

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.005

# 基于自然的解决方案在城市水管理方面的研究进展

王思思<sup>1,2</sup>, 侯爽<sup>1,2</sup>

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044)

**摘 要:** 21 世纪以来,面对频发的极端天气、洪涝灾害等挑战,城市亟需采用新的发展模式,“基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NbS)”应运而生。从 NbS 的概念起源和发展入手,阐释其原则、理念、类型以及国内外发展现状,认为低影响开发、水敏感城市设计、海绵城市等新型雨水管理体系是 NbS 在水管理方面的应用,阐明了“基于自然的水问题解决方案”的概念内涵,梳理了其在水管理方面的具体类型、评估体系。以荷兰、丹麦、越南为例,分析城市采用 NbS 在应对洪涝灾害方面的政策、规划、方案及实施效果,并探讨其发展面临的挑战及在我国推行的相关建议。

**关键词:** 基于自然的解决方案; 海绵城市; 水管理; 可持续发展

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0025-09

## Research Advances of Nature-based Solutions in Urban Water Management

WANG Si-si<sup>1,2</sup>, HOU Shuang<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Beijing Advance Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In the 21st century, new development models are urgently required in cities to meet the challenges of extreme weather, flood disasters, etc., thereby “Nature-based Solutions” (NbS) came into being. The principles, core ideas and types of NbS, and the current situation of development at home and abroad were introduced based on the origin and development of NbS concept. It is considered that new stormwater management systems, such as low impact development, water sensitive urban design and sponge city are the applications of NbS in water management. The paper developed and explained the concept of “Natural-based Solutions for Water Challenges”, sorted out its specific types and evaluation system in water management, and analyzed the policy, planning, scheme and implementation effect of using NbS in response to flood disasters by taking the Netherlands, Denmark and Vietnam as examples. Finally, the challenges of its development and the relevant suggestions for promotion in China were discussed.

**Key words:** Nature-based Solutions; sponge city; water management; sustainable development

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31870704)

通信作者: 王思思 E-mail: wangsisi@bucea.edu.cn

面对气候变化导致的灾害风险、粮食安全、人类健康、水安全、经济和社会发展等多方面的挑战,“基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NbS)”应运而生。NbS 是一种寻找与生态系统合作而非依赖传统的工程解决方案,以适应和减轻气候变化的影响,同时改善可持续生计、保护自然生态系统和生物多样性的发展理念;其目的是支持实现社会发展目标,改变反映文化和社会价值观的方式,保障人类福祉,并增强生态系统的复原力、更新能力和提供服务的能力,可用于应对当代社会面临的重大挑战<sup>[1]</sup>。

作为新生事物,不同机构、不同领域赋予了它不同的定义,这在一定程度上导致了 NbS 本身的概念模糊、内容宽泛<sup>[2]</sup>。故基于国际文献的系统梳理,探究 NbS 的概念、起源与发展,重点分析其在城市水管理和洪涝灾害防治方面的应用,指出现阶段发展面临的挑战和应对措施,同时思考为我国城市发展模式带来的启示。

## 1 NbS 的发展概况

### 1.1 概念起源及演进

20 世纪 90 年代, NbS 一词首次提出于生物多样性领域,而后在农业发展、用地规划和工业设计中被引用,现广泛应用于气候变化等领域<sup>[3]</sup>。NbS 概念在环境和自然保护领域的应用是由国际组织提出的,在 2009 年关于联合国气候变化框架公约 COP15 的立场文件中,世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN) 积极推广 NbS 的概念,后将 NbS 定义为“保护、可持续管理和恢复自然或改良生态系统的行动,有效应对社会挑战(例如气候变化、粮食和水安全或自然灾害),同时为人类提供福祉和生物多样性效益”<sup>[1]</sup>,认为人们应该为了更优越的生存环境而积极主动保护自然,该定义更侧重于 NbS 的生态效益。2015 年,欧盟委员会则将 NbS 定义为“由自然激发和支持的社会挑战的解决方案,具有成本效益,同时提供环境、社会和经济利益,并有助于建立城市的复原力”,认为人们为保护自然需要成本支出,但同时可以获得额外收益,此概念同时兼顾实施 NbS 的其他效益。

这些概念之间有些许差别和侧重,但从哪个角度看, NbS 都是一种“可促进城市生态系统发展和管理,为全球变暖、水管理和人类健康等社会挑战提供可持续和成本效益较高、同时增强生物多样性

