

刘严萍, 王慧飞, 钱洪伟, 等. 城市韧性: 内涵与评价体系研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 8-12. [LIU Yanping, WANG Huifei, QIAN Hongwei, et al. Urban resilience: Connotation and evaluation system[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 8-12. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.002.]

城市韧性: 内涵与评价体系研究*

刘严萍¹, 王慧飞², 钱洪伟³, 王勇⁴

(1. 天津城建大学 经济与管理学院, 天津 300384; 2. 中国人民警察大学 灭火救援技术公安部重点实验室, 河北 廊坊 065000; 3. 河南理工大学 应急救援研究所, 河南 焦作, 454000; 4. 天津城建大学 地质与测绘学院, 天津 300384)

摘要: 智慧城市韧性研究为城市可持续发展提供了新动力, 对提高现代城市的承载能力、抗灾能力、发展能力具有重要现实意义。在综合阐述城市韧性相关概念、研究对象、内涵界定的基础上, 基于物质系统与人类系统的相互作用、互为促进和发展的角度, 城市韧性的特殊特点被归纳为交互性、成长性和规律性。构建了以人、物、经济社会系统为核心的, 以敏感性、应对力、交互能力、成长度为维度的智慧城市韧性评价指标体系, 以期在城市可持续发展、智慧城市韧性研究提供理论支撑和实践指导。

关键词: 智慧城市; 城市韧性; 评价体系; 可持续发展

中图分类号: X43; TU984 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0008-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.002

随着我国城镇化率的提高, 城市不断扩张, 人口大量聚集, 城市功能日益扩展, 城市系统日趋复杂, 随之而来的城市安全问题凸显, 制约着城市健康发展。城市作为复杂系统, 不可避免受到自然灾害、公共突发事件、安全生产事故、经济金融危机等多种风险的冲击。对此, 韧性城市研究具有重要现实意义。2013年纽约开展的“一个更加强大、更具韧性的纽约”计划; 2015年日本推行国土韧性计划; 2015年中国城市规划年会关于韧性城市发展展开全面研讨。世界上诸多国家的城市正在进行智慧韧性城市建设^[1]。然而城市系统巨大复杂, 城市韧性研究跨越多个学科领域, 其相关技术和实际推进受到城市管理体系、经济能力、社会发展水平、法律法规政策发育水平等多方面制约。如何将这一理念运用到实际中, 目前尚无成熟的理论体系和规范的实践经验^[2]。分析智慧城市阶段, 城市韧性的内涵及特点是城市韧性研究的新课题。不同城市所面临的各种突发事件威胁的类型和程度存在差异, 要根据自身风险分析结果来探索如何构建智慧韧性的城市。在综合评价研发的基础上制定相应的国家标准^[1]。为此, 探索智慧韧性的城市综合评价指标体系, 具有重要意义。

1 韧性概念的界定

韧性概念最早由霍林提出, 是指系统在外部

扰动时恢复稳态的能力^[3]。通过系统对扰动的抵抗能力和系统恢复到平衡状态的速度来衡量^[4]。受生态系统运行规律的启发, 韧性被认为可促进使系统形成新的平衡状态^[5-6], 瞬间吸收扰动的量级^[7]。社会韧性关注人类群体是如何从灾害中恢复的^[8]。随着人类认知的不断加深, 基于演化的视角, 韧性被认为系统为回应压力而激发的变化、适应和改变的能力^[9-10]。在从工程、生态、社会三个方面分析韧性定义后, 其共性被归纳为系统适应外部环境变化的能力及其吸收、适应和快速恢复能力及学习能力, 另外系统具有的多元平衡性和自组织性^[11]。韧性是一个过程的体现。抵抗阶段表现为吸收扰动时负面影响以保障城市核心功能不被完全破坏; 恢复阶段体现为扰动发生后, 城市可迅速恢复其受损部分至所期望的状态; 适应阶段, 城市系统通过主动或被动学习来改变其结构以应对未来的不确定性^[12]。综合以上文献, 该文将韧性定义为系统对于扰动(涵盖系统外部和内部各类扰动因子)的抵抗力, 及其在抵御冲击过程中, 向新的稳态过渡期间吸纳扰动的最大能量, 同时通过实现新的稳态而获取的自身抵御能力变化的轨迹。

