

气候变化背景下规划视角的城市雨洪灾害韧性应对：关键概念、基本思路和通用框架*

翟国方

提 要 近年来,我国城市雨洪灾害频发,造成了巨大的人员伤亡和经济损失。一方面,我国党和政府高度重视城市雨洪灾害的应对,出台了包括建设韧性城市在内的一系列政策措施;另一方面,气候变化及其对城市雨洪灾害甚至经济社会发展的影响受到了国际社会的日益重视。但是,在我国国土空间规划体系中如何贯彻落实韧性城市建设理念,在规划编制的具体操作实践方面尚无明确的行政指南或导则。从规划视角,阐述城市雨洪灾害韧性、城市雨洪灾害风险等关键概念的内涵,在借鉴城市雨洪灾害韧性应对的国际经验的基础上,结合作者的规划实践体会,基于风险治理的过程、要素、主体、层级、灾种等五维体系,尝试提出气候变化背景下规划视角的城市雨洪灾害韧性应对的基本思路和通用框架。

关键词 城市雨洪灾害;韧性应对;气候变化;基本思路;通用框架

Resilient Planning Responses to Urban Flood Disasters in the Context of Climate Change: Key Concepts, Fundamental Ideas, and a Comprehensive Framework

ZHAI Guofang

Abstract: In recent years, China has experienced a surge in urban flood disasters, resulting in heavy casualties and economic losses. On the one hand, the Party and the government have implemented a series of policy measures to mitigate flood hazards, including developing resilient cities, on the other hand, climate change, with its escalating economic and social impacts, has garnered increasing attention internationally. However, within the national territorial spatial planning system, clear administrative guidance for the implementation of resilient city strategies is inadequate. From a planning perspective, this paper succinctly explains key concepts such as urban flood resilience and urban flood hazard. Drawing on international experiences in resilient urban flood hazard management and the author's planning practice, this paper introduces a comprehensive planning framework for resiliently responding to urban flood disasters in the era of climate change. The framework encompasses five dimensions of risk management, including the process of response, risk elements, disaster management authorities, risk levels, and risk types.

Keywords: urban flood disasters; resilience response; climate change; basic ideas; general framework

中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.16361/j.upf.202401004

文章编号 1000-3363(2024)01-0029-09

作者简介

翟国方, 南京大学建筑与城市规划学院教授、博导, 城市安全发展研究中心主任, guofang_zhai@nju.edu.cn

随着我国防洪设施的不断建设和完善,城市洪涝灾情得到了一定程度的控制,年均受灾人口从1990—2000年的1.8亿人下降至2010—2018年的1亿人,相应的人口死亡率由21.1人/百万受灾人口下降至6.6人/百万受灾人口,死亡人数由3909人/年下降

* 本研究得到国家重点研发计划“城镇可持续发展关键技术与装备”重点专项《城市系统韧性功能提升关键技术研究与应用》(项目编号:2023YFC3805204)的资助;根据作者在第20届“中国城市规划学科发展论坛”上的演讲整理改写

至1032人/年,直接经济损失占GDP比重由2.28%显著下降至0.43%,占比下降81%^[1]。但是,近年重大雨洪灾害仍不断发生,损失严重。2021年7月20日河南省郑州市发生了特大暴雨,造成292人遇难、47人失踪,直接经济损失409亿元。2023年7月29日—8月1日京津冀地区发生的极端强降雨造成北京市33人死亡、18人失踪,河北省29人死亡、16人失踪。另外,2010—2020年日本由于雨洪造成的经济损失占GDP的比率为0.186%^[2],仅为我国同期的一半不到,意味着我国在雨洪灾害防御方面还有很大提升空间。

我国各级党委和政府高度重视城市雨洪灾害的应对工作。2020年11月3日发布的《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》提出,加强城镇老旧小区改造和社区建设,增强城市防洪排涝能力,建设海绵城市、韧性城市。2021年11月,北京发布《关于加快推进韧性城市建设的指导意见》,成为全国首个专门就韧性城市建设正式出台指导意见的城市。

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC),自2021年8月以后,相继发布了第六次评估报告的各部分内容,明确指出,人类通过燃烧化石燃料排放温室气体,造成了史无前例的、不可逆转的全球变暖问题,将使极端降雨事件变得更加频繁,强台风、飓风更多,致命高温热浪变得寻常,复合的极端天气事件也将越来越频繁。全球气候变化的15个极端临界点,据称已被激活了9个,人类文明恐遭受雨洪、高温等气候灾害的毁灭性打击^[3-4]。中国气象局气候变化中心在2021年8月4日发布的《中国气候变化蓝皮书(2021年)》也指出,中国平均年降水量呈增加趋势,平均每10年增加5.1mm,平均年降水日数呈显著减少趋势,而年累计暴雨站日数呈增加趋势,表明雨洪灾害的风险在增大。

在日益关注全球气候变化和韧性城市规划建设的大背景下,我国国土空间规划如何贯彻落实韧性城市建设理念,在理论和技术方面尽管已经有了较为丰富的研究成果,但规划界的认识并不完

全统一^[5-8]。在规划实践过程中目前尽管已经有了《国土空间综合防灾规划规程》,但还是仅对不同层级、不同类型的规划内容提出了要求^[9],对气候变化背景下如何提升城市雨洪韧性和减轻雨洪灾害还没有明确的行政指南或导则。本文通过阐述城市雨洪灾害、城市雨洪灾害韧性等关键概念的核心内涵,在借鉴国际城市雨洪灾害韧性应对框架的基础上,结合笔者提出的韧性治理五维体系^[10],对气候变化背景下城市雨洪灾害韧性应对的基本思路和通用框架进行初步思考和讨论,期待能为我国城市雨洪灾害韧性城市的规划建设提供若干启示。

1 城市雨洪灾害韧性相关的关键概念

我国对城市雨洪灾害韧性的关注相对较晚,始于2016年汪辉等^[11]的文章。我国对城市雨洪灾害韧性的定义大都借用了城市韧性的一般定义,没有反映城市雨洪灾害的特殊性。下面在梳理国内外城市雨洪灾害韧性定义演化的基础上,从规划学科视角探讨城市雨洪灾害韧性的概念内涵及其本质特征,并辨析与城市雨洪灾害风险的概念异同。