的解决方案”<sup>[4]</sup>。

### 1.2 原则及措施类型

NbS 是人与自然和谐相处这一理念在生态保护与修复等领域的具体落实。它支持在基础建设中以自然的手法保障人类福祉、生物多样性;能够应对气候变化、社会挑战;实现经济发展、公众利益;平衡以人类为中心和以生态为中心的价值观,主张工程实践应从自然的理念出发,降低对环境的损害<sup>[5]</sup>。它倡导遵循自然的理念,被认为可扭转传统的发展模式,有利于推进更生态、更有包容性、更可持续的城市与区域发展。

IUCN 提出 NbS 的八项基本原则:①接受自然保护规范(和原则);②可以单独执行,也可以与其他解决社会挑战的办法结合实施(例如,技术和工程解决办法协同作用);③由包括传统、地方和科学知识在内的特定地点的自然和文化环境决定;④以促进透明度和广泛参与的方式,以及公平的方式产生社会效益;⑤保持生物和文化多样性以及生态系统随时间演变的能力;⑥在景观规模上适用;⑦保障直接经济效益与生态系统服务间的权衡;⑧作为应对特定挑战的政策、措施或行动的总体设计的组成部分<sup>[1]</sup>。这些原则的提出,进一步加强了对 NbS 的理解,有助于确立指导其应用的操作框架。

NbS 涵盖了一系列与生态系统相关的措施。IUCN 按目的、效用、导向提出了措施的分类体系<sup>[1]</sup>(见表 1),包括针对某生态系统或具体问题而制定的政策、管理体系、规划、措施、工程等内容。

表 1 NbS 方法的类别和样例

Tab. 1 Categories and examples of NbS approaches

NbS 方法的类型	样例
生态系统恢复方法	生态恢复
	生态工程
	森林景观修复
针对具体问题的生态系统相关办法	基于生态系统的适应
	基于生态系统的缓解
	气候适应服务
	基于生态系统的灾害风险减少
与基础设施有关的办法	自然基础设施
	绿色基础设施
基于生态系统的管理办法	沿海区综合管理
	水资源综合管理
生态系统保护办法	基于区域的保护方法,包括保护区管理

综上所述, NbS 是一种灵活的手段,可以是一种

理念政策,也可以是一类工程措施。在实际操作中,既可以独立实施,又可以与已有方法结合。除了在定义中提到的作用外,在不同场合实施,也会有另外的功效。

### 1.3 国内外发展现状

国际上,IUCN、世界银行、欧盟、联合国教科文组织等机构,针对 NbS 相关专项研究形成了项目支持,特别是在水资源管理、防洪等方面。2012 年,IUCN 正式将 NbS 作为其 2013 年—2016 年方案的三个工作领域之一<sup>[1]</sup>;2012 年,世界银行编写了一份关于应用 NbS 在东亚进行水资源保护的研究报告,并支持 60 个国家实施了约 100 个与 NbS 相关的项目;2015 年,欧盟委员会将 NbS 纳入“地平线 2020”研究计划<sup>[1]</sup>;2018 年,联合国教科文组织会同其他有关国际机构在第 8 届世界水论坛上发布了主题为“基于自然的水解决方案”的联合国世界水发展报告;IUCN 还将发布 NbS 的全球标准,试图将源自不同领域的一系列不同方法统一到一个操作框架下,扩大其实施范围,提高其在缓解世界亟待解决的挑战压力方面的影响力。

在 2019 年 9 月的联合国纽约峰会后,NbS 成为国际社会关注的热点议题,我国也积极参与其中。峰会期间,在中国国家应对气候变化战略研究和国际合作中心与大自然保护协会举办的“‘基于自然的解决方案’(Nature-based Solutions,NbS)在中国的实践与展望研讨会”上,我国与相关国家和国际组织一起提出了 150 多个行动倡议,汇编了 30 多个示范案例,并在联合国秘书长的倡议下,将 NbS 列为联合国应对气候变化的九大领域之一。海绵城市是我国城市水管理领域实施 NbS 的代表性工作,并取得了阶段性成果。2020 年,俞孔坚教授在推进中国和美国的城市可持续性研讨会上以海南三亚“海绵城市”示范项目等为例,指出了中国城市规划和设计模式向 NbS 的转变。

## 2 NbS 在城市水管理中的应用

### 2.1 基于自然的水问题解决方案

水是生态系统中的重要元素,近年来受气候变化、城市化等诸多因素的影响,洪涝灾害、水资源短缺、水污染等水问题已成为城市发展中的巨大挑战。20 世纪 90 年代以来,各国在城市水管理方面提出了一些体现可持续发展、生态理念的新技术管理体系,如美国的绿色基础设施(GI)、低影响开发

