基于气候灾害影响的国际韧性城市建设研究进展

李涛[1],朱珊珊[2],黄献明[3]

1. 华诚博远(北京)工程质量检测鉴定有限公司,北京 100088
2. 西南交通大学建筑与设计学院,成都 611756
3. 清华大学建筑设计研究院有限公司,北京 100084

摘要 全球变暖带来的气候灾害已经严重威胁到世界城市与社会的发展,通过韧性城市建设,提升城市应对气候变化的能力,已成为城市发展的新命题。梳理了韧性概念渊源和分类特征,利用Cityspace软件对国内外城市韧性研发数据进行了分析;通过各个典型国家在面对气候灾害时韧性城市体系构建的相关策略和具体实践,分析得出了韧性城市建设发展的关键科学技术问题和相关策略路径;提出了适应中国韧性城市研究与发展的策略与建议。

关键词 全球变暖; 气候灾害; 韧性城市;可持续发展

1 从工程韧性到社会生态韧性

19世纪50年代,"韧性"首先被用于机械学领域,以描述金属在外力作用下形变之后复原的能力[1]。19世纪50—80年代,心理学开始将"韧性"用于描述人在遭受精神创伤后的恢复能力[2]。1970年,Holling首次将"韧性"用于描述生态系统中的稳定状态[3],并将"韧性"认知从单一平衡态推向多平衡态。2000年之后,"韧性"概念逐步从工程和生态学科进入人居环境等社会-经济科学视野,城市的气候灾害韧性是社会生态韧性的典型实践,人们对"韧性"内涵的认知,也从单尺度向多尺度、从线性逻辑到循环模式转变(表1、表2)。

2 国内外研究概况

2.1 国外基于气候灾害的韧性城市相关研究与具体实践

2.1.1 基础概况

本研究以"climate change and city resilience"为关键词在Web of Science对相关文献进行系统检索,并采用citespace软件进行分析。

收稿日期:2019-12-04;修回日期:2020-03-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0702300,2017YFC0702301)

作者简介:李涛,高级工程师,研究方向为可持续人居环境规划与设计,电子信箱:75150231@qq.com

引用格式:李涛, 朱珊珊, 黄献明. 基于气候灾害影响的国际韧性城市建设研究进展[J]. 科技导报, 2020, 38(8): 30-39; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.08.004

表1　3类“韧性”的典型定义演变

时间	研究领域	“韧性”定义的表述
1988	工程韧性	系统在遭遇不可预期的灾难时,反弹、适应并恢复到正常水平的能力
1990		系统成功适应所面临的挑战或威胁的过程和能力
1998		系统抵御扰动的能力和恢复至平衡状态的速度
1998		系统在遭受灾害冲击时,对灾害的抵御和吸收能力
2006		系统感知并适应、吸收扰动、破坏和突发情况的能力
2009		物质在弹性范围内吸收和释放能量的能力
2009		系统较低的失败概率以及从失败中迅速恢复正常的能力
2013		城市对灾害的抵御、适应和恢复能力
2014		系统适应和应对具有重大破坏性灾害的能力
1973	自然生态韧性	生态系统在受到冲击和扰动时,吸收、变化、恢复到稳定状态的能力
2002		提出生态系统适应循环和演化动力机制模型
2004		系统具备的通过变化、适应和重组应对干扰,同时最大限度保持自身功能、结构和特征的能力
2012		系统的生存能力,重点不在是否保持原有状态
2013		城市通过系统组成要素之间的优化、协调和重组,吸收、缓冲、抑制灾害引发的负面影响,确保系统正常运行的能力
1999	社会生态韧性	系统遭受自然灾害冲击后,不需要依靠大量外部援助而将损失降到最低,并确保基本生产力和生活质量的能力
2001		在应对超限干扰并失控前,通过针对性分析和处理,成功实现灾害损失控制的过程
2001		系统在面对外部干扰时维持自身正常运转、应对挑战和变化的能力
2003		社会单位减轻灾害的能力,包含控制灾害影响程度的能力、功能恢复效率、社会混乱控制能力、降低未来同样灾害影响的能力等
2003		系统处理或适应危险压力的能力
2003		系统具备的持续重建的能力
2005		系统在面临扰动、冲击时所具备的通过抵御、吸收、适应等反应,迅速恢复的能力
2008		社会系统临灾时的应对和恢复能力,包括对灾变影响的吸收和适应性调整的过程
2010		系统应对压力或扰动时的抵御、适应和转变能力
2010		系统通过其自身的特点或适当的措施,对干扰做出快速反应,以减少损害、适应干扰和高效恢复的过程
2011		系统遭受极端自然灾害冲击时,不需依靠大量外部援助,也不会出现毁灭性损失或功能丧失、生活质量下降等情况的能力
2012		城市在面临自然灾害时,为控制灾害影响,而对灾害进行抵御、承受、恢复和重组的能力
2013		城市具有的减少当前和未来灾害影响、降低灾害敏感度、建立灾害应对机制以及灾后恢复机制的能力

