

新冠肺炎疫情冲击下城市韧性时空特征演化

——以长三角城市群为例

刘华玲 梁华璧 王柳月 王希睿*

摘要:本文基于 DPSIRC 框架,从驱动力、压力、状态、影响、响应和控制六个维度,构建新冠肺炎疫情冲击下城市韧性评价指标体系,融合熵值法与层次分析法进行主客观赋权,借助 TOPSIS 综合评价法计算疫情前后城市韧性指数,多视角分析长三角区域 26 个地级及以上城市的韧性水平,刻画城市韧性在疫情冲击下的时空特征演化。研究发现:我国疫情防控常态有效,长三角城市群的韧性水平呈现出“一超多强”、稳中有升的局面;相较疫情发生前,长三角城市群的整体韧性水平在疫情冲击后仍实现了金字塔等级结构上的攀升;长三角区域存在多个高韧性中心城市,受疫情影响,高韧性中心城市与低韧性周边城市的韧性水平差距有所增大。

关键词:城市韧性 疫情冲击 指标体系 TOPSIS-主客观赋权

一、引言

(一)研究背景

新冠肺炎疫情对各国经济均造成了前所未有的冲击。我国在面对疫情时采取的“坚持防疫、经济两手抓”,成为社会治理的标杆。2020 年 10 月,为畅通国民经济循环,实现供求动态均衡,“十四五”规划提出,要加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。

无论是从传统的人口数量、地域面积和区位优势来看,还是从新兴的科技创

* 刘华玲(通讯作者,m17801113522@163.com),上海对外经贸大学统计与信息学院;梁华璧,上海对外经贸大学统计与信息学院;王柳月,上海对外经贸大学统计与信息学院;王希睿,上海对外经贸大学统计与信息学院。

新、城镇体系和资源配置来看,覆盖江浙沪皖三省一市的长三角城市群均稳坐中国城市群的头把交椅。因此,在聚焦一体化城市群发展的过程中,着重提升长三角城市群的综合实力,是加快形成国际竞争新优势的必由之路,也是促进区域协调发展的重要途径,更是对助力新发展格局形成的有效响应。

后疫情时代,世界各国和地方政府均面临不确定性和风险的同步上升。如何认识并正确地评估包括自然灾害、公共卫生事件等在内的城市风险,从而更好地抵御潜在的系统性危害,已成为学界研究的热点。城市韧性作为评估城市面对风险冲击时稳定性的有效手段,近年来受到广泛关注。但现有的城市韧性指标体系无法体现新冠肺炎疫情这一最大不确定性带来的冲击,也未考虑新发展格局对经济社会高质量发展的促进作用,从而无法全面反映城市潜在风险,客观量化城市抵抗风险的能力。因此,基于新发展格局构建新冠肺炎疫情冲击下的指标体系,我们对长三角城市群的城市韧性进行考察,探讨其在疫情暴发前后的时空演化特征,不仅能进一步完善城市韧性评价机制,更有利于后续抓住抵御突发事件冲击的主要矛盾,着力打通堵点,实现经济循环流转和产业关联畅通。

(二)文献综述

持续推进自身韧性建设是城市化解各类不确定性事件带来冲击的重要举措,我国正处于构建新发展格局的关键历史阶段,国内城市韧性的提升能够为此提供源源不断的动能,而如何评定城市韧性水平的高低则关系着城市优势发挥与短板补足的具体路径。考虑到城市韧性内涵,可从生态环境、市政设施、经济发展、人口压力等八个方面构建城市韧性与环境压力综合评价指标体系(程皓、阳国亮、纪晓君,2019);也有学者从经济、社会、生态、基础设施四个角度探究智慧城市对城市韧性的影响(Zhou, Zhu & Qiao et al., 2021)。考虑到城市韧性机制,一方面,可基于 DPSRC 模型评价广州 16 个国际社区的社会韧性和空间特征(杨保清、李贵才、刘青,2020);另一方面,可基于 DPSIR 模型探究长三角地级市城市人居环境的韧性作用机理(李雪铭、刘凯强、田深圳等,2022)。

在指标赋权方法方面,层次分析法、德尔斐法和风险矩阵理论常被综合运用来分析中国城市韧性可持续发展新模式(王光辉、王雅琦,2021);有学者借助熵值法和障碍度模型探讨江苏省城市韧性水平时空演变的阻碍因素(孙亚南、尤晓彤,2021)。在联系突发公共卫生事件方面,部分研究以 SARS 为背景,利用动

态空间面板滞后模型估计粤港澳大湾区产业结构多元化对城市经济韧性的影响(刘成昆、李欣然,2021);也有研究结合 TOPSIS 综合评价模型和熵值法考量长三角城市韧性在新冠肺炎疫情期间的时空差异(Chen & Quan,2021)。

当前城市韧性的研究对象分布较广,一些学者选取东部沿海样带、长江沿岸样带、“黑河—腾冲”沿线样带等三个样带寻找中国城市韧性发展关联因素(白立敏、修春亮、冯兴华等,2019);也有学者选用空间杜宾模型分析京津冀、长三角及珠三角城市群城市韧性的时空演进特征及成因(朱金鹤、孙红雪,2020);数字平台在北京城市副中心城市治理和韧性城市构建中的作用得到了探讨(谭日辉、陈思懿、王涛,2022)。综上所述,以长三角地级城市群为重点研究对象,以 TOPSIS-主客观赋权法为核心手段,构建纳入新冠肺炎疫情因素的城市韧性指标体系来衡量城市群内个体城市韧性水平,并从多维度分析疫情冲击前后城市韧性时空演化特征的研究较少,因此本研究具备一定的理论和实践意义。

二、研究方法 with 体系构建

(一)研究方法

1. 熵值法赋权

熵值法是在信息熵的基础上依据指标数据的离散程度赋予相应权重的一类客观赋权方法:当某项指标取值差异较大,其熵值较小,则认为包含的信息量越多,对决策的贡献越足,从而赋予更高的权重。熵值法的优点在于能够有效摒除主观因素,计算得出的权重可进行灵活修正,步骤如下。

