

基于熵权-TOPSIS模型的城市韧性时空格局演变及子系统耦合协调研究

——以湖南省为例

刘朝君, 李丹, 张平

湖南科技大学建筑与设计学院, 湖南 湘潭

收稿日期: 2024年12月23日; 录用日期: 2025年2月25日; 发布日期: 2025年3月25日

摘要

在全球环境不断演变、城市化进程加速以及大流行病频发的复杂背景下, 构建韧性城市已成为促进城市长远可持续发展的关键策略与行动方案。为更好地推进湖南省韧性城市的建设, 同时助力实现“三高四新”战略目标, 本文对2017~2022年湖南省及其下辖14个地州市面板数据进行分析, 并基于“经济-社会-生态-基础设施”构建韧性评价体系, 综合利用TOPSIS熵权法及耦合协调度模型分析测算城市韧性水平及子系统间耦合协调关系。研究表明: 1) 湖南省城市韧性研究初期表现为较低韧性水平, 研究末期韧性水平表现为较高韧性水平, 韧性水平逐年稳步提升, 总体提升跨度大; 2) 区域间城市综合韧性分异格局差异较大, 东南部城市韧性水平提升较快、水平较高, 西部与北部地区的城市在韧性方面的增长态势相对迟缓; 3) 各城市子系统间的耦合度整体维持在较高水准, 且随着时间的推移, 其子系统之间的耦合协调度逐渐从轻度失调、濒临失调的状态渡至勉强协调、中级协调的中级阶段, 并最终趋向良好协调的成熟阶段; 同时, 本文结合当前城市韧性建设要求提出相关建议。

关键词

城市韧性, 可持续发展, TOPSIS熵权法, 耦合协调, 湖南省

Research on the Spatio-Temporal Evolution of Urban Resilience and the Coupling Coordination of Subsystems Based on the Entropy Weight-TOPSIS Model

—Taking Hunan Province as an Example

Zhaojun Liu, Dan Li, Ping Zhang

Abstract

Against the complex backdrop of evolving global environmental conditions, accelerated urbanization, and frequent pandemics, building resilient cities has emerged as a crucial strategy and action plan for promoting long-term sustainable urban development. To better advance the construction of resilient cities in Hunan Province and simultaneously contribute to the realization of the “Three Highs and Four News” strategic objectives, this paper analyzes panel data from 2017 to 2022 for Hunan Province and its 14 prefecture-level cities and prefecture-level cities under its jurisdiction. It establishes a resilience evaluation system based on the “economy-society-ecology-infrastructure” framework and comprehensively utilizes the TOPSIS entropy weight method and coupling coordination degree model to analyze and measure urban resilience levels and the coupling and coordination relationships among subsystems. The research findings indicate: 1) Initially, the urban resilience of Hunan Province exhibited a relatively low level, but by the end of the study period, it showed a higher level, with a steady annual increase and a substantial overall improvement span. 2) There are significant differences in the spatial pattern of urban comprehensive resilience among regions. Cities in the southeast have seen faster and higher improvements in resilience, while cities in the west and north have shown relatively slower growth trends in this regard. 3) The coupling degree among the subsystems of each city remains at a high level overall. Over time, the coupling coordination degree among its subsystems has gradually transitioned from mild and impending imbalance to barely and moderately coordinated stages, ultimately tending towards a mature stage of good coordination. Meanwhile, this paper puts forward relevant suggestions based on current urban resilience construction requirements.

Keywords

Urban Resilience, Sustainable Development, TOPSIS Entropy Weight Method, Coupling Coordination, 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

随着城市问题复杂性与不确定性的加剧，传统被动的灾害应对策略已难以满足城市可持续发展的迫切需求。在此背景下，强化城市韧性的治理能力已成为全球城市治理领域内广泛认同的重要方向[1]。尤其是2020年新冠肺炎疫情、2021年河南大暴雨等事件相继发生后，自然灾害、人为灾害及累计型冲击等种种危机事件频繁暴露出城市的内在脆弱性，并严重威胁到城市安全与人民生命健康。在此背景下，城市面对其内外部未知风险的抵御能力成为其未来可持续性与发展质量的关键因素。因此，如何有效提高城市韧性以预防、应对危机，并在危机后快速恢复城市功能成为当前城市健康可持续发展的核心议题。

从HOLLING率先提出“韧性”依赖，而后韧性研究的边界不断拓宽，从自然生态视角逐步渗透到社会生态层面。在这一过程中，其核心观念经历了两次彻底转型：首先是从工程韧性向生态韧性的跨越，进而再向演进韧性的演进。目前国内外学者们对其研究主要聚焦于以下三个方面：其一，多尺度的城市

韧性研究, 尺度范围涵盖社区[2]、城市[3]、城市群[4]及全国[5]等多个层面; 其二, 多视角的城市韧性研究, 通过公共安全[6]、应急管理[7]、风险扰动[8]、复杂适应系统等不同视角建立评估框架; 其三, 多方法的城市韧性研究, 研究方法包括层次分析法[9]、BP神经网络[10]、DPSIR模型[11]、GIS空间分析[12]等; 其四、多交叉的城市韧性研究, 主要包括城市韧性与数字技术[13]、城镇化水平[14]、土地利用效率[15]、生态系统服务[16]等方面的耦合协调研究。