表2　3类“韧性”的典型特征

视角	工程韧性	自然生态韧性	社会生态韧性
指标	恢复时间	抵御、缓冲、重建能力	学习力、创新力
目标	恢复原有状态	重建新状态	持续不断地适应外部变化
平衡态	单一平衡态	多平衡态	超平衡态
特征	线性	复杂性	开放性
理论基础	工程学	生态学	系统学

1）在地域分布上。国际相关研究,欧洲(以英国、荷兰最为突出)对于该领域的关注和研究最多,美国次之,印度、中国是近年来也是“韧性城市”研究的热点地区(图1)。

2）在学科分布上。“环境科学和生态学”形成的相关研究最为丰富,并成为“区域与城市规划”“城市研究”“绿色与可持续发展科学”“气象学和大气科学”“发展学研究等其他学科相关研究的基础(图2)。本研究所关注的气候灾害空间应对策略——“区域与城市规划”“城市研究”“绿色与可持续发展科学”等研究占比很大。

3）在研究关注点上。国际相关研究关注点从

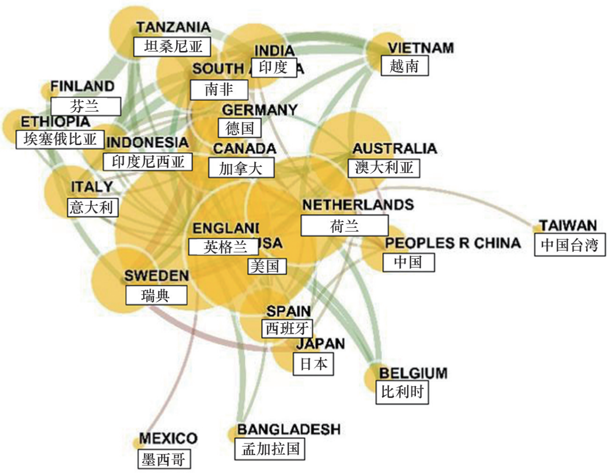


图1 2004—2019年国际"韧性城市"相关研究地域分布分析

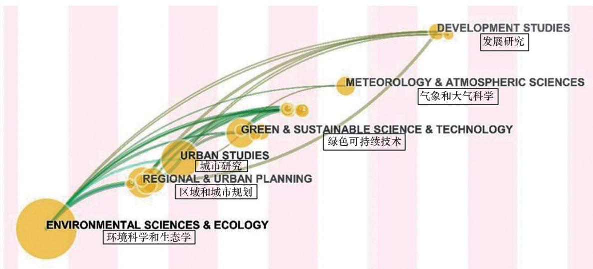


图2 2004—2019年国际"韧性城市"相关研究学科分布分析

2004年的"气候变化和挑战"到2007年的"城市适应能力"、2010年的"管制""可持续创新城市化"和"社会生态系统"、2011年的"生态系统服务",2013—2013年的"政策环境"、2016年的"绿色基础设施""韧性城市水系统""韧性发展新方式"等,"韧性城市"研究热点的演化脉络可以表述为:从气候变化对城市带来的影响研究起步,逐步转向物质(包括空间、技术)应对策略和社会经济调节机制并重的新阶段(图3)。

2.1.2 韧性评价与策略构建

为有效识别城市建设在韧性表现方面的薄弱环节,首先,基于城市韧性评价开展相应的诊断工作。国外主要的城市韧性评价模型包括:Cutter等开发的灾难韧性地方(DROP)模型——一个由生态、社会、经济、基础设施、制度、社区能力6大维度30个分指标构成的评价指标体系[4];Joerin等提出基于经济、制度、自然、物质和社会5个维度的气候灾害韧性指数(CDRI)模型[5];2013年美国洛克菲勒基金会在《100韧性城市》(100 Resilient Cities,100RC)中提出了多中心、分布式、内稳态、连通性、多样性等韧性城市关键性特征[6](表3)。

