市韧性评价指标。(4) 影响因素。目前对城市韧性影响因素的研究主要集中在经济因素、市场因素、行政因素以及创新因素等方面[20]。对于城市韧性构成及城市内部系统等因素所考虑较少。

综上所述，通过对既往研究成果的总结发现：(1) 当前城市韧性领域的探索主要聚焦于城市抵御干扰与快速恢复的能力，而对城市内在发展质量及其动态演变过程的分析相对缺少。(2) 研究视野普遍集中于国家、省份及经济发达地区的城市群层面，对于新兴发展形态城市群的城市韧性探讨较少。(3) 既存的城市韧性研究指标体系多基于社会、经济、生态及基础设施四个维度，紧密围绕城市本身特性构建，少有研究落实到韧性概念。本研究采用熵值法，针对湖南省“3+5”城市群内的8个城市，从其韧性本质出发，构建“抵抗-适应-恢复”三维度的韧性评价体系，通过时空维度下的演变特征分析，揭示该城市群城市韧性的差异化特征，旨在为湖南省“3+5”城市群的城市韧性研究与实践提供一定的理论支撑与科学参考。

## 2. 研究区概况与数据来源

### 2.1. 研究区概况

湖南省“3+5”城市群是长江中游城市群的重要组成部分，以长株潭3个城市为核心，以一个半小时通勤为半径，包括岳阳、常德、益阳、娄底、衡阳5个城市在内的“3+5”城市群建设[21]，同时重视大湘西开发和湘南开放，总面积约为9.76平方公里，占全省的45.9%。2022年年末长株潭“3+5”城市群的总人口为4135.6万人，国内生产总值(GDP)为37392.86亿元，占湖南省生产总值的76.3%。为带动湖南省区域经济的协调发展，湖南省以“3+5”城市群为主体形态，形成以特大城市为依托、大中小城市和小城镇协调发展的新型城市体系，成为湖南省社会经济活力的最强区。

### 2.2. 数据来源

本文统计数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《湖南省统计年鉴(2014~2023)》以及各地级市的《统计年鉴(2014~2023)》《国民经济和社会发展统计公报(2014~2023)》及《统计月报》。底图来源于国家地理信息公共服务平台天地图(<https://www.tianditu.gov.cn/>)，审图号为GS(2024)0650号，底图无修改。对于部分缺失的数据，通过差值法补齐。

## 3. 研究方法与模型建构

### 3.1. 研究方法

#### 3.1.1. 熵值法

为了确定城市韧性指标的权重，考虑各项指标的变异程度，利用信息熵来度量各指标对城市韧性的贡献程度，据此计算出城市韧性的综合得分。具体步骤如下：

首先，由于原始指标量纲不同，需要对原始数据进行标准化处理，计算公式为：

正向指标：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

其次, 计算指标的熵值:

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

$$e_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

计算评价指标的权值  $W_j$ :

$$W_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (5)$$

计算第  $i$  个城市的韧性综合得分  $F_i$ :

$$F_i = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij} \quad (6)$$

### 3.1.2. 耦合协调度模型

为深入的研究, 采用耦合协调度模型, 对湖南省“3+5”城市群的多维韧性协调发展程度进行进一步的探究。计算公式如下:

$$C = \left[ \frac{U_1 U_2 U_3}{\left( \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \right)^3} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

进一步计算耦合协调度  $D$ :

$$D = \sqrt{CT} \quad (8)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 \quad (9)$$

式中:  $D$  为耦合协调度,  $T$  为耦合协调度; 其中  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为系统数据,  $U$  为系统数据, 本文视抵抗力、适应力及恢复力三维度在整体中重要程度相同, 则设定系统数据均为  $\frac{1}{n}$ 。参考相关研究[22], 将城市多维韧性耦合协调度的类型划分为 10 类(表 1)。

**Table 1.** Classification of urban multi-dimensional toughness coupling coordination types  
**表 1. 城市多维韧性耦合协调类型划分**

类型	耦合协调度 $D$	类型	耦合协调度 $D$
极度失调	(0~0.1)	基本协调	(0.5~0.6)
严重失调	(0.1~0.2)	初级协调	(0.6~0.7)
中度失调	(0.2~0.3)	中级协调	(0.7~0.8)
轻度失调	(0.3~0.4)	良好协调	(0.8~0.9)
濒临失调	(0.4~0.5)	优质协调	(0.9~1.0)

