

上海韧性城市规划：关键议题、总体框架和规划策略*

颜文涛 任 婕 张尚武 赫 磊

提 要 国土空间规划中融入韧性城市理念与策略可以有效增强城市应对各类风险的能力。基于维持居民可获取公共服务的视角，提出以人为本的韧性城市概念，分析韧性城市的系统构成，提出整合防灾减灾的韧性城市建设框架。通过分析上海面临的主要扰动类型及特征，聚焦上海韧性城市规划的四大关键议题——全球气候变化下的自然灾害韧性、重大公共卫生事件的防疫韧性、危化品产用过程中的事故灾害韧性和基础设施日常运行的系统韧性，围绕以人为本的韧性城市核心目标，构建上海韧性城市规划的总体框架和指标体系。结合上海国土空间规划技术体系，从总体规划、单元规划和详细规划三个层面提出增强韧性水平的空间规划策略，以期为上海韧性城市的规划建设提供参考。

关键词 韧性城市；关键议题；总体框架；规划策略；上海

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202203003
文章编号 1000-3363(2022)03-0019-10

作者简介

颜文涛 同济大学建筑与城市规划学院，自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室，教授、博士生导师，yanwt@tongji.edu.cn

任 婕 同济大学建筑与城市规划学院，博士研究生

张尚武 同济大学建筑与城市规划学院，自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室，教授、博士生导师

赫 磊 同济大学建筑与城市规划学院，自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室，副教授、博士生导师

Resilient Urban Planning in Shanghai: Key Issues, General Framework, and Planning Strategies

YAN Wentao, REN Jie, ZHANG Shangwu, HE Lei

Abstract: The integration of the concept and strategies of resilient city into territorial spatial planning can effectively improve the ability of cities to cope with various risks and enhance their comprehensive competitiveness. Based on the perspective of maintaining residents' access to public services after disasters, the paper puts forward the concept of people-oriented resilient city, analyzes the systematic configuration of resilient cities, and puts forward a framework for resilient city construction by integrating disaster prevention and mitigation strategies. By analyzing the main types of disturbances and characteristics confronting Shanghai, the paper summarizes four key issues of Shanghai's resilient urban planning — resilience to natural disasters under global climate change, resilience to epidemic outbreaks, resilience to accidental disasters in the production and use of dangerous chemicals, and resilience to fluctuations in the routine operation of infrastructure systems. Focusing on the main goals of people-oriented resilient city, the paper proposes an overall framework and index system of Shanghai's resilient city planning. Combined with the technical system of territorial spatial planning in Shanghai, the paper proposes planning strategies from three levels: overall planning, unit planning, and detailed planning in order to support resilient city planning and construction in Shanghai.

Keywords: resilient city; key issue; general framework; planning strategy; Shanghai

韧性(resilience)一词最早来源于拉丁语“resilio”，其本意是“(物体受损后)恢复到原来的状态”。发展至今，韧性概念经历了从“工程韧性”到“生态韧性”再到“演进韧性”的演化，代表着韧性目标从“恢复初始稳态”到“塑造新稳态”再到“持续不断适应”的变迁^[1-2]。“韧性城市”是韧性概念运用于城市领域的产物，相比于传统的防灾减灾、应急管理概念，“韧性城市”承认扰动不可避免，关注具有不确定性的外部扰动及系统运行的日常波动对城市的影响，强调通过科学的规划、设计和管理，主动提升城市应对扰动的能力^[3-4]。

*国家“十三五”重点研发计划课题“面向城市复杂系统与多种扰动的韧性城市理论体系”(2020YFB2103901)、国家自然科学基金面上项目“沿海城市洪灾韧性的表征测度、影响机制与规划调控研究”(52178048)、同济大学上海新城建设研究中心技术咨询项目“韧性城市概念解析及国土空间规划应对研究”(TJ2021815521)

随着城市面临内外部扰动的强度、频率和不确定性日益增加^[5],韧性城市理念逐渐受到国内外政府、组织的高度关注^[2, 4]。国际层面,联合国国际减灾战略署明确提出“韧性城市建设将成为今后较长时期的发展方向”;2016年,联合国“人居III”上通过的《新城市议程》中提到“各个部门在多个层面承诺,通过制定政策、项目、规划和行动,以建立城市韧性”;伦敦、纽约、新加坡、鹿特丹等先后提出了韧性城市的发展目标和实施策略^[6-8]。国内层面,2020年11月,中国在二十国集团峰会上提出了打造包容性、可持续性、有韧性的未来的可持续发展理念和举措;2020年11月3日,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》发布,首次从国家战略层面明确提出建设“韧性城市”。

作为重要的全球城市,上海的发展取得了举世瞩目的成就,同时也面临着内外部扰动的风险影响,《上海市城市总体规划(2017—2035年)》(以下简称“上海2035”)已将“更可持续的韧性生态之城”列为上海三大发展目标之一。“上海2035”提出之前,就有学者从空间特征、韧性目标及实施策略等方面,探讨了上海韧性城市建设路径^[9-10],但与国内其他相关研究类似,上述研究重点关注面对扰动时城市系统功能的维持^[11-12]。然而,“人民城市”建设背景下,韧性城市建设应紧密围绕扰动过程中居民对基本服务需求的满足程度,韧性策略的实施应更加关注“降低扰动对居民日常生活的影响”^[13]。本文从扰动前后维持居民可获得公共服务的视角,系统阐释“以人为本”的韧性城市概念、特征、内涵及系统构成,围绕当前上海韧性城市规划的核心议题,构建了上海韧性城市规划的总体框架和指标体系,进而从总体规划、单元规划和详细规划3个不同层次,提出增强韧性水平的空间规划策略,以期为上海韧性城市的规划建设提供借鉴。

1 韧性城市概念内涵和系统构成

1.1 韧性城市的概念内涵

“韧性城市”是韧性概念运用于城市领域的产物,虽然学界至今未能就韧性

城市的概念达成共识,但大部分研究者^[2-3, 14-15]均认可城市韧性是城市应对扰动的能力。韧性对象(resilience to what)和韧性主体(resilience of what)是韧性研究中的两个重要方面^[16-17]。城市面临的扰动(即韧性对象)复杂多样,既包括地震、洪水、恐怖袭击等突发型扰动,也包括海平面上升、地面沉降、城市设施老化故障等慢变型扰动^[18]。不同地区的扰动类型、频率和强度存在较大差异,进一步增加了韧性对象的复杂性。因此,韧性城市摒弃了传统防灾理念下单一的“抵抗”思想,而是强调在合理确定设防标准的基础上,综合提升城市抵抗、吸收、恢复、适应和转化的能力^[2, 14, 19],从而更好地应对扰动的不确定性。

韧性城市现状研究通常以能源系统、医疗设施、交通网络、通信系统、经济系统等城市系统作为韧性主体,以扰动过程中城市系统提供的服务功能变化表征韧性水平^[6, 20-22]。但是,城市系统韧性并不等同于城市韧性。虽然,城市系统是为城市居民提供其所需公共服务的物质基础,但由于扰动会打破公共服务原有的供需关系^[23],只依据扰动过程中城市系统的“基本服务的供应水平”,难以体现扰动过程中城市居民的“可获得基本服务的水平”。因此,韧性城市的实现虽然离不开城市系统韧性的提升,但从“以人为本”的视角出发,更应将城市系统的终极服务对象——城市居民作为韧性主体,关注扰动过程中保障居民所需的基本公共服务,最大程度地维持居民健康有序的生活状态,即提升城市居民的“生活韧性”,从而真正减少扰动对居民生活的影响。