2 城市韧性内涵的界定

最初生态及灾害学领域多数文献把 resilience 翻译成恢复力。2012年以后, 契合了城市规划中

* 收稿日期: 2018-07-15 修回日期: 2018-09-24

基金项目: 天津市高等学校基本科研业务费资助项目(2016CJ23)

第一作者简介: 刘严萍(1979-), 女, 河南汝南人, 博士, 讲师, 主要从事城市安全与应急管理研究. E-mail: liuxiaw@126.com

的适应性规划之意, 弹性城市逐渐流行。尔后韧性的译法在城市领域开始盛行^[13]。韧性城市即城市在受到外界干扰后, 保持主要特征、结构和关键功能^[14], 当地不受到毁灭性损失、维持生产生活正常运作的功能^[15], 吸收外部干扰且达到一个效率和质量不低于原状态的动态平衡^[16], 适应并更好地应对未来不确定性的能力^[17], 以及城市结构重组前所能够吸收与化解变化的程度^[18]。城市韧性是由可持续的物质系统和社会群体结合而形成, 并通过社会群体发挥作用^[19]。城市韧性由基础设施韧性、制度韧性、经济韧性和社会韧性共同构成, 涵盖设施脆弱性的减轻和社区应急能力, 政府和非政府组织引导能力, 经济多样性, 人口特征、组织结构方式及人力资本等要素的集成^[20]。通过城市完善整体格局和功能, 通过适应灾害的经验积累, 增强学习, 维持或迅速恢复其功能, 并通过适应来更好地应对未来不确定性的能力^[21-23]。演进的观点具有更强说服力, 应当成为城市韧性研究所要参照的基准^[24]。智慧城市阶段, 城市系统以数字化平台、物联网及云计算为构架, 由相互作用的物质系统与人类系统构成, 经受突发事件时, 为避免功能紊乱, 在最短时间内有效恢复的能力, 及其在应对过程中所表现的基于学习能力(被动学习或主动学习)的自免疫、自适应和自修复能力的动态演进过程。

3 城市韧性的特点

Wildavsky 提出了韧性系统的基本特征, 即动态平衡性、兼容性、高效流动性、扁平性、缓冲性、冗余性^[25]。智慧城市阶段的城市韧性, 除以上六项基本特征以外, 还应具备以下几个特点。

3.1 交互性

以往城市韧性理论与实践研究的重心在于城市基础设施和建筑的结构防护设计, 或者是城市空间防灾设计上, 而忽视社会群体在城市灾害中的表现^[26]。事实上, 城市在突发灾害的冲击下的表现在一定程度取决于物质系统和社会群体的交互过程。尤其是随着信息技术和物联网技术的不断发展, 物质系统和社会群体之间的网络化交互增强。一是城市韧性更多地表现为基于城市智慧管理平台, 人对于城市物质系统掌控的能动作用发挥; 二是以物质系统突发状态下的自切断、自修复和自启动, 并将该过程轨迹通过云平台记录, 网络传输给控制中心、监督中心、各类客户端, 为突发事件“恢复重建”提供实证数据, 这种物与人的交互, 为人类探索突发事件机理提供了可能性; 为人类探析物质系统潜在问题与关键成因提供依据; 为人类反思和总结不当应对之处, 分析成因, 从而提升安全意识、知识及技能, 并针对智能终端传递的数据分析结果, 针对性改进准备与演练行为, 具有实际指导价值。