1.1 城市雨洪灾害韧性

城市雨洪灾害韧性是应用城市韧性理念应对城市雨洪灾害的具体反映,而韧性及韧性城市是从10年前才开始成为城市研究讨论的热点^[12-13]。韧性(resilience)本来是一个机械学的概念,意思是反弹到原来的状态。韧性在1973年由加拿大生态学家Holling^[14]引入生态学,2009年又被Wong等^[15]引入城市研究,形成韧性城市理念,认为作为各种系统整合的城市,应该设计成能够更好面对灾害威胁并能减少灾害损失的城市。把韧性城市理念应用于城市雨洪灾害的研究有很多,如周艺南等^[16]在借鉴IPCC韧性概念的基础上,从韧性的主体、对象和内涵等三个方面定义了城市雨洪灾害韧性,但基本上局限于下水系统的平衡上^[17],为此,Bruijn等^[18]呼吁雨洪灾害应对需要整合社会脆弱性,才能防御雨洪变成灾害。联合国减灾署^[19]则从人文、生态和经济等三个方面分别定义了韧性,

并认为有必要增强每个方面的韧性。目前对城市雨洪灾害韧性的讨论,大部分来自生态学或水文学领域,更多是各自特定领域的向外延伸,较少从城市整体的动态发展角度来考虑城市雨洪,即从整体到部分。

笔者认为,雨洪灾害韧性城市,是指在受到雨洪冲击时,具有抵抗吸收、学习适应和快速恢复等能力的城市。城市雨洪灾害损失的大小,不仅跟灾前的防御措施有关,而且与灾害发生后的应急响应、灾后恢复重建等紧密相连,因此,城市雨洪灾害的应对需要全过程考量,把城市雨洪灾害造成的经济社会影响的总量减小到最低。换言之,具有雨洪灾害韧性的城市,既不是没有雨洪现象的城市,也不是没有雨洪灾害损失的城市,而是受到雨洪冲击后,人员伤亡、经济损失以及对城市功能运行的影响不仅很小,而且能快速恢复的城市。雨洪灾害韧性越强,对城市经济社会的总影响越小,反之亦然。因此,城市雨洪灾害韧性城市所具有的韧性,不仅仅是指具有灾后快速回复重建的能力,而且还包括对外来冲击的抵御能力和灾害发生时的减灾救灾能力,具有前瞻性、鲁棒性、创新性、稳定性、冗余性、灵活性、适应性、多样性、独立性、依赖性、敏捷性、网络连通性、高效性、协作性、公平性、自学习能力、自组织能力等众多特征。

城市雨洪灾害韧性的评估,是城市雨洪灾害韧性城市规划的核心和基础,其将有利于确立韧性建设基线,明确韧性建设需求和制定目标,监测韧性建设进展,把握韧性建设成本与效益,以及评估政策绩效,因此,意义非常重大。由于“韧性”这一概念本身包含的丰富内涵,从韧性研究的发展过程有工程韧性、生态韧性和演化韧性之分,从韧性影响因素也有基础设施韧性、经济韧性、社会韧性和制度韧性之别^[20],所以,对于韧性的理解可以有不同角度,因此,城市韧性的评估方法也十分丰富多彩^[21-22]。现有的韧性评估主要基于三个方面展开:①韧性作为一种过程^[23];②韧性作为一种结果状态^[24];③韧性作为综合概念,包含多维度的内涵和表征^[25]。

1.2 城市雨洪灾害风险

与城市雨洪灾害韧性密切相关的概念，还有城市雨洪灾害风险。本文认为城市雨洪灾害风险就是城市雨洪灾害发生的可能性及其后果。从概率论的角度看，只有无限小的可能性，没有绝对的零概率，因此，只有绝对小的风险，没有“零”风险。换言之，没有绝对的安全，只有相对的安全。所谓城市雨洪安全，就是个人或社会对城市雨洪灾害风险的可接受水平。这个可接受水平，不仅受制于地震、滑坡、泥石流等其他灾害风险的高低，还受到当地经济、社会、文化以及政治制度等方面的影响，具有较为复杂的形成机制^[26]。

城市雨洪灾害风险的影响因素分类，一般采用危险性（或称致灾因子）(hazard)、暴露度 (exposure) 和脆弱性 (vulnerability) 的三分法^[27]，但也有致灾因子、暴露度、脆弱性和应急响应 (response) 的四分法^[28] (IPCC 2023)。但是，由于自然、经济、社会和政治制度等系统之间存在相互作用的关系，因此，IPCC 第六次报告认为，线性的传统风险评估与治理模式已经不适应气候变化背景下的雨洪灾害应对，需要基于气候、生态、人类社会等系统耦合的气候韧性发展模式^[29]。

城市雨洪灾害韧性与雨洪灾害风险影响因素的关系，既有狭义的脆弱性的观点，也有承载体的暴露度和脆弱性的认识，更有包括危险性、暴露度、脆弱性等因素在内的广义理解。笔者认为，相对于风险治理侧重于从致灾因子出发研究降低风险的对策，韧性治理则侧重于从作为承灾体的人类社会出发来思考如何应对灾害风险，与西医与中医的治病思路不同很类似。

2 城市雨洪灾害韧性应对的国际动态

城市雨洪灾害的应对涉及自然、政治、经济、社会、文化、技术等方面，是一个系统工程，自然科学、社会科学、人文科学等领域均积累了较为丰富的研究成果。澳大利亚、日本、英国、美国等发达国家和联合国、世界银行等国际组织非常重视城市雨洪灾害的治理

