

韧性理论视角下的城市安全减灾*

Urban Safety and Disaster Prevention under The Perspective of Resilience Theory

郭小东 苏经宇 王志涛

文章编号1673-8985 (2016) 01-0041-04 中图分类号TU981 文献标识码A

摘要 针对新常态下我国城市对防灾减灾的需求,在总结国外相关韧性概念的基础上,提出建设防灾韧性城市的理念,并从减轻灾害影响能力、对灾害适应能力、灾后系统恢复能力3个方面探讨了韧性城市的内涵。分析了我国城市缺乏韧性的原因,给出了评估城市防灾韧性能力的定量方法。基于该方法,通过案例分析了不同城市在灾害过程中的韧性表现形式。最后探讨了提高城市韧性能力建设的举措,并提出了韧性城市建设对规划师的要求与挑战。

Abstract According to the demand of urban safety and disaster reduction in our country today, this paper reviews hazard mitigation practice, defines a resilient city, and discusses the connotation of the resilient city from the aspects of disaster vulnerability ability, disaster adaptive ability, and post disaster recovery ability. Then this paper analyzes the reasons for the lack of resilience in China cities, and gives the quantitative evaluation method for city resilience ability. Based on this method, the paper analyzes the resilience abilities of different cities through the disaster cases. Finally, the paper discusses some measures to improve the urban resilience and puts forward the demands and challenges for the urban planners.

关键词 防灾 | 减灾 | 韧性城市 | 城市规划

Keywords Disaster relief | Disaster prevention | Resilient city | Urban planning

作者简介

郭小东

北京工业大学建筑与城市规划学院
博士,副研究员
中国城市规划学会城市安全与防灾规划学术委员会
副秘书长

苏经宇

北京工业大学建筑与城市规划学院
教授,博士生导师
中国城市规划学会城市安全与防灾规划学术委员会
主任委员

王志涛

北京工业大学建筑与城市规划学院
博士,副教授

1 韧性的概念

韧性一词来源于物理学,与之相关联的是弹性。物理学中的弹性,指物体发生弹性形变后可以恢复原来状态的一种性质。韧性,指材料在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力。城市问题研究者把弹性一词移植于城市规划建设领域中,提出“弹性城市”概念,指城市能够适应新环境,遭遇灾难后快速恢复原状,而且不危及其中长期发展。然而,城市作为一个复杂的系统,完全弹性的城市是不可实现的。2005年的卡特里娜飓风使得美国新奥尔良家园被毁、城市陷入瘫痪,政府历经几年才逐步从灾难中走出(图1)。

因此,一些学者、政府机构开始从经济、社会、生态、防灾等不同的角度提出韧性城市建设的理念。美国国土安全部(Department of



图1 新奥尔良市被“卡特里娜飓风”破坏

Homeland Security, DHS) 在2001年“9·11”事件以后,开始研究城市要害系统在遭受自然灾害和突发事件期间以及之后的功能运转,并对韧性城市、社区以及要害基础设施系统进行了大量研究。表1整理了部分学者从防灾减灾的角度提出的韧性概念。

可以看出,韧性的概念基本涵盖了3个要

*基金项目:国家科技支撑计划“城镇要害系统风险评估及应急空间保障、处置规划关键技术”(2015BAK14B01)项目资助。

素,一是具备减轻灾害或突发事件影响的能力,二是对灾害或突发事件的适应能力,三是从灾害或突发事件中高效恢复的能力。

为此,本文提出“防灾韧性城市”的理念,即城市在遭受适度水准的灾害或突发事件后,能够保持正常运行,并可完全恢复原有功能;城市在遭受超过适度水准下的灾害或突发事件后,城市不应瘫痪或脆性破坏,部分设施可能受到破坏,但城市能够承担足够的破坏后果,具备较强的自我恢复和修复功能。简单地可以称为“低风险下的弹性城市、高风险下的韧性城市”。

韧性城市具备较高的灾害承载能力,其内涵主要包括两个方面:一是城市具备较低的易损性,即灾害的发生不易对城市造成破坏;二是城市具备高效的恢复性,即灾害发生后城市易恢复或修复。