3.2 成长性

城市韧性, 强调城市系统在外部致灾因子扰动下, 保持系统稳定性的能力。而致灾因子总是

在不断演化中, 从仿生学的角度而言, 城市系统可被视为是一个生物、建筑和文化混合体。随着技术不断革新, 城市日趋智能化, 随着 BIM 技术、传感器技术、物联网技术不断向城市各个领域渗入, 城市系统将逐步拥有“生命智能特性”, 在不同灾情冲击后, 会通过智慧平台和自身的传感系统, 记录整个过程, 从而通过数据挖掘等技术, 快速诊断和预测自身的损伤程度, 快速链接备用能源或备件或线路系统, 城市韧性呈现出物质系统和社会群体系统的成长性, 且因为两者之间的交互, 这种成长性同步的, 任何一方的滞后, 都会制约对方的韧性提升。

3.3 规律性

事物的发展虽然看起来较为杂乱, 然而长时序列或者大量的统计分析后会表现出某些规律性。致灾因子如此, 对于城市系统同样如此, 特别是随着智慧城市推进, 大数据和云平台及各类传感器的不断革新、发现、表述, 甚至量化物质系统和社会群体之间的交互性和成长性, 为归纳其潜在的规律性提供了可能。

4 城市韧性化的目标

城市韧性化的目标涵盖最大限度保障人民生命财产安全; 维持国家及社会的重要机能; 实现公共设施系统网络功能不丧失; 迅速地恢复及振兴^[27]。智慧城市阶段, 城市韧性化目标除了以上几点以外, 还应实现以下几个目标。

4.1 智慧城市管理平台的安全性

随着城市参与国内国外竞争强度和广度不断加强和扩大, 基于流空间理论, 城市的网络节点地位及节点之间的势能决定了要素在通道中的流向和流速。对于保障城市在突发事件中抗冲击能力和反应能力, 城市智慧平台的安全性起到了重要支撑作用。提升该平台的安全性, 要从互联互通的角度考虑, 研发立足国家层面和国际化层面的平台建设标准; 研发分布式数据库自身安全管理技术和规范; 提升物联网和传感器设备的自防护能力。

4.2 基础设施和智能建筑运行管控的安全性

基础设施在受到突发灾害冲击时的安全性, 直接影响城市生产生活的可持续性。因此, 城市韧性化的目标之一就是实现基础设施设防程度的提升。智慧城市阶段基础设施安全性已经超出了传统的工程结构防护技术和方案, 其具备网络运行安全性, 通过网络优化设计, 提升关键节点的抗损毁能力, 实现局部结构破坏情境下的功能正常。城市韧性化体现于智能建筑运行的安全性方面, 主要侧重于实现智能监测、研判、预警、响应及恢复的无人化运行精准度和有效性。

4.3 社会群体的安全性

智慧城市阶段的城市韧性化表现在以下几个方面。首先, 表现在社会群体方面, 主要实现其超前的防御理念下推进城市规划、建设的整体性, 在有限资源的前提下实现城市整体层面的韧性化; 其次, 表现于其在突发事件时对于物质系统的准

确操控能力提升,这需要全社会数据技术和信息技术的广泛普及作为支撑;再次,体现在善后恢复阶段,社会群体从突发灾害应对过程中反思、学习的能力,以根据风险演化调整城市空间布局,弥补物质系统的漏洞,以强大的适应力更好地应对未来的不确定性。

5 城市韧性评价指标体系概念框架构建

城市韧性评价是识别城市韧性潜在薄弱环节的重要方法和手段。目前城市韧性评估主要集中在技术网络系统、经济系统、基础设施系统、能源系统、社会—生态系统等方面,综合性评估相对较少。方法主要涉及情景规划、阈值分析、社会网络模型、模糊认知图、蒙特卡洛模型、神经网络分析等。指标选择最早侧重于坚固性、快速性;逐步扩展到坚固性、快速性、冗余度和资源可调配度;经济、基础设施、政府和非政府组织、应急服务和常住人口等方面^[28-33]。为了有效评价和科学量化城市韧性,不同研究机构从各自领域出发建立起韧性城市研究的框架体系^[34-36]。智慧城市阶段,物联网及信息技术使得综合信息的获取成为可能。探索智慧城市韧性评价指标体系的概念框架,具有重要意义。