综上,笔者提出“以人为本”的韧性城市概念,即遭遇多种扰动并经历变化,能抵御、吸收扰动影响,在功能或状态改变时快速恢复、适应变化或转型发展,进而维持城市安全运行,保障居民有序生活状态的城市。除了具有抵抗、吸收、恢复、适应、转变等普遍韧性特征以外,“以人为本”的韧性城市还具有以下典型特征:①状态可感知。依托大数据、智能化、物联网和云计算等技术支持,通过选择部分真实扰动或模拟扰动进行综合演练,以增强个体或社会对各类扰动的感知能力,进而提高城市居

民对扰动的风险意识和应对水平。②知识能学习。利用关联社会网络的社会学习过程,强化居民与居民、居民与社团之间的信息交流,增加其针对特定扰动的风险知识共享,促进居民形成面对特定扰动的适应性行为模式。③状态有反馈。通过基于算法的深度学习和基于个体或群体的感知学习,及时将基本公共服务的供需状态变化反馈至决策层,形成动态反馈机制。④结构可调节。采用关联协同响应的局部调节方法,形成面对多种扰动的适应性管理策略,进而避免局部系统受扰动影响后引发更大范围系统的崩溃。

1.2 韧性城市的系统构成

马斯洛需求层次理论认为人的需求呈5级金字塔模式,由下至上依次是生理、安全、社交、尊重和自我实现^[24]。借鉴该理论,城市居民的需求被归纳为“基本生存(衣、食、住、行)、高级生存(安全、健康、交往)和自我实现(尊重、参与)”3个层级^[25];扰动过程中城市居民的核心需求,包括生存保障、生命健康、就业生计、社会交往、高效治理等5个层次(图1)。

生存保障和生命健康在任何时候都是居民最根本的需求,主要依托城市中的物理环境系统,包括生命线系统(水、食物供应、能源系统等)、重要建筑物(应急指挥中心、救灾物资仓库、消防设施、军事设施及学校等)、医疗服务系统(医院、社区卫生所等)、连接系统(道路交通系统、通信系统等)、污染处理系统(污水处理厂、废弃物处理厂等)、开放空间系统等(避难场所、公园空间等)。扰动过程中会出现3种情况:第1种情况,各类公共服务设施的正常运转受到影响甚至破坏,导致公共服务的供应水平降低;第2种情况,虽然公共服务设施仍可保持正常运转,但由于连接系统受到影响甚至破坏,导致居民难以获取正常的公共服务;第3种情况,随着居民对部分公共服务需求的激增,原本的供需平衡关系被打破,引发诸如疫情期间医疗资源“挤兑”、高温天气供电和供水负荷骤增等现象。因此,维持上述系统在多种扰动情形下的正常或应急运行,以保障居民稳定的,甚至短期增

加的公共服务需求，是韧性城市建设的重中之重。

就业生计、社会交往隶属城市社会系统的范畴。考虑到扰动过程可能会对城市经济造成直接或间接的破坏，进而影响居民的就业生计，因此需要通过优化产业结构，调整重要经济设施的空间布局，提升经济系统的韧性水平，避免出现因灾失业、居无定所甚至社会动荡的现象。社会交往是居民健康的基本心理需求，良好的社会交往可以形成有效应对扰动的社会网络。一方面，通过增强居民之间、居民与社团组织之间的信息交流，形成良好的社会学习过程，有助于构建面对扰动的适应性行为模式；另一方面，社会交往过程中，可以促进居民关注老人、儿童、低收入群体等脆弱人群，并在扰动过程中帮助其脱离困境^[26]。高效治理是组织城市主体有序应灾、快速恢复、成功转型的关键，主要依托治理系统建立各类风险管理和行政管理机制，具体包括应急指挥、物资调度、部门协同、多元主体参与等^[27]。

对于上述韧性城市系统，韧性城市规划重点关注与空间高度相关的物理环境系统，通过优化空间结构和设施布局，提升城市韧性。虽然，城市物理环境系统的韧性不等同于城市韧性，但却是提升城市韧性的重要抓手。结合不同类型物理环境系统的功能属性和空间特征，进一步将其分为两类（表1）。其中：I类系统是承载重要功能的设施、建筑物或空间系统，包含空间上呈现“点”状特征的设施/建筑系统（I-a类），以及空间上呈现“线”状或“面”状特征的开放空间系统（I-b类）；II类系统是承载各类物质/能量/信息和人员流动的工程系统，空间上呈现“线”状特征，包含空间属性较弱、承载物质/能量/信息流动的供水、供电、燃气和通信网络系统（II-a类），以及空间属性较强、承载物质和人员流动的交通网络系统（II-b类）。

1.3 韧性城市的建设框架

韧性城市规划，顾名思义是为了增强城市韧性而进行的城市规划，其内容包括：甄别城市风险因子、评估城市脆弱程度、编制面向不确定性扰动的规划

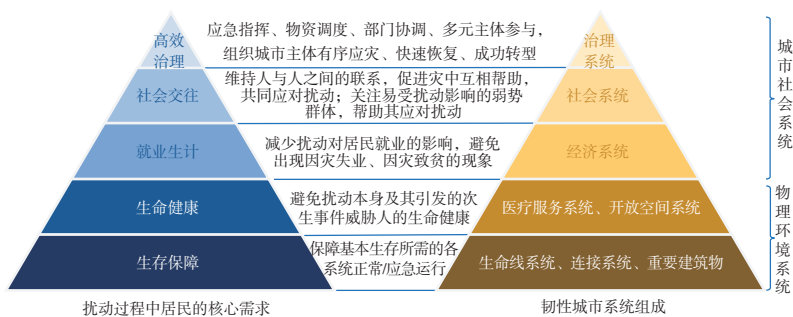


图1 扰动过程中居民需求与韧性城市系统的关系
Fig.1 Relationship between residents' demand and resilient urban system under the disaster scenario

表1 韧性城市的系统类型及空间特征

Tab.1 System types and spatial characteristics of resilient cities

| 系统类型 | | 定义 | 系统举例 | 空间特征 |
|-------|-------|-------------------|--|-----------|
| I类系统 | I-a类 | 承载重要功能的设施/建筑系统 | 水源地、水厂、能源站、通信站、居住建筑、避难场所、救灾物资仓库、大型交通建筑、医院、消防站、应急指挥中心、军事建筑等 | “点”状 |
| | I-b类 | 承载重要功能的开放空间系统 | 公园绿地、河湖水系 | “线”状或“面”状 |
| II类系统 | II-a类 | 承担物质/能量/信息流动的工程系统 | 供水、供电、燃气和通信网络系统 | “线”状 |
| | II-b类 | 承担物质和人员流动的空间系统 | 交通网络系统 | |

方案、制定提升韧性的城市管治策略等^[19]。引入韧性城市概念以前，我国城市灾害管理主要依托编制防灾减灾规划^[28]、建立应急管理体系^[29]和编制灾后重建规划^[30]，分别聚焦灾前预防、灾中应急和灾后恢复3个阶段，提出应对各类灾害和突发事件的策略和措施。然而，由于3个阶段措施相对独立，彼此间缺少相互关联，且以管理为主的应急响应体系缺少空间要素抓手，难以与其他两个阶段的措施形成联动，导致灾害管理缺乏整体的时空统筹与协调。

韧性城市规划建设强调全灾害周期的管理模式，通过整合灾前预防、灾中应急、灾后恢复3个阶段的空间响应措施，将传统的防灾减灾规划建设与韧性城市规划建设相融合，从韧性测度、问题诊断、目标制定、监测预警、联防联控等多个方面，构建韧性城市的建设框架。灾前预防阶段，在规划建设防灾避难设施的基础上，还需要通过优化空间结构、提升功能适应性等方式^[7, 10, 28]，降低灾害的风险水平，增强城市抵抗和吸收扰动的能力，保障灾中居民可获取基本的公共服务，进而维持日常生活的稳定性。灾中应急阶段，首先