采用极差归一化法对指标进行正向化处理,正向指标与负向指标计算公式为

$$\text{正向指标: } z_{ij} = \left[\frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \right] * 0.9 + 0.1 \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } z_{ij} = \left[\frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \right] * 0.9 + 0.1 \quad (2)$$

将指标标准化后的信息熵计算公式为

$$E_j = k \sum_{i=1}^n \left[\left(z_{ij} / \sum_{i=1}^n z_{ij} \right) \ln \left(z_{ij} / \sum_{i=1}^n z_{ij} \right) \right], k = \frac{1}{\ln n} \quad (3)$$

进而可得到相应指标熵值法权重为

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=i}^n (1 - E_j)}$$

(4)

2. 层次分析法赋权

层次分析法是一种将复杂系统决策中无法直接刻画的部分进行模型化、数量化的过程,主要用于解决多目标、多准则或无结构特性的复杂评价类问题,具备系统性、实用性、简洁性等优点,步骤如下。

首先,建立层次结构模型,其中目标层为城市韧性评价指标体系,表示决策的目的,准则层共六个指标,表示决策的准则,指标层表示具体可量化的指标,对应下文围绕城市韧性评价构建的三级指标体系。

其次,为尽可能地克服人为打分带来的主观性,于是采取萨蒂 (Thomas L. Saaty) 等人提出的“一致矩阵法”构造判断矩阵,即将疫情冲击下城市韧性评价体系内的所有指标进行两两比较, a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果,研究人员向经济统计领域共计 12 名专家学者发放问卷,邀请他们采用萨蒂的 1~9 标度方法对各个指标进行打分,得到判断矩阵相应数据 (表 1),并满足 $a_{ij} * a_{ji} = 1$ 。

表 1 判断矩阵 1~9 标度取值含义表

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有同等重要性
3	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2、4、6、8	表示两个相邻分数的中间值
倒数	假设因素 i 与因素 j 的比较判断为 a_{ij} ,则因素 j 与因素 i 的比较判断为其倒数

再次,计算相对权重并进行一致性检验, CI 为一致性比率,可以用来判断矩阵的不一致程度是否在容许的范围之内,公式为

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5)$$

RI 为平均随机一致性指标,通常直接查表使用。 CR 为一致性比例,公式为

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

通常认为 $CR < 0.1$ 时通过一致性检验,否则需要对判断矩阵进行修正。

最后,本文采用算术平均法、几何平均法及特征值法三种方法求出相应权重,并对其进行算术平均,从而得到综合的权重向量。

3. TOPSIS-主客观赋权

熵值法忽略了指标本身重要程度、无法减少评价指标的维数,即符合数学规律,但往往会忽视决策者的主观意图,且如果指标值的变动较小,则无法准确度量。而层次分析法利用指标定量数据较少,主观定性成分较多,并不具有严格的数学意义。为均衡熵值法与层次分析法的优缺点,本文参考已有学者的做法,将两者结合来对指标进行赋权(李帅、魏虹、倪细炉等,2014)。结合主客观方法计算的综合权重应该与单一方法计算的权重尽可能相近,根据最小相对信息熵原则,运用拉格朗日乘子法优化可得综合权重为

$$\omega_i = \frac{(\omega_{1i}\omega_{2i})^{0.5}}{\sum_{i=1}^m (\omega_{1i}\omega_{2i})^{0.5}} \quad (7)$$

其中 ω_{1i} 为熵值法计算的权重, ω_{2i} 为层次分析法计算的权重, ω_i 为综合权重。

TOPSIS 方法是一种能够充分利用原始数据的综合组内评价方法,核心在于通过研究评价对象与最优方案和最差方案之间的距离判断其与“理想解”的接近程度,仅要求每一效应函数是单调变化的。本文的 TOPSIS-主客观赋权法将综合权重与 TOPSIS 方法相结合,评价步骤如下。

借助综合权重获得加权标准化决策矩阵为

$$Z_{n \times m} = W_j z_{ij} \quad (8)$$

其中 n 为评价对象数量, m 为评价指标数量。

最值求解过程为

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_m^+) = (\max\{Z_{1j}\}, \max\{Z_{2j}\}, \dots, \max\{Z_{nj}\})$$

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_m^-) = (\min\{Z_{1j}\}, \min\{Z_{2j}\}, \dots, \min\{Z_{nj}\})$$

$$j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

第 i 个评价对象与最优方案的距离定义为

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - Z_{ij})^2} \quad (10)$$

第 i 个评价对象与最差方案的距离定义为

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - Z_{ij})^2} \quad (11)$$

最终计算城市韧性指数为

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (12)$$

(二) DPSIRC 框架构建指标体系

本文引入图 1 所示 DPSIRC 框架构建疫情冲击下城市韧性评价指标体系, 包含驱动力 D、压力 P、状态 S、影响 I、响应 R 和控制 C 六个维度, 是 DPSIR 和 DPSRC 模型的有机融合。不确定性事件给城市带来的负面冲击, 是在驱动力、压力、状态、影响四个环节中层层传递, 对冲击后果的调节在响应与控制两个环节中呈现出来, 响应反映即时举措, 控制反映日常维护。本文的创新之处在于将反映即时举措的响应层与反映日常维护的控制层同时纳入框架中, 有利于构建稳定性和适应性更强的城市韧性体系。

