

浙江省城市韧性及其时空变化分析

斯港杰*, 邹逸江*, 孔家辉

(宁波大学 土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 我国城市化进程高速发展, 城市面临的风险趋向多元化、复杂化. 从城市韧性的角度出发, 构建了“规模-密度-形态-基础设施”四位一体城市韧性描述体系, 分析了浙江省 2000 年至 2020 年间城市韧性的时空变化, 并对城市发展方向提出了建议. 结果表明: 在研究期间, 浙江省城市韧性整体呈下降趋势, 其中城市规模韧性逐年下降, 存在着城市规模安全的隐患; 城市密度韧性呈下降趋势, 全省常年处于生态赤字风险之中; 城市形态韧性整体上有所下降, 但降幅较缓; 城市基础设施韧性呈螺旋上升趋势, 且各城市间差距逐渐缩小. 浙江省的城市韧性呈现出“西高东低”梯度化的空间格局, 相同韧性类型的城市也有集中分布的空间特征. 根据城市韧性描述体系的研究结果, 将浙江省各城市划分为高韧性城市、中韧性城市 and 低韧性城市三类, 并分别给出城市发展方向的建议.

关键词: 城市韧性; 时空分析; 城市发展方向; 浙江省

中图分类号: K90

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2023) 01-0113-08

自 1978 年改革开放以来, 中国常住人口的城镇化率从 1978 年的 17.9% 上升至 2021 年的 64.7%, 城市化发展取得了巨大的成就^[1]. 位于长江三角洲地区的浙江省城市化发展迅猛, 2021 年的城镇化率高达 72.7%, 远超全国平均水平^[2]. 城市化发展给人类带来了福祉, 如经济高速发展、就业机会增加、居民生活水平提高等. 但扎根于城市生态系统的基础上, 人类频繁的社会经济活动对其造成了无可避免的扰动与冲击, 带来了日益严峻的城市问题, 如交通拥堵、资源短缺、环境污染等. 城市人口高度集中, 城市生态系统一方面遭受着自然灾害引发的扰动, 另一方面也受到了突发公共安全事件造成的冲击, 尤其是 2020 年新型冠状病毒肺炎疫情全球肆虐的公共卫生事件, 给全球城市带来重创, 城市生态系统直接暴露出了脆弱性. 如何提高城市韧性即抗冲击能力、自适应能力和受灾后的恢复力, 成为了亟待解决的重大城市议题^[3].

城市韧性的定义为: 由城市经济、社会、制度、

生态、基础设施等组成的高度复杂耦合系统, 在面对自然和人为灾害的扰动时所表现的抵御能力、吸收能力和恢复能力^[4-5]. 在城市韧性研究中, 城市韧性评价一直是研究重点, 研究方向主要集中在评价方法和评价体系的构建上. 目前主要的城市韧性评价方法有综合指数法、函数模型法、图层叠置法等, 虽然都能在一定程度上分析出城市的韧性情况, 但方法上都存在不足之处. 学者们在城市韧性评价的构建上也做出了许多尝试, 较多研究了指标维度的选取, 指标维度涵盖了社会、经济、自然、环境、基础设施等各方面. 这样的评价体系虽然能够直接应用于城市韧性研究, 具有一定的可操作性, 但仍存在着许多不足, 如评价体系的指标维度是否具有科学性、指标之间的权重大小如何权衡、评价体系存在着地区适用性限制等问题^[6-8].

综合来看, 城市的不确定性因子扰动增多, 城市韧性不能集中于单一的因子上, 系统地、动态地评价城市韧性成为了难题, 单一范式的研究已无

收稿日期: 2022-06-30.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省高校重大人文社科攻关计划项目 (2021GH014); 浙江省公益项目 (LGF19D010001).

第一作者: 斯港杰 (1997-), 男, 浙江诸暨人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 地图学与地理信息系统. E-mail: 1657458666@qq.com

*通信作者: 邹逸江 (1963-), 男, 江苏宜兴人, 博士/教授, 主要研究方向: 3S 技术应用. E-mail: zouyijiang@nbu.edu.cn

法满足于指导城市发展,亟需更加客观、合理、全面、可操作的方法.本研究以位于长江三角洲地区的浙江省各城市作为研究对象,借鉴了修春亮等^[9]提出的基于“规模-密度-形态”的三维城市韧性研究框架,采用了基于城市规模、城市密度、城市形态、城市基础设施四位一体的城市韧性描述体系以及时空分析方法,为浙江省的城市发展方向和增强城市韧性提供了路径依据.