目前, 城市韧性研究已取得显著进展, 城市韧性指标的权重确定以及时空量化分析仍然是该领域的研究重点。然而, 当前学术界对于系统间相互关联的研究尚显不足且对湖南省城市韧性研究相对薄弱。基于此, 本文以湖南省为研究对象, 基于经济、社会、生态、基础设施四个维度构建湖南省城市韧性评价体系, 并应用TOPSIS熵权法模型量化湖南省城市韧性水平及时空演变特征。此外, 借助耦合协调模型剖析城市韧性各子系统间的耦合协调度, 以期为湖南省城市韧性治理与决策提供理论参考, 同时也为其他城市在构建韧性城市的过程中提供宝贵的实践参考与启示。

2. 研究区概况及数据来源

2.1. 研究区概况

湖南省, 地处我国长江中游的腹地, 呈三面环山, 属亚热带季风气候, 夏季暴雨、洪涝灾害频发。全省总面积 21.18 万 km², 截至 2023 年末, 全省常住人口 6568 万人。

近年来, 湖南省积极响应国家政策导向, 紧密围绕中部地区崛起的宏伟蓝图, 主动对接并深度融入长江经济带及粤港澳大湾区等国家重大发展战略。同时, 湖南省不断加强与邻省的合作与交流, 以长株潭一体化为引擎, 构建起“一核驱动、双副支撑、三带协同、四区并进”的区域协同发展新架构, 旨在全面激活并释放区域发展的内在潜能与活力[17]。然而, 随着城镇化、工业化进程的持续推进, 湖南省在季风气候、产业集聚、人口集中等多重因素的影响下, 面临着暴雨洪涝、低温冻雨、环境污染、资源短缺以及人口老龄化等一系列问题, 这些问题对当地社会经济发展构成了严峻挑战。特别是 2020 年疫情的爆发以及每年频发的暴雨洪涝等自然灾害, 加之其他社会风险的存在, 都在一定程度上制约了湖南省的可持续发展。因此湖南省需要全面推进城市韧性建设, 以应对这些日益复杂多变的挑战。

2.2. 数据来源

本文研究涉及的相关数据主要来源于 2017~2022 年《中国统计年鉴》《湖南省统计年鉴》、湖南省各市州《统计年鉴》及各市州《统计公报》, 并通过整理计算获得。

3. 研究方法

3.1. 湖南省城市韧性评估模型

3.1.1. 评价指标构建

基于科学性、可得性、代表性原则, 本文从经济、生态、社会、基础设施四个维度共选取 23 个指标(表 1)。

城市经济韧性体现在经济系统面对经济风险时的稳定性与脆弱性[18], 其在指标选定过程中, 应充分考量城市居民基本生活保障的基准线, 同时确保所选指标能够映射出城市经济的整体发展状况、产业结构布局的合理性以及经济持续增长的潜在能力。因此本文选取人均地区生产总值、一般公共预算收入、城镇居民人均可支配收入、规模以上工业企业数、实际利用外资金额、第一产业占地区生产总值比重六个指标进行综合评估。

城市社会韧性重点在于解决民生问题, 为居民提供完善优质的公共资源, 防范防控资源的过度集中

化分配引发社会结构失序、功能失调[19], 医疗、教育、就业等是城市社会层面的重要保障, 因此选取普通高校在校学生数、失业保险参保人数、城乡居民各项储蓄存款、卫生技术人员数、社会保障和就业财政支出占总财政支出比五个指标作为社会韧性评价指标。

Table 1. Evaluation index system of urban resilience in Hunan Province

表 1. 湖南省城市韧性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	属性	指标含义
城市韧性	经济韧性	人均地区生产总值/元	+	反映城市宏观经济基础
		一般公共预算收入/亿元城镇	+	反映城市财政收入水平
		居民人均可支配收入/元	+	反映城市居民消费水平
		规模以上工业企业个数实际	-	反映城市经济稳定能力
		利用外资金额/万美元	-	反映城市外贸依存度
		第一产业占地区生产总值比重/%	+	反映城市第一产业依赖度
	社会韧性	普通高等学校在校学生数/人	+	反映城市高等教育水平
		失业保险参保人数/人	+	反映城市就业稳定能力
		城乡居民各项储蓄存款/元	+	反映城市家庭抗风险能力
		卫生技术人员/人	+	反映城市社会救治能力
	生态韧性	社会保障和就业财政支出占总财政支出比/%	+	反映城市社会保障能力
		建成区绿地覆盖率/%	+	反映城市生态绿化水平
		人均公园绿地面积/m ²	+	反映城市生态服务能力
		污水排放量/万 m ²	-	反映城市河流污染强度
		生活垃圾无害处理率/%	+	反映城市生态环境治理响应
		污水处理率/%	+	反映城市水污染防治能力
		基础设施韧性	建成区排水管道密度(km/km ²)	+
	建成区供水普及率%		+	反映城市供水能力
	人均城市道路面积/m ²		+	反映城市交通疏散能力
医疗卫生机构床位数/张	+		反映城市医疗救助能力	
移动电话数/万户	+		反映城市通讯能力	
互联网宽带接入用户/万户	+		反映城市通信设施建设程度	