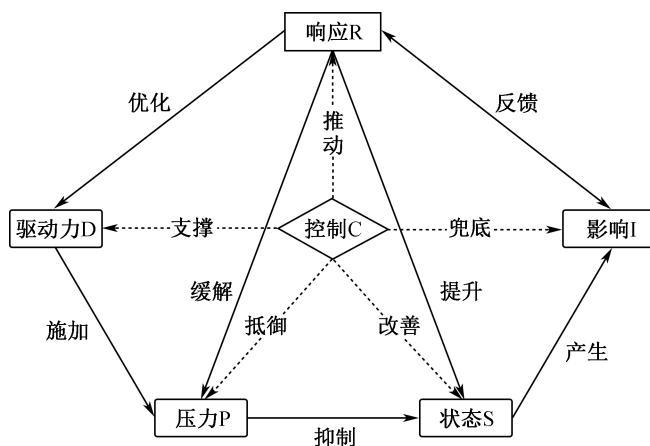


图 1 疫情冲击下城市韧性评价系统 DPSIRC 框架

本文将 DPSIRC 框架的六个维度作为拟构建指标体系的准则层,根据其对应的含义初步筛选契合的具体指标。其中,驱动力方面考虑国内经济社会需求与国际投入要素,压力方面考虑生存环境占用与公众舆论要素,状态方面考虑人均资源供给与持续产出要素,影响方面考虑疫情冲击强度与系统损耗要素,响应方面考虑即时救助能力建设与应急筹备要素,控制方面考虑日常保障体系构建与风险管理要素。政府在我国城市治理体系中扮演着不可或缺的角色,控制维度恰能度量地方政府在城市韧性建设上的贡献,因此在 DPSIR 模型中融入 DPSRC 模型的控制准则是合适的。

三、研究区域与数据说明

(一)研究区域概况

世界银行调研显示,对于绝大多数经济体而言,城市群的一体化程度越高则人均国内生产总值(GDP)越高,城市群的人口集聚将有效带动宏观经济要素的组合创新效应,从而形成强大的经济增长引擎,助推全国经济高质量发展。长三角城市群覆盖江浙沪皖三省一市,囊括 26 个地级及以上的核心城市,是我国规模最大的城市群。根据第七次人口普查与 2022 年公布的 GDP 数据,2022 年末长三角城市群常住人口约占全国人口的 16.78%,地区 GDP 约占全国 GDP 总量的 23.99%。2019 年 12 月,中共中央、国务院印发《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,力求带动长三角新一轮改革开放,并将长三角区域一体化发展上升为国家战略,着力落实新发展理念,构建新发展格局。

(二)数据说明

本文使用的数据主要来源于国家及长三角各地市统计局、卫健委、民政局、商务局、应急管理局、邮政管理局、生态环境局等官方网站发布的官方数据、统计公报及统计年鉴,以及新浪微博平台的地市官方发布(如“上海发布”),时间范围为 2018 年 1 月至 2022 年 6 月。

对于政策文件、官方数据、统计公报及统计年鉴等非模块化数据,采取人工采集整理的方法按月度记录,每月新增病例、死亡病例则利用 Python 爬虫拟定

正则表达式爬取各地市卫健委官网发布获取。

对于政府微博评论数量这一指标,本文爬取各地市官方微博发布于 2020 年 1 月 1 日至 2022 年 6 月 30 日的所有博文,由于部分博文与疫情并不挂钩,其评论数量便难以反映政府在应对疫情时承受的舆论压力,因此需要进行内容筛选。国家层面的政策与地方政府日常发布内容的倾向往往具有极大的相关性,故本文将对 2020 年新冠肺炎疫情暴发以来国家出台的 42 条相关政策、通知及应对措施进行文本分析,以获取最具代表性的筛选关键词,具体步骤如下。

1. 政策文件归类与宏观分析

本文进行文本分析的政策对象根据政策内容可划分为就业、社会稳定、财政、疫苗、物流、交通、心理、消毒、出入境、核酸共十大类。

首先,从时间维度出发,可以发现相较于 2020 年,之后的两年相关政策文件出台较少,这证明我国 2020 年疫情防控措施常态有效。聚焦于 2020 年,可以发现 1—3 月正处于疫情的暴发期,同时也是政策出台的高峰期,国家在防控疫情的同时也尽最大可能维持社会稳定、保障人民生活。

其次,对政策类别进行统计分析,可以发现就业、社会稳定相关政策通知频率最高,足以说明在新发展格局下,我国仍坚持以人民为中心,高度重视就业等民生工作,力求疫情期间仍能实现社会稳定与长治久安,后续 IMF 统计数据也证实了科学防疫的正确性,我国成为 2020 年全球唯一经济正增长的主要经济体。针对财政方面,部分政策是部委联合发文、多措并举,力求有效实现新冠肺炎联防联控机制,最大程度打通相关政策实施堵点,为就业这个最大的民生问题保驾护航。

2. 词频统计与词云分析

利用 Python 对所有政策文本进行分词,并输出有效高频词汇前 20 名(表 2)。通过高频词汇和图 2 展示的词云图可知,针对新冠肺炎疫情出台的相关政策主要关注点在人民、民生、企业复工复产等方面,政府从交通运输、物资、医疗、财政等多个角度保障人民的正常生活、企业的正常运转,力求在新发展格局下维护社会生活的正常秩序。

表 2 分词词频表

分词	词频	分词	词频
疫情	355	防护	118
防控	330	心理	107
消毒	319	交通运输	103
口罩	188	隔离	99
卫生	182	联控	96
企业	182	物资	91
清洁	140	联防	88
就业	128	复工	86
场所	123	资金	79
通风	123	监测	79



图 2 政策词云图

基于上述分析并结合官方发文习惯,最终拟定筛选关键词为:疫情、新冠、口罩、确诊、防控、无症状、隔离、物资、消毒、核酸、居家、复工。

对于未在政府网站、统计公报与统计年鉴中披露的相关数据,研究人员采取随机森林填补法对缺失值进行预设处理,根据其在随机森林中的表现,评估不同预设情况下与原缺失路径的相似度,经过多次迭代得到最终稳定的估计值,作为缺失值的填补项。

四、基于指标体系的疫情冲击下 城市韧性指数分析

(一) 指标筛选

目前最常见的指标筛选方式,是删除反映信息内容重复的部分指标和对评价结果影响弱的指标,但仅仅考虑信息重复现象对指标进行筛选容易留下信息内容交叉少且对评价结果影响不显著的指标。所以,在指标筛选中两种方法缺一不可。针对两种方法的使用顺序,优先剔除对评价结果影响弱的指标,即“显著再相关”,可以有效避免上述现象(陈洪海,2016),本文依据此指标筛选原则,先基于累计信息贡献率剔除对评价结果影响较弱的指标,再利用指标的信息可替代性剔除具有信息重叠现象的部分指标。

