

城市空间韧性理论及实践的研究进展与展望*

Research Progress and Perspectives on the Theory and Practice of Urban Spatial Resilience

鲁钰雯 翟国方 LU Yuwen, ZHAI Guofang

摘要 极端天气事件、自然灾害、事故灾害以及公共卫生事件的频繁发生,严重威胁到人类社会的安全和可持续发展。“韧性”理念致力于处理复杂社会—生态系统中的动态与可持续发展问题,该理念的引入为城市提供了一种应对灾害风险、协调城市发展目标和城市安全底线的新视角。“城市空间”是城市各种活动的物质载体和空间表征,是协调城市各系统要素健康有序发展的物质纽带,影响着城市社会经济发展和人居环境。“城市空间韧性”的提出是韧性理论与城市空间研究相结合的新尝试。梳理城市空间韧性的起源与发展,明确城市空间韧性的概念与内涵,归纳城市空间韧性的主要评估方法,总结应对灾害风险的城市空间韧性实践进展。最后指出目前城市空间韧性研究的不足之处,并提出研究展望,以期为我国国土空间韧性建设提供参考。

Abstract The frequent occurrence of extreme weather events, natural disasters, accidents and public health incidents seriously threaten the safety and sustainable development of human society. The introduction of the concept of resilience, which addresses the dynamics and sustainability of complex social-ecological systems, provides cities with a new perspective on disaster risk and the coordination of urban development goals and urban safety bottom lines. Urban space is the material carrier and spatial representation of various activities in cities, and is the material link that coordinates the healthy and orderly development of all elements of urban systems, affecting urban socio-economic development and the human living environment. The proposal of urban space resilience is a new attempt to combine resilience theory and urban space research. This study firstly compares the origin and development of urban spatial resilience, clarifies the concept and connotation of urban spatial resilience, summarizes the main assessment methods of urban spatial resilience, and summarizes the progress of urban spatial resilience practice in response to disaster risks. Finally, this paper summarizes the shortcomings of the current urban spatial resilience research and puts forward the research outlook, in order to provide references for the construction of spatial resilience in China.

关键词 城市空间韧性;理论发展;实践探索;韧性城市;灾害风险

Key words urban spatial resilience; theoretical development; practical exploration; resilient cities; disaster risk

文章编号 1673-8985 (2022) 06-0001-07 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20220601

作者简介

鲁钰雯

南京大学建筑与城市规划学院
南京大学城市安全发展研究中心
助理研究员, 博士

翟国方 (通信作者)

南京大学建筑与城市规划学院
南京大学城市安全发展研究中心
教授, 博士生导师, guofang_zhai@nju.edu.cn

0 引言

城市是人类经济、政治和社会生活的中心,是由自然要素和社会要素共同构成的综合社会生态系统,然而由于环境变化^[1]和自然灾害频繁发生^[2],城市系统面临的压力和干扰逐渐增大。合理的规划能够为应对气候变化、灾害风险做出贡献。韧性城市是目前城市规划建设中的研究热点和新兴模式,是城市实现安全健康发展的有效途径和城市研究的重点领域^[3]。面对灾害风险的冲击与威胁,建设

韧性城市已经成为国际社会普遍共识^[4]^[136]。探索韧性城市规划建设的理论和方法具有重要的政治意义和现实指导价值。

“城市空间”(urban space)是城市各种活动的物质载体和空间表征,是协调城市各系统要素健康有序发展的物质纽带,影响着城市社会经济发展和人居环境^[5-6]。在城市规划建设过程中,城市空间在城市形成和转型过程中起着决定性的作用,是城市规划和设计的核心研究对象^[7],是我国国土空间规划中

*基金项目:中国博士后科学基金“基于人工智能技术的城市空间韧性评估及规划调控研究”(编号2021M701649);江苏省自然科学基金青年基金“洪涝灾害情境下基于深度学习城市精细时空尺度空间韧性动态优化路径”(编号BK20220782)资助。

的关键部分和主要抓手,是规划者在城市系统中进行干预的主要渠道之一。当遭遇到外来灾害风险威胁时,具有韧性的城市空间是构成城市系统健康运行的基本保障和城市系统韧性的重要组成部分,能够抵御和缓解灾害,并在较短时间内恢复。

“城市空间韧性”(urban spatial resilience)的提出是韧性理论与城市空间研究相结合的新尝试。城市韧性是以城市空间为研究对象,综合研究城市空间与韧性提升之间的关系,并运用空间规划优化手段提高城市空间韧性,以达到预防和减缓灾害影响的目的。韧性导向的空间响应应被视为一种战略,通过这种战略可以在提高城市系统综合韧性方面取得进步。作为构建韧性城市重要的方法之一,城市空间韧性优化路径是通过提升和优化不同维度、不同层级的城市空间要素与空间布局,构建能够抵御或减轻城市灾害干扰的“韧性”空间模式。提高城市空间韧性是可持续发展的一个重要实现途径,在此背景下本文通过明确城市空间韧性概念和内涵,梳理城市空间韧性的评估方法,总结城市空间韧性理论研究和实践进展并提出展望。