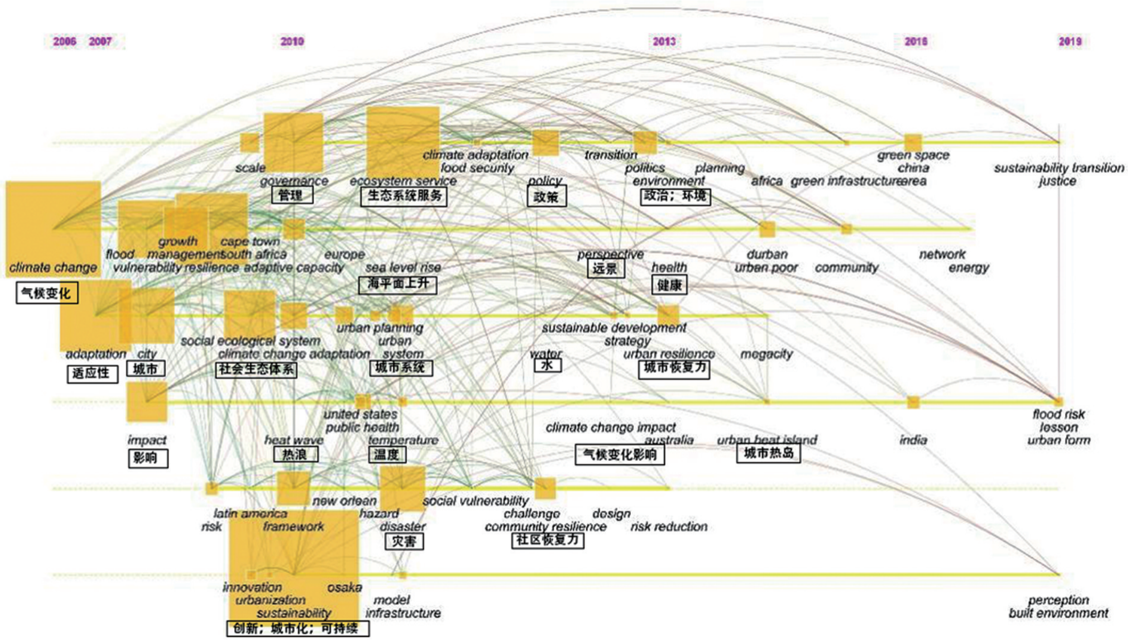


图3 2004—2019年国际"韧性城市"相关研究关键词分布分析

表3　洛克菲勒基金会韧性城市案例及特征

城市	干扰与冲击	韧性行动	韧性特征
印度苏特拉	洪水、疫情、社会动荡	地方性委员会:设置跨部门的地方性委员会推行洪水管理,提升排水设施,提升公众健康普遍认知和劳动力健康水平。采取家庭层面监控,在脆弱地区设立健康中心防止疾病蔓延	多中心性分布式
美国新奥尔良	2005年卡特里娜飓风;2010年英国石油公司漏油事件	社区行动:社区成立发展社团,鼓励居民通过技术交换重建家园。提供社会服务、健康支持和生计培训,当地牧师带领居民进行弥撒活动,帮助居民建立安全感和归属感	多中心性分布式
哥伦比亚卡利	洪水	基层组织:基层组织制定社区引导策略,加强社区和邻里的多样性,提供培训、小额信贷和情感支持	多中心性分布式
智利康塞普西翁	2010年2月8.8级地震	高效社交网络:强震后唯一能够运行的社交网络为公众提供了宝贵的信息来源,使得居民们能够相互交流,成为社会稳定的核心	内稳态连通性
印度尼西亚三宝垄	洪水和滑坡	转变生计:家园、商店、道路定期被洪水淹没,渔民在当地大学的帮助下,转变培育其他渔业品种,继续繁荣生计	多样性

一般认为,城市韧性策略的构建均基于"城市气候地图"的研究——利用地理信息系统(GIS)将城市风环境、热环境、污染状况等实测或模拟数据与地形地貌、土地属性等信息相叠加,形成可用于分析气候变化与地理环境之间关系的分析图[7]。

以"城市气候地图"为原点的提升城市气候灾害韧性表现的代表性研究包括:20世纪70年代以德国鲁尔地区的杜伊斯堡城市气候环境图集的绘制;20世纪90年代,德国斯图加特基于"气候规划图"的气候改善规划控制建议;21世纪初,香港将"城市气候分析图"与中尺度MM5数值模拟的结合,通过综合考虑影响热负荷、风流通潜力与人体热舒适度等6个主要地理和影响参数,分析香港地区湿热气候和高密度城市形态叠加下的气候改善性规划建议;荷兰代尔夫特理工大学以世界主要三角洲城市区域为研究对象,通过建立城市垂直分层模型——自然底层、城市网络层和城市占用层,提出了韧性规划的先决条件等(图4[8])。