规划建设应急救援设施、应急救援通道、应急避难空间和紧急疏散通道等应急避难系统，然后通过整合多源感知设备的监测预警信息，预测分析受灾空间的灾害强度和分布范围，并结合应急避难设施的前置性安排，采取不同等级的联防联控措施^[27]，从而缩短应急响应时间，减少灾害的损失。灾后恢复阶段，一方面强调灾后重建过程中“适应转变”，而不是简单的功能恢复，通过评估不同重建规划方案的灾害风险，寻求最具韧性的结构重组和功能重建方式，提升系统应对未来不确定扰动的能力^[31]；另一方面强调总结学习灾害应对过程的经验知识，并将其反馈至防灾减灾和应急响应等环节，作为其优化调整的重要依据（图2）。

2 上海韧性城市规划的关键议题

作为我国的经济、金融、贸易、航运和科技创新中心，上海建成区内人口、产业和重要设施的密度远高于其他城市^[9]，遭受外部灾害冲击或系统运行波动均易造成巨大的人员伤亡或经济损失，甚至会影响经济社会的稳定。因此，建

设韧性城市对上海的可持续发展具有极其重要的意义。结合上海的自然环境、建成环境和产业发展等特征，上海所面临的典型扰动主要包括：受全球气候变化影响而日益加剧的自然灾害，危化品产用过程中潜在的各类事故灾害，以及全球疫情爆发时的公共卫生事件。另外，作为一个超大规模的全球城市，上海市部分设施系统建设年限较长、建设标准较低，并长期处于高负荷运转的慢性压力之下，存在失效或故障等事故风险，也是影响城市日常安全运行的潜在隐患（表2）。上述4类扰动均可能对上海居民的正常生活造成影响，需要在韧性城市规划中予以回应。

2.1 三角洲城市气候变化下的自然灾害韧性

上海地处我国长江三角洲地区，受自然环境影响，历史上经常受到风、暴、潮、洪等自然灾害的侵扰。虽然上海已经建成由“千里海塘、千里江堤、区域除涝、城镇排水”四道防线组成的城市防汛工程体系，但随着全球气候变化的加剧和城市地下空间的开发，在海平面上升和地面沉降的双重作用下，上海防汛工程的防御能力被不断削弱^[32]。“麦莎”台风（风力大）、“利奇马”台风（短时超高雨强）和“99梅雨”（长时间持续降雨）的考验都说明，上海将长期面临风、暴、潮、洪等自然灾害的周期性影响，各类灾害极值叠加更会造成严重的灾害损失^[33]。此外，全球气候变化还导致了上海极端气温天数的增多，不仅年最高气温和极端高温天数不断增加^[34]，极端低温天气也时有发生，给上海市供水、供电等系统的正常运行带来了新的挑战，同时也威胁着城市居民的生命健康。

2.2 城市危化品产用过程中的事故灾害韧性

上海是我国重要的石油化工和精细化工产业基地，截至2019年全市范围内危化品企业数量高达1.7万家，具有点多面广的特点。此外，分布在全市范围内的844个加油（气）站点^①，以及散布在每家每户的燃气设施设备，也是城市潜在的事故灾害源。危化品化学性质特殊，

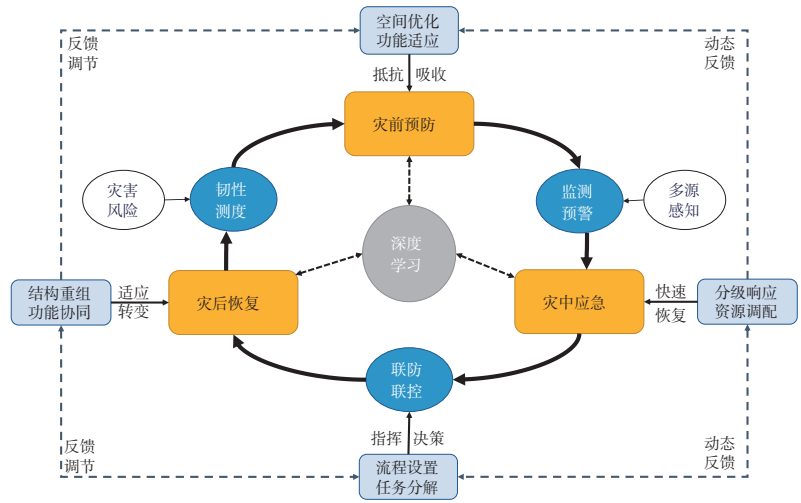


图2 整合防灾减灾的韧性城市建设框架

Fig.2 Framework for building resilient cities by integrating disaster prevention and mitigation

表2 上海主要扰动类型、特征及韧性议题

Tab.2 Main disturbance types, characteristics and resilience issues in Shanghai

| 韧性议题 | 扰动因素 | | 扰动特点 | 对居民生活的影响 | 重点响应领域 |
|--------------------|--------------|------------------------------------|------|---|--|
| | 类型 | 地方特征 | | | |
| 三角洲城市气候变化下的自然灾害韧性 | 海平面上升 | 与海岸城市地面沉降问题耦合 | 慢变 | 部分沿海区域不再适宜居住或生产 | 沿海区域土地利用方式 |
| | 风、暴、潮、洪 | 多重灾害叠加 | 突发 | ①造成人员伤亡；②破坏建成环境，造成财产损失，降低居民可获取公共服务的水平 | 城市防汛系统、灾害高风险区内的各类城市系统 |
| | 极端气温 | 面临极端高温或极端低温 | 突发 | ①气候相关疾病患病率增加；②供水、供电等系统故障影响居民生活质量 | 供水系统、能源系统、医疗卫生系统 |
| 城市危化品产用过程中的事故灾害韧性 | 危化品泄漏、爆炸 | 危化品企业分布点多、面广、量大；人口资产密集、交通网络和城市环境复杂 | 突发 | ①破坏建成环境；②污染自然环境（空气、水、土壤等）；③造成人员中毒、伤亡、饮用水中断等 | 危化品企业布局及其周边功能、危化品运输线路、危化品集中区域消防设施 |
| 高密度城市重大公共卫生事件的防疫韧性 | 传染病 | 人口密集、流动频繁，传染病扩散风险高；人口老龄化，易感人群比例高 | 突发 | ①影响居民生命健康；②影响社会交往活动 | 医疗卫生系统、物流运输系统、物资储备系统 |
| 超大型城市基础设施日常运行的系统韧性 | 各类城市系统设施安全事故 | 部分设施老化，脆弱性高；系统复杂且高度关联，易产生级联灾害 | 慢变 | 基础设施故障导致居民获取基本公共服务水平降低 | 城市基础设施系统（如供水、燃气、电力、交通、通信、互联网、雨污水系统等）、建构物及相关设施（如大型公共建筑的电梯等） |

一旦处置不当，就可能会引发爆炸、火灾等事故，造成人员伤亡和财产损失；抑或发生有害物质泄漏逸散，污染大气、水、土壤等环境介质，引发人员中毒或饮用水中断等。虽然上海危化品管理水平位居全国前列，但与危化品相关事故仍时有发生，2015年至2020年上海共发生危化品事故217起，其中爆炸、火灾、泄漏是3类主要的事故类型，涉及生产、运输和仓储等环节^[35]。随着城市建成环境的拓展，危化品生产、仓储和