采用本方法筛选指标不受指标单位不同,指标正、负向问题的影响,因此在指标筛选过程中无须进行标准化处理。本文根据 DPSIRC 框架各准则层的内在含义,共选取了 30 项备选指标;同时,2020 年作为疫情暴发“元年”,指标数据在此期间最能够直接呈现与疫情挂钩的信息波动,故将以 2020 年全年数据为基准进行下文的指标筛选工作。

1. 基于信息累计贡献率的筛选

步骤一:使用指标 x_{ki} 的相对离散系数表示该指标信息蕴含量大小,相对离散系数 C_i 公式为

$$C_i = \sqrt{\frac{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \left(x_{ki} - \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ki} \right)^2}{\left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ki} \right)}} \quad (13)$$

步骤二:将指标按照信息含量由大至小的顺序进行排序,并计算累计信息贡献率 r_p ,即信息含量较大的前 p 个指标 $X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{np}$ 占全部 n 个指标信息含量的比重之和,则为

$$r_p = \sum_{i=1}^p C_i^* / \sum_{i=1}^n C_i \quad (14)$$

步骤三:为保证指标体系完整性,本文保留信息含量较大且使得累计信息贡

献率 $r_0 = 93\%$ 以上的 p 个指标,以保证原始指标集的信息仅有少量丢失。使用 30 个备选指标进行累计贡献率统计、筛选之后,剔除如表 3 中标注了“(*)”的 8 个信息含量较小因而对评价结果无显著影响的指标。

表 3 信息含量与累计信息贡献率结果表

指标	信息含量	信息累计贡献率
死亡病例数	4. 0867	0. 1702
政府微博评论数量	2. 5928	0. 2781
人均快递业务收入	1. 2052	0. 3283
人均水资源	1. 1512	0. 3763
新增病例数	1. 0973	0. 4220
应急管理局网站独立用户访问量	1. 0000	0. 4636
每十万人大专以上学历及以上人口	1. 0000	0. 5053
人均用电量	0. 9818	0. 5461
客运量	0. 9664	0. 5864
人均国际贸易进出口总额	0. 9371	0. 6254
人口密度	0. 8770	0. 6619
人均 R&D 经费支出	0. 8199	0. 6961
基本医保参保人数	0. 8120	0. 7299
人均绿化覆盖面积	0. 7359	0. 7605
人均外商直接投资	0. 6990	0. 7896
人均卫生健康支出	0. 6181	0. 8154
地区“新冠肺炎”相关词汇搜索量之和	0. 5802	0. 8395
人均 GDP	0. 4512	0. 8583
人均规模以上工业总产值	0. 4398	0. 8766
人均灾害防治及应急管理支出	0. 3936	0. 8930
第三产业增加值/第二产业增加值	0. 3622	0. 9081
人均社会保障和就业支出	0. 3611	0. 9231
人均市政支出	0. 3327	0. 9370(*)
人均可支配收入	0. 3196	0. 9503(*)
人均社会消费品零售总额	0. 2936	0. 9625(*)
医疗卫生机构数量	0. 2832	0. 9743(*)
失业率	0. 2582	0. 9851(*)
每万人卫生技术人员数量	0. 1800	0. 9926(*)
地表水质优良断面比例	0. 1229	0. 9977(*)
环境空气质量优良率	0. 0554	1. 0000(*)

2. 基于信息可替代性的筛选

计算剩余 22 个指标之间的 Pearson 相关系数矩阵 R, Pearson 相关系数计算公式为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}} \tag{15}$$

定义:信息可替代性 $R_i(i = 1, 2, \dots, p)$,即 p 个指标中的一个指标与其余 $p-1$ 个指标构成的子类 $D_{i_{p-1}}$ 间的相关度。 R_i 越大,指标 X_i 所反映的信息越可以被其余 $p-1$ 个指标反映的信息所代替;反之, R_i 越小,指标 X_i 所反映的信息越不可以被其余 $p-1$ 个指标反映的信息所代替,指标 X_i 越重要。

$$R_i = \frac{1}{p-1} \sum_{x_j \in D_{i, (p-1)}} r_{ij}^2 \tag{16}$$

取所有指标信息可替代性平均值为

$$\bar{R} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p R_i = \frac{1}{p} \frac{1}{p-1} \sum_{x_j \in D_{i, (p-1)}} r_{ij}^2 \tag{17}$$

删除人均用电量与地区“新冠肺炎”相关词汇搜索量之和和两项信息可替代性大于平均值的指标,得到 20 个最终用于综合评价的指标,同时基于指标特性对准则层与要素层进行重新匹配,得到表 4 所示的疫情冲击下城市韧性评价指标体系。

表 4 疫情冲击下城市韧性评价指标体系

目标层	准则层	要素层	指标层
疫情冲击下城市韧性评价指标体系	驱动力 D	经济社会动力 D ₁	D ₁₁ :人均 GDP(亿元)
			D ₁₂ :人均快递业务支出(万元/人)
		国际动力 D ₂	D ₂₁ :人均外商直接投资(万美元/人)
			D ₂₂ :人均国际贸易进出口总额(万元/人)
	压力 P	竞争压力 P ₁	P ₁₁ :人口密度(万人/平方千米)
		舆论压力 P ₂	P ₂₁ :应急管理局网站独立用户访问量(个)
			P ₂₂ :政府微博评论数量(个)

表 4(续)