### 3.2. 城市韧性指标体系建立

在参考相关研究成果的基础上[23]，结合城市韧性的内涵及其特征，本研究从抵抗力、适应力和恢复力三个方面构架湖南省“3+5”城市群城市韧性评级指标体系。其中，抵抗力表示城市在遇到灾害情况下，通过建设完善的基础设施来减少受到灾害的能力[24]，在指标体系构建时，选取以基础设施为主的抵抗力韧性指标，包括人均道路面积、全社会用电量及城市道路照明灯数量等。适应力表现为城市在遭受风险时，通过学习转化风险产生的负面效应，并将其转换为抵御同类风险经验积累的能力[25]，在指标选取时，选取以城市生态为主的适应力韧性指标，包括建成区绿化覆盖率、污水处理厂集中处理率和人口密度等；恢复力体现在城市系统在应对干扰的基础上，将城市由不平衡转向平衡状态的能力[23]。在指标构建时，选取以城市经济为主的恢复力韧性指标，包括人均地区生产总值、城镇居民人均可支配收入和失业保险参保人数等。在指标属性的界定中，规定：对城市韧性发展贡献程度为正的赋予“+”标识，反之则赋予“-”标识(表2)。

**Table 2.** Index system of urban resilience

**表 2. 城市韧性指标体系**

目标层	准则层	指标层	单位	指标属性	指标
湖南省“3 +5”城市 群韧性评价 指标体系	抵抗力	人均道路面积	万平方米/万人	城市交通能力	+
		全社会用电量	万度	资源消耗情况	+
		城市供气总量	吨	资源供应能力	+
		城市道路照明灯数量	盏	基础设施建设	+
		建成区排水管道密度	公里/平方公里	城市抗涝能力	+
		固定互联网接入户数	万户	网络建设水平	+
		卫生机构人员数	人	社会救治能力	+
		卫生机构床位数	万个	社会保障能力	+
适应力	适应力	建成区绿化覆盖率	%	城市生态绿化水平	+
		人均公园绿地面积	公顷/万人	生态绿化水平	+
		生活垃圾无害化处理率	%	城市环境治理水平	+
		污水处理厂集中处理率	%	生态环境治理响应	+
		污水年排放量	万立方米	城市水污染情况	-
		年供水综合生产能力	万立方米/日	水资源生产能力	+
		人口密度	人/平方公里	城市人口分布	+
		城镇化	%	城市发展水平	+
恢复力	恢复力	人均地区生产总值	元/人	人均经济总量	+
		第三产业占比	%	产业结构优化水平	+
		城镇居民人均可支配收入	元	居民收入水平	+
		城镇居民人均消费支出	元	居民消费水平	+
		居民人民储蓄存款金额	亿元	家庭抗风险能力	+
		实际使用外资金额	亿美元	外贸依存度	+
		高校学生在校人数	万人	城市教育水平	+
		失业保险参保人数	人	社会稳定能力	+

## 4. “3 + 5”城市群城市韧性的时空特征

### 4.1. “3 + 5”城市群城市韧性的时序演变特征

#### 4.1.1. 时序总体演变特征

2013~2022年湖南省“3+5”城市群8个城市韧性水平均呈现出上升趋势，上升幅度位于0.484至0.786之间，年均增长率均超过10%（见图1，表3）。其中，长沙市、株洲市以及益阳市的韧性水平增幅最大，年均增长率分别为26.95%、23.98%、32.57%；常德市以及娄底市的韧性增幅相对较小，仅为13.95%、16.04%。从相对量看，与2013年相比，2022年城市韧性水平增加较大的是长沙市与益阳市，分别增加了0.786和0.662。2013~2017年城市群城市韧性整体水平较低，2017年城市群城市韧性评价值为0.425。该阶段为“十二五”和“十三五”规划期间，湖南省提出“三量提升，做大经济总量、提升发展质量、提高人均均量，实现有质量、有效益、可持续的发展”的总体目标，其正处于产业结构调整，社会事业全面发展和基础设施完善的进一步优化阶段，城市韧性提升稳定且显著。2018~2022年城市群韧性整体进一步向好，表明在“新常态”背景下，“3+5”城市群韧性建设卓有成效，2022年城市群韧性提升至0.739，相比2013年增长了18.95%。