城市生态韧性要求系统在面对外界冲击时展现出高效的危机响应与快速恢复稳定的能力。基于此, 指标的选择需全面覆盖城市自然资源的总量与多样性, 以及生态环境建设的当前成效与长期投入情况。具体而言, 我们选取了建成区绿地覆盖率、人均公园绿地面积作为生态资源的直接体现; 同时, 污水排放量、生活垃圾无害处理率、污水处理率则反映了城市对环境污染的治理能力与效率。

城市基础设施韧性代表城市基础设施能否保障居民生活和城市的正常运行, 表现在城市资源的供需水平、交通疏散能力、通讯通信网络及排水管道工程设施建设等方面, 因此选取建成区排水管道密度、建成区供水普及率、人均城市道路面积、医疗卫生机构床位数、移动电话数、互联网宽带接入用户六个指标衡量城市基础设施韧性。

3.1.2. 基于熵权法的评价指标赋权

为消除人为主观判断所带来的偏差，本文采用熵权法确定各指标权重。

(1) 计算第 i 个城市在第 j 项指标中的相对重要性或贡献比例：

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}}, \quad i=1,2,3,\dots,n, \quad j=1,2,3,\dots,m \quad (1)$$

(2) 计算各指标熵值：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln(p_{ij}) \quad (0 \leq e_j \leq 1) \quad (2)$$

(3) 计算各项指标熵值差异系数，公式为：

$$d_j = 1 - e_j \quad (3)$$

(4) 计算各项指标权重，公式为：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad 0 \leq w_j \leq 1 \quad (4)$$

$$Z_{ij} = W_j \times X'_{ij} \quad (5)$$

式中 w_j 为权重矩阵； X'_{ij} 为标准化后矩阵。

3.1.3. 基于 TOPSIS 的城市韧性模型构建

TOPSIS 方法因其处理多目标决策的优势，而被视为评估城市韧性这一复杂多准则问题的有效工具，因此本文采用该方法进行综合评价。

最优解 I^+ 和最劣解 I^- 公式为：

$$I^+ = (\max\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{m1}\}, \{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{m2}\}, \dots, \{z_{1n}, z_{2n}, \dots, z_{mn}\}) = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+) \quad (6)$$

$$I^- = (\min\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{m1}\}, \{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{m2}\}, \dots, \{z_{1n}, z_{2n}, \dots, z_{mn}\}) = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-) \quad (7)$$

式中最优解 I^+ 和最劣解 I^- 分别为最大与最小值。

各评价指标与最优、最劣解的欧氏距离 D_i^+ 和 D_i^- 公式为：

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (i_j^+ - z_{ij}^+)^2} \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (i_j^- - z_{ij}^-)^2} \quad (9)$$

式中： i_j^+ 为所有评价城市的针对第 j 个评价指标所能达到的最大值； i_j^- 为全部评价城市的第 j 个评价指标所呈现的最小程度公式为：

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ - D_i^-} \quad (10)$$

式中 c_i 为第 i 个城市综合韧性最优水平。 c_i 取 $[0, 1]$ ， c_i 的大小与城市韧性水平呈正比关系。

3.1.4. 韧性等级划分

基于所构建城市韧性综合评价指标及数据的综合测换，得出 2017~2022 年湖南省城市韧性及各子系统韧性值，并对城市韧性等级进行分级(表 2)。

Table 2. Comprehensive resilience grading scale of cities in Hunan Province
表 2. 湖南省城市韧性分级表

城市韧性指数	城市韧性等级
0.000~0.300	低度韧性
0.300~0.500	较低韧性
0.500~0.700	中度韧性
0.700~0.900	较高韧性
0.900~1.000	高度韧性

3.2. 子系统耦合协调模型

城市韧性构建于多个子系统相互交织的复杂系统之上，本文采用物理学中的容量耦合系数模型。具体耦合公式如下：

$$C = \frac{4\sqrt{U_1U_2U_3U_4}}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4} \quad (11)$$

该公式中， C 为城市韧性各子系统间耦合度，其值域为(0, 1]， C 值越接近 1，表明子系统间的相互关联与协同作用越强。 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 则分别量化经济、社会、生态及基础设施四个关键领域的发展指数。耦合协调度计算公式为：

$$D = \sqrt{C \times (\alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 + \delta U_4)} \quad (12)$$

在此公式中， D 代表耦合协调度，其值域为(0, 1]， D 值趋近于 1 时，表明子系统间的耦合发展达到较高水平。 α 、 β 、 γ 、 δ 分别为经济、社会、生态、基础设施权重因子，四者之和为 1，以体现各子系统在城市韧性构建中的均衡重要性。鉴于各子系统对城市韧性的贡献同等关键，因此设定 α 、 β 、 γ 、 δ 的值均为 0.25。