(LID),英国的可持续排水系统(SUDS),德国的自然排水系统(NDS),澳大利亚的水敏感城市设计(WSUD)、综合水管理(IWM),新加坡的“活力、美观、清洁的水计划”(ABC Waters),以及我国的海绵城市(Sponge City,SC)等。笔者认为,尽管这些体系起源和发展于城市水管理领域,但充分体现了遵循自然、降低城市开发影响、提供多种生态功能的理念,与国际 NbS 的蓬勃兴起和发展不谋而合,可以看作是 NbS 在城市水管理中的具体应用<sup>[6]</sup>。

在城市水管理中,将 NbS 和灰色基础设施相结合其效果显著,不仅有助于控制城市洪涝灾害和雨水污染,还可以为城市创造额外的好处,如增加城市绿地、减轻热岛效应等<sup>[7]</sup>。

综上所述,基于自然的水问题解决方案主要应对城市洪涝、水资源、水环境等多种水问题,强调生态系统在应对这些问题中的作用,以保护、可持续管理、恢复和改良自然以及生态系统为目标,通过自然与人工基础设施的协同作用,及管理、规划、技术、工程的系统实施,有效和适应性地应对水安全挑战,保障生态系统健康。

### 2.2 NbS 在城市水管理中的应用类型

很多学者针对 NbS 应用于城市水管理的类型进行了相关研究。如联合国在《2018 年世界水资源开发报告》中指出,NbS 可以帮助应对水量、水质、风险等问题,如通过管理降雨量、湿度、储水量、渗透和传输处理供水问题,管理水的可获得性;通过保护水源、运用绿色基础设施减少径流污染,管理水质;通过管理下渗、坡面漫流等,增强水文连接性,管理涉水风险;通过建造废水处理湿地,夯实水安全并扩大效益,助力建设系统的整体恢复能力。大自然保护协会等组织认为,NbS 在水管理方面的应用可以分为针对地表水、地下水、洪水和缺水等不同水安全问题的方案类型。Gómez 等<sup>[8]</sup>以人类干预水平(低等干预、中等干预、高等干预)为横坐标,风险类型、面积、共同效益、不利服务、影响规模以及气候变化等因素对 NbS 的潜在影响为纵坐标,生成矩阵将 NbS 分为系列子类型,可根据不同类型问题实施适宜方案,包括城市雨水。Orala 等<sup>[9]</sup>将可持续水管理分为雨水管理,洪水保护和风险管理,蓝绿色基础设施的实施,食品、水和能源生态系统领域的城市水以及城市水污染控制五类,研究分析 NbS。

基于大自然保护协会的分类体系,结合我国海



绵城市理论与实践,增加了应用于城市和社区尺度的绿色雨水基础设施,完善了该分类体系(见表2)。

表2 基于自然的水问题解决方案——可行的解决方案(含具体措施)与城市水问题的联系

Tab. 2 Nature-based Solutions for water challenges—linkages between viable solutions (including concrete measures) and urban water problems

可行的解决方案	具体措施举例	水生态		水环境		水资源		水安全	
		自然生态格局管控	生态岸线保护	径流污染控制	城市水体环境质量	雨水资源利用	地下水位变化趋势	防洪	内涝防治
恢复森林/造林	防护林	○		○	○			○	
有针对性的土地保护(包括森林保护)	生态红线划定,水源地、地下水回补区,坡地保护等	○	○	○	○		○	○	
河岸缓冲带/河岸带恢复	河流生态廊道,植被缓冲带	○	○	○	○			○	○
含水层补给	回灌井、渗井、渗塘、渗沟等			○	○	○	○		○
重新连接河流到洪泛平原	泛洪区管理	○	○					○	○
建立洪水旁路	泄洪道、大排水通道							○	○
湿地恢复/保护	自然湿地保护或恢复	○	○	○	○	○			○
建设人工湿地	人工湿地建设	○	○	○	○	○		○	○
塘和盆地	湿塘、干塘		○	○	○	○	○	○	○
低影响开发设施	生物滞留设施、植草沟等		○	○	○	○	○	○	

注: ○代表该方案主要具备的功能。

### 2.3 NbS 的效益评估

效益评估有利于在决策中全面衡量 NbS 的优劣,促进方案成功实施。Beceiro 等<sup>[10]</sup>重点针对 NbS 用于雨水管理和控制,构建复原力评估框架,从两个维度评估 NbS 对城市复原力的贡献:一是从城市层面提出管理者和利益相关者的参与、经济可持续性、社会参与和共同利益以及环境复原力四个指标,评估了 NbS 对城市复原力的贡献;二是从 NbS 层面提