目标层	准则层	要素层	指标层
疫情冲击下城市韧性评价指标体系	状态 S	产业资源现状 S ₁	S ₁₁ :人均规模以上工业总产值(亿元/人)
			S ₁₂ :第三产业增加值/第二产业增加值(亿元)
		科创教育现状 S ₂	S ₂₁ :人均 R&D 经费支出(元/人)
			S ₂₂ :每十万人大专以上学历及以上人口(人)
	影响 I	灾害冲击强度 I ₁	I ₁₁ :新增病例数(人)
			I ₁₂ :死亡病例数(人)
		城市系统损耗 I ₂	I ₂₁ :客运量(万人次)
	响应 R	公共卫生建设 R ₁	R ₁₁ :人均卫生健康支出(万元/人)
		人居环境治理 R ₂	R ₂₁ :人均水资源(立方米/人)
			R ₂₂ :人均绿化覆盖面积(平方米/人)
	控制 C	风险管理 C ₁	C ₁₁ :基本医保参保人数(人)
		政策调控 C ₂	C ₂₁ :人均社会保障和就业支出(万元/人)
			C ₂₂ :人均灾害防治及应急管理支出(万元/人)

(二)指标赋权

利用熵值法+层次分析法的主客观赋权方法计算可得各指标的综合权重,由表 5 可以看到驱动力、状态和控制三个维度在评价城市韧性时的贡献相对更大,说明持续发掘韧性建设增长动能、面对负面外部事件冲击时尽可能维持城市系统稳态和政府执行常规化政策调控有助于后疫情时代城市韧性实现跨越式提升。

表 5 不同方法确定的指标权重

目标层	准则层	要素层	指标层	熵值法权重	AHP 权重	综合权重
疫情冲击下城市韧性评价指标体系	驱动力 D(0.230)	D ₁ (0.112)	D ₁₁	0.040	0.064	0.057
			D ₁₂	0.090	0.027	0.055
		D ₂ (0.118)	D ₂₁	0.047	0.051	0.055
			D ₂₂	0.083	0.038	0.063
	压力 P(0.067)	P ₁ (0.028)	P ₁₁	0.011	0.059	0.028
		P ₂ (0.038)	P ₂₁	0.010	0.021	0.016
			P ₂₂	0.016	0.025	0.022

表 5(续)

目标层	准则层	要素层	指标层	熵值法权重	AHP 权重	综合权重
疫情冲击下城市韧性评价指标体系	状态 S(0.242)	S ₁ (0.117)	S ₁₁	0.046	0.090	0.071
			S ₁₂	0.088	0.020	0.046
		S ₂ (0.124)	S ₂₁	0.075	0.056	0.072
			S ₂₂	0.067	0.032	0.052
	影响 I(0.096)	I ₁ (0.042)	I ₁₁	0.009	0.046	0.023
			I ₁₂	0.009	0.032	0.019
		I ₂ (0.054)	I ₂₁	0.104	0.022	0.054
	响应 R(0.158)	R ₁ (0.051)	R ₁₁	0.026	0.081	0.051
		R ₂ (0.107)	R ₂₁	0.081	0.050	0.071
			R ₂₂	0.048	0.022	0.036
	控制 C(0.207)	C ₁ (0.068)	C ₁₁	0.068	0.055	0.068
		C ₂ (0.139)	C ₂₁	0.026	0.126	0.064
			C ₂₂	0.056	0.080	0.075

(三)城市韧性指数计算与结果分析

为了更为全面地刻画新冠肺炎疫情冲击对长三角城市群韧性建设的影响, 本文将疫情暴发前的时间段设定为 2018 年 1 月至 2019 年 12 月, 疫情暴发后的时间段设定为 2020 年 1 月至 2022 年 6 月, 根据 TOPSIS 综合评价法可计算出 26 个城市在两段样本区间内每个月的城市韧性指数, 该部分将从多个视角分析长三角城市群的韧性演化特征。

1. 长三角城市群韧性水平年度排名变化

研究人员分别计算 26 个城市 2018—2022 年的城市韧性指数均值, 并按其进行年度降序排序, 筛选每年度韧性城市前 10 名绘制结果(表 6)。

纵向来看, 除上海市 2022 年度受到疫情影响韧性水平略有下降外, 其他三省各市的城市韧性指数除短期波动外, 均呈上升趋势, 如苏州市由 2018 年度的 0.492 上升至 2022 年度的 0.607, 嘉兴市由 2018 年度的 0.323 上升至 2022 年度的 0.409, 非省会城市上升势头强劲, 这佐证了新发展格局的构建使长三角地区城市抗风险能力显著提升。

横向来看,上海市在 2018—2021 年城市韧性水平远超其他城市,苏杭二市位列其后。2022 年城市间韧性水平差距显著减小,前 10 名基本稳定,其中江苏、浙江及安徽三省几乎平分,但平均水平却不尽相同,排名靠后的城市相对韧性水平变化较为频繁。总体来说,长三角地区城市韧性水平分布基本呈现“一超多强”的格局。

表 6 年度平均城市韧性指数前 10 名

排名	城市	2018 年	城市	2019 年	城市	2020 年	城市	2021 年	城市	2022 年
1	上海	0.685	上海	0.699	上海	0.682	上海	0.678	上海	0.645
2	苏州	0.492	苏州	0.478	苏州	0.514	苏州	0.585	苏州	0.607
3	南京	0.452	宁波	0.465	杭州	0.472	杭州	0.496	舟山	0.545
4	无锡	0.448	南京	0.455	无锡	0.468	舟山	0.486	杭州	0.525
5	杭州	0.446	杭州	0.439	舟山	0.457	无锡	0.450	宁波	0.485
6	宁波	0.441	无锡	0.419	宁波	0.445	宁波	0.417	无锡	0.478
7	常州	0.370	合肥	0.371	芜湖	0.411	南京	0.371	南京	0.418
8	芜湖	0.340	金华	0.336	南京	0.379	芜湖	0.356	嘉兴	0.409
9	合肥	0.333	湖州	0.335	池州	0.379	嘉兴	0.337	湖州	0.407
10	嘉兴	0.323	常州	0.319	湖州	0.373	池州	0.335	芜湖	0.403

2. 长三角代表城市韧性水平月度变化趋势

基于前述年度均值排序结果可知,长三角地区省际发展差异明显,因此研究人员分别选取江、浙、皖的省会城市南京市、杭州市、合肥市与上海市进行对比,绘制其城市韧性指数于 2018 年 1 月至 2022 年 6 月共计 54 个月的时序变化图(图 3)。