运输空间，已经逐渐与城市中的其他空间复合在一起，成为城市的安全隐患。上海人口密集、交通网络和城市环境复杂等特点，也将进一步加剧危化品事故的影响后果。

2.3 高密度城市重大公共卫生事件的防疫韧性

新冠疫情的全球流行让我们意识到，全球化背景下任何一场局部的公共卫生事件，都有可能随着人员或物资的流动

快速扩散至全球。疫情防控不仅需要依靠城市医疗系统的支撑，更需要高效物流系统、物资储备系统、城市治理能力等的全方位配合^[36]。鉴于上海所处的内外部环境特征，其防疫工作在“外防输入”和“内防扩散”方面都面临着极大的挑战。一方面，上海是我国对外交流的重要窗口，且因人口老龄化具有易感人群比例高的特点，因而比其他城市更容易受到重大公共卫生事件的影响。另一方面，上海作为重要的全球城市和中国的大门城市，呈现出人口密集、居住集中以及各类要素流动频繁的特征^[37]，将会大大提高疫情的扩散风险。

2.4 超大型城市基础设施日常运行的系统韧性

作为典型的超大型城市，人口高度集聚带来生产效率提升的同时，也使得

上海中心城区的各类设施系统长期处于高负荷运行状态，加之部分设施建设年代久远、建造标准偏低，存在较高的安全事故风险。现代城市的致灾因素具有高度不确定性，加之承灾主体复杂多样，使得各类事故灾害呈现出连锁性、突变性与传递性的特征^[38]。超大型城市中各类设施系统的关联更加密切，发生安全事故极易产生级联效应，引发次生和衍生灾害，导致受灾范围远超事故发生区域，间接损失甚至远超直接损失。目前，上海市区内各类基础设施已形成复杂的网络结构，如果管理不善，局部的安全事故极易随网络传导，造成更大范围的影响。由于城市不同系统间的相互联系，单一系统的安全事故还将产生级联效应，可能间接引发关联系统的崩溃。例如，供电系统和互联网的故障，可能导致供水系统和通信系统无法正常运行。

3 上海韧性城市规划的总体框架与指标体系

3.1 上海市韧性城市的规划总体框架

紧密围绕上海韧性城市规划建设的核心议题，从满足生存保障、生命健康、就业生计、社会交往和高效治理等居民需求出发，合理确定韧性城市规划建设的目标愿景。建立建成环境、自然环境、经济系统、社会治理等城市系统与生存保障、生命健康、社会交往、就业生计等居民需求的关联框架，构建城市系统在“都市区（区域）—中心城区（城区）—重点片区（社区）”3个空间尺度下的要素组构方式与连接关系，增强城市系统跨尺度层级关联，以及多系统结构与功能协同的韧性效应，提出韧性规划措施和实施路径，进而形成上海韧性城市规划应对的总体框架（图3）。

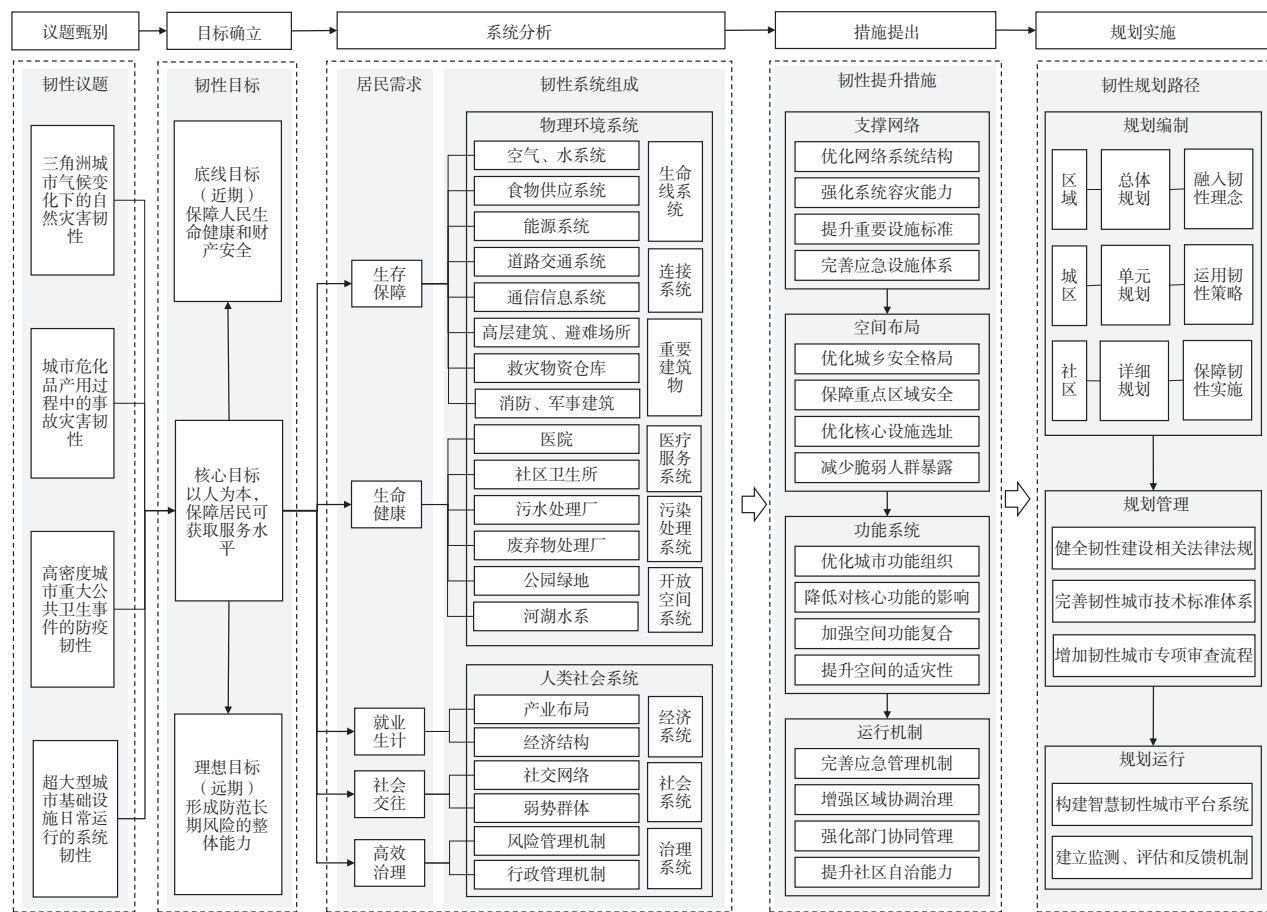


图3 上海韧性城市规划总体框架

Fig.3 General framework for resilient city planning in Shanghai

3.1.1 韧性规划目标

上海韧性城市规划应以维持居民正常生活为核心目标,减少各类扰动对居民日常生活的影响,保障居民可获取公共服务的正常水平。结合《国务院关于上海市城市总体规划的批复》中的相关规划要求³⁸,近期上海韧性城市建设应关注保障人民生命健康和财产安全的“底线目标”,重点关注灾害过程中城市基础设施的服务供应能力。从长远来看,为了实现建设卓越的全球城市和具有世界影响力的现代化国际大都市的目标,上海需要将韧性能力提升与城市可持续发展目标结合起来³⁹,关注高频小灾时维持居民的日常生活,低频大灾时保障居民的应急需求,通过优化调整城市空间结构和功能组织,以及进一步完善应对灾害的精细化治理机制,不断提升城市防范风险的整体能力。