1 研究数据与研究方法

1.1 研究区域

浙江省下辖有十一个地级及以上城市,包括杭州、宁波、温州、湖州、嘉兴、绍兴、金华、衢州、舟山、台州、丽水.地形以山地丘陵为主,东临东海,受亚热带季风气候的影响,台风和洪涝等自然灾害频繁,加上近二十年来快速发展的城市化和城市用地的建设开发,加剧了自然灾害和人为灾害的危害.在这样的大环境下,提高浙江省的城市韧性和防灾减灾能力变得尤为重要,这也是浙江省各地区面临的重大挑战.

1.2 数据来源

(1)土地利用遥感影像数据:2000年、2005年、2010年、2015年、2020年浙江省土地利用数据均来源于中国科学院资源环境科学与数据中心,根据土地资源及其利用属性,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地六大类,综合评价精度达到93%以上.

(2)年鉴数据:研究所使用的年鉴数据主要来源于《浙江省统计年鉴》(2001—2021)、《中国城市统计年鉴》(2001—2021)、《中国能源统计年鉴》(2001—2021)、浙江省各地市统计年鉴(2001—2020).

(3)规划数据:浙江省行政区划矢量数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心,《浙江省生态保护红线划定方案》规划文件来源于浙江省生态环境厅.

1.3 浙江省城市韧性描述

1.3.1 城市规模韧性描述

根据景观生态学中的景观安全格局理论和生态基础设施理论,当城市建成区规模超过生态基础设施的服务范围或侵占了其应有用地时,城市

的灾害应对能力和平衡恢复能力便相应减弱^[3].因此城市规模韧性的测算由城市已建设用地与生态基础设施的关系来确定^[9].从土地利用遥感影像数据中提取浙江省研究期间城市已建设用地面积.根据《浙江省生态保护红线划定方案》规划文件来确定浙江省的生态保护功能区,包括陆域生态保护红线和海洋生态保护红线.将陆域生态保护区和海洋生态保护区区域叠加后得到满足生态安全要求的生态基础设施EI边界,汇总浙江省除EI边界之外的区域则为适宜建设用地,得到浙江省的城市规模韧性指数,公式为

$$R_s = L_s / L_d, \quad (1)$$

式中: R_s 为城市规模韧性指数; L_s 为适宜建设用地; L_d 为已建设用地.

1.3.2 城市密度韧性描述

根据生态足迹与生态承载力理论^[10],生态足迹与生态承载力的比较,实际上也是人类索取与生态环境供给能力的关系.依据浙江省的生产消费状况,确定物质资源和化石能源的年消费量,折算成对应的生物生产性土地面积.各项物质与能源所需的土地面积需要乘上均衡因子,均衡因子考虑了浙江省的实际消费与生产能力,具体可参考相关学者的研究成果^[11].根据已有的研究成果^[12],生态足迹的测算公式为

$$e_a = \sum_{i=1}^n r_i C_i / P_i, \quad (2)$$

$$E_a = N e_a, \quad (3)$$

式中: e_a 为该地区的人均生态足迹; i 表示生物类消费品类; r_i 为均衡因子; C_i 为第 i 种消费品的人均物质与能源年消费量; P_i 为第 i 种消费品的全球标准年平均生产力; E_a 为该地区的总生态足迹; N 为区域总人口.

对研究期间的浙江省土地利用遥感影像数据进行面积提取,得到这五个年份的浙江省各地市耕地、林地、草地、水域、化石燃料用地、建筑用地的实际覆盖面积.参考相关学者的研究成果^[11],需要在生产性土地实际覆盖面积前乘上产量因子,同时留出12%的生物生产性土地面积^[12],生态承载力 E_c 的测算公式为

$$E_c = (1 - 12\%) \sum_{j=1}^n S_j m_j, \quad (4)$$

式中: j 表示用地类型; S_j 为该地区第 j 类生产性土地实际覆盖面积; m_j 为产量因子。

城市密度韧性指数 R_d 的测算由生态足迹与生态承载力之间的关系来确定:

$$R_d = E_c / E_a. \quad (5)$$

1.3.3 城市形态韧性描述

根据景观生态学中的“源-汇”理论来测得城市形态韧性指数^[13], 源景观包括建设用地, 而汇景观包括耕地、林地、草地、水域。根据浙江省土地利用遥感影像, 对栅格数据进行重分类处理, 分成源景观和汇景观两大类, 城市形态韧性指数 R_m 的测算由源汇景观之间的距离指数来确定:

$$R_m = L / L_d, \quad (6)$$

式中: L 为 2000 年浙江省全省源汇景观的平均最近距离指数; L_d 为浙江省各市历年的源汇景观平均最近距离指数。

1.3.4 城市基础设施韧性描述

城市基础设施韧性的评价体系由交通设施、能源设施、水资源设施、通信设施以及社会设施这五个维度构成(表 1), 每个维度下选取了具有重要意义的指标作为因子, 再利用熵值法确定每一个因子的权重^[14], 经过加权计算后得出城市基础设施韧性指数 R_i 。

1.3.5 四位一体城市韧性描述体系

从城市规模、城市密度、城市形态、城市基础设施四个维度来共同构成四位一体城市韧性描述体系。本文参考了多边形法来测算浙江省的综合韧性^[15], 多边形法以 O 为原点, OA 、 OB 、 OC 、 OD 四条边分别代表城市规模韧性指数、城市密度韧性指数、城市形态韧性指数、城市基础设施韧性指数这四个维度, 共同构成浙江省四位一体城市韧性描述体系多边形, 如图 1 所示, 多边形面积即为浙江省城市韧性指数 $R^{[1]}$ 。

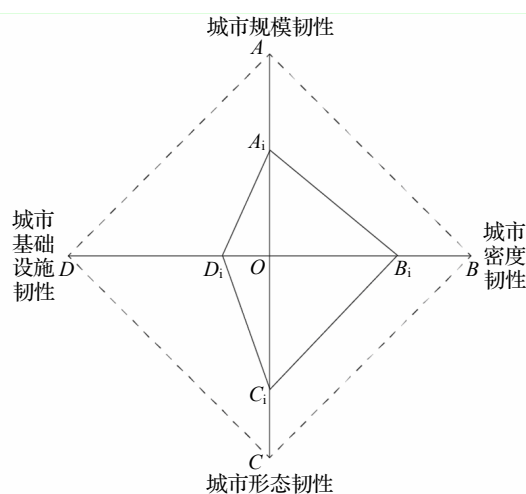


图 1 浙江省四位一体城市韧性描述体系多边形

表 1 浙江省城市基础设施韧性指标体系及权重

准则层	指标层(指标单位)	权重				
		2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
交通设施	人均铺装道路面积(m^2)	0.042	0.058	0.055	0.076	0.091
	每万人拥有公共汽(电)车数(辆)	0.079	0.075	0.118	0.106	0.113
能源设施	人均生活用电量(kWh)	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006
	煤气家庭用量(m^3)	0.012	0.013	0.006	0.009	0.008
	液化石油气家庭用量(t)	0.009	0.007	0.007	0.009	0.006
水资源设施	每万人排水管道长度(km)	0.061	0.047	0.092	0.069	0.146
	人均用水量(m^3)	0.006	0.008	0.007	0.008	0.008
	城市污水处理率(%)	0.089	0.031	0.043	0.050	0.045
通信设施	年末移动电话用户数(万户)	0.081	0.071	0.078	0.085	0.095
	国际互联网用户数(万户)	0.122	0.140	0.113	0.083	0.076
社会设施	建成区绿地覆盖率(%)	0.037	0.105	0.056	0.072	0.038
	每万人医院病床张数(张)	0.113	0.106	0.048	0.091	0.113
	每万人拥有高等学校在校人数(人)	0.154	0.115	0.125	0.126	0.097
	一般工业固体废物综合利用率(%)	0.027	0.035	0.041	0.034	0.029
	医疗保险覆盖率(%)	0.080	0.123	0.105	0.064	0.047
	人均地区生产总值(元)	0.082	0.060	0.100	0.111	0.084