1 城市空间韧性的起源与内涵

1.1 韧性的起源与发展

早期韧性理念起源于物理学领域。19世纪50年代,物理学中的韧性表示“在负载下韧性偏转而不会断裂或变形,在压力作用下反弹复原的能力”^[8],被用作衡量某个系统或者个体在压力下保持功能并返回原功能的能力,是一种单一平衡的韧性理念。20世纪60年代初期,生态学家通过研究生态种群对系统稳定性理论的功能响应,提出“韧性”观点^[9-10]。之后在系统思维发展的背景下,韧性被用来表征对外界干扰的缓冲和适应机制。Holling^[11]在《生态系统的韧性和稳定性》一书中,将“韧性”概念定义为系统在变化下恢复和重组的能力。在以上研究的基础上,Pimm^[12]进一步提出,将生态领域中的韧性定义为生态系统在遭受扰动后恢复到原有稳定

状态的速度。

随着韧性研究的发展与深入,韧性经历了从工程韧性到生态韧性再到演进(适应)韧性的发展^[13-14]。对韧性的理解从比较狭义的解释到更广泛的社会生态环境下的韧性观点演化,工程韧性、生态韧性、演进韧性的特点和目标也不同(见表1)。

1.2 城市空间韧性的提出

基于韧性理念与城市空间研究相结合的城市空间韧性研究是应对风险和变化的一种新探索。在城市研究领域,韧性可以通过逐步转化来适应新的或改建后的空间形式或功能,从而适应灾害风险及伴随而来的不确定性。在最近的研究中,一些研究人员试图建立韧性与城市空间之间的联系,并希望探究城市空间及其构成要素如何影响其韧性^[15],例如密度、土地利用和其他空间指标^[16-17]。Alberti^[18]认为海平面上升或严重的洪水事件可能影响建筑物和基础设施,需要改变当前的土地利用以抵御和降低灾害风险。随后,Sharifi^[19-20]从宏观尺度、中观尺度和街道网络

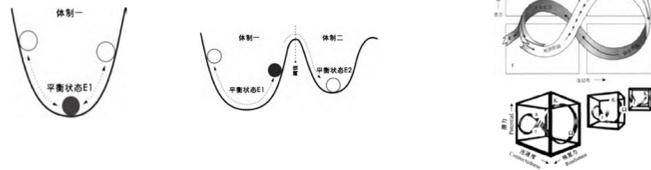
的角度讨论了与城市韧性相关的形态学要素或指标,以考虑城市形态如何与各种韧性表征相关联。

目前,韧性理念在城市空间研究中的应用集中在两个领域,即景观生态学领域中的空间韧性(spatial resilience)和城市研究领域中的城市韧性(urban resilience),两者侧重点不同。(1)景观生态学领域中的空间韧性研究。这是尝试在景观生态学领域中量化韧性概念并进行实践的研究,是关于韧性和城市空间的新见解^[21],其关注的重点是空间维度。2001年,Nystrom和Folke^[22]首次引入空间韧性的概念,并将其定义为系统重组受干扰系统和维持生态系统的基本能力。Folke^[23]强调了空间韧性的效用,并考虑时间尺度之间相互作用的影响,空间尺度生态系统中多稳态行为的空间异质性。Cumming^[24]在前人研究的基础上,提出了更宽泛的空间韧性概念,即空间韧性是相关变量在目标系统内外部的空间变化在多个时空尺度上影响系统韧性的方式,提出空间韧性受到系统组成、空间和规模的影响。(2)城市研究领域中的城市韧

表1 韧性观点的演化及比较
Tab.1 Evolution and comparison of perspectives on resilience

韧性视角	工程韧性	生态韧性	演进韧性
理论支撑	工程思维	生态学思维	系统论思维
系统支撑	有序线性	复杂非线性	混沌
平衡状态	单一稳定	两个或多个稳定	抛弃对平衡状态的追求
特点	恢复时间、效率、一致性、可预测性	缓冲能力、抵抗冲击、保持功能、持久性,变更和不可预测性	重组、维持、发展、持久性、适应性和可转换性
关注	恢复、恒定	持久性、鲁棒性	适应能力、可变换性、学习、创新
语境	邻近单一平衡状态	多重平衡、稳定态势	适应性循环、集成系统反馈、跨尺度动态交互
目标	保持功能效率,恢复初始稳态	维持功能存在,塑造新的稳态	保持改变的能力、持续不断地适应,强调学习能力
响应领域	外部干扰 物理、工程等	内部和外部干扰 生态系统	有无干扰 社会生态系统

图示



资料来源:笔者自制。

性研究。1990年代后期,学者开始将韧性理念或韧性思维应用于复杂的生态系统——城市与城市空间系统,主要是解决与气候变化^[25-26]、灾害风险相关的问题,强调预防和缓解措施^[27-28],以应对环境变化及减轻灾害风险^[29-30]。Meerow^[31]认为,城市韧性是指城市系统及其组成部分在面对外界干扰时保持自身功能或迅速恢复预期功能的能力。展开来说,城市韧性与城市的各个组成部分密切相关,是城市系统及其所有的社会、生态、技术网络要素韧性的总和。