3.1.2 韧性提升措施

基于上述韧性城市规划目标,上海应从支撑网络、空间布局、功能系统和运行机制等4个维度着手提升韧性能力。支撑网络是指维持城市安全运行的基础设施网络,包括道路交通、市政公用设施、生态基础设施、防灾避难设施等,可通过优化系统网络结构、强化系统容灾能力、提升重要设施设计标准和完善应急设施体系等途径,增强城市抵御扰动冲击、维持安全运行的能力。空间布局是指城市中各类空间的分布形态和组织形式,需要采用优化城乡空间格局、保障重点区域安全、优化核心设施选址、减少脆弱人群暴露等措施^{4,7},通过空间途径降低扰动对城市要素流动的影响。功能系统是指结合灾害风险区划组织城市核心功能,通过优化城市功能组织,降低各类扰动对城市核心功能的影响,加强功能的多样性和系统的灵活性,进而减少扰动对居民正常生活的影响。运行机制是指治理能力建设,可通过完善应急管理机制、增强区域协调治理、强化部门协同管理、提升社区自治能力等举措^{37,40},保障城市居民平稳度过灾中应急阶段,通过社会学习过程不断提升韧性治理水平。

3.1.3 韧性规划实施

韧性规划实施过程包括规划编制、规划管理和规划运行等3个部分。规划

编制方面,结合区域、城区、社区3个尺度的规划重点内容,将韧性城市措施融入“总体规划、单元规划、详细规划”3个层级的上海国土空间规划体系中,并明确不同层级的韧性城市规划内容的传导机制。规划管理方面,通过完善相关法律法规中的韧性规划要求,建立韧性城市规划建设和评估等相关技术标准,并结合上海现有的规划编制审批流程,增加韧性城市专项审查,确保韧性指标的空间落实⁴¹。规划运行方面,可以结合上海“一张图”信息平台建设,构建具有“多源感知—深度学习—动态反馈—适应性调节”能力的智慧韧性城市平台系统,并通过建立“监测—评估—反馈”的动态调试机制,结合韧性城市规划实施中反映出的问题,对相关规划内容进行优化调整⁴²。

3.2 上海市韧性城市的规划指标体系

《上海市城市总体规划(2017—2035年)》已经明确了建设“更可持续的韧性生态之城”的发展目标,并提出了9个核心考核指标。但多数指标为“人均指标”“千人指标”等能力建设指标,对上海韧性城市建设更偏向于战略引导,难以体现扰动过程中维持居民可获取的公共服务水平,更无法体现不同人群获得公共服务的公平性⁴³。参考国际韧性城市指标、国土空间规划城市体检评估规程(试行)和国内防灾减灾规划标准和指南等,结合上海典型扰动类型及其对居民安全健康的影响特征,提取并补充能够体现韧性基本特征的相关指标,构建上海韧性城市规划指标体系(表3)。规划指标的管控范围涵盖区域、城区、社区3个尺度,包括总体规划、单元规划和详细规划3个管控层级。虽然韧性城市的系统构成既包含物质空间系统,也包括经济和社会系统,但由于城市规划主要通过作用于空间要素来影响城市发展,笔者构建的指标体系重点考虑空间类指标,以期为规划编制和实施提供参考。

4 上海韧性城市的国土空间规划策略

结合上海国土空间规划体系中各层级的主要规划编制内容,考虑对四大关

键议题的充分响应,上海韧性城市的国土空间规划应对策略(图4)包括:总体规划层面,通过优化生态空间、农业空间和城镇空间的整体格局,降低气候变化引起的各类自然灾害风险,减少危化品产用过程中泄漏或爆炸等事故灾害对城市居民安全的影响;单元规划层面,提出适应灾害的城市空间布局和功能组织模式,优化公共服务设施、市政基础设施、防灾避难设施和安全开放空间的总体布局;详细规划层面,侧重于深化与居民基本公共服务需求相关的各类建筑、设施的平灾结合规划设计,提高应对各类扰动的适应能力。

4.1 总体规划层面

总体规划强调对全域开发保护工作的战略统领作用,规划内容包括市域层面的空间格局优化、底线约束强化、空间结构优化和生态空间修复等。上海总体规划层次的规划编制中应重点响应“气候变化下的自然灾害韧性”和“危化品产用中的事故灾害韧性”两大韧性议题,从市域总体格局层面提升对上述两类灾害的应对能力。具体策略包括:①结合灾害风险评估结果,以防灾、避灾和减灾为目标,合理规划生产、生活和生态空间。一方面,合理引导增量建设用地,降低建设要素的洪涝风险暴露水平,并充分利用生态和农业空间的洪涝调节功能,减少洪涝强度和灾害损失;另一方面,要进一步优化市域范围内的危化品企业布局和运输线路安排,减少附近城市居民和其他生产生活空间的风险暴露水平。②识别市域范围内重要的自然容灾空间,确定合理的保护范围,并通过生态修复不断改善生态系统的灾害调节功能,进而利用其吸收和减缓各类自然灾害对城市建成环境的影响⁴⁴。③完善市级层面的应急救援和物资保障体系建设。结合灾害情景预测,优化城市医疗急救设施、应急取水口、应急能源站点、应急物资储备仓库和运输通道等的空间布局,确保突发事件下医疗救治服务的稳定获取和各类应急物资的安全供应。

4.2 单元规划层面

单元规划是上海提出的一种介于总

表3 上海韧性城市规划指标体系
Tab.3 Index system for resilient urban planning in Shanghai

| 城市系统 | 指标 | 体现的韧性特征 | | | | | 管控尺度 | 管控层级 | 指标来源 |
|--------|---|---------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|--|
| | | 抵抗力 | 吸收力 | 恢复力 | 适应力 | 转化力 | | | |
| 生命线系统 | 水源地、能源设施的模块化布置及连通程度 | | √ | | | | 区域/城区 | 总体/单元 | 参考《可持续发展城市和社区-韧性城市指标体系》ISO 37123: 2019拟定 |
| | 饮用水、能源和食物的应急储备率和覆盖人口比例 | | | | √ | | 区域/城区/社区 | 总体/单元/详细 | 参考《可持续发展城市和社区-韧性城市指标体系》ISO 37123: 2019、《防灾避难场所设计规范》GB 51143—2015、《城市综合防灾规划标准》GB 51327—2018拟定 |
| | 重要生命线工程设施 ^a 设防标准 | √ | | | | | 城区 | 单元 | 参考《城镇防灾减灾指南》DB31/T 906—2021拟定 |
| 重要建筑物 | 菜市场(生鲜超市)灾中可步行10 min覆盖度 | | | √ | √ | | 城区 | 单元 | 引自《国土空间规划城市体检评估规程(试行)》 |
| | 位于灾害危险区的重要建筑物 ^b 比例 | | | | √ | | 城区 | 单元 | 参考《城市综合防灾规划标准》GB 51327—2018拟定 |
| | 重要建筑物设防标准 | √ | | | | | 城区/社区 | 单元/详细 | 参考《城镇防灾减灾指南》DB31/T 906—2021拟定 |
| | 超高层建筑数量 | | | | √ | | 社区 | 详细 | 引自《国土空间规划城市体检评估规程(试行)》 |
| | 是否有灾中应急指挥固定场所 | | | √ | √ | | 区域/城区 | 总体/单元 | 参考《气象防灾减灾示范县(市、区)建设与评价规范》DB32/T 2746—2015拟定 |
| | 应急避难场所人均避难面积 | | | √ | √ | | 区域/城区/社区 | 总体/单元/详细 | 引自《上海市国土空间总体规划(2017—2035)》 |
| | 消防救援5 min可达覆盖率 | | | √ | | | 区域/城区 | 总体/单元 | 引自《国土空间规划城市体检评估规程(试行)》 |
| | 位于灾害危险区的重要交通设施 ^c 和重要通信基础设施 ^d 比例 | | | | √ | | 区域/城区 | 总体/单元 | 自拟 |
| 连接系统 | 重要交通设施和重要通信设施的设防标准 | √ | | | | | 区域 | 总体 | 参考《城镇防灾减灾指南》DB31/T 906—2021拟定 |
| | 重要公共服务设施 ^e 的灾中可达性 | | | √ | √ | | 社区 | 详细 | 自拟 |
| | 人均应急疏散道路长度 | | | √ | √ | | 城区 | 单元 | 自拟 |
| 医疗服务系统 | 每十万人预留应急医疗设施用地面积 | | | √ | √ | √ | 区域/城区 | 总体/单元 | 自拟 |
| | 社区医疗卫生服务设施步行15 min覆盖率 | | | √ | √ | | 区域/城区 | 总体/单元 | 引自《国土空间规划城市体检评估规程(试行)》 |
| | 院前急救反应时间 ^f | | | √ | | | 区域/城区 | 总体/单元 | 自拟 |
| 污染处理系统 | 污水、废弃物处理厂站的模块化布置程度 | | | | √ | | 区域 | 总体 | 《可持续发展城市和社区-韧性城市指标体系》(ISO 37123: 2019) |
| | 排水系统覆盖率和雨污分流比例 | √ | √ | | | | 区域/城区 | 总体/单元 | 自拟 |
| 开放空间系统 | 河湖水面率 | | √ | | √ | | 区域/城区 | 总体/单元 | 引自《国土空间规划城市体检评估规程(试行)》 |
| | 生态空间面积占比 | | √ | | √ | | 区域/城区 | 总体/单元 | 自拟 |
| | 满足防灾避险要求的城市绿地比例 | | | √ | √ | | 城区/社区 | 单元/详细 | 参考《城市绿地防灾避险设计导则》拟定 |
| | 降雨就地消纳率 | | √ | | | | 社区 | 详细 | 引自《国土空间规划城市体检评估规程(试行)》 |
| 其他 | 规划留白用地比例 | | | | √ | √ | 区域 | 总体 | 自拟 |
| | 土地利用方式与扰动特征的相容性 | | √ | | √ | √ | 区域/城区 | 总体/单元 | 参考《城市防洪规划规范》GB 51079—2016拟定 |
| | 绘制风险地图的社区比例 | | | √ | √ | √ | 区域/城区 | 总体/单元 | 参考《城镇防灾减灾指南》DB31/T 906—2021拟定 |