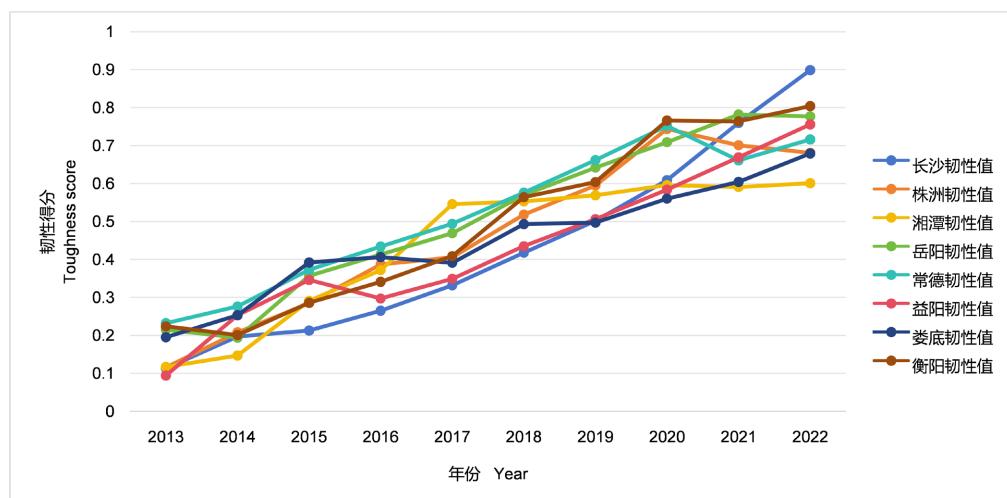


Figure 1. Overall resilience scores of cities from 2013 to 2022

图1. 2013~2022年各城市韧性综合得分

Table 3. The comprehensive scores of urban resilience of each prefecture-level city in the “3 + 5” urban agglomeration  
表3. “3+5”城市群各地级市城市韧性综合得分

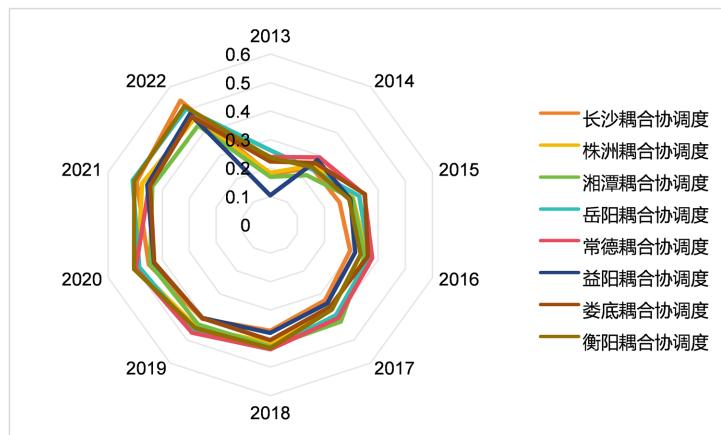
年份	长沙市	株洲市	湘潭市	岳阳市	常德市	益阳市	娄底市	衡阳市	均值
2013	0.113	0.116	0.117	0.215	0.232	0.094	0.195	0.224	0.163
2014	0.197	0.208	0.147	0.194	0.276	0.253	0.253	0.201	0.216
2015	0.213	0.285	0.291	0.357	0.373	0.346	0.392	0.286	0.318
2016	0.265	0.387	0.372	0.413	0.434	0.297	0.406	0.341	0.364
2017	0.332	0.406	0.546	0.469	0.494	0.349	0.391	0.409	0.425
2018	0.418	0.518	0.553	0.570	0.576	0.435	0.493	0.564	0.516
2019	0.502	0.595	0.569	0.642	0.662	0.506	0.497	0.604	0.572

续表

2020	0.609	0.744	0.596	0.709	0.752	0.584	0.560	0.766	0.665
2021	0.760	0.701	0.591	0.782	0.661	0.669	0.604	0.764	0.692
2022	0.899	0.681	0.601	0.777	0.716	0.756	0.679	0.804	0.739
年均增长率 (%)	26.95	23.98	23.10	17.52	13.95	32.57	16.04	16.44	18.92

#### 4.1.2. 时序耦合协调分析

基于耦合协调度模型对城市韧性多维协调发展水平的实证分析表明,研究区域内各城市耦合协调度呈显著增长态势(见图2, 表4)。通过趋势类型聚类识别,“3+5”城市群的动态演变可划分为四类特征模式:持续增长型、倒U型波动、N型波动及反N型波动。具体而言,长沙市与益阳市构成持续增长型,2013~2022年间耦合协调度年均增长率分别达13.47%和25.48%;株洲市与湘潭市呈现倒U型演变特征,其协调度在2013~2020年持续提升后,于2021~2022年进入下降通道;常德市、娄底市与衡阳市表现出N型波动规律,其中常德、衡阳在2013~2020年增长周期后经历2021年短暂回调,2022年重拾升势,娄底市则在2013~2016年增长后经2017年调整,2018~2022年恢复上行;岳阳市形成独特的反N型轨迹,经历2014年初始下降、2015~2021年持续攀升后,2022年再现下行拐点。从整体发展水平观测,研究期内城市群耦合协调度均值由0.199提升至0.483,增幅达142.7%,且标准差缩小34.2%,显示区域差异趋于收敛。值得注意的是,长沙市作为区域发展极核,2022年耦合协调度达0.682,进入基本协调阶段(0.6~0.8),而湘潭市以0.421处于濒临失调区间(0.4~0.5),形成显著的空间分异特征。该演变格局揭示了新型城镇化进程中城市韧性系统协同发展的非均衡性与路径依赖性特征。