综上所述,空间韧性和城市韧性这两个韧性理论分支都与城市空间研究有关。但是,这两种概念都不能直接用于研究城市空间与韧性之间的关系。因此,有必要将韧性概念引入城市空间研究^[32],在韧性和城市空间优化之间建立更牢固的联系。城市空间韧性在韧性、空间韧性和城市韧性的发展和演变中产生,因此需要对韧性、空间韧性和城市韧性三者之间的关系进行梳理。第一,理论发展层面,韧性理论研究是空间韧性和城市韧性研究的基础。第二,研究对象层面,空间韧性理论主要被应用于景观生态学领域,研究对象为生态系统,侧重韧性的空间特征。城市韧性的研究对象是复杂的城市系统,韧性水平与城市系统的组成部分有关,较少关注城市的物质空间要素韧性。第三,研究方法层面,空间韧性研究是借助景观生态学理论中的景观格局方法,在景观生态学基础上从空间布局、空间形态、空间功能等要素来理解和应用韧性概念的前沿尝试,而城市韧性是一个较为具体明确的研究内容,能够通过指标体系方法进行测度。

1.3 城市空间韧性的内涵

根据文献综述和现有研究,可以将城市空间韧性理解为城市韧性研究的一个子集,强调空间维度中的韧性状态。城市空间韧性概念的主体是城市空间,侧重于空间属性,代表为城市空间系统持续发展运转的能力。该能力包括抵御灾害风险、吸收外界冲击、快速恢复到基本功能的能力,具有韧性的城市空

间能够帮助城市系统维持完好功能的能力。城市空间韧性一方面借鉴景观生态学理论中的空间韧性概念,重视不同空间要素对系统韧性的作用;另一方面借鉴社会生态系统研究中的城市韧性概念,将城市空间系统看作一个复杂系统。城市空间韧性帮助了解城市空间以及韧性与城市空间之间的关系,构建了复杂系统空间要素与韧性之间的联系。

城市空间系统由多个相互联系和相互依存的要素组成,同时受到城市空间系统各因素之间的相互作用和时空演变的影响。在面对灾害冲击与干扰时,复杂而动态的时空相互作用会不断发生变化,使城市系统能够适应不断变化的条件。此外,构成城市空间元素的配置及其与城市系统其他组件的相互作用会影响其他与韧性相关的特征,例如健壮性、冗余性、多样性、资源丰富性和效率。还可以通过高效地使城市系统做好准备并进行规划来实现,例如通过灾前行动减少灾害发生的频率和强度^[33]。因此,在文献综述基础上,本文将城市空间韧性内涵解析为:城市空间系统面临变化和扰动时,城市空间不同要素组成系统的稳健性、适应性、灵活性、多样性、连通性等韧性特征能够保持系统基本功能不变并能够恢复和适应的能力。

2 城市空间韧性的评估方法

韧性可以通过多种方式进行评估,韧性的定量评估可进一步分为确定性和概率性两方面的方法^[34],还可具体分为基于指标体系、基于系统状态、基于网络分析、基于本体依赖、基于贝叶斯网络和基于仿真工具等方法^[35]。城市空间韧性评估具有复杂性,主要测度方式可分为直接和间接两种类型(见图1)。直接测度是在生态学理论的基础上,基于韧性阈值进行测算,例如空间位置,系统连通性和恢复的空间范围,空间韧性的研究与系统空间尺度及空间之间的关系有关。间接测度是将韧性视作一种目标并建立理论框架,使用具体指标集合间接表征城市空间韧性,例如密度、土地利用和其他空间指标。

2.1 基于韧性阈值的直接测度

直接测度韧性视韧性为一个具体的实质对象,理解系统的胁迫与恢复时间阈值等^[36]。直接测度法必须了解系统韧性的阈值,即如果外界压力超过系统安全阈值,系统或部分系统将发生故障或者崩溃。然而,韧性研究的对象通常为复杂、多样和动态的生态系统或城市系统。根据适应性循环理论,这类系统很难在某一个点达到稳定或崩溃,而是在一个适应性周期进行循环往复的动态变化。这样的特征也就导致难以找到替代性的稳定状态和关键控制变量^[37-38]。因此,直接测度韧性的困难在于通过分析韧性系统的阈值和特征来确定系统的关键空间变量,难以量化和模拟像城市这样的复杂社会生态系统的临界极限。

2.2 基于指标体系的间接测度

间接测度并不直接探究韧性阈值,而是将韧性转化为非实指的对象,通过构建评价体系和分析框架对系统韧性进行间接的评估^[39]。例如,为了捕捉由于外部干扰造成的性能损失,Bruneau等^[40]开创了地震工程界最著名的“韧性三角”指标。它的“4R”框架包括健壮性、冗余性、资源丰富性和快速性,表示系统在受到冲击后的韧性损失。这种确定性的、与时间相关的指标启发了许多其他“基于性能”的韧性指标^[41]。基于指标体系的韧性评估方法从探讨韧性的理论内涵与特征出发,分析韧性与城市系统之间的联系,进而构建指标体系并开展韧性评估。间接测度韧性时,所选择的韧性替代指标需要能够表征韧性特