以及气候变化对城市雨洪灾害的影响，出台了一系列较为系统完善的政策文件，值得我国借鉴。

2.1 澳大利亚

澳大利亚针对气候变化背景下的城市雨洪灾害，在2017年出台了《澳大利亚灾害韧性手册集锦：手册7：洪泛区管理：澳大利亚洪水风险管理最佳实践指南》^[30]，提出需要一种合作、积极、协商和知情的方法来接受无法消除的风险，同时，呼吁个人对社区备灾工作也应承担的相应责任。2020年出台的《澳大利亚灾害韧性手册集锦：面向灾害韧性的雨洪应急规划》^[31]，从提升灾害韧性的角度规定了城市雨洪应急规划的编制内容和主要程序。

2.2 日本

日本考虑到气候变化可能会对降雨量、沿海潮位等造成较大的影响，在2021年修订了《雨水管理综合规划编制指南》^[32]，出台了《官民联动的水灾对策指引：水灾对策分区制度解说》^[33]，2022年调整了河流整治基本方针，在河流的治水理念、技术路径和应对流程等方面进行了较大改变，强调流域治水和分区应对，并对气候变化背景下的河流流量规划目标提出了1.2倍的调高要求^[34]。

2.3 英国

英国环境署2020年对2011年出版的《英国国家洪水和海岸侵蚀风险管理策略》^[35]进行了修订，提出了国家应对雨洪灾害的长远愿景，即今天、明天和2100年都要做好应对洪水和沿海变化的准备，并具有韧性。具体表现在三个方面的目标：一是气候韧性场所 (climate resilient places)；二是今天的增长和基础设施在明天的气候中具有弹性 (today's growth and infrastructure resilient in tomorrow's climate)；三是一个准备好应对和适应洪水及海岸变化的国家 (a nation ready to respond and adapt to flooding and coastal change)。流域规划编制一般遵循目标确定—可能措施—技术可行性和成本效益分析—目标和对策的统筹考虑等迭代程序。

2.4 美国

美国的城市雨洪灾害治理，1950年代以前主要关注建设水库、防洪提等工程性防洪设施，到2011年以后，其重点转向了韧性提升、技术进步、风险沟通以及对气候变化加剧雨洪灾害的关注，形成了风险评估和风险信息、风险沟通、早期预警、风险减轻和风险防范、风险转移、风险金融、灾后响应和重建、监测评估反馈、多利益相关者参与、增加财政投入、培训教育、气候变化影响等内容构成的城市雨洪灾害风险管理体系^[36]。

2.5 世界银行

世界银行2021年提出了城市雨洪灾害的创新治理模式，即EPIC响应框架^[37]，通过赋能 (enabling)、规划 (planning)、投入 (investing) 和控制 (controlling) 等四个方面实现对城市洪涝和干旱灾害的快速响应 (responding)。该响应主要包括监测预警、应急救援、恢复重建和风险金融等内容。该模式的创新点在于变以往的被动响应为现在的主动响应，通过整合政府各部门项目，发挥向下级联影响，因此，也称之为联合政府领导全社会的方法 (joined-up government leading a whole-of-society approach)。

2.6 联合国

联合国一直以来重视城市雨洪灾害和气候韧性的提升，早在2007年就发布《减轻洪水损失指南》^[38]，提出了洪水风险评估和管理框架，包括自然监测系统、洪水危险度构建、脆弱性评估、风险评估、保护目标/风险可接受度、规划/减缓措施、实施以及周期性评估等内容。2023年就《仙台减少灾害风险框架2015—2030》实施进展情况进行中期中期审查，并对未来工作进行了展望，呼吁所有成员国要转变方式，基于系统方法，全灾种、全社会、全过程、全区域、全要素增强灾害韧性，有效降低灾害风险，全面实现2030议程目标^[39]。

2.7 小结

不论是发达国家实施的城市雨洪灾害治理体系，还是国际组织倡导的城市

雨洪灾害韧性应对框架, 尽管对城市雨洪灾害关注的视角、重点和表达方式有所不同, 但均强调以下九个方面的内容。一是城市雨洪灾害需要系统治理; 二是城市雨洪灾害风险不可能完全消除, 亦即没有“零”风险; 三是有效应对超越设防标准的城市雨洪灾害是未来雨洪治理的重点; 四是城市雨洪灾害需要工程性措施和非工程措施并举, 但在不同的经济社会发展阶段重点会有所不同; 五是洪泛区地图、雨洪危险性地图、土地利用规划、国土空间规划等在城市雨洪灾害治理中具有重要作用; 六是灾害发生的不同阶段(前、中、后)有不同侧重点的应对措施; 七是政府、社会、企业和个人等不同参与主体在城市雨洪灾害治理中均可以发挥重要作用; 八是城市雨洪灾害应对策略的制定过程, 包括风险辨识、危险性评估、韧性评估、多情景风险评估、安全目标确定、应对策略制定等内容; 九是气候变化会加剧城市雨洪灾害。借鉴既有城市雨洪灾害韧性应对框架, 构建能够涵盖以上所有内容并能指导国土空间规划体系背景下城市雨洪灾害韧性应对规划编制的通用框架, 是本文的主要工作之一。

3 城市雨洪灾害韧性应对的基本思路

除了以上介绍的发达国家和国际组织的实践案例, 不少学者对城市雨洪灾害的韧性应对进行了关注和讨论。例如: 马坤等^[40]基于韧性理论从自然系统视角研究了丘陵岗地的雨洪管理模式; 杨帆等^[41]从智慧化视角探讨了城市洪涝韧性治理体系的转型与实现路径; Ye等^[42]在Sharifi等^[43]的韧性城市形态概念模型的基础上, 从人工智能驱动视角构建了多尺度雨洪灾害韧性的规划设计框架; 王峤等^[44]聚焦城市建成环境视角探讨了雨洪灾害韧性应对的理论框架。总体来说, 雨洪灾害韧性应对研究主要还是聚焦影响城市雨洪韧性的某个方面, 或建成环境, 或雨洪机制, 或新技术应用, 但从系统整体角度研究城市雨洪灾害韧性应对的工作还比较少。因此, 本文在借鉴发达国家的实践案例和主要国际组织对城市雨洪灾害应对的政策建议的基础上,