**Figure 2.** Coupling coordination degree of urban toughness of each city during 2013~2022

图2. 2013~2022年各市城市韧性耦合协调度

**Table 4.** Scores of coupling coordination degree of urban toughness of each city

表4. 各市城市韧性耦合协调度得分

年份	长沙市	株洲市	湘潭市	岳阳市	常德市	益阳市	娄底市	衡阳市	平均
2013	0.178	0.182	0.169	0.262	0.238	0.103	0.222	0.236	0.199
2014	0.248	0.258	0.216	0.242	0.292	0.282	0.269	0.250	0.257
2015	0.256	0.306	0.302	0.329	0.347	0.296	0.350	0.291	0.309

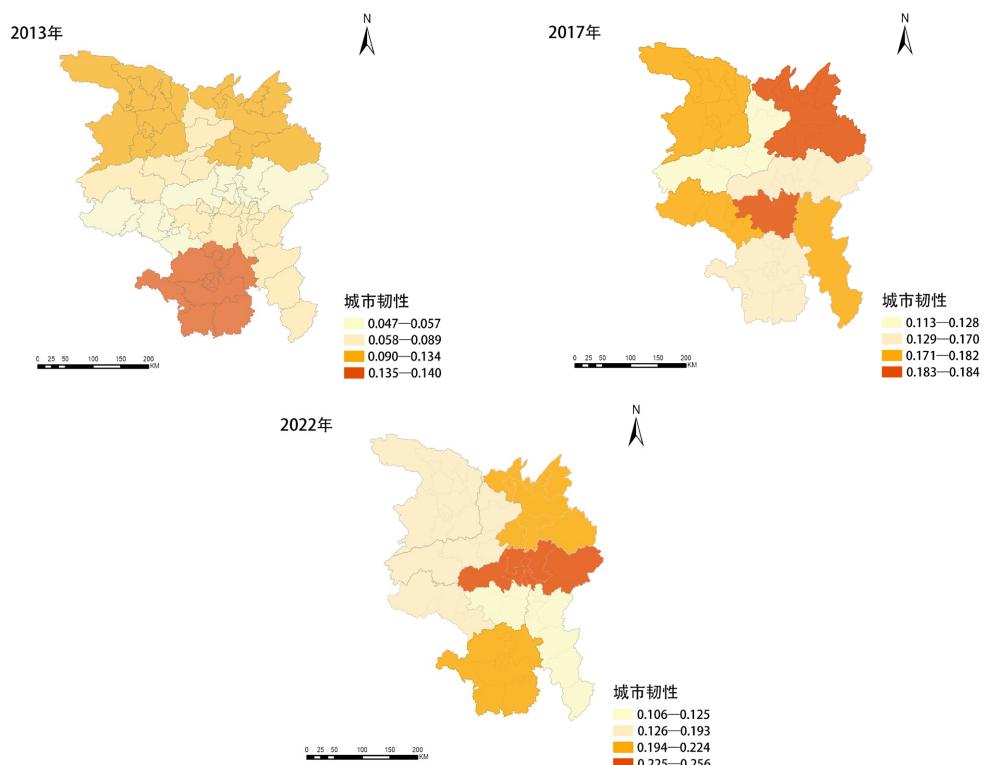
续表

2016	0.295	0.357	0.348	0.366	0.377	0.313	0.360	0.334	0.344
2017	0.327	0.360	0.420	0.392	0.405	0.340	0.356	0.367	0.371
2018	0.372	0.414	0.427	0.435	0.437	0.379	0.405	0.432	0.413
2019	0.407	0.444	0.432	0.461	0.468	0.405	0.405	0.448	0.434
2020	0.450	0.492	0.445	0.484	0.498	0.431	0.429	0.504	0.467
2021	0.495	0.474	0.437	0.509	0.448	0.455	0.444	0.503	0.471
2022	0.539	0.458	0.432	0.504	0.470	0.482	0.469	0.515	0.483
年均增长率 (%)	13.47	11.54	11.82	8.08	8.20	25.48	9.09	9.23	10.66