从整体来看,四个代表城市的城市韧性指数走势趋于一致,通常于一、三季度较高,二、四季度略有回落,大体呈现出稳中有升的趋势,且四个城市韧性水平差距逐渐缩小,体现出长三角城市群的区域带动效应。2022 年的一、二季度,上海市与其他三个省会城市略有区别,出现城市韧性指数下滑的趋势,这与新冠病毒变异株奥密克戎对上海市的冲击密不可分,也进一步佐证研究新冠肺炎疫情冲击下的城市韧性评价体系的科学性。

具体来看,上海市城市韧性水平远超其他三个省会城市,城市抵抗风险的能力居长三角城市群之首,这与上海市自身的城市建设、区位优势等密不可分;杭

州市依托近年来智慧城市的建设、民营经济的发展、发达的交通网络、丰富的旅游资源与良好的生态环境,其城市韧性水平逐年稳步上升;南京市和合肥市韧性水平几近重合,走势高度吻合。值得一提的是,南京市身为省会却并非省内城市韧性水平之最,这也从侧面证明江苏省省域韧性水平较高,省内多个卫星城市协同发展,有效分散风险。

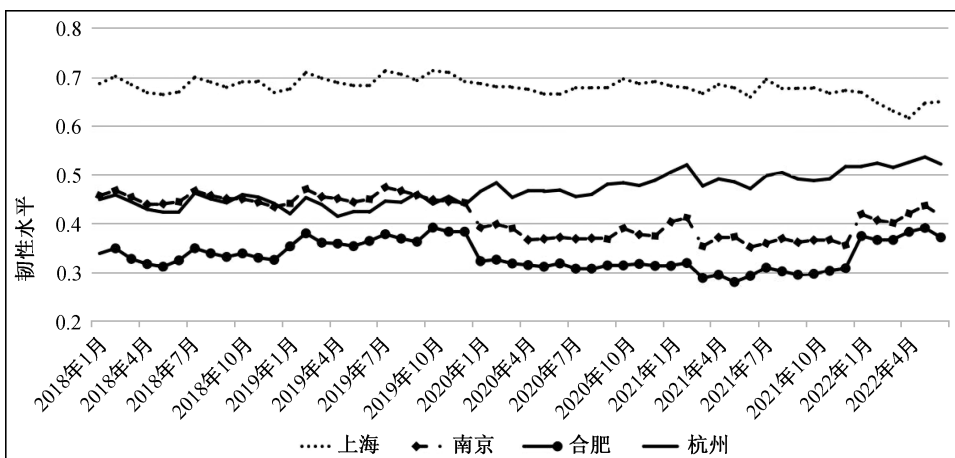


图3 代表城市韧性指数时序变化图

3. 长三角城市群韧性水平疫情前后异质性分析

本文通过判断疫情前后城市韧性水平均值是否发生显著变化来分析疫情冲击对长三角各地级市城市韧性建设的异质性影响。首先分别对26个城市的两个时间段进行方差齐性的Levene's检验;其次根据检验结果分别对城市韧性数据采取总体方差相等或不等的两样本t检验(表7)。

在0.05的显著性水平下,除泰州市、金华市等少数城市以外,大多数城市各自的平均韧性水平在疫情暴发前后均存在显著的差异。可以发现,平均城市韧性水平的变化方向与城市规模联系紧密,上海市、南京市、合肥市、常州市、宁波市等省会城市或省内I型大城市的韧性水平受疫情影响发生了不同程度的下降,这可能是由于部分大型城市管理的人口基数大,与周边城市的人员流动和经济关系更为频繁与错综复杂,落实各项疫情管控举措更为困难,疫情封闭造成的经济社会效益损失更为严重,因而面临突发公共卫生事件冲击时城市韧性状态表现相对不佳。

值得注意的是,仅上海市、合肥市的城市韧性水平下降势头在统计意义上是显著的,一方面是上海市 2022 年上半年疫情的严峻形势给城市系统造成的巨大冲击尚未得到完全缓解,每日数以万计的无症状感染者与长时间的静默管理使得城市生产生活接近停摆,此阶段的城市生态在疫情冲击下稍显脆弱;另一方面是安徽省的经济发展水平与江浙沪始终存在一定的差距,作为安徽省省会的合肥市相对于江浙省会来说,面对疫情的冲击,恢复至原有水平的周期可能更长。剩余城市在疫情冲击下均能保持韧性水平的上升势头,可能是由于较大的成长空间使得经济活动助推力在一定程度上抵消了疫情带来的负面影响,因而城市韧性水平建设稳中向好。

表 7 疫情冲击前后城市韧性水平均值差异检验

城市	Levene's 检验	t 检验 p 值	城市韧性变化
上海	方差齐次	<0.05	↓
江苏			
南京	方差非齐次	0.0786	↓
无锡	方差非齐次	<0.05	↑
常州	方差非齐次	0.7291	↓
苏州	方差非齐次	<0.05	↑
南通	方差非齐次	<0.05	↑
盐城	方差非齐次	<0.05	↑
扬州	方差非齐次	<0.05	↑
镇江	方差非齐次	<0.05	↑
泰州	方差非齐次	0.6886	↑
浙江			
杭州	方差非齐次	<0.05	↑
嘉兴	方差齐次	<0.05	↑
湖州	方差非齐次	<0.05	↑
舟山	方差齐次	<0.05	↑
金华	方差非齐次	0.3390	↓
绍兴	方差非齐次	<0.05	↑
台州	方差非齐次	<0.05	↑
宁波	方差非齐次	0.4252	↓

表 7(续)

城市	Levene's 检验	t 检验 p 值	城市韧性变化
安徽			
宣城	方差非齐次	<0.05	↑
滁州	方差齐次	<0.05	↑
池州	方差非齐次	<0.05	↑
合肥	方差非齐次	<0.05	↓
铜陵	方差齐次	<0.05	↑
马鞍山	方差非齐次	<0.05	↑
芜湖	方差非齐次	<0.05	↑
安庆	方差非齐次	<0.05	↑