2 国内城市缺乏韧性的原因

当前我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,其原因主要有4个方面。一是人类对自然资源的过度索取,造成了许多新的灾害源在城市发生,如对地下水的过度开采,造成城市出现采空区、漏斗区;对植被的破坏,造成崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害;对工业原料的过度需求,造成城市重大危化品大量集中存贮。二是过快的城镇化进程导致诸多历史遗留问题,如城市老城区老旧房屋密集,基础设施老化,开敞空间缺乏;过快的城市扩张还使得城市逐步向处于灾害潜在威胁的地区要地,例如城市的蓄滞洪区、塌陷区等;部分原先位于城市郊区的重大危险源也逐步成为城市的中心地带。三是城镇化进程一味追求经济增长,缺少对安全减灾设施的投资,在监测预警、防灾减灾、应急救援等方面的建设严重滞后。如2007年北京的“7·21”暴雨,突出显示了城市在突发灾害下的脆弱性以及城市在防灾减灾设施方面的缺乏。四是城市的规模化效应使得城市内部复杂的基础设施之间的依赖性越来越强,导致灾害的发生易出现连锁放大效应,即城市中某一子系统的破坏很容易造成其他相关系统的连锁破坏,使得灾害的损失呈现非线性

表1 与防灾减灾有关的韧性概念

提出者	时间	概念
Mileti ^[1]	1999	韧性指“某个地区经受极端自然事件而不遭受毁灭性损失、破坏、生产力下降、正常生活且不需要大量地区外援助的能力”
Tobin G. ^[2]	1999	韧性指“一种社会组织结构,能够尽量减少灾害的影响,同时有能力迅速恢复社会经济活力”
Adger W N. ^[3]	2000	韧性指“社区公共基础设施抵御外部冲击的能力”
Paton D, et al. ^[4]	2001	韧性指“利用物质或经济资源有效地帮助受灾体从危险中恢复原状的能力”
Godschalk D R. ^[5]	2002	韧性城市指“一个可持续的物质系统或人类社区,其具备应对极端事件的能力,包括极端压力下具备生存和功能运转的能力”
Bruneau M, Chang S E, et al. ^[6]	2003	韧性指“社会单元具备减轻灾害危险性,包括灾害发生的影响,并且可以采用对社会影响最小和减轻未来地震影响的恢复活动的一种能力”
U.S.Department of Homeland Security ^[7]	2006	韧性指“一种资产、系统或网络,在发生某一特定的突发事件时,系统能够在设定的目标功能水平下,高效地减轻灾害(或突发事件)对系统损伤程度和持续时间的能力”
Tierney and Bruneau ^[8]	2007	韧性指“环境突变或破坏性事件发生后系统潜在灵活的和自适应的能力”
Twigg J. ^[9]	2007	韧性指“在灾难性事件中管理、保持某些功能和结构的能力”
U.S. Department of Homeland Security Risk Steering Committee ^[10]	2008	韧性指“某个系统、基础设施、政府、商业或公民对灾害发生导致显著损伤、破坏或损失而具有的抵御、吸收、恢复或适应的能力”
Cutter L S, Barnes L, et al. ^[11]	2008	韧性指“一个社会系统对灾害响应和恢复的能力,包括系统本身具备的吸收事件影响和应对能力”
UNISDR (联合国国际减灾署) ^[12]	2009	韧性指“暴露于危险中的系统、社区或社会,具有抵御、吸收、适应和及时高效的从危险中恢复的能力,包括保护和恢复其重要基本功能”

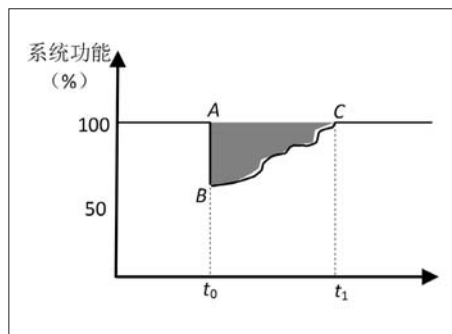


图2 城市系统防灾韧性能力的量化概念图

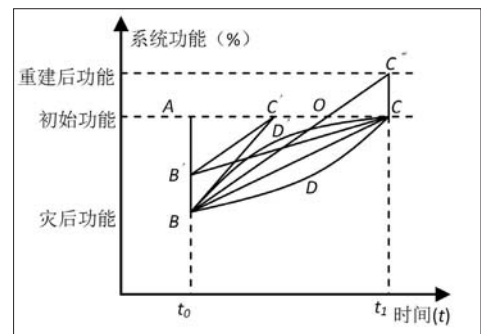


图3 不同韧性能力城市功能恢复力曲线

递增的趋势。

3 评估城市防灾韧性能力的方法

城市通常由居民生活空间、众多的机构、组织、设施以及一些建筑环境组成,关注的重点是那些对保持灾后城市福祉必不可少的组织和设施,如供水供电设施、急救医院、消防救援组织、应急管理机构的等。这些组织和设施构成了城市