## 4.2. “3 + 5” 城市群城市韧性的空间演变特征

### 4.2.1. 空间分布总体趋势

借助 ArcGIS 技术平台将 2013 年、2017 年、2022 年“3 + 5”城市群抵抗力得分、适应力得分和恢复力得分及城市韧性综合得分进行空间可视化分析。基于上文对“3 + 5”城市群城市韧性的时序演变特征分析，将城市韧性分为低韧性、中等韧性、较高韧性、高韧性 4 种类型。2013~2022 年，湖南省“3 + 5”城市群城市韧性空间发展水平不均衡，城市韧性总体表现为“东高西低”的分布格局，逐渐呈现出明显的“外围 - 中心”的空间结构(图 3)。



基于国家地理信息公共服务平台天地图下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图，底图无修改。

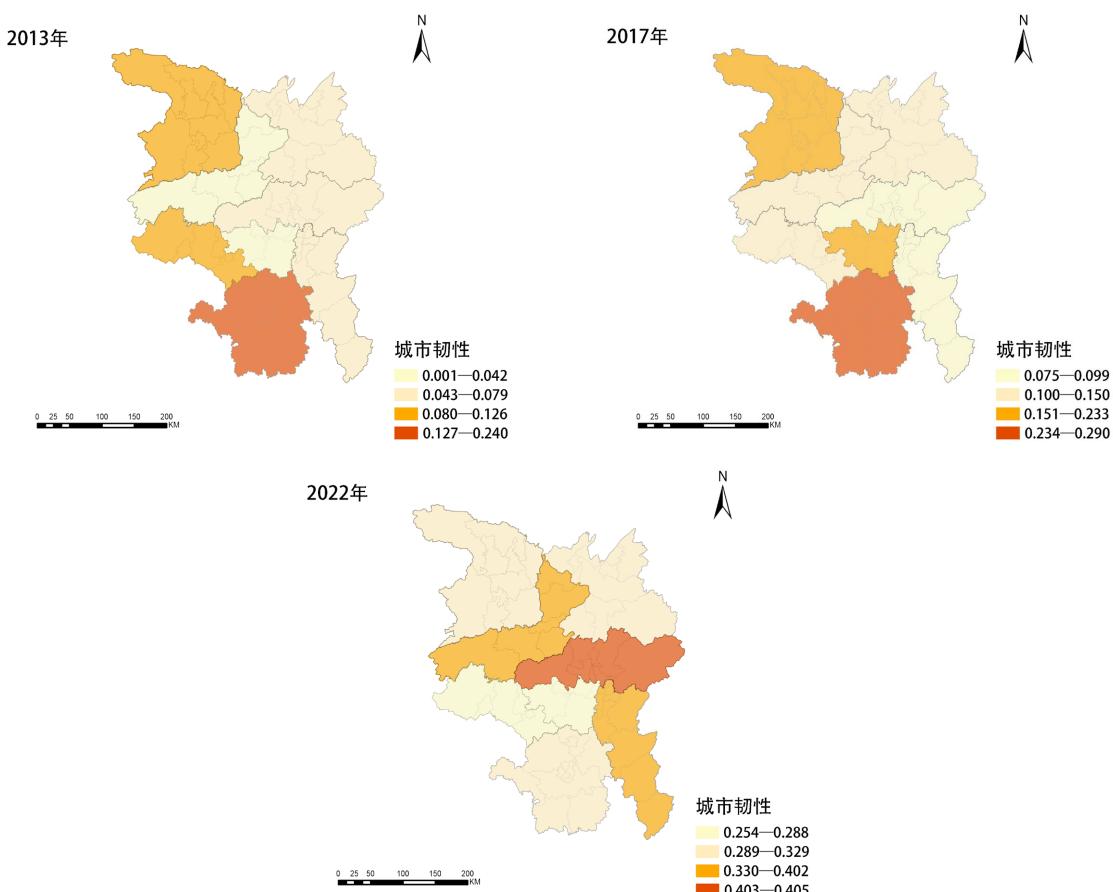
**Figure 3.** Spatial and temporal distribution of the comprehensive score of urban resilience in “3 + 5” urban agglomerations from 2013 to 2022

**图 3.** 2013~2022 年“3 + 5”城市群城市韧性综合得分时空分布

#### 4.2.2. 空间分布特征

##### 1) 抵抗力得分空间演进分析

在抵抗力维度上，在2013年“3+5”城市群内各城市的抵抗力普遍偏低，呈现出省域边界城市抵抗力相对高于中心城市，而南部城市抵抗力则处于最低水平的格局。2017年抵抗力高得分城市朝东部地区转移，然而，至2022年，这一格局发生了显著变化，整体呈现出中间区域抵抗力较高，而四周相对较低的特点。湘东与湘南的城市，凭借其得天独厚的地理位置和发达的交通网络优势，加速推进城市基础设施建设，从而显著提升了自身抵御各类风险的能力(见图4)。