5.1 城市韧性评价指标选取原则

5.1.1 系统性

系统性是指城市韧性评估的指标选择应涵盖全要素、全过程、全空间三个方面。全要素是指涵盖城市系统的使用者、规划设计者、运行维护者。全过程是指涵盖信息和物联网支撑下不同层面的信息在利益相关者之间交互过程,体现为人的学习促进城市在规划设计及运行维护技术和管理方法上的提高,同时物质系统在灾害中损毁过程借助于物联网和云平台得以保存和再现,从而揭示人的活动非理智性和管理过程的欠缺环节。全空间是指涵盖城市空间内所有物质系统和社区群体。

5.1.2 可得性

数据的完整性及获取的便利性,是制约城市韧性评估工作的关键因素。不同相关参数间的空间关系可以通过GIS、物联网和云平台得以实现。目前云平台的发展尚在初期阶段,其存储和计算能力亟待提升,因此长时序的数据可得性还受到制约。只有极少类型的传感器可以实现直接向云端输送数据,大部分传感器的数据还停留在向APP传输再进入云端。数据的可得性受到数据管理制度与规范的限制。

5.1.3 简明科学性

兼顾数据可得性且计算方法简明易懂的原则,各类指标应具有代表性、典型性,能明确反映该维度的内涵,客观反映城市系统状况,且体现韧性特征。不能过多过细,使指标相互重叠,指标又不能过少过简,避免指标信息遗漏。

5.2 城市韧性评价指标选择

从敏感性、应对力、交互度和成长度四个维

度出发,构建包含物、人、社会经济方面指标的韧性城市评价指标体系,在物联网及云平台支撑下完成数据收集,归一化形成韧性度指数量化城市的韧性水平。

5.2.1 敏感度

(1)物

从物的角度而言,现有的工程防灾技术已经在建筑及设施方面形成了丰厚的理论方法和实际经验。现行建筑和设施防灾规范通常基于历史灾情统计而设计。敏感度主要取决于设计时的防护值和防护方案。城市物质系统对城市灾害冲击的敏感性可以根据本体是否经过抗震设计、防火性能、线路冗余度等来衡量。具体到各子系统考量有所差异,例如城市通信设施而言,敏感性主要取决于通信建筑物、通信塔架和通信设备的抗震防护、防火、防涝设计。

(2)人

从人的角度而言,敏感性和心理素质及以往的受灾害创伤的经历有密切关系。例如,受不同防灾技能训练的人,在同一个被自然灾害冲击场景下,其敏感程度是不同的,有的可能失去理智踩踏通往避难所,有的则较为镇静行为安全规范性较高,是敏感性的鲜明对比。其结论与城市的历史灾情及城市安全宣传培训演练等有关系,精确的结论需要结合实际城市开展量化研究,探索属于这个城市的公众敏感性的影响因素。

(3)经济社会

经济社会的敏感度,主要从突发灾害时,城市停工停产的波及程度,以及城市对外经济活动的中断程度等考察。从经济社会角度而言,从定性向定量研究的转变及对城市韧性提升的科学依据,还需要更为广泛的文献采集,同时需要具体城市在社区尺度上统计数据形成。我国自建国以来,由于城市以行政区进行经济社会数据采集的方法,导致不论给城市脆弱性评估还是给城市韧性评估研究都陷入了数据不可得、不完整、不全面的困境。加之多年来,城市规划、建设、运行管理各部门分担,使得城市管理工作处在碎片化状态,数据共享困难重重。

5.2.2 应对力

以往谈及应对力,更多地是以行政区为基本单元,内在的医疗设施数量,人均年GDP值,消防力量的数量等。近年来快速城市化和频繁极端气候使得城市建筑和设施等物质系统仅仅通过工程防护设计是不够的,应对能力应侧重向自动性、智能性方向发展。