4. 长三角城市群韧性水平等级结构

为了反映长三角城市群韧性等级结构在疫情冲击前后的实时演变,研究人员选取 2019 年 12 月与 2022 年 6 月各城市的韧性指数数据并进行分段处理,绘制如图 4、图 5 所示的疫情冲击前后城市韧性等级结构图。

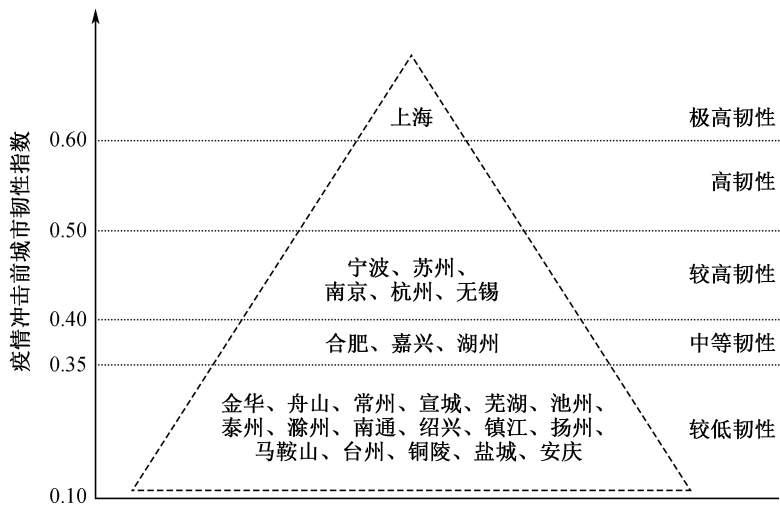


图 4 疫情冲击前长三角城市群韧性等级结构

从图中容易发现,疫情冲击前后的长三角城市群韧性等级结构均呈现金字塔模式,但疫情冲击前的金字塔结构更为扁平,位于塔底仅具备较低韧性的城市

超过半数,且塔间高韧性等级出现断层,仅宁波市、苏州市等大型城市拥有较高韧性等级,上海市领先于其他城市达到极高韧性水平。疫情冲击后的金字塔结构更为尖锐,大量城市在此期间实现了韧性等级的攀升,苏州市拉近了与上海市在城市韧性建设上的差距,杭州市、宁波市成为新晋高韧性等级城市,舟山市依托背靠上海市、杭州市、宁波市等大中城市的地缘优势从较低韧性等级晋升至高韧性等级。

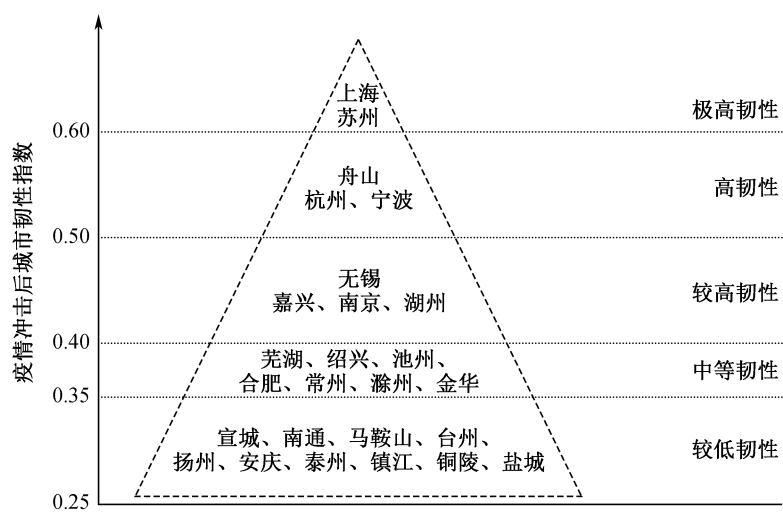


图 5 疫情冲击后长三角城市群韧性等级结构

从韧性等级结构演变方向来看,长三角城市群的韧性体系强度在应对新冠肺炎疫情冲击期间有所提高,城市在各韧性等级间的分布较疫情冲击前更为均匀。但金字塔结构的极化特征依旧明显,随着韧性水平的提高,等级内的城市数量迅速减少。上海市集中国经济、金融、贸易、科创中心为一体,成为长三角地区唯一韧性指数超过 0.64 的城市,苏州市仍需进一步巩固极高韧性城市地位;长三角城市群韧性体系的主体仍然是中低韧性水平的城市,且安徽省内城市均未能进入高韧性水平行列。可见长三角城市群应统筹资源分配渠道并调节辅助力度,促进高韧性城市全方位带领低韧性城市优化自身韧性建设体系,促进金字塔韧性等级结构向橄榄型韧性等级结构转变,增强城市群整体应对诸如疫情等突发事件冲击的能力。

5. 长三角城市群韧性水平空间分布特征

依据疫情冲击前后两个时期的各城市韧性水平均值绘制热力图(图6),结合长三角城市群的地理位置,可以发现,在疫情冲击前后,长三角城市群的韧性水平均以上海市、苏州市、杭州市、宁波市和南京市为中心向外辐射递减,位于内陆边缘地带的城市韧性水平普遍偏低,上海市始终是长三角区域韧性水平超高的城市。