4. 结果与分析

4.1. 湖南省城市韧性时空演变分析

4.1.1. 城市韧性时序演变

基于 2017~2022 年湖南省城市综合韧性及子系统韧性数据，得到湖南省城市韧性趋势图(图 1)所示。

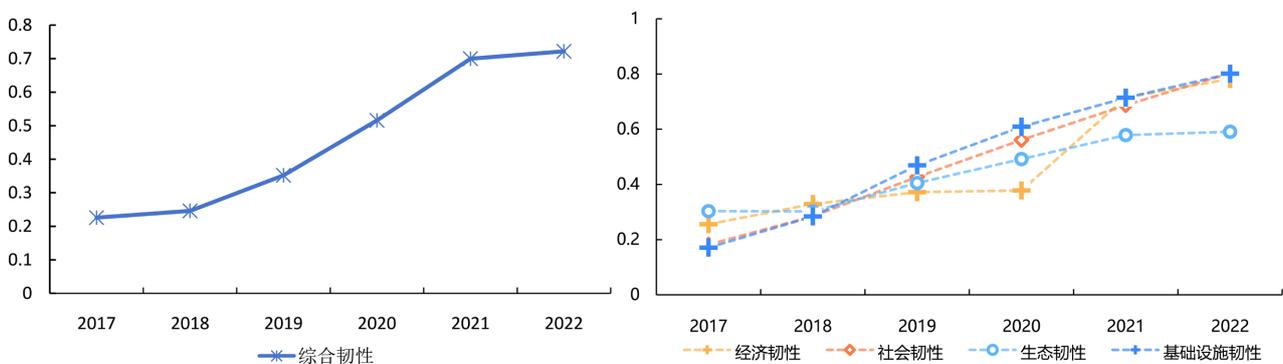


Figure 1. Annual urban resilience and subsystem resilience values in Hunan Province from 2017 to 2022

图 1. 2017~2022 年湖南省各年度城市韧性与子系统韧性值

由图 1 可知,湖南省城市韧性水平整体展现出逐年上升,其中 2018~2021 年城市韧性水平增长迅速,2021~2022 年增长速度有所放缓。与 2017 年相比,2022 年湖南省的城市韧性水平实现了 0.496 的显著提升,表明湖南省城镇化进程的持续推进,显著促进了各市在经济、社会、生态及基础设施等多个维度的全面发展与显著提升。

尽管湖南省城市韧性总体展现出积极的发展态势,然而,各子系统在韧性得分上的变化却呈现出一定的差异性。具体而言,基础设施韧性增长显著,于 2022 年达最高值,此得益于湖南对基础设施项目的持续推动,自 2015 起便出台了《湖南省对接“一带一路”倡议行动方案》,明确实施“基础设施联通行动”,尤其在 2020 年疫情后,湖南省在全国率先启动重大项目复工复产,加大基础设施投资刺激经济复苏,至 2022 年,集中力量优化“五大网络”,前瞻性地推进基础设施领域的投资布局,重点推进十大项目,如长赣、常益长高铁及长沙机场改扩建等。经济韧性总体呈现出上升趋势,并于 2020~2021 年间呈现不降反升的趋势,此来源于湖南省深入实施“三高四新”战略,推动经济在稳定中持续进步、质量上不断提升,同时保持了社会的和谐稳定大局。在生态韧性方面,2017 至 2018 年间略有下降,主要源于 2017 年湖南省遭遇严重强降雨天气,导致多地受灾严重,对我省生态环境造成了一定的冲击,然而自 2018~2022 年间,生态韧性呈稳定上升趋势,反映了湖南省在应对自然灾害和环境挑战方面的努力与成效,一方面,湖南推进生态文明建设,加强环保与修复工作。另一方面,注重灾后生态恢复与改善,实施生态修复工程,提升生态韧性。2017~2022 年间,社会韧性稳步上升,这得益于湖南省在社会治理、公共服务、民生改善等方面的持续努力。

4.1.2. 城市韧性空间格局演变

Table 3. Ranking of the comprehensive resilience level of prefecture-level cities and prefectures in Hunan Province from 2017 to 2022

表 3. 2017~2022 年湖南省各地级市州综合韧性水平排名

	2017 年		2018 年		2019 年		2020 年		2021 年		2022 年	
	综合排名值	排名										
长沙市	0.250	14	0.278	14	0.361	8	0.382	11	0.578	4	0.759	2
株洲市	0.325	7	0.483	2	0.477	3	0.523	2	0.510	9	0.580	11
湘潭市	0.414	2	0.384	9	0.417	7	0.334	13	0.577	5	0.630	7
衡阳市	0.253	13	0.348	11	0.419	6	0.498	4	0.665	1	0.668	4
邵阳市	0.295	9	0.395	8	0.444	5	0.511	3	0.636	2	0.587	9
岳阳市	0.342	6	0.371	10	0.323	11	0.419	8	0.624	3	0.646	5
常德市	0.404	4	0.462	5	0.558	1	0.544	1	0.506	10	0.596	8
张家界市	0.402	5	0.469	4	0.326	10	0.459	6	0.515	8	0.544	12
益阳市	0.320	8	0.432	6	0.465	4	0.399	10	0.500	11	0.583	10
郴州市	0.407	3	0.419	7	0.350	9	0.449	7	0.420	14	0.512	13
永州市	0.263	11	0.287	13	0.305	12	0.400	9	0.571	6	0.797	1
怀化市	0.464	1	0.476	3	0.540	2	0.467	5	0.500	11	0.645	6
娄底市	0.284	10	0.526	1	0.276	14	0.274	14	0.447	13	0.507	14
湘西州	0.257	12	0.346	12	0.305	12	0.374	12	0.571	6	0.680	3