出空间规划、服务管理、复原力参与服务、基础设施的安全性和坚固性、基础设施准备以及基础设施依赖和自治六个指标,评估 NbS 关于城市、功能和物理设施的充分性。

基于 Kabisch 等提出的衡量 NbS 缓解和适应气候变化的有效性的指标及相关的共同效益<sup>[11]</sup>,结合我国海绵城市技术规范<sup>[12]</sup>,尝试提出了基于自然的水问题解决方案的效益评估指标<sup>[11-12]</sup>(见图1)。

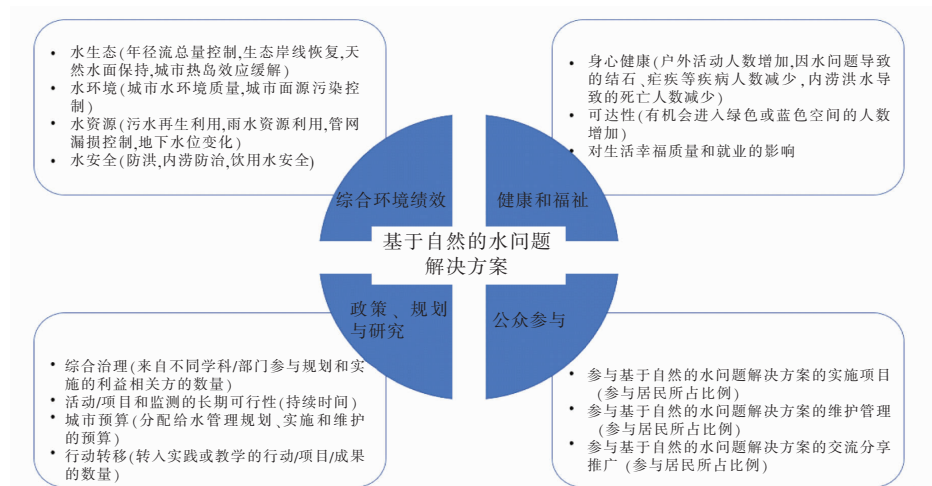


图1 关于基于自然的水问题解决方案效益评估的潜在指标

Fig. 1 Potential indicators for assessing the benefits of Nature-based Solutions for water challenges

### 2.4 NbS 的实施步骤

以防洪类项目为例,介绍 NbS 项目具体的实施流程,如图2所示。

该流程包括8个步骤,涵盖了从设定目标、系统评估、方案制定,到项目实施、监测和总结的整个周期,可作为相关项目实施的参考<sup>[13]</sup>。

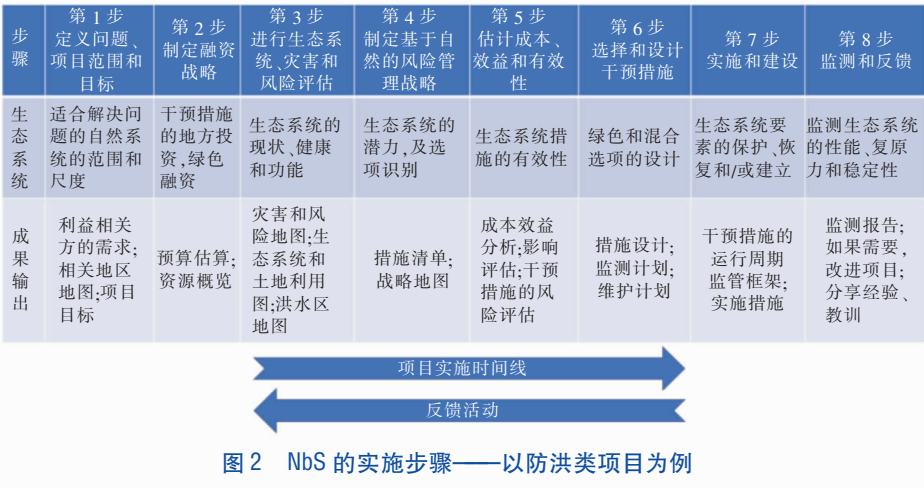


图 2 NbS 的实施步骤——以防洪类项目为例

Fig. 2 NbS implementation steps—taking flood protection as an example

3 NbS 在城市水管理方面的案例

3.1 荷兰鹿特丹城市水管理

鹿特丹是荷兰的第二大城市,位于莱茵-马斯河的三角洲流域,是一座港口城市。在土地利用方面,水和绿地分别占城市及港口面积的 34.9% 和 19.7%,超过鹿特丹总面积的一半<sup>[14]</sup>。由于特殊的地理位置和城市性质,鹿特丹极易受到气候变化的危害,不仅导致海平面上升、河流和地下水位上升、暴雨和风暴严重程度增加、沿海和风暴潮以及热浪