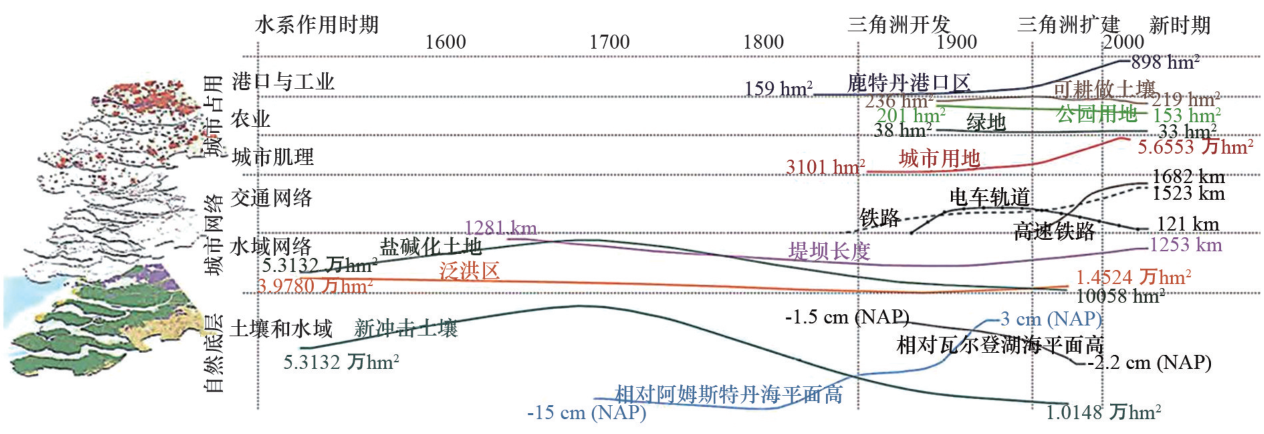


图4　荷兰南三角洲区域韧性生命周期分析

近年来,城市韧性策略开始陆续被应用到城市建设和管理中,在国际上较为重要的实践有2个。

1)战略与规划类实践——纽约的弹性城市建设计划(图5[9])。纽约市以2007年《更葱绿,更美好的纽约》[10]为起点,2013年《更加强壮、更富弹性的纽约》明确提出了基于257个基础设施系统建设的10年计划;2014年,纽约市随后发布《一座城市,一起重建》[11]报告,提出设立恢复和弹性建设办公室作为机制保障,确保城市在推动弹性建设方面的执行力;2015年,又以《一个纽约——强壮适宜的城市规划》[12]报告形式,推出利用海岸线更替分析技术、交互式平台开发技术、气候变化预测准确度分析技术、洪水风险图绘制技术等多技术协同应变方案。该方案提出了社区安全(强化社区组织建设、完善应急准备和计划、扶持中小企业和本地商业、确保员工发展、社区绿色化降低城市热岛强度等)、建筑更新(提升建筑韧性、支持建筑更新、调整建筑保险评估机制等)、基础设施优化(升级既有系统、提出标准化弹性设计指南、提高公共服务供给效率等)、防洪能力提升(增加海防工程、提升政府防灾融资能力、提出政策激励和长效管理机制)等规划。

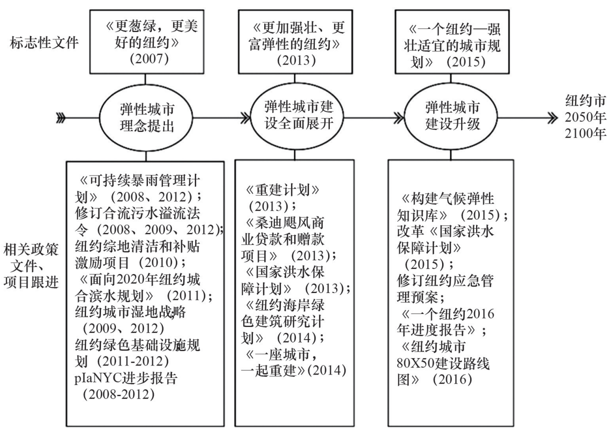


图5 纽约韧性城市建设历程

2)城市政策型实践——日本的《国土强韧化基本规划》。《国土强韧化基本规划》是基于京都大学的藤井聪教授提出的气候灾害主动防御3原则:避免致命伤、被害最小化、强韧性塑造,从而形成的日本国土强韧化政策[13]。《国土强韧化基本规划》主要由国土强韧化的基本考量、脆弱性评价的基础框架和步骤流程、国土强韧化的主要推进方针、国土强韧化规划的细化策略和修正完善的方法等4个部分组成(图6[14]),该计划假定了45项需规避的严重事态,并对如何通过协调多个国家机构部门重点关注风险评估、新技术普及、建筑生命周期延长对策等工作内容,提出明确要求。计划还要求按年度制定行动计划与出台国土强韧化地域规划,并对地方提供包括技术支持和人员培训在内的支撑服务。

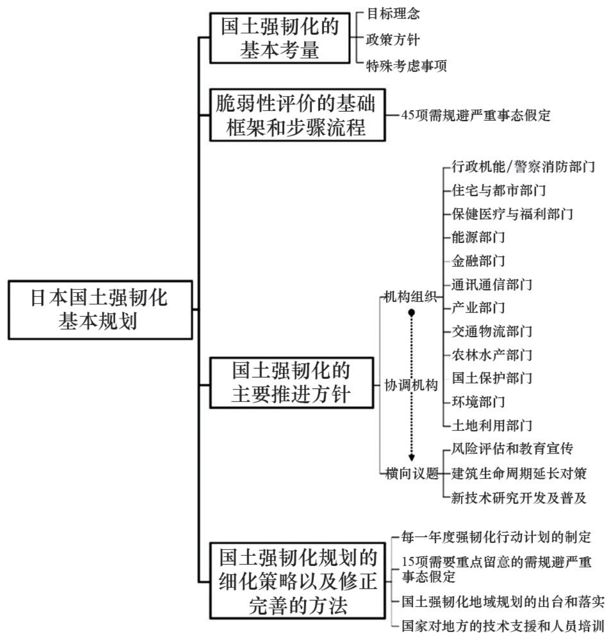


图6 日本《国土强韧化基本规划基本规划》的主要内容框架图

2.2 中国研究概况

2.2.1 基础概况

本研究以"韧性城市"为关键词,在中国知网对相关文献进行系统检索,并采用citespace进行分析,得到如下结论。

1)国内的韧性城市研究主要集中在"可持续发展""气候变化""生态安全"等方面,研究对象由基础设施向韧性社区拓展,研究内容由景观向防灾、节能、绿色等技术应用延伸(图7)。