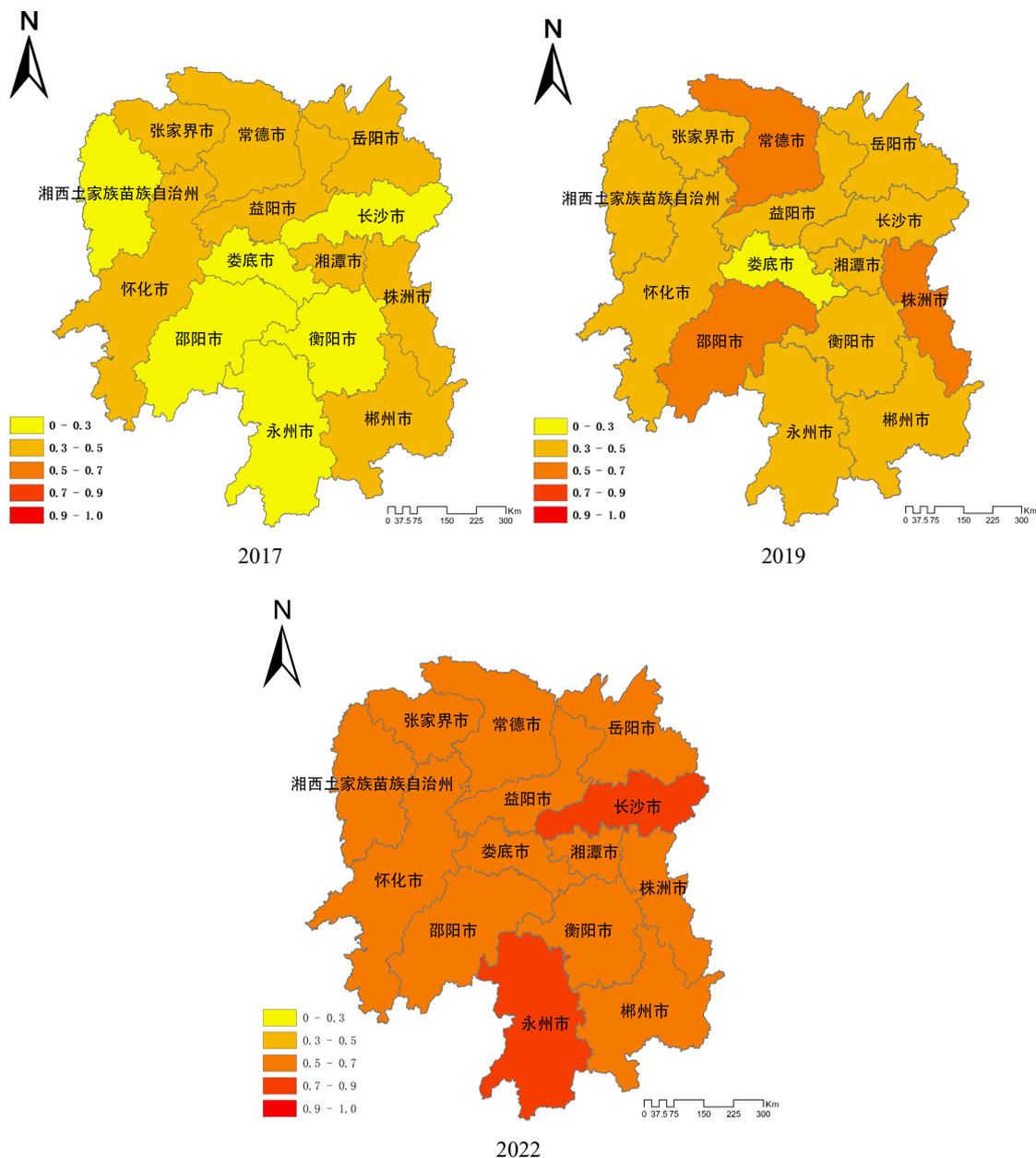


Figure 2. Spatial distribution of urban resilience in Hunan Province in 2017, 2019, and 2022
图 2. 2017、2019、2022 年湖南省城市韧性空间分布