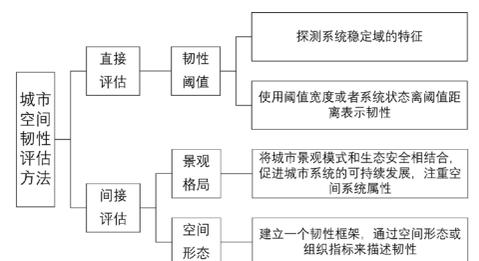


图1 城市空间韧性评估方法

Fig.1 Methods for assessing urban spatial resilience
资料来源:笔者自绘。

征或机理,如冗余性、高效性和多样性等韧性特征,或者生物多样性、群落覆盖度^[42]、生物特征^[43]等间接韧性指标。

对间接韧性测度方法进一步细分,可以总结为两个主要范式:(1) 基于景观格局的城市空间韧性评估,即将城市景观模式和生态安全相结合,注重空间系统属性^[44],基于景观格局分析和生态安全研究^[45]。基于景观格局方法的城市空间韧性评估是借助景观生态学研究中的空间特征和属性,注重系统的空间属性和连通性,利用与韧性相关的景观格局指数建立景观生态学与城市空间韧性之间的联系^[46]。该范式为景观生态学理论在韧性研究和可持续发展研究中的拓展和应用做出了一定贡献^[47],关注空间变化以及与空间相关的系统属性。例如,王绮分析城市空间布局、空间规模、空间形态对城市环境和安全的影响。修春亮等从规模、密度、形态角度对大连城市韧性进行量化,关注城市空间形态方面的韧性。(2) 基于空间形态的城市空间韧性评估,以建立一个韧性框架为目标,通过空间形态或空间组织指标来描述韧性^[20]^[173]。为了实现使用空间要素和韧性特征间接表征韧性这一目标, Sharifi^{[19]3} 提出一个用于分析城市形态韧性的概念框架。在该框架基础上整合宏观、中观、微观3种层面上的空间形态指标,构建了更为详细的城市空间韧性研究框架(见图2)。Dempsey等^[48]将城市空间形态要素与特征进行连接,提出从密度、建筑类

型、交通设施和土地利用等方面进行城市空间韧性的研究。

3 应对灾害风险的城市空间韧性实践研究

3.1 应对灾害风险的城市空间韧性研究

韧性的目的是应对不确定扰动。对城市来说,灾害始终伴随着城市的发展,变化和扰动多数来自城市面临的“灾害风险”,灾害风险始终是城市规划建设的重要部分和城市安全发展的基础与前提。20世纪90年代末,学者开始对空间规划在灾害风险中的重要作用进行探索,在城市空间要素对灾害风险影响的作用方面也取得一定研究进展。Godschalk^{[4]138, [49]} 提出一个可持续的防灾体系,将城市韧性与城市防灾结合起来,最终目标是建立一个新型的韧性社区,以提高自身抵御各种较大规模灾害和攻击的能力。Stolker^[50]认为理想的韧性管理应包括3个过程,即风险分析过程、风险分析的实施、测试和维护。2011年“311”大地震后,日本政府超越了狭义的防灾范畴,将城市防灾扩展为综合应对战略,提出建设强大的韧性国土空间和经济社会的总体目标,建立了韧性城市的法律和行政基础。该行动在较大程度上促进了日本国家层面和地方层面的韧性建设,初步形成较为完备的国土韧性空间规划体

系。国内学者钟琪等^[51]基于态势管理的视角,构建了包含抵抗力、韧性和创新力3大部分的指标体系。陈长坤等^[52]从韧性的过程属性(抵抗、恢复和适应)出发,构建了雨洪灾害情境下的韧性评估指标体系,找出灾时城市韧性变化的主要原因,以及灾时城市应对灾害的薄弱环节。鲁钰雯等^[53]基于韧性特征,提出面向韧性发展的空间规划框架。

3.2 灾害情境下的城市空间韧性优化研究

城市空间在其发展演化过程中会经历各种环境风险和危机事件。一些研究表明,城市的安全风险与城市空间的基本特征和要素密切相关^[54],灾害破坏城市空间,进而造成重大破坏和损失。因此城市应该具有应对灾害、减轻灾害给城市带来后果的能力。空间规划是政府进行空间干预和空间治理的重要手段和公共政策^[55]。空间规划是应对灾害风险的关键工具,能够指导土地开发和利用以及城市基础设施建设,在减少灾害风险损失和缓解气候变化方面发挥着作用^[56],国外较多研究通过规划提高城市或系统抵御灾害的能力,具体研究如表2所示。

国内学者李云燕^[62]通过对城市空间韧性概念及其对城市安全可持续发展的思考,提出了城市空间适灾概念、哲学基础、动力机制、概念框架和基本研究内容。杨选梅^[63]从