2 结果与分析

2.1 浙江省城市韧性水平

2.1.1 城市规模韧性

研究期间浙江省的城市规模韧性指数逐年下降,其中2000年至2005年下降速度较快且幅度较大,2005年至2020年下降趋势变缓,整体而言浙江省各地市的城市规模安全情况并不乐观(表2)。这一下降趋势与空间布局和浙江省的城市化进程有着紧密关系,2000年以来,浙江省加快了城市化的建设,大片土地被划入城市化建设用地,存在着城市区域盲目开发与粗放式发展的问题,导致了城市规模韧性指数快速下降,忽视了城市规模安全。但是随着城市化进程的加快,人们开始重视规模安全的问题,不再盲目地为追求经济发展而大量开发建设用地,城市规模韧性指数下降速度开始放缓。总体的下降趋势和空间布局与各市的土地面积也有着密切关系。面积较大的城市(如丽水、温州)经过大规模开发建设用地后,仍存在着大量的未开发用地,留有规模安全的余地较大,而面积较小的城市(如舟山、嘉兴)经过大强度的开发建设城市用地,再除去生态红线用地保护区之后,所剩的适宜建设用地也逐年减少。

表2 2000年至2020年浙江省各城市规模韧性指数

城市	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
杭州	20.204	13.568	12.392	8.677	8.017
宁波	9.493	4.900	4.546	3.880	4.065
温州	26.651	15.539	14.279	9.961	10.374
嘉兴	4.744	3.186	2.880	2.231	2.076
湖州	20.194	16.340	14.192	9.681	8.433
绍兴	21.197	11.578	10.435	7.342	7.915
金华	28.510	13.153	11.220	7.916	7.753
衢州	80.647	35.559	31.229	19.609	17.437
舟山	12.645	7.470	6.906	3.997	3.403
台州	41.268	22.940	20.808	10.723	9.222
丽水	249.365	100.338	84.124	31.221	34.801

2.1.2 城市密度韧性

浙江省2000年至2020年城市密度韧性指数逐年下降(表3),表明生态足迹逐渐高于生态承载力,生态足迹逐年加深,存在着人口拥挤、粮食安全有

隐患、能源结构不合理的城市问题。从总体而言,城市密度韧性指数虽有下降,但是下降的趋势有所缓和,而且虽各城市间数值差距也不是很大,但普遍存在着城市密度安全的问题。随着2000年来高速发展,浙江省的城市综合实力大大增强,吸引了全国大量的劳动力,人口密度变大,消耗的粮食和能源也逐年增加,但是升级生产方式、调整优化能源结构、减少资源浪费等一系列举措没有跟上,导致城市密度韧性逐年下降,这也是未来浙江省城市发展建设需要重视的地方。

表3 2000年至2020年浙江省各城市密度韧性指数

城市	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
杭州	0.013	0.015	0.010	0.011	0.011
宁波	0.018	0.015	0.014	0.012	0.011
温州	0.009	0.009	0.007	0.006	0.006
嘉兴	0.021	0.013	0.012	0.010	0.011
湖州	0.026	0.019	0.018	0.017	0.017
绍兴	0.013	0.010	0.008	0.008	0.008
金华	0.007	0.008	0.009	0.008	0.007
衢州	0.018	0.010	0.011	0.009	0.010
舟山	0.018	0.014	0.015	0.020	0.018
台州	0.017	0.013	0.013	0.013	0.013
丽水	0.013	0.009	0.009	0.008	0.008

2.1.3 城市形态韧性

研究期间浙江省的城市形态韧性在整体上有所下降,但是下降的幅度并不大,个别年份韧性指数有一定的回升(表4)。浙江省各城市在2000年至2005年间城市形态韧性普遍下降,但在2005年至2020年这十五年间,少数城市的形态韧性指数有小幅度的上升的情况,不过总体趋势依旧向下。这与城市的空间布局和开发模式有关,2000年至2005年浙江省各城市开发建设速度较快,空间布局上也以边缘式扩张为主,没能协调好城市建设用地和城市生态用地的均衡配置。而在2005年之后,浙江省各城市开始逐渐重视城市生态和开发建设模式的重要性,不仅仅追求城市化建设的速度,也开始多种城市开发模式并存,不再单一地由中心区向外扩张,这让城市的空间形态有所优化,也大大增加了城市用地到生态用地的可达性,改善了城市环境。

表4 2000年至2020年浙江省各城市形态韧性指数

城市	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
杭州	0.952	0.937	0.930	0.866	0.833
宁波	1.071	0.977	0.996	0.976	0.972
温州	0.801	0.748	0.757	0.761	0.753
嘉兴	1.248	1.211	1.189	1.129	1.141
湖州	1.068	1.019	1.009	0.937	0.921
绍兴	0.946	0.894	0.917	0.899	0.889
金华	0.846	0.832	0.842	0.863	0.868
衢州	0.927	0.858	0.868	0.830	0.812
舟山	1.039	0.926	1.031	0.760	0.656
台州	0.952	0.937	0.930	0.866	0.833
丽水	1.071	0.977	0.996	0.976	0.972