防灾韧性能力的“骨架”。

为此,从性能角度出发,把城市任一时刻的功能状态作为多维空间中的一个点,在灾害或突发性事件发生时,城市的功能状态将发生退化,这种退化有可能是持续性的(如洪水),也有可能是突发性的(如地震)。灾害发生后,为了逐步恢复城市的正常功能,需要投入一定的资源去恢复遭受灾害破坏的街区或基础设施。

城市功能恢复时间的长短、恢复的效率,将取决于投入资源的多少以及城市现有“骨架”组织或设施的韧性能力。

如图2所示,用横坐标表示时间,纵坐标表示城市某一系统的功能,如供水能力、供电能力,也可以是多个单一系统功能的综合度量。在灾害或突发性事件发生以前,可以假定城市维持100%正常运转的功能。在 t_0 时刻,由于城市遭受了某种灾害或突发性事件,系统功能将从100%的运转功能降低到某一程度(例如图2中的50%—100%之间)。而灾后恢复重建工作将把系统功能从一个较低的水平在一定时间内(t_1-t_0)恢复到系统初始状态(100%)。因此,可以把城市在遭遇特定灾害下的预期功能损失(如某一系统失效概率)和系统功能恢复时间作为评估城市防灾韧性的指标,用R来表示。则韧性能力损失指标R可用公式表示为:

$$R = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt \quad \text{式 (1)}$$

其中Q(t)表示t时刻某系统的功能水平。

显然从公式可以看出,R可以用图2中ABC围合区域的阴影面积 S_{ABC} 来表示,灾害发生后预期功能损失越小、系统功能恢复的时间越短,则城市韧性损失越小,说明城市的韧性越好。

需要说明的是,公式(1)中忽略了一个问题,即城市日常对防灾减灾能力建设的投入以及灾后救援期间对功能恢复的投入,如果一个城市投入巨量的资金去进行防灾设施建设,并且在遭受灾害破坏后,倾全城之力(乃至全国之力)去集中救援,这虽然能够缩短灾后功能恢复的时间,但在某种程度上并不能说明城市具备较高的韧性能力。因此考虑防灾救灾投入后,公式(1)可修正为:

$$R = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt + \int_0^{t_1} S(t) dt \rightarrow \min \quad \text{式 (2)}$$