尝试从规划视角探索构建气候变化背景下城市雨洪灾害韧性应对的新框架, 具体来说, 就是首先在确立系统思维和韧性思维的基础上, 从全过程治理、全要素投入、全社会参与、因地制宜、因灾制宜等五个维度(即过程、要素、主体、尺度/层级、灾种)统筹城市雨洪灾害韧性应对的规划和实施。

3.1 两个基本思维方式

3.1.1 系统思维

不论是流域, 还是城市, 都是由自然、经济、社会、政治、文化、基础设施等多种子系统相互耦合而成、不断演化发展的自组织系统, 各子系统的形成时间和发展速度也各不相同, 同时与系统外部不断进行物质和能量交换, 以维持系统的运行。雨洪等灾害可以看作是子系统内部, 或者子系统之间, 或者系统外部与系统之间的关系调整, 它镶嵌于地域系统的演化过程中。只有流域或城市等地域各子系统之间的相互协调, 整个系统才有可能实现可持续发展。另一方面, 一个流域或城市, 从空间角度看, 不仅存在其内部的空间体系, 还存在其外部的空间体系, 共同形成完整的地域系统。

3.1.2 韧性思维

既然没有绝对的安全, 那就要确定雨洪灾害风险的可接受水平, 也就是底线。How safe is safe enough? 这是风险一效益分析中最基本的问题之一, 不仅受感知风险、感知效益、风险属性以及可接受风险水平等因素影响^[45], 而且还受雨洪风险在所有风险中的相对大小以及经济、社会、技术、制度等的影响。这种可接受水平往往是城市设防标准制定的基础。对于超越设防标准的极限雨洪, 尽管概率较小, 但一旦发生, 损失巨大, 所以, 必须有相应的应对准备。因此, 韧性思维就是不仅要有一定标准的设防应对, 即“+设防标准”, 还要有雨洪事件超越设防标准时的合理响应, 即“设防标准+”, 统而简言之是“+设防标准+”。

3.2 五个关键基础维度

3.2.1 全过程治理

灾害的发生, 有时看起来好像是突

发的, 但实际上往往经历了一个较长的发展过程。城市雨洪灾害风险的全过程治理, 包括雨洪的灾前风险治理、灾中应急疏散救援、灾后恢复重建等三个阶段, 三个阶段环环相扣。在灾前、灾中、灾后不同阶段, 通过对全灾种、全区域、全要素、全主体的综合治理, 可以整体提升城市雨洪防灾韧性, 最大程度减少城市雨洪灾害损失, 具体反映在我国新时代防灾减灾救灾理念上就是“两个坚持、三个转变”的提出: 坚持以防为主、防抗救相结合; 坚持常态减灾和非常态救灾相统一; 从注重灾后救助向注重灾前预防转变; 从应对单一灾种向综合减灾转变; 从减少灾害损失向减轻灾害风险转变。从规划视角看, 每个阶段都可以编制相应的应对规划, 如灾时的应急疏散救援规划^[46]。

3.2.2 全社会参与

城市雨洪灾害风险的治理主体包括各级政府、社会以及个人。社会是由人和人构成关系的总和, 家庭、邻里、学校、社团、企业、社区等是构成社会的基本单位, 但在城市雨洪灾害治理过程中所起的作用是不同的。日本的灾害案例表明, 灾害发生后人员的救助真正由军队等政府救援队救出的比例不是很大, 只占1.7%, 主要还是依靠个人自救和当地的社区组织互助^[47], 因此, 日本在防灾减灾救灾工作中非常重视充分发挥政府部门的“公助”、企业·社会团体等组织的“共助”以及居民个人的“自助”作用。结合我国国情, 可以遵循“政府组织、专家领衔、部门合作、公众参与、科学决策”的原则, 充分发挥所有治理主体和利益相关者的积极性。

3.2.3 全要素投入

城市雨洪灾害韧性的提升, 既离不开人、财、物、技术等资源要素的投入, 也离不开既有城市雨洪灾害应对措施的基础。城市雨洪灾害应对措施, 既包括防洪堤、水库、下水管网等工程性措施, 也包含防灾意识、防灾技能、灾害保险等非工程措施, 还有法律法规、技术标准、组织机构、治理机制以及信息支撑等为工程性措施和非工程性措施提供的实施保障。由于城市雨洪防灾设施建设的一次性投入较大, 再加上我国官员的独特任期机制, 在有限的财政资金中一

般很难得到优先考虑。但实际上，防灾投资的效益是很高的。据美国国家建筑科学研究院多灾害减灾委员会测算，按照设防标准建设，收益成本比为11:1，其中联邦机构所资助的收益成本比为6:1。如果超过设防标准建设，还可以进一步获得4:1的收益成本比^[48]。

3.2.4 因地制宜

地球表面既有平原，也有高山和大海；既有城市，也有乡村；既有像上海、深圳、北京、广州这样的一线城市，也有像漠河、克拉玛依、满洲里等这样的三、四线偏远城市；我国既有“雨水最多”的城市——雅安，一年降雨200多天，也有像吐鲁番市这样降雨极少的城市，年均降雨量只有16.5 mm。不同的尺度或层级，如流域或城市或街道，由于自然、经济、社会、技术等条件的不同，雨洪灾害治理的目标、重点、路径等也会不同。因此，对不同的行政单元，应该要有不同的雨洪应对策略，即使在一个流域或同一个行政单元（如城市）内部，也应在科学的城市雨洪灾害风险区划工作的基础上，因地制宜，制定相应的应对措施。

3.2.5 因灾制宜

城市雨洪灾害，根据其形成发展机制也可以分为很多类型。例如，根据水的来源，有主水、客水之分。城市雨洪灾害主要是指洪和涝，前者主要指大雨、暴雨引起水道急流、山洪暴发、河水泛滥，而后者主要指积水成灾。洪和涝都有可能淹没农田、毁坏环境与各种设施。城市雨洪灾害的发生往往还会引起滑坡、塌方、地陷等次生灾害，产生级联效应（cascading effect）；在极端情况下，有时还会与其他灾害（地震、台风、风暴潮等灾害）同期发生，发生复合灾害（compound disaster）；城市雨洪灾害的发生，不仅会对承灾体，甚至有时有可能对整个地域系统产生系统影响（systemic risk）^[49]。因此，明确城市雨洪灾害种类对应对措施的制定尤其重要。