(1)物

关注城市物质系统在城市突发灾害冲击过程中自我防护和修复能力,或在远程操控下的响应能力,涵盖响应速度和准确性。监控系统发现监测数据异常时,超过设置的安全设计值将触发调用监测数据进行智能诊断、安全评估与应急决策,启动联动防灾应急预案。预警研判所用的时间,维护方案的有效性,启动应急联动所用时间,提应急指挥数据所需的时间和准确性可用以衡量

应对力现状。例如通过电力系统故障录波器, 分析继电保护及安全自动装置、综合自动化装置、远程终端单元等损坏情况, 恢复清除率、故障恢复时间。

(2) 人

人是城市的主体, 也是灾害的承受体, 面对城市灾害人的行为具有多面性, 在构建城市智慧过程中体现了人的主观能动性, 在加强城市的承灾能力的情况下, 提高自身的生存能力。在城市突发灾害下人的应急能力, 主要表现在其面对突发灾害时的心理状况、接受并理解预警信息的程度、具备的操控所在环境中智能防护系统的技能熟练程度、参与他救的意识、对灾害信息传播渠道与机制的掌控程度、在灾害情境下协助政府救援力量的能力、日常参与志愿救援组织的演练情况等。

(3) 经济社会系统

城市经济社会系统面对突发灾害的应急能力, 在不同阶段表现有所差异。一是应急准备阶段侧重考量城市智慧应急平台中规划、建设、生命线设施运维部门、公安、消防、国土、气象、医疗等部门数据共享质量, 防灾减灾资金数量、安全素质教育和培训资金、时间、成效等, 灾害保险的承保量、社会组织的应急物质及人员配备状况等, 危险源排查情况及整改情况。二是应急响应阶段侧重考量应急物质到位所需时间、救援力量到位时间、紧急疏散所需时间、水电气及通讯系统进入预警及响应状态所需时间等。三是应急处置阶段监测应急方案有效性(涵盖应急方案的调整次数, 每次调整所需时间、从初始方案到有效控制灾情所经历的时间、控制灾情蔓延的面积比例等, 储备物质启用及发放速度, 有效接收无污染破损食物的人口比例, 伤员转移所需时间, 伤员获得治理的药品器械完善程度, 以社区为单位引导灾民疏散至避难场所所需时间, 得以疏散的人口占受灾人口比例)等。四是善后恢复阶段侧重考察救助资金的到位速度、按新一轮风险评估所完成的规划设计在实际重建时的执行度、社会力量投入(资金、数量及工作时间), 接受国外援助情况等。

5.2.3 交互度

交互度主要衡量在城市突发灾害情境下, 城市物质系统与社会群体之间的应急行为的交互过程。整个过程在智慧城市发展处于初期阶段的限制, 其机理尚不能量化表述。结合城市物质系统主要的构成是智能建筑和实现了智能运维的生命线设施, 可以简化推断, 城市物质系统和社会群体的交互, 可以简化表述为: 突发灾害时, 城市物质系统自感知和防控的比率、人为辅助控制的比率(例如突发地震时燃气管道自感知和自切断的比率); 城市物质系统自感知和防控的正确率(例如突发地震时燃气管道自切断的正确率)、人为辅助控制下的反应正确率。

5.2.4 成长度

从时间轴而言, 不论城市物质系统还是社会

群体, 在经历突发灾害滞后, 各自的敏感度和应对力都会出现不同程度调整, 彼此间交互度应该出现一定程度的优化和提升, 如根据应对失败的经验教训, 从空间的合理组织与使用提高城市对自然和人为灾害等诸多城市灾害和风险的应对水平^[27]。这些现象, 本文统称为城市韧性的成长度。如何量化城市韧性的成长度, 这需要时间推移, 智慧平台长期监测数据的挖掘和分析, 简化表述如下: 灾害发生后, 城市物质系统设防的标准提升程度, 社会群体的敏感度变化、关注程度、参与应急演练的积极性提升度、实际应急技能的提升度、参与应急救援组织的意愿提升度等(需采用社会调查方法统计)。