2.1.4 城市基础设施韧性

浙江省2000—2020年城市基础设施韧性整体呈螺旋上升趋势,这与浙江省近二十年来基础设施的发展有着直接关系,但个别城市呈下降趋势,且城市间差距逐渐缩小(表5)。除了杭州、宁波、金华,浙江其他城市2020年的基础设施韧性指数均高于二十一世纪初。城市基础设施的建设是城市运作的物质基础,自2000年以来,浙江省城市化水平逐年提高,大量资金投入到了城市基础设施建设中,基础设施水平不断完善,因此城市基础设施韧性呈现出螺旋上升的趋势。然而杭州、宁波、金华虽然基础设施逐年提高,但是外来人员数量多,城市居民基数大,出现了基础设施总量大但人均小的困境,存在着基础设施人均不足的问题,所以这三个城市的基础设施韧性不升反降。

表5 2000年至2020年浙江省各城市基础设施韧性指数

城市	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
杭州	0.885	0.887	0.873	0.774	0.775
宁波	0.551	0.602	0.592	0.576	0.488
温州	0.260	0.301	0.330	0.339	0.262
嘉兴	0.238	0.343	0.340	0.420	0.254
湖州	0.367	0.397	0.369	0.509	0.379
绍兴	0.338	0.343	0.341	0.436	0.422
金华	0.226	0.279	0.298	0.354	0.215
衢州	0.156	0.215	0.238	0.260	0.276
舟山	0.498	0.410	0.434	0.429	0.559
台州	0.227	0.242	0.270	0.279	0.265
丽水	0.117	0.094	0.151	0.257	0.205

2.2 浙江省城市韧性时空变化分析

2.2.1 城市韧性时序演变分析

经上述研究,由四位一体的城市韧性描述体系测得浙江省各城市按城市韧性划为三类:高韧性城市($0.2 < R \leq 1$)、中韧性城市($0.1 < R \leq 0.2$)、低韧性城市($0 \leq R \leq 0.1$)。在时间尺度上,浙江省各城市的城市韧性整体上呈现出由高韧性向低韧性下滑的发展趋势,如图2所示。2000年低韧性城市仅有嘉兴一座城市,其余城市均处于高韧性或中韧性的阶段,其中最高值为丽水,达到了二十年来浙江省各城市的顶峰。2000年至2005年浙江省各城市的城市韧性急剧下降,台州、绍兴、温州和湖州这四座城市均由高韧性城市急剧下滑至中韧性城市,宁波、金华和舟山这三座城市也从中韧性城市落入低韧性城市的范围中。2005年至2010年间丽水和台州两市城市韧性有所回升,其他各市城市韧性虽在下降,但下降的幅度有所收窄,从2010年开始,低韧性城市成了浙江省的大部分城市韧性类型。2010年至2015年浙江省各城市韧性除了嘉兴有小幅度的回升,整体上还是处于下滑趋势,下降的幅度虽然较小,但大多数城市陷入了低韧性城市的困境中。2015年至2020年浙江省各城市韧性下降的幅度放缓,舟山和绍兴有小幅度的回升,但是全省的城市韧性处于近二十年间的最低位。