2)2013年,"韧性城市"热度开始提升;2015年,相关研究关键词集中在评价体系、城市安全、总体规划等方面;2016年,基础设施、综合减灾系统等成为热点。2017—2018年,研究趋于整体系统

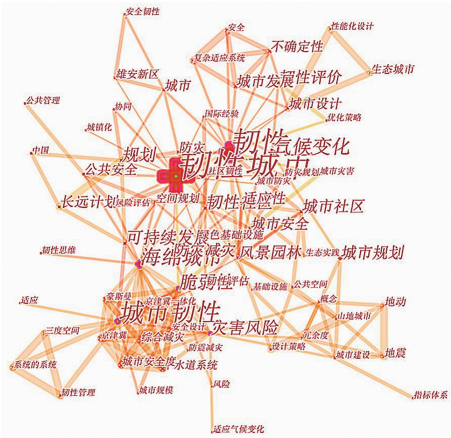
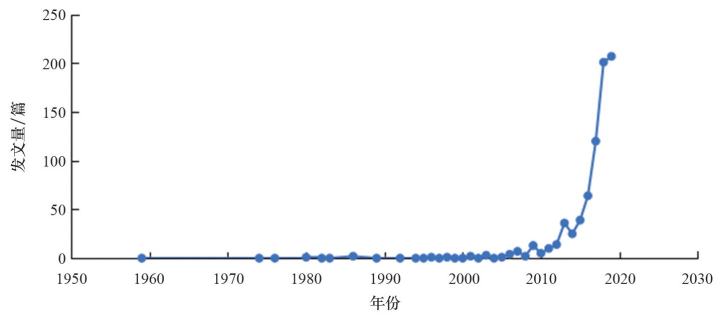


图7　国内韧性城市热点关键词网络图谱

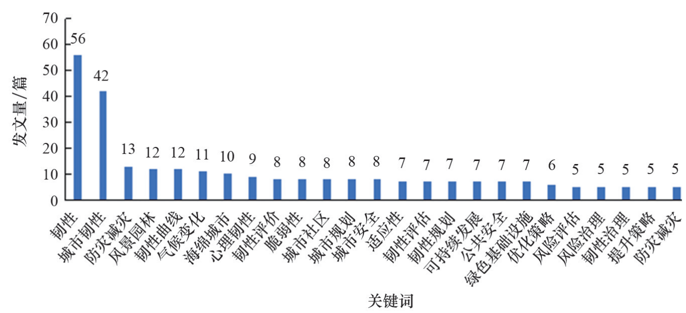
的构建,思维发展趋向于多样化与长远化,并且积极与国外相关防减灾经验进行交流与学习(图8)。

2.2.2　中国韧性评价与相关实践

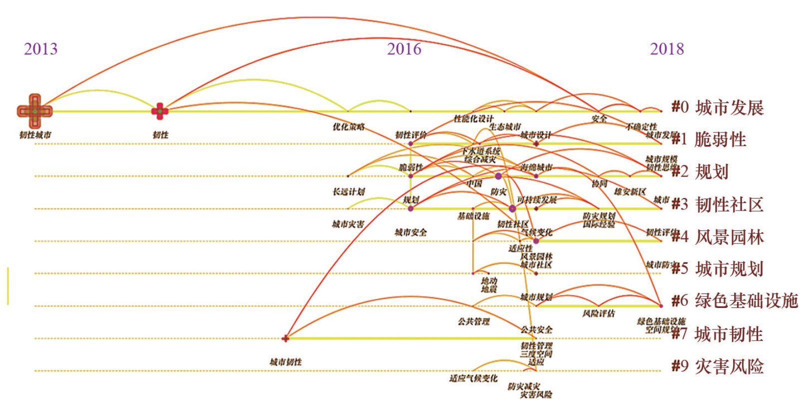
中国在韧性城市研究主要集中在韧性城市演变规律、韧性城市评价体系以及韧性城市规划等3个方面。关于韧性城市演变规律的研究,蔡云楠等[14]对气候适应性规划、城市生态安全性、人体舒适性、物质空间与自然气候协调性、能源利用高效性等相关韧性城市基本原则进行了总结;俞孔坚等[15]从降低城市洪涝、干旱等灾害损害对城市脆弱性与适应性的相关概念进行分析,并提出水系统韧