表2 面向减灾的城市空间韧性研究

Tab.2 Urban spatial resilience research for disaster mitigation

研究思路	内容方法	来源
介绍韧性城市概念、构成及主要特征	重视韧性长期关注,论述韧性政策方法制定、应用研究和管理模式	《城市减灾:创建韧性城市》 ^{[4]136}
通过空间规划缓解气候变化	通过空间规划减缓气候问题和灾害风险	《结合自然灾害,风险和气候变化的空间规划实践》 ^[57]
通过优化空间布局提升城市韧性	灾前预防起重要作用,提出建立多类型灾害空间评估方法的建议	《增强城市韧性的空间规划作用》 ^[58]
从系统对灾害响应的过程构建韧性评估框架	构建基于应急准备、措施响应、恢复重建和风险缓解所需的资本支持的韧性框架	《提高沿海地区的复原力:实施和持续使用复原力指标》 ^[59]
韧性矩阵框架	基于灾害事件的发展阶段和城市系统韧性矩阵	《可操作政策的可测量韧性》 ^[60]
多尺度多时空城市韧性框架	在生态研究的水平上利用韧性来在“风险和脆弱性评估,制度和社会治理结构,不同部门和城市转型的韧性”的框架内研究城市的韧性	《理解和整合城市系统和韧性理念》 ^[61]

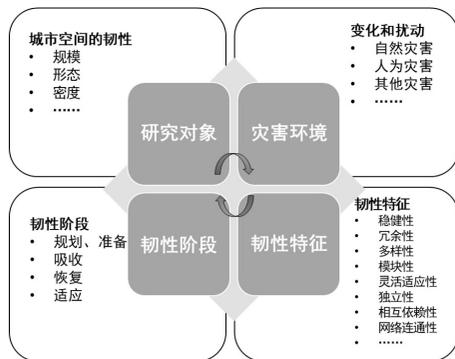


图2 整合宏观、中观、微观形态要素的韧性研究思路
Fig.2 Integrating macro, meso and micro morphological elements of resilience research

资料来源:参考文献[19]3。

资料来源:笔者自制。

“统筹多灾害风险、优化应对‘不确定性’的空间分区、构建社区应急空间网络”等3个层面探讨其实施路径,为国土空间安全管控提供规划编制思路。高静怡等^[64]构建了基于城市安全治理多维体系的韧性城市建设理论框架,以南京为例开展了韧性国土空间的总体思路研究。孟海星等^[65]结合相关研究与规划实践案例,归纳了提升城市生态空间防灾韧性的主要经验。蒋应红等^[66]基于综合防灾存在的多系统叠加的复杂性,提出韧性健康开放空间特征及规划策略。可以看出,国内应对灾害风险的城市空间韧性优化研究较多为理论框架、案例借鉴及策略启示类。

4 展望与启示

4.1 明确城市空间韧性的内涵与外延

城市空间韧性的研究尚处于理论探索的阶段,仍存在概念界定不清、内涵混淆等问题。尽管不同领域学者尝试将韧性理念与城市空间研究相结合,但是关于城市空间韧性的理论和实践研究仍没有达成共识,不同学科对城市空间韧性概念的理解、分析视角存在较大差异。城市空间韧性研究较多存在于欧美发达国家,我国城市空间韧性研究较少,特别是对城市空间韧性的测度与评估还有待进一步研究。在城镇化的快速发展、城市无序蔓延加剧以及自然环境变化加速等背景下,探讨适应于我国本土的城市空间韧性理论框架和研究方法显得尤为重要。

4.2 提出基于系统视角的城市空间韧性理论框架

目前研究中,基于系统视角的城市空间韧性理论框架的综合性考虑不完善,没有深入挖掘城市空间韧性的影响要素和产生机制。城市空间韧性的定量评估是研究难点与核心内容,较少有研究系统全面且明确地调查城市空间结构或形式对实现韧性城市的贡献,明确哪些空间形式变量能够衡量或评估城市空间韧性,以及如何优化和调整这些

变量以实现空间韧性。还有学者从宏观尺度、中观尺度、城市街区尺度和微观规模对城市韧性进行研究,但是仍存在空间指标分类模糊、类别之间没有明确界限、较多关注城市形态等问题,忽略了城市空间的其他构成要素。如何将韧性特征和城市空间要素连接起来,将韧性特征纳入理论框架,还需要进一步挖掘。

4.3 构建整合灾害风险与城市空间韧性的研究路径

目前研究中,系统整合灾害风险评估与城市空间韧性的研究框架较少。城市不仅是承载社会、经济及文化的物质空间载体,还是一个巨大的承灾体,无时无刻不在面临未知的干扰和变化。现有对城市空间韧性的研究较少考虑不同冲击和扰动对空间韧性的影响,以及在扰动后的空间系统如何保持自身稳定并恢复适应的过程研究,忽视了考量系统灾害风险与韧性之间的关系。缺少这些研究,就难以真正做到对干扰和变化的有效预防和干预。如何整合灾害风险与城市空间韧性分析,通过空间优化和调控减少灾害风险带来的影响和损失,能够为制定防范灾害风险、提升城市空间韧性水平与制定韧性城市发展政策提供重要依据。

4.4 挖掘智能技术赋能的城市空间韧性评估方法

城市空间韧性的研究方法层面,科学量化方法还存在一定挑战。虽然已有研究较多遵循基于简单的指标体系叠加的技术方法,然而简单的指标集合测度方式难以表征出系统不确定性、非线性和复杂性等特征。人工智能、机器学习等技术的自我学习能力、高并发分析能力和高逻辑性能力有助于分析城市问题,推测未来发展的可能性。例如,在国外灾害风险评估领域,贝叶斯网络已经被灵活应用于安全分析、风险评估、故障分析及可靠性研究中。目前虽然部分技术已经在城市韧性研究和灾害风险研究中得到运