等诸多环境问题,同时也给城市经济发展带来不利影响<sup>[15-16]</sup>。传统单一用途的排水基础设施已不能适应气候变化带来的挑战,大部分地区因为蓄水能力不足和面积不透水铺装,加剧了洪水带来的风险,为此,鹿特丹采用 NbS 的理念建设“防水城市”。

从 2001 年起,鹿特丹政府实施了系列科学-政策交互 (Science - Policy Interface, SPI) 的规划方案<sup>[16-17]</sup> (见表 3),人们在城市水管理方面的思维也发生了转变<sup>[16-18]</sup> (见图 3)。

表 3 鹿特丹计划方案中的科学-政策交互体现

Tab. 3 SPI in the Rotterdam Programme

项目	方案名称	方案由来/目标	方案特色
2001 年	鹿特丹水计划 1	第一个主要城市水战略,阐述鹿特丹战略愿景短期计划	第一次尝试合作的方法,打破只有市政工程师做决定的传统技术官僚模式
2005 年	鹿特丹水城 2035	2005 年主题为“洪水”的国际建筑设计竞赛的参赛方案,激发土地和水之间关系的“思维范式转变”	包括建筑师、空间规划师和水专家的多学科设计过程促成跨部门观点,促进各领域思想交流;市政府城市设计和规划局与公共工程部、经济发展部和两个水委会共同参与,在市政府、水务委员会和商业部门之间建立新网络
2007 年	鹿特丹水计划 2	提出鹿特丹长期战略远景(至 2030 年),并从以往经验中获得见解,通过水系统管理增强城市吸引力	由公共工程、设计和城市规划以及经济发展三个市政部门和三个水委会共同制定;正式承认将水管理与空间规划联系起来的重要性
2007 年	鹿特丹气候倡议	到 2025 年能够成功适应气候变化带来的影响	通过荷兰一些大学进行知识发展(创新性研究);创新和知识实施(如示范项目/概念从建筑到区域规模);建立机制宣传鹿特丹的气候适应知识和创新,将鹿特丹定位为此领域的国际领导者
2008 年	鹿特丹耐候	位于鹿特丹气候倡议之下,是一个气候适应计划,解决影响鹿特丹区域气候变化的原因和后果	共同资助的倡议与鹿特丹市和鹿特丹港,以及一些地方或国家政府机构和咨询机构结成伙伴关系;荷兰国家气候研究项目气候知识合作,解决知识差距和不确定性,并提供与荷兰气候变化影响有关的备选方案
2010 年	三角洲计划	国家方案,主要关注荷兰各地水安全,特别是洪水风险	将知识和创新视为可出口产品,寻求在这一领域发挥国际领导作用
2013 年	鹿特丹适应战略	市政战略,体现了鹿特丹在城市水过渡方面的最新进展,侧重于远超出水领域的广谱复原力,包括私人 and 公共空间,目的是实施从建筑到地区规模的综合项目	城市中许多财产都是私人拥有,创造气候适应城市需要与居民、公司和城市中所有的利益相关方一起进行
2014 年	水敏感鹿特丹倡议		
2016 年	鹿特丹复原力战略		

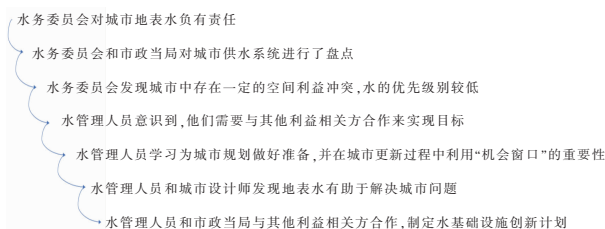


图3 城市水管理级联图

Fig. 3 Urban water management cascade

鹿特丹的城市水管理方案经历了政策和制度创新,并取得了成功。证明在城市水管理战略上使用 SPI 有助于制定创新解决方案,以达成政策目标<sup>[16]</sup>,利用多种整合手段加强科学学科之间的整合以及科学知识利益攸关方知识之间的整合<sup>[19]</sup>,为变革创造必要的有利条件,增强鹿特丹对气候变化的适应性,提高城市复原力<sup>[20]</sup>,成为区别于其他城市的水管理可持续发展城市。通过实施 NbS,将“灰色”解决方案与绿色、蓝色解决方案相结合,打造了包括博物馆、公园、停车场、地下水存储设施等诸多蓄水空间,容量达 10 000 m<sup>3</sup>,将“蓝绿色走廊”融入城市景观<sup>[18]</sup>;在 2014 年欧洲绿色资本奖中,鹿特丹在纳入可持续土地利用的绿色城市地区专题排名第一(共 33 位),城市学院还将 2015 年度的欧洲城市授予了鹿特丹<sup>[14]</sup>。