根据 2017 年至 2022 年的统计数据，湖南省各地市韧性水平如表 1 所示。在此期间，各地级市韧性水平整体上呈上升趋势，然而，城市间的韧性水平排名呈现出规律、波动性(表 3)。近年来，永州市城市韧性水平发展迅速，并于 2022 年达到全省范围内韧性水平最高值，此主要益于其作为湖南省的生态屏障和农业大市对自然灾害的抵御能力以及农业生产的稳定性上，及其在经济、社会、基础设施等方面出色的执行力与实施力上；长沙市作为湖南省的省会城市、长株潭都市圈的核心城市以及长江中游地区的重要中心城市，拥有显著的资源集聚优势，然而，其尚未达到省内最高水平，根据数据分析，此现象主要归因于得出长沙市对外资的依赖程度较高，这一因素使得长沙市在面对外部经济波动或冲击时存在一定风险隐患；此外，湘西作为旅游型城市，其城市韧性水平于 2017~2020 年均处于第 12 名，并在疫情后

不降反增,于 22 年位列湖南省韧性水平第三的位置,此得益于其对疫情的成功应对,为全省感染率最低、本土病例最少、防控效果最好的市州之一,同时政府在疫情期间及疫情后都对湘西州给予了大量的政策支持于资源投入,都为该城市韧性的提升筑牢了根基。总的来说,湖南省各地市的韧性水平虽然整体呈现上升态势,但不同城市之间仍存在一定的差异和挑战。

为系统且清晰地呈现湖南省各市韧性水平的时空变化,选取 2017 年、2020 年及 2022 年三个时间节点,借助 ArcGis 软件进行了可视化处理。并将韧性水平分为五个等级:“0~0.3”划分为低度韧性,“0.3~0.5”划分为较低韧性,“0.5~0.7”划分为中度韧性,“0.7~0.9”划分为较高韧性,“0.9~1”划分为高度韧性 [20]。

由图 2 可知,湖南省城市韧性水平的时空变化呈现出多元化趋势,区域间韧性水平变化明显。在此三年中,东南部城市韧性水平提升较快、水平较高;2017~2020 年湖南省整体韧性水平不高,除衡阳、常德、株洲市于 2020 年达到中度韧性水平外,其它城市均属于较低韧性或是低度韧性水平;2020~2022 年,湖南省韧性水平上升趋势明显,均达到了较高韧性水平,其中永州市及长沙市达到高度韧性水平(图 2)。

4.2. 城市韧性子系统耦合协调分析

为准确衡量各子系统间的相互关联程度及协调状态,本研究借鉴了王淑佳[21]的研究成果构建耦合评价等级(表 4)。

Table 4. Classification of coupling degree evaluation

表 4. 耦合度评价等级划分

区间划分	耦合状态	耦合协调层次	区间划分	耦合状态	耦合协调层次
[0.0, 0.1)	低度耦合	极度失调	[0.5, 0.6)	中度耦合	勉强协调
[0.1, 0.2)	低度耦合	严重失调	[0.6, 0.7)	高度耦合	初级协调
[0.2, 0.3)	低度耦合	中度失调	[0.7, 0.8)	高度耦合	中级协调
[0.3, 0.4)	低度耦合	轻度失调	[0.8, 0.9)	极度耦合	良好协调
[0.4, 0.5)	中度耦合	濒临失调	[0.9, 1.0)	极度耦合	优质协调

4.2.1. 耦合度分析

湖南省城市子系统耦合度总体保持在较高水平,这充分表明各子系统之间形成了紧密的相互关联与联系,凸显了湖南在推动区域一体化和可持续发展方面所取得的显著成果。2017~2022 年,除岳阳市外,其它各城市子系统韧性耦合度均达到了高度耦合及极度耦合的层次,显示出这些城市在经济、社会、生态以及基础设施韧性等方面均存在着较强的关联性和紧密联系。然而岳阳市作为湖南省的重要城市,拥有得天独厚的地理位置和资源优势,其城市子系统耦合度虽呈逐年上升趋势,但其数值却持续处于省域范围内的最低水平,究其原因可能在于岳阳市产业结构可能相对单一,导致经济韧性不足;亦或是其社会、生态等领域的发展未能与经济增速保持同步,从而影响了整体耦合度的提升,其子系统耦合度有望在今后得到进一步优化。此外,湘西土家族苗族自治州城市子系统耦合度于 2018 年呈现出明显的下降趋势,而后于 2019 年恢复极度韧性水平,此现象可能与该州当年的政策调整、经济结构调整或自然灾害等外部因素有关(图 3)。

4.2.2. 耦合度协调度分析

湖南省内各城市韧性子系统之间的协调度普遍保持在 0.3 以上,且随着时间的推移,这些子系统之间的耦合协调度逐渐从轻度失调、濒临失调的状态转变为勉强协调、中级协调,乃至良好协调的态势。

永州市城市韧性耦合协调度层级呈不断上升趋势，2022 年成为省域内唯一优质协调的城市，随着永州市城市韧性建设的深入推进，其子系统间协调度不断提升，都将进一步促进永州市城市建设的可持续发展。长沙市韧性耦合度于 2022 年达到 0.877，随着“强省会”战略的实施，长沙市的发展潜力及活力将不断被激发并晋升为优质协调层次。此外，虽然其他各城市的韧性耦合度存在一定波动，但总体趋势呈现出稳步上升的良好态势(图 4)。