备注: a.重要生命线工程设施:包括水厂及主干管网、电厂及电力输送网、燃气站及燃气管网。
b.重要建筑物:医院、学校、应急指挥中心、消防设施、军事建筑等。
c.重要交通设施:包括机场、火车站、交通干线、大跨度桥梁等。
d.重要通信设施:大型数据中心、通信基站等。
e.重要公共服务设施:应急避难场所、医院/医疗卫生站、菜场/超市等。
f.院前急救反应时间:从医疗急救呼救开始,到急救单元抵达现场并开展抢救所需的时间。

体规划和详细规划之间的规划层次,侧重于突出对公共利益和公共资源的保障^[41]。结合韧性城市思想,单元规划在安排市政设施、公厕设施、避难设施和开放空间等的布局和功能时,应兼顾正常和受灾情形下的系统功能状态和居民服务需求,提高灾害过程中居民的基本公共服务可获取水平,具体策略包括:①提升关键设施的抵抗、吸收灾害扰动的能力,对于呈现“点”状空间特征的各类重要设施建筑(如医院、高层建筑、大型交通建筑、消防站等),采取适当提升其防灾标准或建设防护设施进行保护^[45]。对于呈现“网络”状空间特征的供水、供电、交通、通信等系统,一方面要对主干线路采取保护措施,另一方面则要通过优化网络结构、增加冗余度来提升韧性水平^[46]。②结合脆弱人群的分布特征,完善医疗服务系统建设,优化各级设施的选址和规模,提高社区级医疗服务设施的覆盖率,并加强其应急服务水平建设。③充分利用城市公园绿地和广场等各类公共开放空间,配置布局均衡、数量合理的应急避难空间,并以此为节点,以救援疏散线路为骨架,建立完善的城市应急防灾空间体系。④通过优化河网生态廊道以及城市公园绿地系统,增强蓝绿空间的防灾御灾能力。加强对单元内重要生态空间的保护,通过优化绿地和绿道系统,在城市生产、生活空间中形成生态分隔,减少火灾的蔓延。

4.3 详细规划层面

详细规划的重点是对各地块的开发利用模式和各类基础设施的建设实施做出指引,主要体现在控制和引导土地利用、公厕及市政设施配置、建筑建造和设计、居民行为活动等方面^[43]。详细规划阶段除了落实上位规划的相关韧性策略外,还要通过引导场地和建筑的设计方式,提高对内涝、洪水、疫情等灾害的适应能力,具体策略包括:①结合15分钟生活圈建设,完善社区单元内的基本公共服务网络和应急设施体系,配置必要的医疗服务设施、应急设施(应急通信设备、抢险救援工具等)以及储备物资(食物、饮用水、急救医疗物资等),形成功能独立的抗灾应急单元^[40]。②合理设计社区单元与外部空间连接的

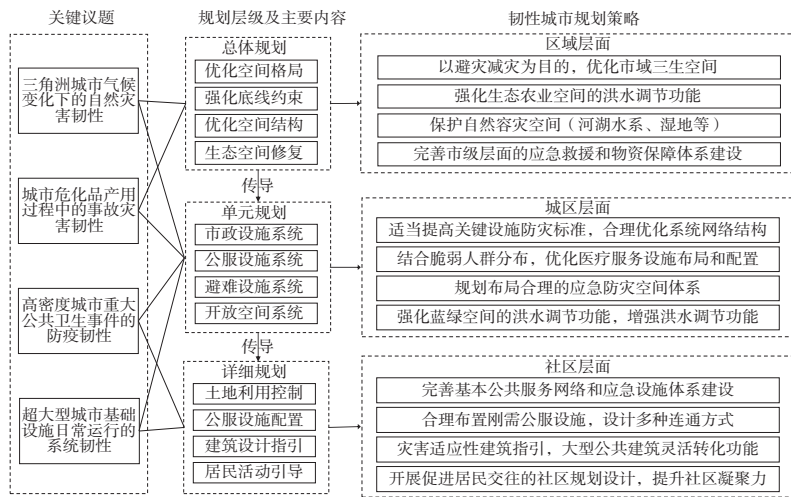


图4 上海韧性城市的国土空间规划应对策略

Fig.4 Territorial spatial planning strategies for building a resilient city of Shanghai

安全疏散出口和应急救援通道，确保灾害发生后受灾人员能有序疏散，外部物资能顺利进入。③合理确定规划范围内的医疗卫生站、食物储存点（如便利店、菜场、超市）等涉及居民“刚性”需求的空间位置，并考虑适当增加平灾结合的立体交通连接方式，提高洪水等灾害发生时的可达性。④提出灾害适应性的建筑设计指引。例如，对部分适宜作为临时医疗建筑的大型公共建筑，提出供电和给排水系统的韧性设计指引，确保其在发生重大突发性公共卫生事件发生时，能方便地转化为临时医疗建筑^[47]。⑤重视规划设计对社区凝聚力塑造的作用，通过设计紧凑、适宜步行的社区空间，改善社区公共交往场所的环境品质，促进社区内居民的日常交往和灾中的互帮互助，提高社会韧性。

5 结语

韧性城市是为了应对内外部扰动不确定性而提出的新型城市发展理念。韧性城市建设应从“以人为本”的视角出发，在整合传统防灾减灾规划、应急管理体系和灾后重建规划的基础上，充分利用大数据、智能化、物联网、云计算等新技术，做到状态可感知、知识能学习、状态有反馈、结构可调节，更好地抵抗、吸收扰动的影响，并在功能或状态改变时快速恢复、适应变化或转型发展，