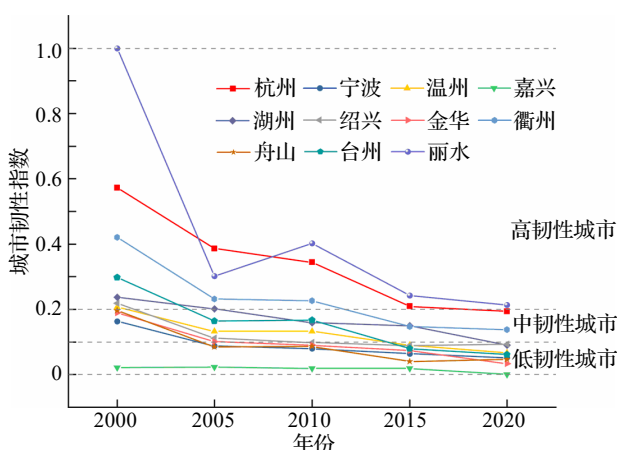


图2 2000年至2020年浙江省城市韧性水平

2.2.2 城市韧性空间演变分析

(1) 浙江省城市韧性空间格局特征

浙江省城市韧性呈梯度化的空间格局特征,西部城市韧性明显高于东部城市韧性(图3)。浙江

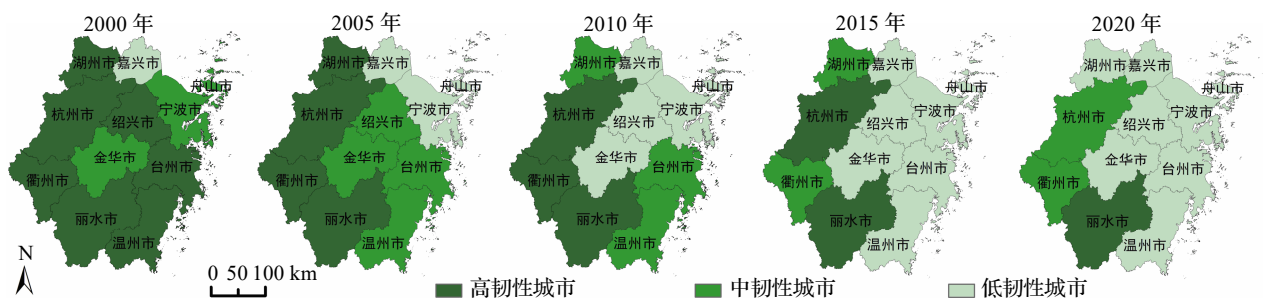


图3 2000年至2020年浙江省城市韧性空间格局

省在2000年时城市韧性梯度化空间格局并不明显,东西部地区城市韧性都较高。2000年之后,全省城市韧性整体下降,城市韧性梯度化的空间格局特征开始逐渐显现,2005年从浙江省的西部到东部,大致呈现出高韧性城市-中韧性城市-低韧性城市的空间格局。在2005年至2010年期间,中部地区的城市韧性明显下降,从中韧性城市跌落至低韧性城市的行列中,此时浙江省大致呈现出东西高-中间低的空间格局。在2010年至2020年期间,浙江省东部沿海城市韧性持续降低,沿海城市都陷入了低韧性城市的困境中,而西部的城市韧性指数普遍高于东部,在2020年浙江西南角的丽水更是成为全省唯一的高韧性城市。浙江省城市韧性的梯度化空间格局特征形成由城市发展、城市生态环境等多种因素共同造成。东部沿海地区高速发展,城市化速度快却忽视了城市规模、城市密度、城市形态和城市基础设施韧性四个方面,造成了城市韧性低的困境。而浙江省西部的省会城市杭州,虽然在近二十年间经济高速腾飞,城市化发展迅猛,但协调了城市生态环境和城市发展的关系,城市韧性相对较好。浙江省城市韧性呈集聚化的空间格局特征,相同韧性类型的城市集中分布。集聚化特征在近二十年来一直都比较明显,到2020年时浙江省唯一的高韧性城市仅剩丽水,而中韧性城市相邻的衢州和杭州均分布在浙江省西部,

八座低韧性城市集中分布在浙江省中部和东部沿海地区。

(2)浙江省城市韧性空间变化特征

2000年至2020年期间,浙江省城市韧性标准差椭圆大致呈“东北-西南”的分布格局,标准差椭圆的内部包括了浙江省除舟山外的各城市(图4)。

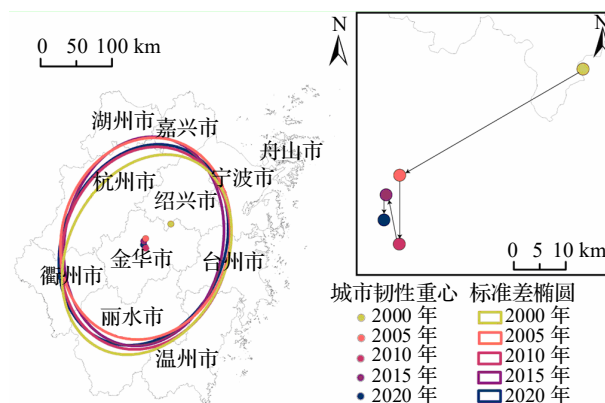


图4 2000年至2020年浙江省城市韧性标准差椭圆及其重心迁移路径

从标准差椭圆的分布形状和方位变化来看(表6),2000年至2010年标准差椭圆的面积先扩大后缩小,浙江省城市韧性呈现出先扩散后集中的趋势,而2010年至2020年期间,标准差椭圆的面积缓慢增加,浙江省的城市韧性整体上逐渐呈现出扩张的趋势,椭圆内的地区城市韧性提升速度小于椭圆外地区。标准差椭圆的短轴长度在二十年