式中S(t)表示在t时刻防灾减灾活动付出的投入(如资金、人员或救援设备等),因此一个城市具有较好的防灾韧性能力,可以表示为

表2 典型城市在灾害中的表现及韧性能力表现形式

灾害事件	城市名称	灾害后果描述	城市防灾韧性描述	韧性表现形式(图3中)
2005.8.29 美国卡特里娜飓风	新奥尔良	3级飓风,平均风速280 km/h。死亡657人,有230万居民受到停电的影响,部分城市90%的建筑物遭到了毁坏,出现了无政府状态的混乱局面	城市灾害设防能力较低,灾后救援能力迟缓,应急能力不足,经过数年才逐步恢复	S_{ABC}
1999.9.21 台湾集集地震	南投县	震级ML7.3级。死亡2415人、受伤8722人;台湾岛内火车全部停驶,高压输电线塔毁损、台湾全岛停电。经济损失92亿美元	城市具备较强的灾害设防能力,缺乏应急预案和防灾救灾组织,恢复期较长	S_{ABC}
1995.1.17 日本阪神地震	大阪、神户	震级ML7.3级。死亡约6434人,伤43792人,经济损失1015亿美元。震后,水电煤气、公路、铁路和港湾都遭到严重破坏	城市民房设防较差,公共建筑设防较好,专业救援人员和社会组织较多,居民自救意识强	S_{ABC}
2008.6.14 日本宫城岩手地震	宫城县	震级ML7.2级。11人死亡,12人失踪,450人受伤,2000多座房屋不同程度受损。震源区域的警报提前2秒发布,仙台提前14秒发布预警	城市设防能力高,灾害监测预警系统完备,应急救援和管理体系发挥作用,疏散场所迅速启用	S_{ABC}
2008.5.12 四川汶川大地震	汶川	震级ML8.0级。69227人死亡,374643人受伤,17923人失踪,直接经济损失8452亿元人民币其中基础设施占到总损失的21.9%	城市灾害设防能力较低,无灾害监测预警系统,灾后救援迅速,恢复重建后比原有城市韧性更好	$S_{ABO}-S_{OCC}$
2010.1.12 海地地震	太子港	震级ML7.3级。22.25万人死亡,19.6万人受伤,灾后政府瘫痪,城市极度混乱	城市基本没有设防,空间布局不合理,房屋密集,无避难场所、应急预案和救援组织	S_{ABDC}
2011.3.11 东日本海大地震	宫城岩手福岛	震级ML9.0级。约15885人死亡,2636人失踪。1年后瓦砾才基本清理完成,教育和医疗设施完全修复;3年后有近23万灾民处于“避难”状态	城市有一定设防能力,震灾初期应急救援组织和避难设施发挥了一定作用,但受次生灾害影响,后期进展缓慢	S_{ABDC}

在一定的灾害风险水平下,城市遭受预期损失较小,并用较少的投入使得城市恢复到预期功能所持续的时间最短。

4 对城市功能恢复力曲线的分析

图2中的BC段可以定义为功能恢复力曲线。不同的城市形态在应对灾害时,将体现出不同的功能恢复力曲线。以近年国内外发生的一些典型灾害案例,来说明不同城市的韧性能力差异性,如表2和图3所示。

5 提高韧性城市建设的主要举措

联合国国际减灾署在2013年3月提出,各城市必须在制定低碳可持续发展路线的同时,采取措施提高其韧性应对灾害的能力^[13]。日本为了应对大规模灾害,在2012年提出了《国土强韧化基本法》^[14]和《国土强韧化规划》,重点包括紧急工程的建设 and 老化基础设施的更新改造。美国在国家防灾减灾战略发展的后期,也提出了应对灾害危机的4R体系,即灾害减除(Relief)、灾害准备(Ready)、灾害响应(Response)、灾害恢复(Recovery)。因此,根据对城市在灾害前缺乏韧性的原因分析,借鉴国外发达国家建设韧性城市的理念,在城镇化

进程的新常态下,为了提高城市抵御自然灾害和突发事件的能力,提出韧性城市建设的主要举措如下。

(1) 减轻城市灾害源的危险性

对应于图3中,即减少 t_0 时刻出现灾害或突发性事件的概率。

为了改变城市灾害的外部环境,需要在城市总体规划的前期,对城市潜在发生的灾害源进行一次全面的风险评估,从而确定影响城市的主要灾害源是什么、影响的程度如何、城市在潜在灾害源下的高风险区处于什么地方,从而我们可以采取一系列措施去减轻灾害源的影响。例如,对城市漏斗区应停止开采地下水,将城市重大火灾和爆炸危险源迁往安全的地带,停止荒山毁林以减轻地质灾害的发生可能性,加强对城市地下输油管线、气管线的监测等。

(2) 降低城市灾害易损性

对应于图3中,即减少AB段的长度,也就是发生灾害时,尽可能减小灾害对城市承载体的影响和破坏。

所谓城市灾害易损性,指城市在遭受灾害时容易受到损伤的程度。同样大小的灾害,在不同的国家、不同的城市甚至城市内不同的街区造成的损失都不尽相同,其主要原因就在于承灾体的易损性不一样。韧性城市建设要多修炼内功。一般说来,一个布局合理、灾害设防程度高、基础设施健全的地区,其灾害易损性较低。降低城市灾害易损性的对策主要包括工程性的措施和非工程性的措施。工程性的措施,例如加强城市新建工程的设防、对城市老旧街区的防灾改造、对老化地下管网的更新、对城市重大危险源防护工程的建设等;非工程性的措施,包括城市灾害预警系统的建立、社会防灾思想的宣传、个人防灾意识的提高等。