4 规划视角的城市雨洪灾害韧性应对通用框架

4.1 国土空间规划与城市雨洪灾害韧性

应对

我国的国土空间规划体系由“五级三类”构成，分别是国家、省、市、县和乡镇的五个行政层级，以及总体规划、详细规划和专项规划的三个规划类型。城市雨洪灾害的韧性应对，不仅涉及国土空间规划，还与气象、水利、应急、住建等众多部门相关，是一个非常复杂的系统工程。因此，笔者认为，侧重于灾前预防灾害发生的防灾规划，是重视全过程的安全韧性规划的一个特殊类型，而这两类规划投射在国土空间规划体系中，就是防灾专项规划和安全韧性专项规划，具体到城市雨洪灾害就是各类城市防洪排涝专项规划和城市雨洪韧性专项规划，是局部与整体的关系。显然，城市雨洪灾害韧性的应对规划也是一个由“五级三类”构成的完整体系，如果再考虑气候变化的话，则还需要考虑国家和地方应对气候变化行动方案，形成气候变化背景下的雨洪灾害韧性（专项）规划（图1）。近年韧性城市规划相关的工作推进很快，既有关关注全灾种、全过程、全市域的综合韧性城市规划（如北京、郑州、西宁等城市），也有聚焦灾后应急响应的专项性的韧性城市规划（如深圳市应急疏散救援空间规划等），也有一些城市在海绵城市规划建设的基础上准备启动的城市雨洪灾害韧性城市专项规划。

4.2 规划视角的城市雨洪灾害韧性应对框架

基于城市雨洪灾害韧性应对的国际经验和基本思路，笔者尝试性地构建了规划视角的城市雨洪灾害韧性应对通用框架（图2）。该框架基于系统思维和韧性思维的底层逻辑，从尺度/层级、过程、要素和参与主体等不同维度，对城市雨洪灾害韧性提升的规划—实施—评估—行动（PDCA）开展工作，同时，实施监测评估以及多主体沟通。由于实施、评估和行动等阶段不是本文讨论的重点，所以，本文重点介绍规划编制内容。在规划编制阶段，包括城市雨洪灾害风险清单确定，城市雨洪危险性和韧性评估，气候变化、经济社会发展等不同情景下的城市雨洪灾害风险评估，城市雨洪灾害韧性提升目标确定，城市雨洪灾害韧性提升策略及其轻重缓急分类确定等步骤。在每个步骤，都需要政府、社会和个人等与城市雨洪灾害韧性提升相关的主体进行参与沟通，然后确定是否进入下一个步骤。

城市雨洪灾害韧性评估以及不同情景下的城市雨洪灾害风险评估，是整个应对框架的基础性工作。城市雨洪灾害韧性评估的目的不同，方法也有所差异。如果是为了了解时空差异性，则评价指标体系法^[50]、综合韧性指数法^[51]等方法比较好。如果是为了发现城市雨洪灾害韧

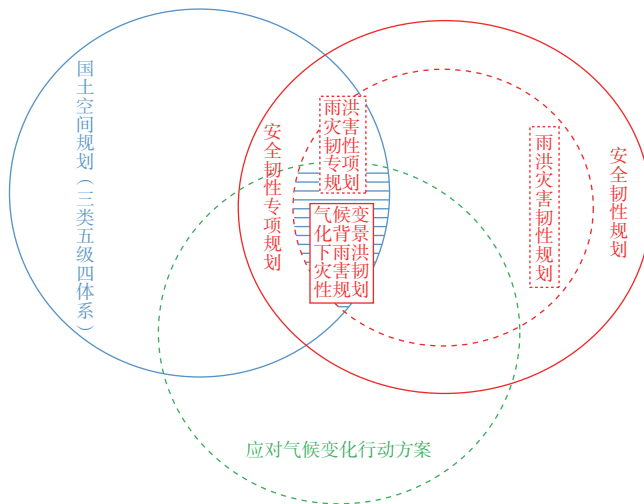


图1 气候变化背景下国土空间规划与城市雨洪灾害韧性规划的关系图

Fig.1 Relationship between territorial spatial planning and resilience planning in the context of climate change

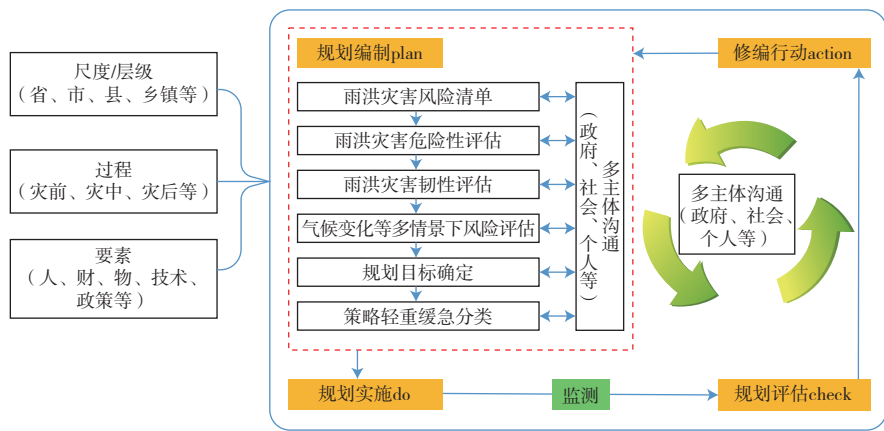


图2 气候变化背景下规划视角的城市雨洪灾害韧性应对通用框架 (PDCA)

Fig.2 PDCA general planning framework for resilient flood hazard management in the context of climate change