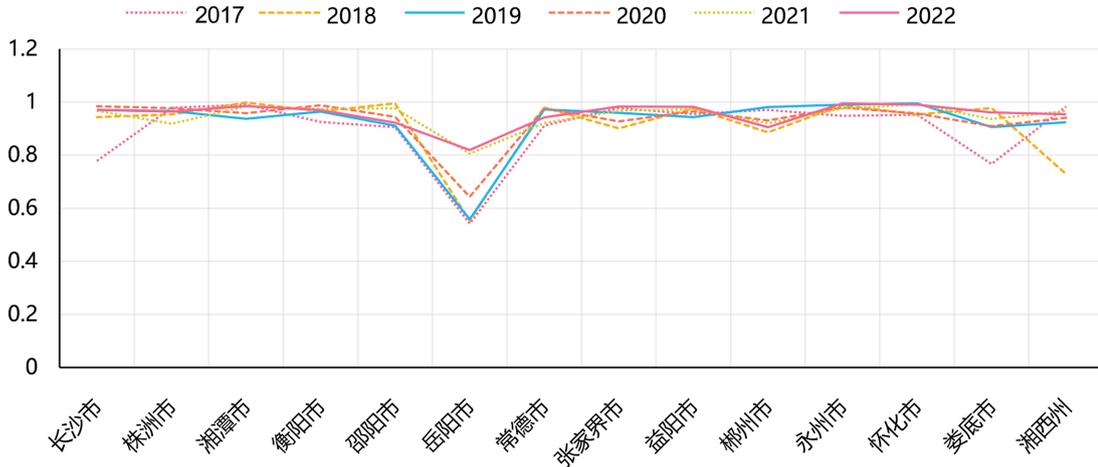


Figure 3. Inter annual variation of coupling values in different cities
图 3.2 不同城市耦合值年际变化

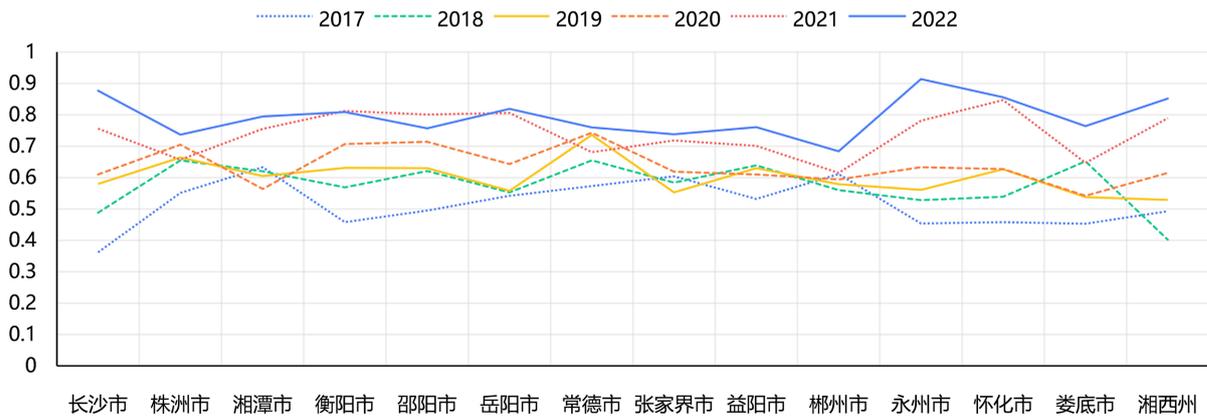


Figure 4. Annual variation of coupling coordination degree in different cities
图 4.2 不同城市耦合协调度年份变化

5. 结论与讨论

通过对湖南省 4 个地级市州 2017~2022 年城市韧性水平进行测度和评价，得出以下结论：1) 从时序演变上看，湖南省的城市韧性展现出显著的增强趋势，从研究起始阶段的较低水平逐步跃升至研究结束时的较高水平，整体韧性水平实现了逐年稳步的增长，且提升幅度显著。尽管各子系统在韧性表现上偶有小幅波动，但总体上均实现了不同程度的提升与增强。其中，研究末期基础设施韧性水平较高，增长趋势明显。2) 从空间格局演变来看，区域间城市综合韧性分异格局差异较大，其中东南部城市韧性水平提升较快、水平较高西部与北部地区的城市在韧性方面的增长态势相对迟缓，常年处于较低韧性水平；截至 2022 年，湖南省内的各地级市州普遍达到了较高的韧性水平，其中永州市及长沙市达到高度韧性水

平。3) 从韧性耦合度来看, 湖南省各城市子系统间的耦合度整体上维持在较高水准, 子系统之间的协调度普遍保持在 0.3 以上, 且随着时间的推移, 这些子系统之间的耦合协调度逐渐从轻度失调、濒临失调的状态渡至勉强协调、中级协调的中级阶段, 并最终趋向良好协调的成熟阶段。