(a)“韧性城市”主题文献年度分布情况



(b)“韧性城市”文献关键词分布情况



(c)中国近5年关键词时间序列分析

图8　中国相关文献数量与关键词时间序列分析

性评价方法及策略;邴启亮等[16]以深圳市为例,通过借鉴国际较为先进的经验,探讨了未来如何在城市防灾、减灾和救灾3个层面建立具有韧性的城市运行框架与危机应对策略。

在城市韧性评价的研究主要包括:李彤玥以洪水为例,提出了以抗扰(R1: robustness)、冗余(R2: redundancy)、智慧(R3: resourcefulness)、快速(R4: rapidity)为建构的韧性城市评价指标体系[17];李亚[18]则在Cutter等学者提出的韧性评价指标体系基础上,结合国情构建了由经济、社会、环境、基础设施、组织、社区6个维度支撑下的城市灾害韧性评价指标体系;张明顺等从指标选取、指标处理、指标权重的确定及指标整合等4个方面,提出了城市脆弱性、风险和韧性的定量评估方法[19]。

在韧性城市规划方面,2016年国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部联合出台《城市适应气候变化行动方案》,提出创建气候适应型城市,全面提升城市适应气候变化的能力。此外,中国已有4座城市入选了《100韧性城市》项目,分别是四川省绵阳市、海盐市、浙江省义乌市和湖北省黄石市。

3 韧性城市相关核心问题与观点

3.1 关键科学和技术问题

1)韧性城市系统的构成要素。构建韧性城市系统的前提是明确其构成要素,Jha等[20]认为是基础设施、制度、经济和社会4要素;美国地震工程综合研究中心(Earthquake Emergency Initiative, EMI)[21]2015年提出应是工程、组织、经济和社会4要素;欧盟委员会科学服务联合研究中心(European commission´s Joint Research Centre, JRC)[22]2016年提出包含气候灾害、暴露度、敏感度、风险和适应性的5部分框架;王祥荣等在《气候变化与中国韧性城市发展对策研究》一书中,则提出了基础设施、经济社会系统、绿地系统、湿地生态系统的4要素划分建议。总之,目前相关研究在这一领域仍未形成共识。

2)城市应对气候灾害的自适应原理。Alberti[23]指出,城市韧性是指在城市在一系列结构和过程变化重组之前,可以吸收与保持系统稳定的能力和程度,要求作为有机体的城市在面对气候灾害时,表现出更强的自我调节能力。然而,这一能力的建立,即如何在遭遇突发和不确定的灾害时迅速分散风险并恢复稳定的路径与方法是提高城市气候灾害韧性的主要关注点,特别是在5G、物联网、AI等新技术不断涌现下,如何更快将新技术引入,也将成为业界研究的新热点。

3)叠加灾害影响下的城市应对机制。目前,有关城市气候灾害韧性的研究思路多以需要应对的灾害类型着手,在分析灾害作用机理、城市破坏特征、应急预案准备等方面,形成相应的应对机制。例如,以应对风暴、洪水为主要目标的海绵城市计划已经成为中国许多城市规划建设的关键内容。然而,在同时应对像洪水、热浪、暴雪等多种气候灾害时,由于其破坏机理的不同,城市的应对策略也会有明显差异,如何令城市形成综合的应对能力,而不是简单的风险应对累加,仍鲜有研究。

4)韧性城市发展策略。将理论研究应用于城市治理实践并最终提高城市的气候灾害风险抵御能力,是城市韧性研究的目的,因此,围绕韧性目标构建综合的城市发展策略,是该领域研究的终极命题。其策略包括公共政策策略、规划设计策略、工程技术策略和行动策略等。目前,应对传统型灾害的策略主要集中在微观的工程技术领域,而应对海平面上升等新兴灾害的策略,还主要侧重于宏观、抽象的政策和指引类策略。

5)城市风险评估与韧性评价。风险评估主要针对城市在采取必要的韧性建设策略前,在面对潜在气候灾害风险时的抵御或防范能力的评估,主要从脆弱性角度进行分析;韧性评价则是在城市执行了相应的防范策略后,其对未来气候灾害的适应或应变能力,主要从自适应的角度进行分析。二者存在关联性,但又因侧重点不同而在评价体系和目标方面,存在显著差别。

洛克菲勒基金会和Arup[24]在2014年发布的城市韧性框架和城市韧性指数,是目前较新的城市韧性评价体系,主要从健康和福祉、经济和社会、基础设施和自然系统、领导和战略4个方面,为城市提

供韧性测度评价。

6）城市韧性评价的指标体系。现有城市韧性评估指标主要集中在能源、供水、排水等城市系统的单一部分，对于城市整体韧性的衡量仍缺乏必要的工具和理论。而韧性评价指标体系的构建与城市韧性构成要素存在着关联，在明确的主要构成要素基础上，遴选不同维度韧性测度的关键性指标，并进行合理的赋值和权重确定，这样的理论模型虽然经典而可行，但是在面对实际的复杂城市系统和不确定的气候灾害风险时，如何落实并验证体系的有效性，仍面临诸多挑战。