用,但是如何挖掘技术优势,将其与城市空间韧性有效结合,还没有具体的研究范式和技术路线,与本研究的融合和交叉还需深入探索。

4.5 探索衔接国土空间规划的韧性实践应用

虽然规划相关研究人员、政府工作者等利益相关群体试图将韧性理论与空间规划、城市设计实践进行整合,但是国内研究仍然缺乏城市空间韧性的实践应用,尤其是缺乏面向灾害风险防范的城市空间韧性综合调控。国土空间规划是各类开发保护建设活动的基本依据,《市级国土空间总体规划编制指南(试行)》中明确提出“强化资源环境底线约束,推进生态优先、绿色发展”及“完善基础设施体系,增强城市安全韧性”等要求。因此,在我国国土空间规划编制过程中,应将韧性规划思维引入国土空间规划,按照国土空间规划的整体架构,从总体规划—详细规划—专项规划的上下传导过程中,将韧性策略贯穿于各级规划编制内容中。研究范畴从单一防灾范畴拓展到全要素全周期风险领域,观念思路强调适应、恢复和学习转化能力,技术方法从工程技术标准或经验测算转变到城市的韧性综合评估与预测。采用韧性表征导向和目标导向相结合的方式,借助城市空间韧性评估结果和灾害风险评估结果,确定不同区域不同灾害风险影响下的韧性建设优先级和韧性贡献因子,为空间优化提出依据。

5 结论

面对灾害风险频发和城镇化快速发展的双重压力,我国城市空间面临的风险压力逐渐增加。增强城市空间韧性逐渐成为多学科和多领域研究的重点,考虑面向灾害防御的城市空间韧性研究十分重要。本文在深入分析城市空间与韧性相互作用关系的基础上,总结城市空间韧性的起源与内涵、概念定义、评估方法,梳理应对灾害风险的城市空间韧

性实践研究,并提出了城市空间韧性研究进一步值得关注的问题:一是明确城市空间韧性的内涵,构建基于系统视角的城市空间韧性理论体系;二是在考虑全周期全灾种风险评估的基础上,构建灾害情境下的城市空间韧性方法体系,并结合智能技术进行评估方法创新;三是在我国国土空间规划体系构建工作全面展开的背景下,将灾害情境下的城市空间韧性评估及优化研究成果付诸规划实践。■