本研究仍存在以下不足: 1) 研究年份较少, 不能更直观的得出城市韧性变化, 后期应以十年进行研究; 2) 城市韧性的构建需超越当前的适应与恢复能力范畴, 强调对未来环境的预见性适应、高效恢复及持续学习能力的提升。鉴于此, 后续研究应聚焦于区域城市未来韧性水平的预测与评估。3) 本研究仅以经济、社会、生态、基础设施四方面构建评价体系, 评价指标的选择仍存局限性。未来研究可进一步拓展, 纳入如社区连通性、应急管理体系等多元化、多维度的考量因素, 以构建更为全面、深入的城市韧性评价指标体系。

致 谢

在本研究过程中, 我得到了来自多方面的支持与帮助。首先, 衷心感谢我的指导老师, 正是他专业的引领和耐心的释疑, 使我在研究道路上少走了许多弯路。他对待科研的严谨态度和精益求精的精神, 深深影响了我, 促使我在研究过程中不断追求卓越。

同时, 我要感谢我的团队成员们, 我们一同面对研究中的种种挑战, 共同寻找解决方案。正是有了大家的齐心协力与不懈奋斗, 本研究才得以顺利完成。

参考文献

- [1] 朱正威, 刘莹莹. 韧性治理: 风险与应急管理的新路径[J]. 行政论坛, 2022, 27(5): 81-87.
- [2] 王雪, 柴凝. 风险扰动视角下城市社区公共空间韧性提升策略——以湘潭市唐兴寺社区为例[J]. 城市建筑, 2024, 21(6): 1-3.
- [3] 郭晓佳, 李晋强, 吴雪玲, 等. 河南省城市韧性与低碳发展耦合协调及影响因子研究[J]. 人民黄河, 2024, 46(8): 1-6, 37. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1379.2024.08.001>
- [4] 杨莎莎, 黄丽露, 段至诚, 等. 中国城市群旅游经济韧性的动态变化及障碍因子分析[J]. 自然资源学报, 2024, 39(6): 1262-1277.
- [5] 毛丽娟, 夏杰长, 刘睿仪. 数字技术与城市韧性耦合——基于我国 285 个城市的实证分析[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2024, 26(2): 95-106.
- [6] 王健, 田润泽. 公共安全视角下的未来社区与城市韧性单元——“浙里未来·与邻有约”竞赛思考[J]. 建筑与文化, 2024(4): 121-123.
- [7] 林颖诗. 基于应急管理视角下城市韧性治理的思考[J]. 大陆桥视野, 2024(4): 37-39.
- [8] 高冲, 赵小龙. “双韧性”视角下的社区公共空间防疫能力提升设计研究[J]. 建筑与文化, 2024(9): 178-180. <https://doi.org/10.19875/j.cnki.jzywh.2024.09.055>
- [9] 胡迎迎, 李强, 张琳娜, 等. 基于模糊层次分析法-TOPSIS 的多元化储能典型场景适用性评估[J]. 电测与仪表, 2024, 61(6): 126-132.
- [10] 张恒, 王浩宇, 常江. 基于 GA-BP 神经网络的城市韧性时空演进分析[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2024, 40(2): 71-77.
- [11] 王启飞, 赵逸涵, 张慧, 等. 基于 PSR 和信息敏感性的城市韧性度评价: 以北京市为例[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(8): 198-204.
- [12] 郭小东, 任添翼, 王志涛, 等. 基于 GIS 空间分析的城市抗震韧性评估方法研究[J]. 城市与减灾, 2024(2): 42-49.
- [13] 黄继磊. 中原城市群城市韧性与数字经济发展的耦合协调研究[J]. 统计理论与实践, 2025(1): 32-38. <https://doi.org/10.13999/j.cnki.tjllysj.2025.01.004>
- [14] 程建华, 周瑞鹏. 城市韧性与城镇化水平耦合协调发展分析——以安徽省为例[J]. 重庆三峡学院学报, 2024, 40(5): 75-86.
- [15] 毛胜洪, 李鑫, 雍新琴. 江苏省城市韧性与土地利用效率耦合协调时空演化及影响因素研究[J]. 上海国土资源, 2024, 45(1): 39-46.

- [16] 嵇娟, 陈军飞, 丁童慧, 等. 长三角城市群城市洪涝韧性与生态系统服务的耦合协调关系[J]. 生态学报, 2024, 44(7): 2772-2775.
- [17] 湖南省发展和改革委员会. 2024“湘”这么干|地区处: 统筹推进城乡区域协调发展[EB/OL]. https://fgw.hunan.gov.cn/xxgk_70899/gzdtf/gzdt/202401/t20240130_32639170.html, 2024-01-30.
- [18] 李连刚, 张平宇, 谭俊涛, 等. 韧性概念演变与区域经济韧性研究进展[J]. 人文地理, 2019, 34(2): 1-7.
- [19] 刘志敏, 叶超. 社会-生态韧性视角下城乡治理的逻辑框架[J]. 地理科学进展, 2021, 40(1): 95-103.
- [20] 尤吴宇. 湖南省城市韧性时空演变耦合协调机制研究[J]. 长沙理工大学, 2022, 31(4): 44-52.
- [21] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.