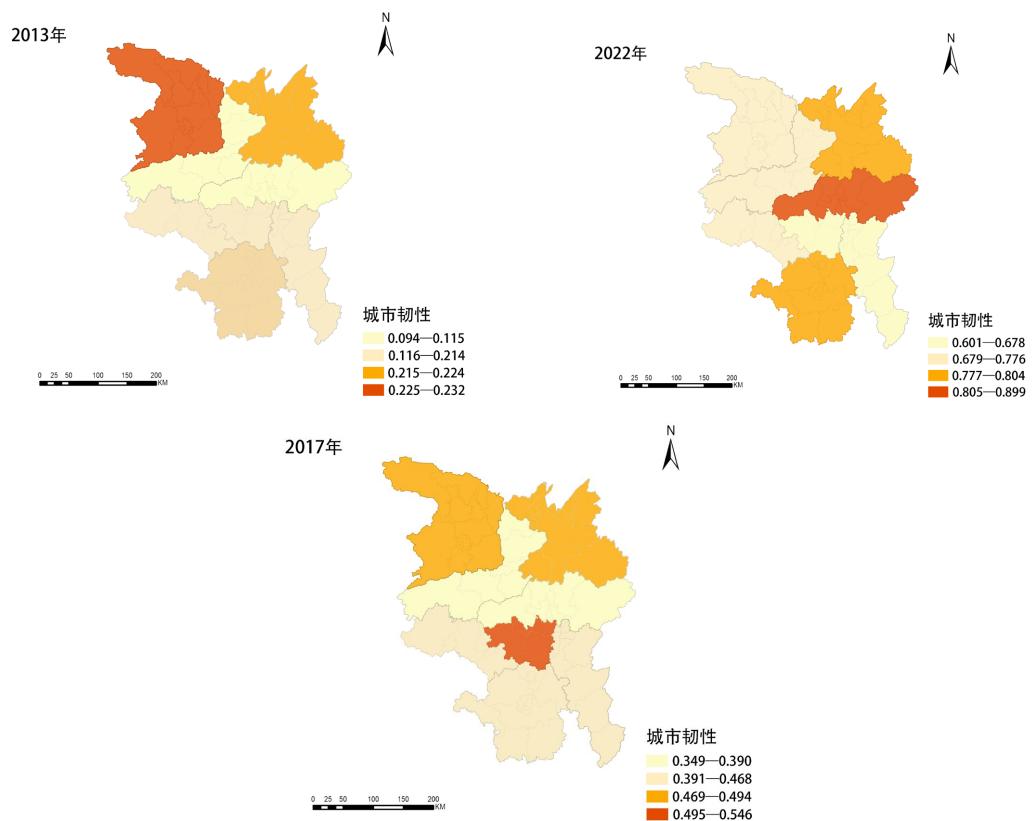
基于国家地理信息公共服务平台天地图下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图，底图无修改。

**Figure 4.** Spatial and temporal distribution of urban resistance scores of “3 + 5” urban agglomerations from 2013 to 2022

**图 4. 2013~2022 年 “3 + 5” 城市群城市抵抗力得分时空分布**

##### 2) 适应力得分空间演进分析

适应力维度上，“3+5”城市群的城市空间布局展现出一种相对均衡的分布格局，其特征表现在南北两端的集聚现象上。随着城市化进程的持续推进，2017~2022 年南北两端的适应力综合评分差距正逐渐弥合，并呈现出向中部长沙地带汇聚的趋势，而相比之下，东西两侧城市的韧性适应力水平则显得较为薄弱。此外，高适应力区域正加速向研究区域的中部核心地带集中，这一过程进一步强化了中部地区的适应力优势，也预示着城市群整体适应力格局的进一步优化与重塑(见图 5)。