进而保障城市居民的安全和健康，维护扰动过程中居民有序的正常生活状态。

上海位于我国东南沿海长江三角洲地区，作为重要的全球城市和国内典型的超大规模城市，面临“气候变化下的自然灾害韧性”“危化品产用中的事故灾害韧性”“重大公共卫生事件的防疫韧性”“基础设施日常运行的系统韧性”四大核心议题。上海韧性城市建设要围绕“以人为本，保障居民可获取的基本公共服务水平”的核心目标，从支撑网络、空间布局、功能系统和运行机制等4个维度，综合提升物理环境系统和城市社会系统的韧性水平，从而保障扰动过程中城市居民的“生存保障、生命健康、就业生计、社会交往和高效治理”五大核心需求。

规划实施层面，将韧性理念融入上海国土空间规划体系，结合不同层级的规划编制内容，确保韧性规划内容的分级传导和落地实施。结合上海面临的主要扰动类型及其对城市系统的影响特征，通过总体规划优化市域整体的空间安全格局，依托单元规划强化单元内各类基础设施的抗灾和适灾能力，借助详细规划将社区建设为功能完善的抗灾应急单元，逐步提升上海防范长期风险的整体能力。

注：文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

注释

- ① 根据《上海市加油站布局专项规划（2021—2035年）》（公示稿），截至2020年底，上海市域范围内共有844个加油（气）站（不含水上加油（气）站、纯加气站）。
- ② 《国务院关于上海市城市总体规划的批复》（国函〔2017〕147号）指出“高度重视城市公共安全，加强城市安全风险防控，增强抵御灾害事故、处置突发事件、危机管理能力，提高城市韧性，让人民群众生活得更安全、更放心”。

参考文献 (References)

- [1] GUNDERSON L H, HOLLING C S. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems[M]. Washington D. C.: Island Press, 2002.
- [2] MEEROW S, NEWELL J P, STULTS M. Defining urban resilience: a review[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 147: 38-49.
- [3] 邵亦文, 徐江. 城市韧性: 基于国际文献综述的概念解析[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 48-54. (SHAO Yiwu, XU Jiang. Understanding urban resilience: a conceptual analysis based on integrated international literature review[J]. Urban Planning International, 2015, 30(2): 48-54.)
- [4] MUNOZ-ERICKSON T A, MEEROW S, HOBBS R, et al. Beyond bouncing back? comparing and contesting urban resilience frames in US and Latin American contexts[J]. Landscape and Urban Planning, 2021, 214: 104173.
- [5] AHERN J. From fail-safe to safe-to-fail: sustainability and resilience in the new urban world[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 100(4): 341-343.
- [6] LU P, STEAD D. Understanding the notion of resilience in spatial planning: a case study of Rotterdam, the Netherlands[J]. Cities, 2013, 35: 200-212.
- [7] 鲁钰雯, 翟国方, 施益军, 等. 荷兰空间规划中的韧性理念及其启示[J]. 国际城市规划, 2020, 35(1): 102-110. (LU Yuwen, ZHAI Guofang, SHI Yijun, et al. Resilience within spatial planning in the Netherlands and its implications[J]. Urban Planning International, 2020, 35(1): 102-110.)
- [8] 戴伟, 孙一民, 韩·迈尔, 等. 气候变化下的三角洲城市韧性规划研究[J]. 城市规划, 2017, 41(12): 26-34. (DAI Wei, SUN Yimin, MEYER H, et al. Resilient planning of delta cities under climate change[J]. City Planning Review, 2017, 41(12): 26-

- 34.)
- [9] 石婷婷. 从综合防灾到韧性城市: 新常态下上海城市安全的战略构想[J]. 上海城市规划, 2016(1): 13-18. (SHI Tingting. From comprehensive defense to resilient cities: strategic conception of Shanghai's city security in the new normal[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016(1): 13-18.)
- [10] 钱少华, 徐国强, 沈阳, 等. 关于上海建设韧性城市的路径探索[J]. 城市规划学刊, 2017(S1): 109-118. (QIAN Shaohua, XU Guoqiang, SHEN Yang, et al. An exploration about the path toward a resilient city for Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2017(S1): 109-118.)
- [11] 俞孔坚, 许涛, 李迪华, 等. 城市水系统弹性研究进展[J]. 城市规划学刊, 2015(1): 75-83. (YU Kongjian, XU Tao, LI Dihua, et al. A review: urban water resilience[J]. Urban Planning Forum, 2015(1): 75-83.)
- [12] 陈世栋, 袁奇峰. 都市生态图层结构及韧性演进: 理论框架与广州实证[J]. 规划师, 2017, 33(8): 25-30. (CHEN Shidong, YUAN Qifeng. Urban ecosystem structure and its resilience evolution: theoretical framework and empirical analysis of Guangzhou[J]. Planners, 2017, 33(8): 25-30.)
- [13] 梁鹤年. 一个以人为本的规划范式[J]. 城市规划, 2019, 43(9): 13-14. (LIANG Henian. A human-centered planning paradigm[J]. City Planning Review, 2019, 43(9): 13-14.)
- [14] ALBERTI M. Urban form and ecosystem dynamics: empirical evidence and practical implications[M] // WILLIAMS E, BURTON M. Achieving sustainable urban form. London: E & FN Spon, 2000.
- [15] 李彤玥, 牛品一, 顾朝林. 弹性城市研究框架综述[J]. 城市规划学刊, 2014(5): 23-31. (LI Tongyue, NIU Pinyi, GU Chaolin. A review on research frameworks of resilient cities[J]. Urban Planning Forum, 2014(5): 23-31.)
- [16] CARPENTER S, WALKER B, ANDERIES J M, et al. From metaphor to measurement: resilience of what to what[J]. Ecosystems, 2001, 4(8): 765-781.
- [17] 杨敏行, 黄波, 崔琳, 等. 基于韧性城市理论的灾害防治研究回顾与展望[J]. 城市规划学刊, 2016(1): 48-55. (YANG Minxing, HUANG Bo, CUI Ling, et al. Review and prospect: urban disaster resilience[J]. Urban Planning Forum, 2016(1): 48-55.)
- [18] GOMES R P J, PENA J G L A. Urban resilience: a conceptual framework[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 50: 101625.
- [19] 陈利, 朱喜钢, 孙洁. 韧性城市的基本理念、作用机制及规划愿景[J]. 现代城市研究, 2017, (9): 18-24. (CHEN Li, ZHU Xigang, SUN Jie. The basic concept, mechanism and planning ideas of resilient cities[J]. Modern Urban Research, 2017(9): 18-24.)
- [20] MCDANIELS T, CHANG S, COLE D, et al. Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: characterizing decision contexts for mitigation and adaptation[J]. Global Environmental Change, 2008, 18(2): 310-318.
- [21] JHA A K, MINER T W, STANTON-GEDDES Z. Building urban resilience: principles, tools, and practice[M]. World Bank Publications, 2013.
- [22] SIMMIE J, MARTIN R. The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach[J]. Cambridge Journal of Regions Economy and Society, 2010, 3(1): 27-43.
- [23] ALABBAD Y, MOUNT J, CAMPBELL A M, et al. Assessment of transportation system disruption and accessibility to critical amenities during flooding: Iowa case study[J]. Science of the Total Environment, 2021, 793: 148476.
- [24] MASLOW A H. A theory of human motivation[J]. Psychological Review, 1943, 50: 370-396.
- [25] 周素红, 陈菲, 戴颖宜. 面向内涵式发展的品质空间规划体系构建[J]. 城市规划, 2019, 43(10): 13-21. (ZHOU Suhong, CHEN Fei, DAI Yingyi. Study on the construction of high quality spatial planning system from the perspective of connotative development[J]. City Planning Review, 2019, 43(10): 13-21.)
- [26] HINO M, NANCE E. Five ways to ensure flood-risk research helps the most vulnerable[J]. Nature, 2021, 595: 27-29.
- [27] 周利敏, 谭妙萍. 中国灾害治理: 组织、制度与过程研究综述[J]. 理论探讨, 2021(6): 138-146. (ZHOU Limin, TAN Miaoping. Disaster governance in China: a summary of research on organization, system and process[J]. Theoretical Investigation, 2021(6): 138-146.)
- [28] 赫磊, 解子昂. 走向韧性: 城市综合防灾规划研究综述与展望[J]. 城乡规划, 2021(3): 43-54. (HE Lei, XIE Zi'ang. Towards resilience: review and prospects of urban integrated disaster prevention planning[J]. Urban and Rural Planning, 2021(3): 43-54.)
- [29] 张念强, 李娜, 王艳艳, 等. 我国城市洪涝灾害应急管理框架探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(7): 5-9. (ZHANG Nianqiang, LI Na, WANG Yanyan, et al. Discussion on the framework of urban flood hazard emergency management in China[J]. China Flood & Drought Management, 2020, 30(7): 5-9.)
- [30] 郝皎如, 王江波. 寻找灾后重建规划“自上而下”政府推进与“自下而上”民众共识的平衡点: 日本的启示[J/OL]. 国际城市规划, 2021: 1-15. [2022-04-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5583.TU.20210512.1610.004.html>. (XI Jiaoru, WANG Jiangbo. Strike a balance point between “top-down” governmental enforcement and “bottom-up” community consensus in post-disaster reconstruction planning: inspirations from cases in Japan[J/OL]. Urban Planning International, 2021: 1-15. [2022-04-30].)
- [31] 颜文涛. 生态城市实践指引[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021. (YAN Wentao. A practical guide to eco-city[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.)
- [32] 王寒梅, 焦珣. 海平面上升影响下的上海地面沉降防治策略[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(4): 256-262. (WANG Hanmei, JIAO Xun. Control strategy of land subsidence in Shanghai under sea-level rise[J]. Climate Change Research, 2015, 11(4): 256-262.)
- [33] 孙建平, 胡芳亮. 基于极端气候条件下的上海市重大自然灾害叠加风险防控研究[J]//《城市规划学刊》编辑部. “应对气候变化的城市韧性与空间规划”学术笔谈. 城市规划学刊, 2021(5): 4-5. (SUN Jianping, HU Fangliang. Research on prevention and control of superimposed risk of major natural disasters in Shanghai based on extreme climate conditions[J] // Editorial Department of Urban Planning Forum. Symposium on “urban resilience and spatial planning in response to climate change”. Urban Planning Forum, 2021(5): 4-5.)
- [34] 姜荣, 陈亮, 象伟宁. 上海市极端高温天气变化特征[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(1): 66-74. (JIANG Rong, CHEN Liang, XIANG Weining. Characteristics of extreme high temperature weather in Shanghai[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2016, 32(1): 66-74.)
- [35] 王金玮, 顾闻, 胡训军. 2015—2020年上海市危险化学品事故分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2021, 39(5): 539-543. (WANG Jinwei, GU Wen, HU Xunjun. Analysis of hazardous chemical accidents in Shanghai during 2015 to 2020[J]. Occupational Health and Emergency Rescue, 2021, 39(5): 539-543.)
- [36] 许丽君, 朱京海, 刘东方. 我国医疗资源供给模式及策略研究: 以重大突发公共卫生