6 结论

韧性的概念为我们提升城市在灾害时反应水平提供了一种新的视角, 而韧性提升则是基于科学的评价。随着更多城市进入智慧城市阶段, 城市韧性的研究将会引起学界、政府和社会更多关注, 城市韧性的内涵和特点也将随之拓展。基于国内外智慧城市建设现状, 该文对于城市韧性在智慧城市背景下的内涵进行了分析和界定, 并在借鉴系统韧性基本特点的基础上, 从物质系统与人类系统的相互作用和互为促进和发展的角度, 将城市韧性的特殊特点归纳为交互性、成长性和规律性。探索并构建了城市韧性评价指标体系。随着智慧城市发展不断完善和成熟, 城市韧性评价研究所需的物质系统和社会群体领域的全面、精准、实时将会有望实现, 城市韧性评价研究将会从量化的角度取得进一步发展。

参考文献:

- [1] 范维澄. 构建智慧韧性城市的思考与建议[J]. 中国建设信息化, 2015(21): 20-21.
- [2] 刘复友, 刘畅. 韧性城市理念在各级城乡规划中的应用探索——以安徽省为例[J]. 北京规划建设, 2018(2): 40-45.
- [3] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology & Systematics, 1973, 4(4): 1-23.
- [4] Berkes F, Folke C, Colding J. Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience[M]. Linking social and ecological systems. Cambridge University Press, 1998: 387-389.
- [5] Holling C S. Engineering Resilience versus Ecological Resilience [M]. Engineering Within Ecological Constraints. National Academies Press, 1996.
- [6] 方修琦, 殷培红. 弹性、脆弱性和适应——IHDP三个核心概念综述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 11-22.
- [7] Gunderson L H. Adaptive Dancing: Interactions Between Social Resilience and Ecological Crises [M]. Navigating Social - Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge University Press, 2003: 33-52.
- [8] EK Phillips, AL Simpson, JL Aaserud, etc. Understanding risk - Building evidence for action: proceedings from the 2016 UR forum [C]//Washington DC, the 2016 Understanding Risk Forum, 2016.
- [9] Walker B, Holling C S, Carpenter S R, et al. Resilience, adapta-