3.2　韧性城市相关策略路径与重点任务

3.2.1　抵御策略

1）发展路径。重点研究与识别发生频率高、影响范围大的灾害风险。根据国内外案例经验，识别发生频率极低、但影响后果极其严重的灾害风险；研究与吸纳新兴技术，提升综合性、复杂性灾害要素作用下的功能和抵御灾害的能力；加强对除灾害本身外可能引发的工程、经济、社会等方面的未来可能发生的问题的忧患意识与提前防御系统的研究。

2）重点任务。开展不同空间尺度的评价，提高城市空间格局高规格的风险抵御建设；建立重大灾害研究平台，构建城市多灾种、多尺度大型实验基础设施体系；对高风险地区进行重点干预，提高其风险抵抗能力，从而搭建起一套完善的城市防灾减灾体系。

3.2.2　恢复策略

1）发展路径。基于韧性城市基础设施模块性和框架性的特点，研究跨尺度和高联系性的灾后重建解决方案；以文化导向，研究在地文化，帮助韧性城市恢复依据，提升居民生活幸福感和安全感；城市韧性规划是一个连续动态的过程，这种韧性不仅体现在空间结构的构建上，还体现在制度机能的组织上，需要持久地跟踪研究。

2）重点任务。构建跨尺度、多元化的社会联动体系，为灾后城市快速恢复与自我复苏提供基本条件；发掘城市在地文化，加强民众的价值认同感建设，提升市民归属感和自豪感，带动富有吸引力的城市特色发展项目，进一步增强凝聚力和城市活力；把握发展中的不确定性要素，注重近期、中远期和远景规划的结合，并强调中远期和远景规划的韧性力度匹配发展模式。

3.2.3　适应策略

1）发展路径。韧性城市的适应性研究应更加综合和多元，不仅仅追求城市短期发展目标，而应对于对象，研究多元化、适应性强的解决方案；针对气候灾害脆弱性高，环境承载力低，系统要素低下的现实发展情况，规划应偏向于研究将设计者与实施者相结合的合理模式，在设计者合理宏观的建构体系下，根据城市自身自然与地理条件的变化，实施者也拥有充实和完善的权利；韧性城市的研究方向应摒弃以物质系统抵御灾害为主的传统思想，转而关注物质层面和社会层面系统重构的研究上。

2）重点任务。根据不同的城市气候风险、城市规模、城市功能等，因地制宜，分类建立健全适应方案；构建韧性规划的骨架，践行刚性与韧性措施并重的调控手段；构建规划技术、建设标准等物质层面和社会管治、民众参与等社会层面相结合的系统，全面增强城市的结构长期适应性。

4　结论

中国的城市化水平已经超过50%，但大部分城市面对灾害时都显得韧性不足。由于快速城镇化的诸多复杂问题，基础设施投入不足、防灾减灾方面滞后及规划建设管理部门管理不佳等情况成为发展韧性城市中面临的极大挑战。通过对国内外韧性城市研究与相关实践经验的分析与总结，得出以下6个方面的结论，希望对中国韧性城市的发展提供指导。

1）建设自适应韧性能力。气候灾害对现代城市的威胁影响具有普遍性，这使得城市气候韧性研究得到越来越多的关注，同时由于城市是一个复杂巨系统，因而比社区和建筑这样的中观和微观人居环境单元，更加具备建设自适应韧性能力的条件和基础。

2）鼓励多元化参与方式。现代城市中的各种

要素是紧密关联的,这使得自然灾害所引发的风险往往具有系统性特征,并容易呈现风险放大效应,因此如何通过多元化参与的方式,提高城市系统整体协同应对能力,是建设城市气候灾害韧性能力的关键。

3）推动小规模持续性更新。韧性城市发展策略呈现多样化和个性化的趋势,为了使策略更具地域针对性和应对弹性,国外领先的气候灾害韧性城市建设,大多以城市生态化改造背景下的小规模、持续性更新为主,强调非政府组织和居民参与的重要性。

4）建立广泛社会灾害共识。国内外实践均首先指向"共识建立",因为要提高社会整体应对灾害的韧性与能力,风险认知和管理共识的建立是基础和前提,唯此才可以有后续的评估、建设、预案与管理等行为的出现。

5）深入定量韧性评价研究。城市韧性评价仍处在定性引导的阶段,气候灾害风险的偶发性、间歇性和不确定性,使得对其开展的定量研究仍处在早期摸索阶段,缺乏成熟的理论模型支撑。

6）提升防范意识与制度建设。气候灾害对城市影响的与日俱增,与人们风险防范意识以及管理机制建设的滞后性矛盾突出。

受经济发展阶段、文化价值传统等因素的影响,中国城市在自然条件、经济基础、整体认知、管理架构等诸多方面,均与国外城市存在根本性差异,因此如何在积极发掘与利用中国本土资源与文化在气候灾害应对方面传统优势的基础上,探索适合中国特点的城市韧性评价与策略体系,将成为未来业界研究的重点。

参考文献(References)

[1] 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.