### 3.2 丹麦哥本哈根暴雨管理计划

丹麦哥本哈根在 2010 年、2011 年、2014 年和 2016 年都遭遇了特大暴雨事件,据统计 2010 年和 2011 年的暴雨事件造成了 10 亿欧元的损失<sup>[21]</sup>。丹麦气象研究所预测,到 2100 年,10 年一遇的降雨强度将增加约 30%<sup>[22]</sup>。因此,城市亟需采取行动,尽量减少因暴雨带来的风险和损害。

丹麦城市排水系统的标准是应对 10 年一遇的降雨事件,为免受城市内涝带来的灾害风险,哥本哈根政府在 2011 年发布了一项气候变化适应计划,列出了可尽量减少暴雨产生的风险损害的行动;在 2012 年发布了一项暴雨管理计划,确保在百年一遇的降雨事件下,洪水溢流深度不超过 10 cm,所采取的措施是减少径流与污水排水系统的连接,并将径流与 30% 的防渗集水区断开,以避免排水系统频繁溢流;在 2013 年制定的《暴雨管理战略阐述气候变化适应计划》和《暴雨管理计划的概论》中,哥本哈根政府制定概念解决方案,计划实施暴雨通道、蓄滞空间、绿道以及暴雨隧道等项目应对暴雨、减少径

流<sup>[21]</sup>。《哥本哈根暴雨防控详细规划》中雨水径流处理方案:工程上采用两种特殊设计的街道,一种是将低洼、脆弱的次级道路在不妨碍交通的情况下设计为雨水滞留街道;另一种是设计宽尺度、剖面为“V”型的林荫道;设计上充分利用圣约尔根湖,将湖水水位由 5.8 m 降至 2.8 m,成为大片的雨水集蓄区<sup>[23]</sup>。

研究表明,建造圣约尔根湖方案比埋设地下雨洪排水管节省约 10 亿元,且从长远来看,建设实施暴雨管理计划 30 年所投资的 100 亿元与两年内 3 次暴雨带来累计约 80 亿元的损失相比,是一个低投入、高收益的项目<sup>[23]</sup>。哥本哈根通过合理利用地形高程,建造了雨水滞留公园、雨水滞留街道和城市多功能区等系列基础设施,构建了以地表径流传输为主的城市大排水系统(见图 4),各项目彼此间相互连接,便于下游设施处理来自上游的累积径流,在无雨的情况下可为市民提供风景怡人的休闲娱乐场所,而在特大暴雨发生的情况下,可以化身为巨大的蓄水空间,避免更严重的洪水灾害事件发生,减轻暴雨事件对城市居民生命财产的威胁<sup>[23]</sup>。

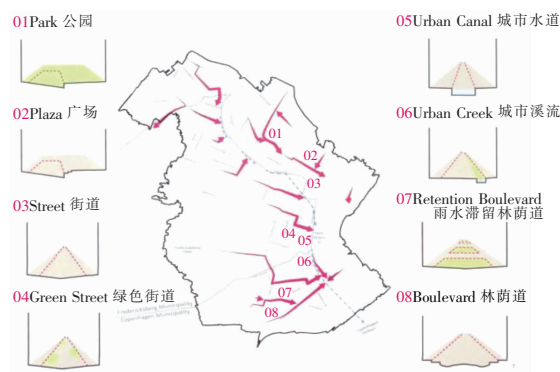


图4 哥本哈根设施径流传输

Fig. 4 Infrastructure runoff transport in Copenhagen

### 3.3 越南城市水敏感城市设计

通过亚洲开发银行支持的二级绿色城市发展项目和拟议的 Ho Chi Minh 市气候弹性城市服务项目,越南城市开始实施 WSUD 一体化。其中,全球环境基金支持二级绿色城市发展项目, Vinh Yen、Hue 和 Ha Giang 三个二级城市都参加了旨在促进可持续城市的综合解决方案的全球可持续平台<sup>[24]</sup>。

Hue 市传统的“硬堤+雨污混合”的城市水管理模式,破坏了市内河流及池塘的水质,积累了大量沉淀物,导致河水流量变小,且筑堤方式严重阻碍人与水和自然环境之间的交流。而新的水管理模式则



认为 WSUD 是 NbS 的一个组成部分,在公园和开放空间利用自然环境布设湿地、生物滞留设施、人工湖、雨水花园、生态堤岸等设施应对各种环境、经济、社会和气候挑战,改善水质并使公共空间更具活力<sup>[24]</sup>(见图 5、6)。