- bility and transformability in social – ecological systems[J]. *Ecology and Society*, 2004, 9(2): 5.
- [10] Folke C, Carpenter S R, Walker B, et al. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability [J]. *Ecology and Society*, 2010, 15(4): 20.
- [11] 陈玉梅, 李康晨. 国外公共管理视角下韧性城市研究进展与实践探析[J]. *中国行政管理*, 2017(1): 137 – 143.
- [12] 邹亮. 城市防灾中的韧性理念[J]. *北京规划建设*, 2018(2): 18 – 21.
- [13] 汪辉, 徐蕴雪, 卢思琪, 等. 恢复力、弹性或韧性? ——社会生态系统及其相关研究领域中“Resilience”一词翻译之辨析[J]. *国际城市规划*, 2017, 32(4): 29 – 39.
- [14] Jha A K, Miner T W, Stanton – Geddes Z. *Building Urban Resilience: Principles, Tools, and Practice* [R]. World Bank Publications, 2013.
- [15] Godschalk D R. Urban hazard mitigation: Creating resilient cities [J]. *Natural Hazards Review*, 2003, 4(3): 136 – 143.
- [16] Bozza A, Asprone D, Manfredi G. Developing an integrated framework to quantify resilience of urban systems against disasters[J]. *Natural Hazards*, 2015, 78(3): 1729 – 1748.
- [17] 方东平, 李在上, 李楠, 等. 城市韧性——基于“三度空间下系统的系统”的思考[J]. *土木工程学报*, 2017, 50(7): 1 – 7.
- [18] Rgodschalk D, Xu C. Urban hazard mitigation: Creating resilient cities[J]. *Natural Hazards Review*, 2015, 4(3): 136 – 143.
- [19] Alberti M, Marzluff J, Shulenberg E, et al. Integrating Humans into Ecosystems: Opportunities and Challenges for Urban Ecology. *Bio Science*, 2003, 53(4): 1169 – 1179.
- [20] Mileti D. *Disasters by Design – a Reassessment of Natural Hazards in the United States* [M]. Washington, DC: Joseph Henry Press, 1999.
- [21] 沈迟, 胡天新. 韧性城市: 化解城市灾害的新理念[J]. *城市与减灾*, 2017(4): 1 – 4.
- [22] Meerow S, Newell J P, Stults M. Defining urban resilience: A review [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 147: 38 – 49.
- [23] 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.
- [24] Wildavsky A B. *Searching for Safety* (Vol. 10) [M]. Transaction Publishers, 1988.
- [25] 黄富民, 陈鼎超. 城市如何“韧性”而为[J]. *北京规划建设*, 2018(2): 6 – 10.
- [26] Serre Damien, Barocca Bruno, Laganier Richard. *Resilience and urban risk management* [M]. CRC Press, 2013.
- [27] 翟国方, 邹亮, 马东辉, 等. 城市如何韧性[J]. *城市规划*, 2018(2): 42 – 46.
- [28] Ouyang M, Due? as – Osorio L. Time – dependent resilience assessment and improvement of urban infrastructure systems [J]. *Chaos an Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 2012, 22(3): 1 – 23.
- [29] Sharifi A, Yamagata Y. Major principles and criteria for development of an urban resilience assessment index [C]. *International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development*. IEEE, 2014: 1 – 5.
- [30] Grafakos S, Gianoli A, Tsatsou A. Towards the development of an integrated sustainability and resilience benefits assessment framework of urban green growth interventions [J]. *Sustainability*, 2016, 8(5): 461.
- [31] Cavallaro M, Asprone D, Latora V, et al. Assessment of urban ecosystem resilience through hybrid social – physical complex networks[J]. *Computer – Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2014, 29(8): 608 – 625.
- [32] Sellberg M, Wilkinson C, Peterson G D. Resilience assessment: a useful approach to navigate urban sustainability challenges [J]. *Ecology & Society*, 2015, 20(1): 43.
- [33] 周利敏. 韧性城市: 风险治理及指标建构——兼论国际案例[J]. *北京行政学院学报*, 2016(2): 13 – 20.
- [34] Ahern J. From fail – safe, to safe – to – fail: Sustainability and resilience in the new urban world [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2011, 100(4): 341 – 343.
- [35] Rgodschalk D, Xu C. Urban hazard mitigation: Creating resilient cities [J]. *Natural Hazards Review*, 2015, 4(3): 136 – 143.
- [36] 彭翀, 袁敏航, 顾朝林, 等. 区域弹性的理论与实践研究进展[J]. *城市规划学刊*, 2015(1): 84 – 92.

Urban Resilience: Connotation and Evaluation System

LIU Yanping¹, WANG Huifei², QIAN Hongwei³ and WANG Yong⁴

(1. *School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China*; 2. *Ministry of Public Security Key Laboratory of Fire Fighting and Rescuing Technology, Chinese People's Police University, Langfang 065000, China*; 3. *Emergency Relief Research Institute of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China*; 4. *School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China*)

Abstract: The study of the resilience of smart cities provides a new impetus for the sustainable development of cities, which is important to improve the carrying capacity, resilience and development capabilities. On the basis of comprehensively expounding the concept, research object and connotation definition, from the angle of interaction and mutual promotion between material system and human system, the special characteristics of urban resilience are summarized as interactivity, growth and regularity. Human, material and economic systems to be as the core, the smart city resilience evaluation index system is constructed considering sensitivity, coping ability, interaction ability and growth phrase. It can be provided to theoretical support and practical guidance for the sustainable development of cities and the resilience of smart cities research.

Key words: smart city; urban resilience; evaluation system; sustainable development