[2] Alexander D E. Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey[J]. Natural Hazards and Earth System Science, 2013, 13(11): 2707-2716.

[3] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4 (4): 1-23.

[4] Cutter S L, Barnes L, Berry M, et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters[J]. Global Environmental Change, 2008, 18(4): 598-606.

[5] Joerin J, Shaw R, Takeuchi Y, et al. The adoption of a climate disaster resilience index in Chennai, India[J]. Disasters, 2014, 38(3): 540-561.

[6] 100 Resilient Cities[EB/OL]. [2019-11-25]. https://www.rockefellerfoundation.org/our- work/initiatives/100- resilient-cities/.

[7] 蔡云楠, 温钊鹏. 提升城市韧性的气候适应性规划技术探索[J]. 规划师, 2017(8): 18-24.

[8] Meyer H, Nijhuis S. Urbanizing deltas in transition, Amsterdam[M]. Amsterdam: Techne Press, 2014.

[9] 曹莉萍, 周冯琦. 纽约弹性城市建设经验及其对上海的启示[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 86-95.

[10] City of New York. Planyc 2030: A greener, greater New York[R/OL]. (2010-7-27)[2019-12-01]. http//www.nyc.gov/html/planyc2030/html/home/home.shtml.

[11] Goldstein W, Peterson A, Zarrilli D A. (2014) One city, rebuilding together: A report on the City of New York´s response to Hurricane Sandy and the path forward[J/OL]. [2019- 12- 30]. http://www1.nyc.gov/assets/home/downloads/pdf/reports/2014/sandy_041714.pdf. 2014.

[12] Environmental Law Committee, Chair M G M. One New York, the plan for a strong and just city[EB/OL]. (2015-05- 22) [2019- 12- 01]. https://www1.nyc.gov/office- of-the-mayor/news/257-15/mayor-de-blasio-releases-one-new-york-plan-strong-just-city/#/0.

[13] 邵亦文, 徐江. 城市规划中实现韧性构建: 日本强韧化规划对中国的启示[J]. 城市与减灾, 2017(4): 71-76.

[14] 蔡云楠, 温钊鹏. 提升城市韧性的气候适应性规划技术探索[J]. 规划师, 2017(8): 18-24.

[15] 俞孔坚, 许涛, 李迪华, 等. 城市水系统韧性研究进展[J]. 城市规划学刊, 2015(1): 20-22.

[16] 郦启亮, 李鑫, 罗彦. 韧性城市理论引导下的城市防灾减灾规划探讨[J]. 规划师, 2017(8): 12-17.

[17] 李彤玥. 韧性城市研究新进展[J]. 国际城市规划, 2017, 32(5): 15-25.

[18] 李亚.《纽约适应计划》报告解读[C]//新常态: 传承与变革——2015中国城市规划年会论文集(01城市安全与防灾规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[19] 张明顺, 李欢欢. 气候变化背景下城市韧性评估研究进展[J]. 生态经济, 2018, 34(10): 154-161.

[20] Jha A K, Miner T W, Stanton-Geddes Z. Building urban

resilience: Principles, tools, and practice[M]. Washington: World Bank Publications, 2013.

[21] Bruneau M, Chang S E, Eguchi R T, et al. A framework to quantitatively assess and enhance seismic resilience of communities[J]. Earthquake Spectra, 2003, 19(4): 733-752.

[22] Forzieri G, Bianchi A, Marin Herrera M A, et al. Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change[R/OL]. 2015, doi: 10.2788/232049.

[23] Alberti M. Urban form and ecosystem dynamics: Empirical evidence and practical implications[J]. Achieving Sustainable Urban Form, 2000, 4(2): 84-96.

[24] The Rockefeller Foundation and ARUP. City resilience framework[R]. New York: The Rockefeller Foundation and ARUP, 2014.

The construction and the development of international resilient cities based on the impact of climate disasters

LI Tao[1], ZHU Shanshan[2], HUANG Xianming[3]

1. Huacheng Boyuan (Beijing) Engineering Quality Inspection and Appraisal Co., Ltd, Beijing 100088, China
2. School of Architecture and Design, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China
3. Tsinghua University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Beijing 100084, China

Abstract The climate disaster brought by the global warming seriously threatens the development of cities and society in the world. It is a new urban development task for cities to improve their ability to cope with the climate change through the construction of resilient cities. This paper first reviews the origin and the classification of the resilience concept, then uses the city space software to analyze the data of the resilience research and development at home and abroad, the relevant strategies and practices of the resilience city system construction in typical countries against climate disaster, and the key scientific and technological issues and relevant strategic paths of the resilience city construction and development. Some strategies and suggestions are proposed for the research and development of resilient cities in China. This study provides a theoretical support for the effective prevention and control of natural disasters in cities and for the reduction of disaster losses, which is of great significance to ensure the sustainable development of China′s economy and society.

Keywords global warming; climate disaster; resilient city; sustainable development

（责任编辑　卫夏雯）