性短板或不足，则日本国土强韧化规划^[52]、纽约韧性规划^[53]等规划中使用的极限情景下的风险评估法较好，该方法实际上在我国的韧性城市规划中愈来愈得到应用。例如：《北京市韧性城市空间专项规划（2022—2035年）》在雨洪灾害情景设定时，把2021年“7·20”郑州水灾作为致灾因子的极限情景；《深圳市应急疏散救援空间规划（2021—2035年）》则把历史上最强台风发生后的最大避难人口数作为雨洪灾害应急疏散救援需求的极限情景。

除了城市雨洪危险性的极限情景外，还可以对应对策略的不同情景下的雨洪灾害风险进行评估。例如对防洪堤设防标准、排水系统能力、机动排水泵配置、居民灾前及时疏散比率、地表海绵化率、气温上升幅度、海平面上升幅度、雨洪保险购买率等单个影响因素的不同情景，或者两个或多个因素不同组合的不同情景，定性或定量评估雨洪灾害风险的大小，确定影响城市雨洪灾害韧性的主要因素，为城市雨洪灾害韧性提升目标和策略的制定提供科学依据。

城市雨洪灾害韧性规划目标的科学合理确定是规划成功的灵魂。规划目标可以多目标、多水准、空间差别化。多目标，是指城市雨洪韧性城市建设的目标不是单一的，例如，日本国土强韧化规划中的总目标就有四个方面构成：最大限度地保证人民生命安全；国家和社会的重要机能不会因外来冲击而受到致命的伤害并能维持系统的相对稳定；保证人民的财产和公共设施受害程度最小；

灾后能够迅速地恢复。多水准，是指应对城市雨洪灾害的防、抗、救的多重保障能力。空间差别化，是指由于雨洪灾害危险性和灾害暴露度、灾害脆弱性在空间上分布是异质的，因此，从防灾效能最大化来说，规划目标和规划水准，在空间上也应有所差异。如，日本计划改变目前城市内部防涝标准划一的做法（例如5年一遇的降雨量），根据可能的受灾情况，某些地段可以适当提高防涝标准（例如7年一遇，甚至10年一遇）^[54]。

5 城市雨洪灾害韧性应对策略体系

城市雨洪灾害一直伴随着人类的进步而发展。随着城市化的不断推进，城市雨洪灾害的应对策略研究也不断涌现，积累了较为丰富的研究成果。例如，美国环境署（EPA）联合联邦应急管理局（FEMA）应受到热带风暴艾琳（Irene）重创的佛蒙特州（Vermont）之邀，编制了佛蒙特雨洪灾害恢复及长期韧性规划，从地方土地利用规划和州政府政策两个层面分别制定了相应的城市雨洪灾害韧性提升策略。尤其是地方土地利用规划部分，从河流走廊（river corridor）、脆弱人居（vulnerable settlement）、更安全区域（safer area）、全流域（the whole watershed）等四个方面对应对措施进行了非常详尽的制度安排^[55]。日本在城市雨洪灾害愈来愈严峻的形势下，一方面，对十多年前的治水规划指南进行修改完善，向与全球气候变化相适应的、硬件

和软件兼顾的治水规划转型^[56]，另一方面，要求地方政府做好灾前、灾中和灾后的应急演练、预警、疏散、救援和恢复重建工作，并提供了详细工作清单^[57]。Cigler^[58]则从工程性对策和非工程性对策角度概要梳理了城市雨洪灾害应对措施体系。

我国学者近年对城市雨洪灾害韧性应对策略体系开展了具有创新性的研究。如：程晓陶等^[59]在实地调研和反思郑州“7·20”水灾的基础上，探讨了气候变化环境下与我国新时代基本国情相适宜的洪涝灾害防治策略。陈碧琳等^[60]将城市雨洪韧性转译为生态景观、交通网络、街区功能和洪涝基础设施等物质空间的4个维度，并以深圳为例进行了实证评估和应对研究。谢磊等^[61]建立了沿海地区“空间性预留”“时间性保障”“功能性复合”的韧性模式与指标体系，并以宁波为例进行了规划实践。但是，对城市雨洪灾害韧性提升策略的研究，大多从物质空间、治水、应急疏散救援等单个领域入手，碎片化现象较重，亟待体系化。

城市雨洪灾害应对策略，基于空间视角，大致可以分为空间性策略和非空间性策略。气候变化，既影响雨洪发生的频率、规模和强度，又影响雨洪的时空分布，从而直接或间接影响到空间和非空间策略的制定（图3）。空间性策略，根据与雨洪危险性的关系，又可以分为避让、强化、备灾、空间结构优化和危险性减缓等。避让，是指远离河漫滩、泄洪区、滞洪区等雨洪高风险区。强化，是指受到雨洪威胁可能性较大的建构筑物



图3 气候变化背景下雨洪灾害韧性应对策略体系

Fig.3 Strategies for resilient flood hazard management in the context of climate change

物或地区，需要增强雨洪灾害防御能力。例如，加强防洪堤、排水系统的建设，增强建构物物的抗洪结构（防洪板、吊脚楼等），增设排水泵站、蓄水池等设施等等。备灾，是指超越设防标准的雨洪灾害发生后，当地居民能够得到及时疏散救援，并有足够的应急避难场所、应急避难通道、应急救援物资、应急医疗、应急通信等基本生活的保障设施。空间结构的优化是指通过对人口、产业、交通等用地的合理配置，降低城市雨洪灾害风险。例如，组团分布式布局结构，日本的基于雨洪灾害风险区划的因区施策，日本的台地城市营造和深圳海深港现代服务业合作区的立体城市建设。降低危险性，一方面，可以通过减少碳排放来减小全球气温上升幅度，从而减轻气候变化给人类带来的负面影响，另一方面，也可以通过海绵城市等基于自然的解决方案，减少地表径流量和雨洪规模，减缓雨洪冲击的危险性，从而减少雨洪灾害风险。

非空间性策略，包括城市雨洪综合防灾体系、应急管理体系、区域联动、应急预案、AI等新技术的应用、雨洪灾害保险制度的完善等等。城市雨洪综合防灾体系包括灾害发生前的雨情监测、分析、预报、预警系统，汛情监测、分析、预报、预警系统，雨洪危险性地图的编制与披露，防洪教育与演练等。城市雨洪灾害应急管理体系是指处理雨洪灾害的行政职能及其载体系统，主要工