表6 浙江省2000年至2020年城市韧性椭圆参数

年份	面积/km ²	短轴长度/m	长轴长度/m	方位角/(°)	重心位置	移动距离/km
2000年	50 641.099	110 100.772	146 415.715	27.210	120°21'55"E, 29°26'49"N	0
2005年	52 567.787	117 596.593	142 297.852	15.199	119°58'14"E, 29°18'24"N	40.93
2010年	52 144.239	115 412.024	143 823.245	18.267	119°57'27"E, 29°11'12"N	13.95
2015年	51 147.674	110 739.926	147 026.821	10.551	119°56'28"E, 29°16'37"N	10.36
2020年	51 419.943	113 244.385	144 540.350	23.034	119°56'2"E, 29°14'9"N	4.95

期间波动式增大,而长轴长度却小幅减小,椭圆的形状没有发生明显的变化,说明了浙江省南北方向的城市对全省整体城市韧性有一定的拉动作用。其中方位角变化的幅度不大,浙江省的标准差椭圆在研究期间位置相对稳定。

从城市韧性重心变化来看,浙江省的城市韧性重心明显往西南方向迁移。城市韧性重心始终分布在金华地区内部,其中2000年至2005年主要向西南方向迁移,且迁移距离最长;2005年至2010年韧性重心向正南方向迁移,迁移距离与上一时间段相比有所下降;2010年至2015年韧性重心向西北方向迁移,韧性重心大致位于浙江省的中部;2015年至2020年韧性重心向西南方向迁移,迁移的距离与前几次相比都更短。从城市韧性重心变化特征可以看出,浙江省的西南地区城市韧性一直都较高,其中浙江省西南角落的城市丽水更是全省韧性的最高值。

3 城市发展方向建议

3.1 高韧性城市发展建议

2020年浙江省高韧性城市仅剩丽水这一座城市,城市密度和城市基础设施建设是丽水的短板,就城市发展方向提出以下建议。第一,要加快城市基础设施的建设,为城市社会经济的发展提供强有力的保障。加快完善传统基础设施,大力发展交通道路设施,增加铺装道路面积,提高公共交通水平,改善全市各地区之间的可达性,为吸引资金流入和优秀人才提供更好的便捷条件。第二,要优化生态农业的生产模式,在整体和循环的角度上优化农业产业结构,提高农业用地的生产效率。丽水要改善城市密度韧性,摆脱生态赤字困境,就必须提高农业产品的生产效率,在可用的耕地上提高综合生产能力,确保现有耕地的质量,推动农业的可持续发展。

3.2 中韧性城市发展建议

浙江省的中韧性城市在2020年仅剩杭州和衢州两座城市。杭州的基础设施韧性在全省是领先的,短板在于规模韧性;而衢州的四个城市韧性指标是相对均衡的水平,没有明显的长处与短板。因此,在城市发展方向上对这两座城市有以下建议。第一,要重视城市的生态文明建设,平衡好城市建

设与生态建设的关系。在研究期间,杭州和衢州城市规模扩张速度快,适宜建设用地逐年减少。因此要控制城市建设用地增长的速度,城市建设不能一味地粗放式发展,要严格执行浙江省生态保护红线的规划文件,确保人类生存发展必要的生态用地面积。第二,要进一步提升城市基础设施的质量,推动新基建的发展。杭州作为浙江的省会城市,有大量的资金和科技人才,拥有较强的综合实力,在基础设施水平较高的基础上尤其需要重视新基建的建设。