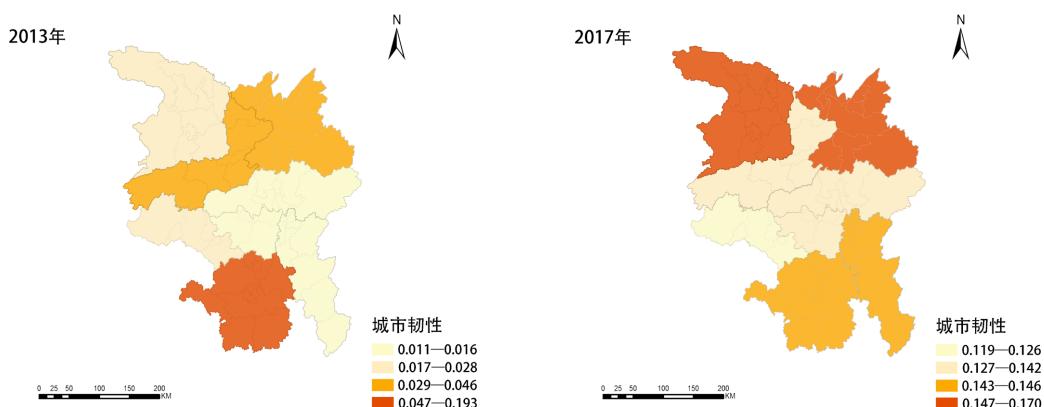
基于国家地理信息公共服务平台天地图下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图,底图无修改。

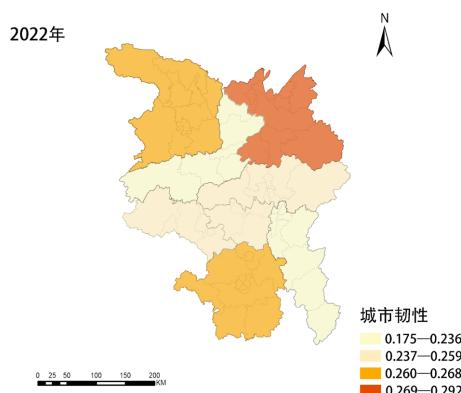
**Figure 5.** Spatial and temporal distribution of urban resilience scores of “3 + 5” urban agglomerations from 2013 to 2022

**图 5.** 2013~2022 年 “3 + 5” 城市群城市适应力得分时空分布

### 3) 恢复力得分空间演进分析

在恢复力层面,“3 + 5”城市群的空间差异性尤为突出,自 2013 年至 2022 年的十年间,始终维持着南北两侧恢复力高、中部相对偏低的格局。期间,南北两区的城市恢复力存在此起彼伏的波动,而中部地区则长期维持于较低恢复力水平,但近年来南北之间的恢复力差距有所收窄,与 2013 年相比,2022 年的恢复力差距从 0.176 缩小至 0.093。值得注意的是,研究区域中部地区因外资流动频繁及经济增长策略的快速更迭,相较于周边,其经济环境的波动性更为剧烈,进而加剧了该区域的经济不稳定性(见图 6)。





基于国家地理信息公共服务平台天地图下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图,底图无修改。

**Figure 6.** Spatial and temporal distribution of urban resilience scores of “3 + 5” urban agglomerations from 2013 to 2022

**图 6.** 2013~2022 年“3 + 5”城市群城市恢复力得分时空分布

## 5. 讨论与结论

本文通过构建包含抵抗 - 应答 - 恢复三维度的城市韧性评价指标体系,对湖南省“3 + 5”城市群 8 个城市 2013 至 2022 年十年间的韧性水平、时空特征进行了分析,可以发现:

- (1) 从韧性演变的时间序列来看,“3 + 5”城市群的 8 个城市平均韧性水平呈现出稳健的上升趋势,但各个城市之间的韧性水平仍存在区域差异。长沙市虽以最高的城市韧性水平脱颖而出,但其辐射效应相对较弱,尚未能充分发挥对周边地区的带动作用。
- (2) “3 + 5”城市群各市城市韧性的耦合协调度有所上升,城市群城市韧性建设趋向共促共进,区域间发展步调渐趋一致,集聚与协同效应增强,虽整体仍处于较低水平,但对湖南省整体均衡协调发展具有显著的正面促进潜力。
- (3) 从韧性演变的空间分布来看,8 个城市的整体韧性格局大致呈现“四周高,中间低”特征,湘南、湘北地区城市韧性水平普遍较高,湘中地区城市韧性水平普遍较低,总体呈现以长沙市为中心向周围递减格局。

受限于部分数据获取难度,本研究构建的抵抗力、适应力及恢复力综合韧性评估体系尚存不足,亟需后续优化以增强其全面性与动态性研究。此外,当前研究仅基于数据分析视角对“3 + 5”城市群的城市韧性时空演变进行了探究,对于其时空演变规律的全面揭示及韧性差异的动因机理的深入剖析,尚需紧密结合地方实际,进行更为详尽的实地调研与综合研究。

## 基金项目

湖南科技大学 2024 年度大学生科研创新计划(SRIP)项目(S202410534060)。

## 参考文献

- [1] 孙鸿鹄,甄峰.面向日常活动与环境供需矛盾的城市韧性综合评估及空间特征研究——以南京为例[J].地理研究,2022,41(10): 2697-2711.
- [2] 史晨辰,朱小平,王辰星,等.韧性城市研究综述——基于城市复杂系统视角[J].生态学报,2023,43(4): 1726-1737.
- [3] 贺山峰,梁爽,吴绍洪,等.长三角地区城市洪涝灾害韧性时空演变及其关联性分析[J].长江流域资源与环境,2022,31(9): 1988-1999.