图5 Hue 市 Lap River 改造理念

Fig. 5 Reconstruction concept of Lap River in Hue City

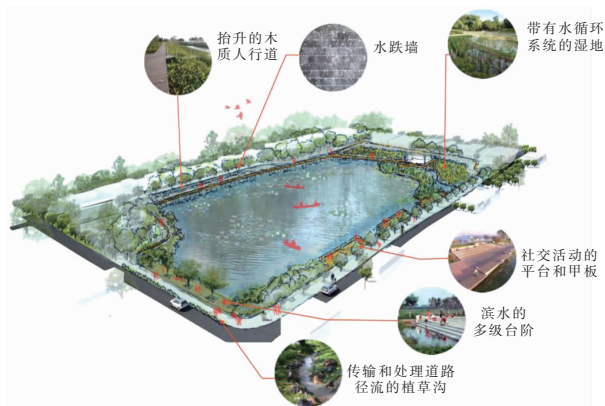


图6 Hue 市 Sen Pond 改造理念

Fig. 6 Reconstruction concept of Sen Pond in Hue City

越南 NbS 的实施,由各城市政府领导,东南亚城市发展和水务司及南部城市发展委员会等官员专家提供政策支持,亚洲开发银行、城市气候变化复原力信托基金与安博戴水道等组织机构提供技术指导、资金保障,致力于将水敏感城市设计纳入越南城市发展项目的主流,为越南城市发展模式的转型作贡献<sup>[24]</sup>。

## 4 NbS 面临的挑战及展望

### 4.1 面临的挑战

作为一个新兴概念,NbS 在水管理领域的发展推广中也遇到了很多挑战:

① 政策领导和规划:a. 创新的 NbS 水基础设施结合了不同的城市功能,导致负责运维管理的部

门不明,因此,应建立更完善的体制机制,明确责任主体,保障设施的运行与维护管理;b. 创新的水基础设施(如雨水花园、绿色屋顶)需要长期运行、定期管理,实际中常常缺少技术人员与管理资金,为此,应从传统的管理模式转向更创新的管理模式,认识到 NbS 的多重效益,鼓励社会资本投入和公众参与管理;c. 碎片化实施 NbS 的效果并不理想,应在全市范围内明确规划建设愿景和目标,并将 NbS 等纳入城市规划管理条例。

② 交流与参与:a. NbS 在城市空间布置了大量的绿色基础设施,这在某种程度上导致了环境绅士化,应注重各阶段居民参与程度,充分考虑那些在气候变化中获得基于自然救济机会最少的人,以保障社会公平;b. 在 NbS 的规划设计阶段,倡导政府部门、社会组织、专业人员和城市居民等多方参与,保障各方利益和居民满意度。

③ 知识和设计:a. NbS 的科学研究,大部分仅涉及参与 NbS 过程的公民和利益相关者的看法、偏好和观点以及他们的预期利益,仅有少数研究关注经济利益、提高城市生活质量以及方案具体措施等内容,应扩展研究范围,多角度分析 NbS 的可行性;b. NbS 在城市应对气候变化时是否会产生额外的社会效益不明,许多 NbS 需要大量的发展时间来达到最大功效,但是无论现在还是将来,城市都应考虑 NbS 在降低气候变化危害及其影响方面的有效性,必须从时间和空间的尺度考虑,充分了解 NbS 的效益-成本比率。

### 4.2 未来的发展

我国在城市建设中推进 NbS,既符合生态文明和新型城镇化建设的政策导向,又可为 NbS 的发展贡献中国智慧,打造发展中国家可持续发展的样板,并从以下几个方面进行推进<sup>[10]</sup>:

① 认识、管理。除城市雨水管理领域(海绵城市建设)外,充分认识到 NbS 还可应用于城市水管理的其他领域,如利用各种类型湿地进行城市污水深度处理和利用、水生态系统修复、水资源保护和流域治理等。通过政策导向、管理体系、绩效考核等措施,继续推动 NbS 在水行业的推广与施行。

② 技术、研究。NbS 由于其自身特点,在效益量化、功能稳定可控等方面存在一定短板,因此,可通过技术辅助强化其功能性和稳定性,对其效益开展量化、综合评估。同时,除了自然和绿色基础设

施外,仍然需要人工基础设施和技术的强化与参与,从而更好地实现其综合效益。

③ 宣传、公众参与。NbS 作为新兴管理理念和技术体系,需要政府、社会组织和市民等主体的广泛参与;应通过多渠道宣传、相关制度的制定,推动应对城市水问题的价值观和理念的转变,让政府在制订城市发展规划时考虑 NbS 类的方案,社会组织加强对 NbS 的资金保障与参与、监督,公众市民接受 NbS 的理念并主动参与规划、实施、管理。