作是城市雨洪灾害发生后的应急响应和处置，包括命令发布，人、财、物等应急疏散救援资源的及时组织和调配等。城市雨洪灾害的发生及其影响往往是跨行政区的，即使城市雨洪灾害发生在一个行政区，如果是巨灾的话，区内的应急疏散救援资源往往满足不了需求，需要区外援助，所以在区域上协作联动就很重要。例如，《长三角一体化应急管理协同发展备忘录》的签署标志着长三角地区灾害应对区域联动的开始。应急预案指面对城市雨洪灾害的应急管理、指挥、救援计划等工作进行事先部署，一般包括应急组织管理指挥系统、应急工程救援保障体系、综合协调支持系统、保障供应体系、综合救援的应急队伍等子系统。机器人、无人机、AI等新技术在雨洪灾害防御中，基于大数据分析，具有提前预报预警、快速响应与决策支持等优势。灾害保险是以财产本身以及与之有关的经济利益为保险标的的保险，美国、日本等发达国家均有较为完善的雨洪灾害保险体系，市场发挥了主体作用，政府则是风险的最后承担者。

人类的历史就是与雨洪灾害、地震等自然灾害不断斗争的历史。每一次自然灾害，都不同程度地重塑区域经济社会地理的空间格局，同时也是调整人地关系的重要动力。城市雨洪灾害与城市雨洪资源，本身就是城市雨洪对人类社会产生的两个完全不同性质的影响，但只要科学遵循雨洪形成、发展的客观规

律，就能够最大程度地减少城市雨洪灾害，最大限度地利用雨洪资源，实现雨洪与人类的和谐共生。2200多年前李冰修造的都江堰，不仅有效地控制了雨洪灾害，而且能够灌溉土地1000多万亩，使四川盆地成为天府之国成为可能，为我们如何与雨洪共生提供了很好的案例。

本文提出的城市雨洪灾害韧性应对通用框架，尽管是一个针对城市雨洪灾害这一具体灾害种类的框架，但对地震、滑坡、泥石流等其他自然灾害的韧性应对也具有借鉴作用。事实上，本文的部分观点主要来自笔者参与承担的合肥市市政设施韧性提升规划研究、深圳市应急疏散救援空间规划等相关工作的经验总结和理论思考。尽管这些工作不是针对单个的城市雨洪灾害，但对城市雨洪灾害均给予了重点关注，相关成果也得到了有关部门的高度肯定。另外，也期待该框架在未来的规划编制实践中能够不断细化、升级、完善，甚至转化为相关标准或规范，以更好地服务我国国土空间规划体系中城市雨洪灾害韧性应对工作的顺利开展。

初稿形成后，《城市规划学刊》编辑部和审稿人给予了很多建设性的修改完善意见，在此深表谢意！

参考文献

[1] DU S, CHENG X, HUANGE Q, et al.

- Brief communication: rethinking the 1998 China floods to prepare for a nonstationary future[J]. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2019, 19: 715-719.
- [2] 日本内閣府. 令和4年版 防災白書 | 附属資料15 施設関係等被害額及び同被害額の国内総生産に対する比率の推移 [EB/OL]. 2022. https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r04/honbun/3b_6s_15_00.html
- [3] LENTON T M, ROCKSTRÖM J, GAFFNEY O, et al. Climate tipping points: too risky to bet against[J]. *Nature*, 2019, 575: 592-595.
- [4] STEFFEN W, ROCKSTRÖM J, RICHARDSON K, et al. Trajectories of the earth system in the anthropocene[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115: 8252-8259.
- [5] 颜文涛, 任婕, 张尚武, 等. 上海韧性城市规划: 关键议题、总体框架和规划策略 [J]. *城市规划学刊*, 2022(3): 19-28.
- [6] 潘海啸, 戴慎志, 赵燕菁, 等. “应对气候变化的城市韧性与空间规划”学术笔谈[J]. *城市规划学刊*, 2021(5): 1-10.
- [7] 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.
- [8] 杨敏行, 黄波, 崔群, 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.
- [9] 戴慎志, 刘婷婷, 高晓昱, 等. 国土空间防灾减灾规划编制体系与实施机制[J]. *城市规划学刊*, 2023(1): 48-53.
- [10] 翟国方. 让城市更安全, 防疫更高效[J]. *人类居住*, 2020(1): 10-13.
- [11] 汪辉, 任懿璐, 卢思琪, 等. 以生态智慧引导下的城市韧性应对洪涝灾害的威胁与发生 [J]. *生态学报*, 2016, 36(16): 4958-4960.
- [12] International Bank for Reconstruction and Development, World Bank. Building urban resilience : principles, tools, and practice, directions in development: environment and sustainable development[R]. 2013.
- [13] UNISDR (UN International Strategy for Disaster Reduction). Making cities resilient: my city is getting ready[R]. 2012.
- [14] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1973, 4:1-23.
- [15] WONG T H F, BROWN R R. The water sensitive city: principles for practice [M]. *Water Sci. Technol.* 2009.
- [16] 周艺南, 李保炜. 循水造形: 雨洪韧性城市设计研究 [J]. *规划师*, 2017, 33(2): 90-97.
- [17] BERTILSSON L, WIKLUND K, TEBALDI I D M, et al. Urban flood resilience: a multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning[J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 573: 970-982.
- [18] DE BRUIJN K M, JAFINO B A, MERZ B. et al. Flood risk management through a resilience lens[J]. *Commun Earth Environ*, 2022(3): 285.
- [19] The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. GAR special report: measuring resilience for the sustainable development goals[R]. Geneva, 2023.
- [20] JHA A K, MINER T W, STANTON-GEDDES Z. Building urban resilience: principles, tools, and practice[M]. Washington DC, USA: World Bank Publications, 2013.
- [21] 翟国方, 何仲禹, 顾福妹. 韧性城市规划: 理论与实践 [M]. 中国建材工业出版社, 2021.
- [22] 段怡嫣, 翟国方, 李文静. 城市韧性测度的国际研究进展[J]. *国际城市规划*, 2021(6): 79-85.
- [23] SHERRIEB K, NORRIS F, GALEA S. Measuring capacities for community resilience[J]. *Social Indicators Research: An International and Interdisciplinary Journal for Quality-of-Life Measurement*, 2010, 99 (2): 227-247.
- [24] JEROME H, KAHAN A C, et al. An operational framework for resilience[J]. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 2009, 6(1): 83.
- [25] COLTEN C E, KATES R W, LASKA S B. Three years after Katrina: lessons for community resilience[J]. *Environment Science & Policy for Sustainable Development*, 2008, 50(5): 36-47.
- [26] ZHAI G, IKEDA S. Empirical analysis of Japanese flood risk acceptability within multi-risk context[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2008, 8: 1049-1066.
- [27] UNDRR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Words into action: engaging for resilience in support of the Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030[R]. 2020.
- [28] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Sections[R]//Core Writing Team, LEE H, ROMERO J. Climate change 2023: synthesis report. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023.
- [29] PÖRTNER H O, ROBERTS D C, TIGNOR M M B. et al. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability [M]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2022.
- [30] Commonwealth of Australia. Australian disaster resilience handbook collection: managing the floodplain: a guide to best practice in flood risk management in Australia [R]. 3rd ed. Australian Institute for Disaster Resilience, 2017.
- [31] Commonwealth of Australia. Australian disaster resilience handbook collection: flood emergency planning for disaster resilience [R]. Australian Institute for Disaster Resilience, 2020.
- [32] 日本国土交通省. 雨水管理総合計画策定ガイドライン(案)[R]. 日本国土交通省水管理・国土保全局下水道部, 2021-11.
- [33] 日本国土交通省. 官民連携した浸水対策の手引き(案)~浸水被害対策区域制度の解説~ [R]. 日本国土交通省水管理・国土保全局下水道部, 2021-11.
- [34] 日本国土交通省. 河川整備基本方針の変更の考え方について[R]. 日本国土交通省水管理・国土保全局, 2022-5-27.
- [35] DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). River basin planning guidance[R]. 2021-9.
- [36] The Geneva Association. Flood risk management in the United States[R]. The Geneva Association: International Association for the Study of Insurance Economics, Zurich, 2020.
- [37] BROWDER G, NUNEZ S A, JONGMAN B, et al. An epic response: innovative governance for flood and drought risk management[R]. World Bank, Washington, DC, 2021.
- [38] United Nations. Guidelines for reducing flood losses[R]. 2007.
- [39] UNDRR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction). The report of the midterm review of the implementation of the Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030[R]. UNDRR: Geneva, Switzerland, 2023.