- [4] 裴泽华, 葛淼, 李浩, 等. 基于随机森林模型的中国中老人人群 HDL-C 环境影响因素研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(7): 1286-1300.
- [5] 谢宇峥, 章德, 杨祺铭, 等. 台风灾害下考虑修复不确定性和 V2G 的弹性城市电网动态供电恢复方法[J]. 电网与清洁能源, 2024, 40(6): 107-114.
- [6] 缪惠全, 钟紫蓝, 侯本伟, 等. 中国特色韧性城市的经验探索与未来趋势——从唐山到汶川[J]. 北京工业大学学报, 2023, 49(7): 1-23.
- [7] 钟学思, 钟泽军, 王静苓. 中国城市群体育资源配置与城市韧性耦合协调及驱动因素研究[J]. 西安体育学院学报, 2024, 41(6): 727-742.
- [8] Wang, Y., Huang, J., Zheng, H., et al. (2024) Resting-State Activity and Functional Connectivity of Insula and Postcentral Gyrus Related to Psychological Resilience in Female Depressed Patients: A Preliminary Study. *Journal of Affective Disorders*, 352, 509-516. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.02.076>
- [9] 陈奕玮, 郭丛斌. 产业多样化集聚、人力资本与城市经济韧性[J]. 统计与决策, 2024, 40(15): 93-97.
- [10] 葛成隆, 李海兵, Philippe Hervé LELOUP, 等. 青藏高原东缘汶川-茂县断裂韧性变形对龙门山早期隆升的制约[J/OL]. 地质学报, 1-16. <https://link.cnki.net/doi/10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023174>, 2024-08-20.
- [11] 陈瑶, 夏杰长, 陈湘满. 社会网络视角下的城市韧性培育: 理论机制与路径选择[J]. 治理现代化研究, 2024, 40(4): 79-88.
- [12] 李正兆, 傅大放, 王君娴, 等. 应对内涝灾害的城市韧性评估模型及应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(2): 266-276.
- [13] 窦路遥, 魏凤, 邓阿妹, 等. 应急一体化管理、区域竞争力与城市韧性提升路径研究[J]. 灾害学, 2025, 40(1): 146-152.
- [14] 刘丁蓉, 杨凯, 孙仕. 珠三角城市群内涝灾害韧性综合评估及障碍因子识别[J]. 水利经济, 2024, 42(4): 23-29+38.
- [15] 肖翠仙. 中国城市韧性综合评价研究[D]: [博士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2021.
- [16] 鲁方圆, 张郴, 贾添羽, 黄震方, 徐敏. 长江经济带城市生态韧性时空演化特征及其驱动机制[J]. 环境科学, 1-15. <https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202407165>, 2025-04-21.
- [17] 金溪, 穆延. 暴雨内涝下城市路网抗涝韧性评估[J]. 交通运输系统工程与信息, 2024, 24(5): 226-236.
- [18] 修春亮, 魏治, 王琦. 基于“规模-密度-形态”的大连市城市韧性评估[J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2315-2328.
- [19] 陈洋, 杨文泰, 李庆国, 刘丰铭, 刘杰, 刘玉玉. 基于损失函数的城市洪涝灾害弹性演化规律研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2024, 44(4): 800-808.
- [20] 林晓燕, 杨莹, 方基凤. 中国城市经济韧性测度及空间演化研究: 以 280 个地级及以上城市为例[J]. 北京城市学院学报, 2023(6): 25-33.
- [21] 刘悦, 安悦, 谭雪兰, 等. 湖南省“3 + 5”城市群农业功能权衡-协同特征及优化研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2024, 47(2): 99-108.
- [22] 赵伟, 骆佳玲. 三峡库区城镇化与生态韧性耦合协调的时空格局演变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(9): 1888-1904.
- [23] 陈昱伊. 雨洪灾害情境下陕西省城市韧性时空耦合分析[C]/中国城市规划学会. 美丽中国, 共建共治共享——2024 中国城市规划年会论文集(02 城市安全与防灾规划). 西安: 长安大学, 2024: 253-263.
- [24] 章蓓蓓, 刘亿智. 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.
- [25] 尹建军, 胡静, 黄宇瑄. 长江中游城市群城市韧性时空演化特征及动态预测研究[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(11): 2312-2325.