参考文献 References

- [1] MORINIERE L. Environmentally influenced urbanisation: footprints bound for town?[J]. *Urban Studies*, 2012, 49(2): 435-450.
- [2] ZHAI G, LI S, CHEN J. Reducing urban disaster risk by improving resilience in China from a planning perspective[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2015, 21(5): 1206-1217.
- [3] 翟国方,夏陈红. 我国韧性国土空间建设的战略重点[J]. *城市规划*, 2021, 45 (2) :44-48. ZHAI Guofang, XIA Chenhong. Strategic emphasis on the construction of resilient cities in China[J]. *City Planning Review*, 2021, 45(2): 44-48.
- [4] GODSCHALK D R. Urban hazard mitigation: creating resilient cities[J]. *Natural Hazards Review*, 2003, 4(3): 136-143.
- [5] ALLAN P, BRYANT M, WIRSCHING C, et al. The influence of urban morphology on the resilience of cities following an earthquake[J]. *Journal of Urban Design*, 2013, 18(2): 242-262.
- [6] HARRISON P, BOBBINS K, CULWICK C, et al. Urban resilience thinking for municipalities[J]. *Solutions*, 2014, 5(5): 26-30.
- [7] 刘易斯·芒福德. 城市发展史[M]. 倪文彦, 宋俊岭, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1973. MUMFORD L. The city in history: its origins, its transformations, and its prospects[M]. NI Wenyan, SONG Junling, translate. Beijing: China Architecture and Building Press, 1973.
- [8] ALEXANDER D E. Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey[J]. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2013, 13(11): 2707-2716.
- [9] LEWONTIN R C. The meaning of stability[C]// *Diversity and stability of ecological systems - Brookhaven Symposia in Biology*. 1969, 22(22): 13.
- [10] ROSENZWEIG M L. Paradox of enrichment: destabilization of exploitation ecosystems in ecological time[J]. *Science*, 1971(171): 385-387.
- [11] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4(4): 1-23.
- [12] PIMM S L. The complexity and stability of ecosystems[J]. *Nature*, 1984, 307(5949): 321-326.
- [13] BERKES F, FOLKE C, COLDING J. Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1998: 387-389.
- [14] LIAO K. A theory on urban resilience to floods-a basis for alternative planning practices[J]. *Ecology and Society*, 2012, 17(4): 388-395.
- [15] MARCUS L, COLDING J. Toward an integrated theory of spatial morphology and resilient urban systems[J]. *Ecology and Society*, 2014, 19(4): 55.
- [16] BERKE P R, SONG Y, STEVENS M. Integrating hazard mitigation into new urban and conventional developments[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2009, 28(4): 441-455.
- [17] 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.
- [18] ALBERTI M. Urban patterns and environmental performance: what do we know?[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 1999, 19: 151-163.
- [19] SHARIFI A. Resilient urban forms: a macro-scale analysis[J]. *Cities*, 2019, 85: 1-14.
- [20] SHARIFI A. Resilient urban forms: a review of literature on streets and street networks[J]. *Building and Environment*, 2019, 147: 171-187.
- [21] FELICIOTTI A, ROMICE O, PORT S A. Design for change: five proxies for resilience in the urban form open house international[J]. *Open House International*, 2017, 41(4): 23-30.
- [22] NYSTRÖM M, FOLKE C. Spatial resilience of coral reefs[J]. *Ecosystems*, 2001, 4: 406-417.
- [23] FOLKE C. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 253-267.
- [24] CUMMING G S. A theoretical framework for the analysis of spatial resilience[M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011: 35-66.
- [25] DAVOUDI S, CRAWFORD J, MEHMOOD A. Planning for climate change: strategies for mitigation and adaptation for spatial planners[J]. *International Journal of Climate Change Strategies & Management*, 2009, 48(13): 2905-2910.
- [26] JABAREEN Y. Planning the resilient city: concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk[J]. *Cities*, 2013, 31(2): 220-229.
- [27] FLEISCHHAUER M. The role of spatial planning in strengthening urban resilience[M]//PASMAN H J, KIRILLOV I A. Resilience of cities to terrorist and other threats. Dordrecht: Springer, 2008: 273-298.
- [28] 戴维·R·戈德沙尔克. 城市减灾: 创建韧性城市[J]. 许婵, 译. *国际城市规划*, 2015, 30 (2) :22-29. GODSCHALK D R. Urban hazard mitigation: creating resilient cities[J]. XU Chan, translate. *Urban Planning International*, 2015, 30(2): 22-29.
- [29] BUCHANAN M. Disaster by design[J]. *Nature Physics*, 2012, 8(10): 699.
- [30] 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 Yiwen, XU Jiang. Understanding urban resilience: a conceptual analysis based on integrated literature review[J]. *Urban Planning International*, 2015, 30(2): 48-54.
- [31] MEEROW S, NEWELL J P, STULTS M. Defining urban resilience: a review[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 147: 38-49.
- [32] FELICIOTTI A, ROMICE O, PORTA S. From system ecology to urban morphology: towards a theory of urban form resilience[C]//IFoU 2018: reframing urban resilience implementation: aligning sustainability and resilience, 2018.
- [33] SHARIFI A, YAMAGATA Y. Urban resilience assessment: multiple dimensions, criteria, and indicators[M]//YAMAGATA Y, MARUYAMA H. Urban resilience: a transformative approach. Cham: Springer International Publishing, 2016: 259-276.
- [34] HOSSEINI S, BARKER K. Modeling infrastructure resilience using Bayesian networks: a case study of inland waterway ports[J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2016, 93: 252-266.
- [35] TANG J. Assessment of resilience in complex urban systems[M]//FILHO W L, AZUL A M, BRANDLI L, et al. Industry, innovation and infrastructure - encyclopedia of the UN sustainable development goals. Cham: Springer, 2019.
- [36] HIROTA M, HOLMGREN M, VAN NES E H, et al. Global resilience of tropical forest & savanna to critical transitions[J]. *Science*, 2011, 334(6053): 232-235.
- [37] MAGEAU M T, COSTANZA R, ULANOWICZ R E. The development and initial testing a quantitative assessment of ecosystem health[J]. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 1995, 1(2): 201-213.
- [38] SCHRÖDER A, PERSSON L, ROOS M D. Direct experimental evidence for alternative stable states: a review[J]. *Oikos*, 2005, 110(1): 3-19.
- [39] HULSE D, GREGORY S. Integrating resilience into floodplain restoration[J]. *Urban Ecosystems*, 2004, 7(3): 295-314.
- [40] BRUNEAU M, CHANG S E, EGUCHI R T, et al. A framework to quantitatively assess and enhance