- [40] 马坤, 唐晓岚, 任宇杰, 等. 基于韧性理论的丘陵岗地雨洪管理模式建构研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(3): 139-145.
- [41] 杨帆, 许莹, 段宁. 城市洪涝韧性治理体系的智慧化转型与实现路径创新[J]. 城市发展研究, 2021, 28(5): 119-126.
- [42] YE X, WAN G, LU Z, et al. Towards an AI-driven framework for multiscale urban flood resilience planning and design[J]. Computational Urban Science, 2021(1): 11.
- [43] SHARIFI A, YAMAGATA Y. Resilient urban form: a conceptual framework[R]// Resilience-oriented Urban Planning, 2018: 167-179.
- [44] 王峤, 李含嫣, 臧鑫宇. 应对暴雨内涝的城市建成环境韧性理论框架研究[J]. 建筑学报, 2022(S1): 18-23.
- [45] FISCHHOFF B, SLOVIC P, LICHTENSTEIN S, et al. How safe is safe enough? a psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits[J]. Policy Sciences, 1978(9): 127-152.
- [46] 翟国方, 鲁钰雯. 应急疏散救援空间规划: 理论·方法·实践[M]. 中国建材工业出版社, 2023.
- [47] (社)日本火災学会. 1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書[R]. 1996.
- [48] NIB (National Institute of Building Sciences). Natural hazard mitigation saves, 2019 report[R]. 2019.
- [49] UNDRR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Scoping study on compound, cascading and systemic risks in the asia pacific[R]. 2022.
- [50] 李亚, 翟国方. 我国城市灾害韧性评估及其提升策略研究[J]. 规划师, 2017(8): 5-11.
- [51] 郭佳, 翟国方, 葛懿夫. 乡村人居环境综合韧性指数构建及实证研究: 以江苏省为例[J]. 上海城市规划, 2023(2): 15-22.
- [52] 日本国土強靱化推進本部. 脆弱性評価の結果[R]. 2023.
- [53] The City of New York. A stronger, more resilient New York[R]. 2013.
- [54] 日本国土交通省. 官民連携した浸水対策の手引き(案)~浸水被害対策区域制度の解説~[R]. 日本国土交通省水管理・国土保全局下水道部, 2021.
- [55] EPA (U. S. Environmental Protection Agency). Planning for flood recovery and long-term resilience in Vermont: smart growth approaches for disaster-resilient communities[R]. 2014.
- [56] 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会. 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言[R]. 2021.
- [57] 内閣府(防災担当). 市町村のための水害対応の手引き[R]. 2016.
- [58] CIGLER B A. U.S. floods: the necessity of mitigation[J]. State and Local Government Review, 2017(2): 1-13.
- [59] 程晓陶, 刘昌军, 李昌志, 等. 变化环境下洪涝风险演变特征与城市韧性提升策略[J]. 水利学报, 2022, 53(7): 757-768.
- [60] 陈碧琳, 李颖龙. 洪涝韧性导向下高密度沿海城市适应性转型规划评估: 以深圳红树湾片区为例[J]. 城市规划学刊, 2023(4): 77-86.
- [61] 谢磊, 周鹏飞, 杨鸿艺, 等. 气候变化冲击下沿海地区生命线工程韧性范式探索: 以宁波市为例[J]. 城市规划学刊, 2022 (S2): 81-88.

修回: 2023-12