3.3 低韧性城市发展建议

2020年浙江省有八座城市在低韧性城市梯队,占据了全省的大多数地区。各城市存在着不同的短板,因此在城市发展方向上,对低韧性城市有以下建议。第一,需要严格控制城市建设用地的扩张,保留必要的城市生态保护用地。尤其是城市规模韧性较低的嘉兴和舟山,要做好城市功能区和城市建设开发强度的规划,同时也要提高已建设用地的土地利用效率,避免出现大量的闲置地、低效用地的情况。第二,需要加强城市生态保护,深化生态保护补偿机制。浙江省各城市普遍存在生态赤字的问题,而且城市密度韧性整体上都较低。就生态足迹而言,一方面需要改善能源消耗结构,做到节约能源和减少消耗来降低能源资源类账户的生态足迹,另一方面也要控制生态适度人口,减少资源消耗和降低人口拥挤程度来缓解生物资源类账户的生态足迹过深的问题。就生态承载力而言,要严格守好浙江省的生态红线保护用地,提高生产性土地的利用效率,才能进一步地提高生态承载力。第三,建设城市生态公园,形成良好的城市生态,缓解城市的生态压力。要做好城市生态斑块的规划,缩短城市建设用地到城市绿地的距离,提高可达性,建设绿色可持续发展城市。第四,要加快完善城市基础设施,提高城市韧性。浙江省的基础设施水平在研究期间虽逐年提高,但有些城市如嘉兴、温州存在着基础设施总量大但是人均小的问题,因此要进一步完善城市基础设施,保障城市的高效生产运作。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2022-02-28]. <http://www.gov.cn>

- cn/xinwen/2022-02/28/content_5676015.htm.
- [2] 浙江省统计局, 国家统计局浙江调查总队. 2021 年浙江省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2022-02-24]. http://tjj.zj.gov.cn/art/2022/2/24/art_1229129205_4883213.html.
- [3] 王少剑, 崔子恬, 林靖杰, 等. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J]. 地理学报, 2021, 76(4):973-991.
- [4] Ouyang M, Dueñas-Osorio L, Min X. A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems[J]. Structural Safety, 2012, 36/37:23-31.
- [5] 赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10):1717-1731.
- [6] Sherrieb K, Norris F H, Galea S. Measuring capacities for community resilience[J]. Social Indicators Research, 2010, 99(2):227-247.
- [7] 杨莹, 林琳, 钟志平, 等. 基于应对公共健康危害的广州社区恢复力评价及空间分异[J]. 地理学报, 2019, 74(2):266-284.
- [8] Du Z, Zhang H, Ye Y, et al. Urban shrinkage and growth: Measurement and determinants of economic resilience in the Pearl River Delta[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(8):1331-1345.
- [9] 修春亮, 魏冶, 王绮. 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.
- [10] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 1996.
- [11] 张恒义, 刘卫东, 王世忠, 等. “省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算——以浙江省为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1):82-92.
- [12] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5):607-616.
- [13] Chen L, Fu B, Zhao W. Source-sink landscape theory and its ecological significance[J]. Frontiers of Biology in China, 2008, 3(2):131-136.
- [14] 白立敏, 修春亮, 冯兴华, 等. 中国城市韧性综合评估及其时空分异特征[J]. 世界地理研究, 2019, 28(6):77-87.
- [15] 徐勇, 段健, 徐小任. 区域多维发展综合测度方法及应用[J]. 地理学报, 2016, 71(12):2129-2140.

Analysis of urban resilience and its spatio-temporal change in Zhejiang Province

SI Gangjie, ZOU Yijiang*, KONG Jiahui

(School of Civil & Environmental Engineering and Geography Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Fast urbanization development puts it at risk which is characterized by diversity and complicatedness. From the perspective of urban resilience, in this paper the “size-density-morphology-infrastructure” is constructed for four dimensional integration city resilience description system with analysis on the urban spatial and temporal variations of resilience for Zhejiang Province between 2000 and 2020. Based on the study, suggestions on urban development directions are put forward. The results show that during the studied period, the urban resilience of Zhejiang Province presents an overall downward trend, in which the urban scale resilience decreases year by year, and there is a hidden danger of urban scale security. The resilience of urban density appears to be a downward trend, and the entire province is at the risk of ecological deficit. Urban type resilience has declined with slow pace in general. The resilience of urban infrastructure is spiraling upward, and the gap between cities is gradually narrowing. The spatial pattern of urban resilience in Zhejiang Province is “high in the west and low in the east”. Cities with the same type of resilience also have the spatial characteristics of centralized distribution. From the results of the urban resilience description system, cities in Zhejiang Province are divided into three types: high resilience city, medium resilience city and low resilience city. Suggestions for urban development directions are also given accordingly.

Key words: urban resilience; spatio-temporal analysis; urban development direction; Zhejiang Province

(责任编辑 韩 超)