- the seismic resilience of communities[J]. *Earthquake Spectra*, 2003, 19(4): 733-752.
- [41] OUYANG M, DUEÑAS-OSORIO L. Time-dependent resilience assessment and improvement of urban infrastructure systems[J]. *Journal of Nonlinear Science*, 2012, 22(3): 033122.
- [42] 高江波, 赵志强, 李双成. 基于地理信息系统的青藏铁路穿越区生态系统韧性评价[J]. *应用生态学报*, 2008, 19 (11): 2473-2479.
GAO Jiangbo, ZHAO Zhiqiang, LI Shuangcheng. GIS-based evaluation of ecosystem resilience in the Qinghai-Tibet Railway crossing area[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2473-2479.
- [43] ARIANOUTSOU M, KOUKOULAS S, KAZANIS D. Evaluating post-fire forest resilience using GIS and multi-criteria analysis: an example from Cape Sounion National Park, Greece[J]. *Environmental Management*, 2011, 47(3): 384-397.
- [44] 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.
XIU Chunliang, WEI Ye, WANG Qi. Evaluation of urban resilience of Dalian City based on the perspective of "size-density-morphology"[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(12): 2315-2328.
- [45] 王绮. “规模—密度—形态—功能”四位一体的城市安全问题研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2016.
WANG Qi. Research on urban safety based on a quaternary angle of "size-density-morphology-function": a case of Dalian[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2016.
- [46] AHERN J. Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6): 1203-1212.
- [47] 刘志敏, 修春亮, 宋伟. 城市空间韧性研究进展[J]. *城市建筑*, 2018 (35): 16-18.
LIU Zhimin, XIU Chunliang, SONG Wei. Urban spatial resilience: a review[J]. *Urbanism and Architecture*, 2018(35): 16-18.
- [48] DEMPSEY N, BROWN C, RAMAN S, et al. Elements of urban form[M]//JENKS M, JONES C. Dimensions of the sustainable city. Dordrecht: Springer, 2010: 21-51.
- [49] GODSCHALK D R, BEATLEY T, BERKE P, et al. Natural hazard mitigation: recasting disaster policy and planning[M]. Washington DC: Island Press, 1999.
- [50] STOLKER R J M. Ageneric approach to assess operational resilience[D]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2008.
- [51] 钟琪, 戚巍. 基于态势管理的区域韧性评估模型[J]. *经济管理*, 2010, 32 (8): 32-37.
ZHONG Qi, QI Wei. Regional resilience evaluation model research based on situation management[J]. *Economic Management*, 2010, 32(8): 32-37.
- [52] 陈长坤, 陈以琴, 施波, 等. 雨洪灾害情境下城市韧性评估模型[J]. *中国安全科学学报*, 2018, 28 (4): 1-6.
CHEN Changkun, CHEN Yiqin, SHI Bo, et al. A model for evaluating urban resilience to rainstorm and flood disaster[J]. *China Safety Science Journal*, 2018, 28(4): 1-6.
- [53] 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, 117.
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, 117.
- [54] TYLER S, MOENCH M. A framework for urban climate resilience clinical and developmental immunology[J]. *Climate and Development*, 2012, 4(4): 311-326.
- [55] 张京祥, 夏天慈. 治理现代化目标下国家空间规划体系的变迁与重构[J]. *自然资源学报*, 2019, 34 (10): 2040-2050.
ZHANG Jingxiang, XIA Tianci. The change and reconstruction of spatial planning system under the goal of modern national governance[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2040-2050.
- [56] ROGGEEMA R. The use of spatial planning to increase the resilience for future turbulence in the spatial system of the Groningen Region to deal with climate change[M]//ROGGEEMA R. Swarm planning: the development of a planning methodology to deal with climate adaptation. Dordrecht: Springer, 2014: 117-161.
- [57] SCHMIDT-THOME P. Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions[M]. Espoo: Geological Survey of Finland, 2006: 109-123.
- [58] PASMÁN H J, KIRILLOV L A. Resilience of cities to terrorist and other threats[M]. Dordrecht: Springer, 2008: 273-298.
- [59] PEACOCK W. Advancing the resilience of coastal localities: developing, implementing and sustaining the use of coastal resilience indicators: a final report[R]. 2010.
- [60] LINKOV I, EISENBERG D A, BATES M E, et al. Measurable resilience for actionable policy[J]. *Environmental Science and Technology*, 2013, 47(18): 10108-10110.
- [61] CHELLERI L. From the "resilient city" to urban resilience: a review essay on understanding and integrating the resilience perspective for urban systems[J]. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 2012, 58(2): 287-306.
- [62] 李云燕. 韧性与安全可持续: 关于城市空间适灾理论概念框架的思考[J]. *城市建筑*, 2017 (21): 122-125.
LI Yunyan. Urban resilience and continuous development of safety: thinking about the conceptual framework of urban space adaptation to disaster[J]. *Urbanism and Architecture*, 2017(21): 122-125.
- [63] 杨选梅. 国土空间韧性: 概念框架及实施路径[J]. *城市规划学刊*, 2021 (3): 112-118.
YANG Xuanmei. Territorial space resilience: a conceptual framework and its implementation path[J]. *Urban Planning Forum*, 2021(3): 112-118.
- [64] 高婧怡, 翟国方. 建设韧性国土空间的总体思路研究——以南京为例[J]. *西部人居环境学刊*, 2022, 37 (4): 108-114.
GAO Jingyi, ZHAI Guofang. The general idea of building the land space more resilient: Nanjing case[J]. *Journal of Human Settlements in West China*, 2022, 37(4): 108-114.
- [65] 孟海星, 沈清基. 城市生态空间防灾韧性: 概念辨析、影响因素与提升策略[J]. *城乡规划*, 2021 (3): 28-34.
MENG Haixing, SHEN Qingji. Disaster resilience of urban ecological space: concepts, influencing factors, and strategies[J]. *Urban & Rural Planning*, 2021(3): 28-34.
- [66] 蒋应红, 沈雷洪. 疫情与灾害叠加下的城市韧性健康开放空间规划策略研究[J]. *上海城市规划*, 2021 (2): 76-81.
JIANG Yinghong, SHEN Leihong. Study on planning strategies of resilient and healthy open space in cities under the combination of epidemic and disaster[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2021(2): 76-81.