(3) 提高城市对灾害发生时的自适应性

对应于图3中,体现的是BC段曲线的形式。一个城市如果空间布局合理、次生灾害源管控良好,灾后发生次生灾害的可能性将降低,灾后功能将在初期即可迅速得到恢复。此外,城市如果具有高效的灾害应急预案,灾前储备有可调

用的应急救援物资,有冗余的供水供电设施,有随时可以启用的应急避难场所,这些都将在灾后初期大大提高系统的功能恢复程度,呈现出如图2中曲线BD'C的形式。

(4) 提高城市灾后的可恢复能力

对应于图3中,即缩短AC段的时间,也就是使得城市灾后恢复到原有功能的时间尽可能短。

灾害发生后城市是否有能力迅速恢复正常,是衡量城市韧性能力的一个重要标准。城市可恢复能力的建设,首先应是城市各类应急设施的建设,包括应急保障设施(如城市应急水源、应急供电设施、应急交通设施等)和应急服务设施(如急救医院、应急消防、应急物资体系、应急避难场所等)的规划建设。我国目前正在大力推进的海绵城市建设,正是体现城市在应对洪涝灾害时提高可恢复能力的一个重要举措。其次衡量城市可恢复能力还包括社会软恢复能力的建设,包括灾后政府救助、社会捐赠、司法救助、心理援助、保险理赔等。最后城市可恢复能力的建设还包括经济的恢复能力(例如产业的多元化、模块化和复合性将更有助于灾后经济的恢复)、生态环境的恢复能力等。

6 新常态下韧性城市建设对规划师的要求和挑战

我国城市发展正处于城镇化加速发展的中后阶段,城市的发展方式将从数量增长为主转向质量提升和结构优化为主,城市的信息化水平、多元化程度、人文魅力、生态环境以及应对灾害下的韧性能力将成为新时期城市的核心竞争力。作为规划师,应该传承规划之“道”,变革规划之“术”,以改善人居环境为核心,以提高城市韧性为目标,在城市规划的全过程贯彻韧性城市建设的理念,具体来讲包括4个方面:

(1) 充分认识城市灾害风险评估的重要性

规划师充分认识和确切了解城市所面临的灾害综合风险,是科学合理的制定城市综合防灾规划的前提与基础。通过灾害风险评估掌握城市不同区域所面临的灾害风险程度,摸清城市在安全方面存在的问题及其对城市发展的

影响,合理确定城市在规模扩大、空间拓展、结构调整方面所面临的城市安全门槛,进而可以有针对性地避开城市不利于发展的地段,为优化城市的发展规模、用地布局方案提供技术支持,对各类防灾基础设施进行合理的布局 and 配置,集中力量防备那些风险高的区域,降低城市灾害风险,从而更有效地提高城市的韧性能力。目前,我国已在深圳等城市开展总体规划编制时,预先进行了城市灾害风险和韧性能力的评估,并作为城市总体规划以及相关政策制定的依据^[15]。

(2) 强化城市安全线的划定

当前我国城乡规划中规定了红、绿、蓝、紫、黑、橙和黄7种控制线。其中城市橙线作为一种空间管制手段,是保障重大危险设施与周边建筑的安全间距,实现重大危险设施周边用地安全规划的重要手段,是城市的安全线。2015年8月12日的天津港大爆炸事故再次表明,在城市总体规划阶段,务必明确城市安全线的范围,合理设置好橙线的限制建设区、安全保护区和协调管控区。

(3) 韧性社区的规划

社区作为城市空间和社会组织的基本单元,社区防灾是城市灾害防治的基础性环节。韧性社区是一种自上而下的防灾社区,其注重防灾的主动性,强调在没有外部支援的情况下,通过强化自身系统的防灾能力,达到促进应急救援活动、提高灾后恢复能力的目的。事实证明,社区韧性能力的高低是社区应对各类风险的关键因素。一个良好韧性的社区,包括社区物质空间环境具有较高的抗灾可靠性、高效的社区组织、完善的应急响应机制等^[16]。

(4) 大数据的应用

当前我国已处于“互联网+”的时代,大数据的多源、量大、实时性等特征能帮助政府部门预测灾害的发生发展,决定救灾的轻重缓急。规划师应该充分利用大数据技术辅助进行城市防灾规划的编制,通过对城市灾害源、承灾体相关信息的采集,利用GIS等平台的强大数据集成、