- 事件为背景[J]. 城市规划, 2020, 44(11): 15-22. (XU Lijun, ZHU Jinghai, LIU Dongfang. Research on modes and strategies for the supply of medical resources in China based on major public health emergencies[J]. City Planning Review, 2020, 44(11): 15-22.)
- [37] 张帆, 胡亮. 构建更为韧性的医疗卫生防疫体系策略研究: 以北京医疗卫生服务设施为例[J]. 城市规划, 2020, 44(11): 9-14. (ZHANG Fan, HU Liang. Research on resilience improvement strategies for medical care and epidemic prevention: a case study on medical facilities in Beijing[J]. City Planning Review, 2020, 44(11): 9-14.)
- [38] 程晓陶. 郑州暴雨引发沉重思考: 如何更好应对城市型水灾害?[EB/OL]. 2021-07-25. http://www.360doc.com/content/21/0725/11/10134696_988105852.shtml. (CHENG Xiaotao. Heavy thinking triggered by Zhengzhou rainstorm: how to better deal with urban water disasters? [EB/OL]. 2021-07-25.)
- [39] 许焯, 文天祚, 刘思瑶. 国内城市与区域语境下的韧性研究述评[J]. 城市规划, 2020, 44(4): 106-120. (XU Chan, WEN Tianzuo, LIU Siyao. Review on urban and regional resilience research in China[J]. City Planning Review, 2020, 44(4): 106-120.)
- [40] 赵宝静, 奚文沁, 吴秋晴, 等. 塑造韧性社区共同体: 生活圈的规划思考与策略[J]. 上海城市规划, 2020(2): 14-19. (ZHAO Baojing, XI Wenqing, WU Qiuqing, et al. Shaping a resilient community: planning methods for the community life circle[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(2): 14-19.)
- [41] 徐毅松, 熊健, 范宇, 等. 关于上海建立国土空间规划体系并监督实施的实践和思考[J]. 城市规划学刊, 2020(3): 57-64. (XU Yisong, XIONG Jian, Fan Yu, et al. Practice and thoughts on the establishment of the territory development planning system and supervision of the implementation in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2020(3): 57-64.)
- [42] 甄峰, 张姗姗, 秦萧, 等. 从信息化赋能到综合赋能: 智慧国土空间规划思路探索[J]. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2060-2072. (ZHEN Feng, ZHANG Shanqi, QIN Xiao, et al. From informational empowerment to comprehensive empowerment: exploring the ideas of smart territorial spatial planning[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(10): 2060-2072.)
- [43] 黄颖, 许旺土, 黄凯迪. 面向国土空间应急安全保障的控制性详细规划指标体系构建: 以应对突发公共卫生事件为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(9): 2405-2423. (HUANG Ying, XU Wangtu, HUANG Kaidi. Construction of index system of regulatory detailed planning for emergency security of territorial space: to deal with public health emergencies as an example[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(9): 2405-2423.)
- [44] 颜文涛, 黄欣, 王云才. 绿色基础设施的洪水调节服务供需测度研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39(4): 1165-1177. (YAN Wentao, HUANG Xin, WANG Yuncai. Measurements of the supply and demand for the flood regulation ecosystem services of green infrastructure: a review[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): 1165-1177.)
- [45] STEWART, MARK G. Risk and economic viability of housing climate adaptation strategies for wind hazards in southeast Australia[J]. Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change, 2015, 20(4): 1-22.
- [46] 颜文涛, 卢江林, 李子豪, 等. 城市街道网络的韧性测度与空间解析: 五大全球城市比较研究[J]. 国际城市规划, 2021, 36(5): 1-12. (YAN Wentao, LU Jianglin, LI Zihao, et al. Implications of measuring resilience of urban street networks: comparative study of five global cities[J]. Urban Planning International, 2021, 36(5): 1-12.)
- [47] 冷红, 李姝媛. 应对气候变化健康风险的适应性规划国际经验与启示[J]. 国际城市规划, 2021, 36(5): 23-30. (LENG Hong, LI Shuyuan. International experience and inspiration of adaptive planning to cope with health risks of climate change[J]. Urban Planning International, 2021, 36(5): 23-30.)

修回: 2022-04