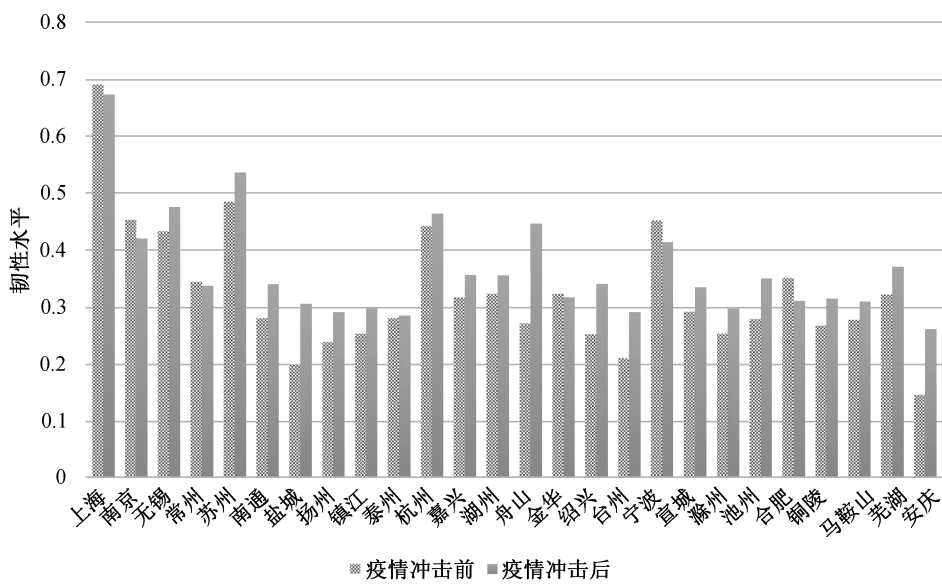


图6 长三角城市群疫情冲击前后平均韧性水平热力图

虽然以各城市自身为比较基准的前提下,大部分城市的韧性水平在疫情冲击后得到显著提升,但从热力图展现的相对差距来看,长三角城市群韧性水平落差有所增大,其中以苏北地区最甚,盐城市、扬州市、泰州市的韧性水平增长幅度难以跟上高韧性城市的发展速度,而苏州市、杭州市、舟山市均进一步缩小了与上海的城市韧性水平差距。原因在于,疫情期间交通运输与信息互换受阻,韧性中心城市发挥的资源共享与辐射带动作用减弱,诸如苏北地区、安徽省全域等与韧性中心城市地理距离稍远的区域,必须更多依靠自身人力物力储备应对疫情冲击,城市韧性体系建设进展较为缓慢。

五、结论与政策建议

三年防控维稳生活,助力抗疫平稳转段。在疫情这个最大不确定性事件的冲击下,中共中央仍高度关注民生与就业,从交通运输、物资医疗等多方面对人民和企业进行保障和补贴,力求构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。

本文创新性地在 DPSIR 模型中融入反映政府举措的控制维度,形成 DPSIRC 框架,并基于此着重考虑疫情因素搭建城市韧性评价指标体系,通过主客观赋权法平衡熵值法与层次分析法在赋权时的优缺点,利用 TOPSIS 综合评价法计算城市韧性指数,以准确呈现城市间韧性水平排序。研究结论主要包括如下几方面。

(1)从时间维度演化特征来看:长三角城市群韧性水平呈现出稳中有升的态势,在年度内具有一、三季度上升,二、四季度回落的周期性表现;大部分城市在疫情冲击后平均韧性水平显著提高,受大规模疫情影响的城市短期内韧性有所下降,但均能依靠城市系统韧性尽快恢复稳态。

(2)从空间维度演化特征来看:长三角城市群城市韧性水平等级结构表现为金字塔模式,层级分明且极化特征明显,疫情冲击后部分城市实现韧性等级的攀升,“一超多强”格局更为稳固;长三角城市群韧性水平以上海市、苏州市、杭州市等为中心向外辐射递减,高、低韧性城市风险抵御水平差距在疫情冲击后被拉大。

结合上述研究结论,为促进长三角城市群在后疫情时代建立更为完善的城市韧性体系,助力新发展格局加速成型,本文提出如下三点政策建议。

首先,加快布局城市群韧性共建统筹工作,切实提高长三角区域联防联控联治突发公共卫生事件的能力。一体化进程的内在要义便是帮带帮扶、共建共享,在突发重大负面事件时能够统一制定应急政策和调度稀缺资源。

其次,建立健全监测预警与信息公开机制,增强地方治理机构风险防范意识与日常宣传教育频率。各城市应根据自身人口密度、基建分布、发展规划等特点构建危机预警系统,及时发布风险评估报告,以期提早识别潜在隐患。

最后,加强城市韧性研究深度,打造普遍适用于长三角城市群的韧性标准体

系。进一步完善重大突发公共安全事件信息披露制度,赋予行业研究机构、专业公益组织等主体获取相关信息的权限,以推进挖掘城市韧性增长空间。

参考文献

- 白立敏、修春亮、冯兴华等,2019,《中国城市韧性综合评估及其时空分异特征》,《世界地理研究》第6期。
- 陈洪海,2016,《基于信息可替代性的评价指标筛选研究》,《统计与信息论坛》第10期。
- 程皓、阳国亮、纪晓君,2019,《中国十大城市群城市韧性与环境压力脱钩关系研究》,《统计与决策》第7期。
- 李帅、魏虹、倪细炉等,2014,《基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价》,《应用生态学报》第9期。
- 李雪铭、刘凯强、田深圳等,2022,《基于 DPSIR 模型的城市人居环境韧性评价——以长三角城市群为例》,《人文地理》第1期。
- 刘成昆、李欣然,2021,《突发公共卫生事件下产业结构多元化对城市韧性的影响分析——以粤港澳大湾区为例》,《贵州社会科学》第1期。
- 孙亚南、尤晓彤,2021,《城市韧性的水平测度及其时空演化规律——以江苏省为例》,《南京社会科学》第7期。
- 谭日辉、陈思懿、王涛,2022,《数字平台优化韧性城市建设研究——以北京城市副中心为例》,《城市问题》第1期。
- 王光辉、王雅琦,2021,《基于风险矩阵的中国城市韧性评价——以284个城市为例》,《贵州社会科学》第1期。
- 杨保清、李贵才、刘青,2020,《基于 DPSRC 模型的国际社区社会韧性评价分析——以广州小北16个国际社区为例》,《地域研究与开发》第5期。
- 朱金鹤、孙红雪,2020,《中国三大城市群城市韧性时空演进与影响因素研究》,《软科学》第2期。
- Chen, X. & R. Quan 2021, “A Spatiotemporal Analysis of Urban Resilience to the COVID-19 Pandemic in the Yangtze River Delta.” *Natural Hazards* 106(1).
- Zhou, Q., M. Zhu & Y. Qiao et al. 2021, “Achieving Resilience Through Smart Cities? Evidence from China.” *Habitat International* 111(6).