#### 参考文献:

- [1] COHEN-SHACHAM E, WALTERS G, JANZEN C, *et al.* Nature-based solutions to address global societal challenges[EB/OL]. [2020-07-10]. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>.
- [2] CALLIARI E, STACCIONE A, MYSIAK J. An assessment framework for climate-proof nature-based solutions[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 656:691-700.
- [3] 陈梦芸,林广思. 基于自然的解决方案:利用自然应对可持续发展挑战的综合途径[J]. *中国园林*, 2019, 35(3):81-85.  
CHEN Mengyun, LIN Guangsi. Nature-based solutions: a comprehensive approach of using nature to meet the challenges of sustainable development [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2019, 35(3): 81-85 (in Chinese).
- [4] EGGERMONT H, BALIAN E, AZEVEDO J M N, *et al.* Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe [J]. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 2015, 24:243-248.
- [5] RANDRUP T B, BUIJS A, KONIJNENDIJK C C, *et al.* Moving beyond the nature-based solutions discourse: introducing nature-based thinking [J]. *Urban Ecosystems*, 2020, 23:919-926.
- [6] BROWN R R, KEATH N, WONG T H F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes [J]. *Water Science & Technology*, 2009, 59(5):847-855.
- [7] GFDRR, World Bank Group, PROFOR, *et al.* Nature-based solutions for disaster risk management[EB/OL]. [2020-07-10]. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/253401551126252092/pdf/134847-NBS-for-DRM-booklet.pdf>.
- [8] GÓMEZ M E, MÁÑEZ C M, SCHWERDTNER M K. An operationalized classification of nature based solutions for water-related hazards: from theory to practice [J]. *Ecological Economics*, 2020, 167:106460.
- [9] ORALA H V, CARVALHO P, GAJEWSKAC M, *et al.* A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities: a critical assessment based on case studies and literature [J]. *Blue-Green Systems*, 2020. DOI: 10.2166/bgs.2020.932.
- [10] BECEIRO P, BRITO R S, GALVÃO A. The contribution of NBS to urban resilience in stormwater management and control: a framework with stakeholder validation [J]. *Sustainability*, 2020, 12(6):1-15.
- [11] KABISCH N, FRANTZESKAKI N, PAULEIT S, *et al.* Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action [J]. *Ecology and Society*, 2016. DOI: 10.5751/es-08373-210239.
- [12] 刘绪为,胡坚,方帅,等. 镇江海绵城市系统性顶层设计与实践[J]. *中国给水排水*, 2019, 35(4):1-4.  
LIU Xuwei, HU Jian, FANG Shuai, *et al.* Practice and systematic top-level design method of Zhenjiang sponge city[J]. *China Water & Wastewater*, 2019, 35(4):1-4 (in Chinese).
- [13] VAN WESENBECK B K, IJFF S, JONGMAN B, *et al.* Implementing nature based flood protection: principles and implementation guidance[EB/OL]. [2020-07-10]. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/739421509427698706/pdf/120735-REVISED-PUBLIC-Brochure-Implementing-nature-based-flood-protection-web.pdf>.
- [14] TILLIE N, VAN DER HEIJDEN R. Advancing urban ecosystem governance in Rotterdam: from experimenting and evidence gathering to new ways for integrated planning[J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 62:139-144.
- [15] HÖLSCHER K, FRANTZESKAKI N, MCPHEARSON T, *et al.* Tales of transforming cities: transformative climate governance capacities in New York City, U. S. and Rotterdam, Netherlands [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 231:843-857.
- [16] DUNN G, BROWN R R, BOS J J, *et al.* The role of



- science-policy interface in sustainable urban water transitions; lessons from Rotterdam [J]. *Environmental Science & Policy*, 2017, 73: 71–79.
- [17] DE GRAAF R, VAN DER BRUGGE R. Transforming water infrastructure by linking water management and urban renewal in Rotterdam [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2010, 77(8): 1282–1291.
- [18] NbS Knowledge Hub. Rotterdam – NBS for building a water proof city [EB/OL]. [2020–07–10]. <https://oppla.eu/casestudy/19457>.
- [19] GROOT A M E, BOSCH P R, BUJJS S, *et al.* Integration in urban climate adaptation; lessons from Rotterdam on integration between scientific disciplines and integration between scientific and stakeholder knowledge [J]. *Building & Environment*, 2015, 83: 177–188.
- [20] LU P W, STEAD D. Understanding the notion of resilience in spatial planning; a case study of Rotterdam, the Netherlands [J]. *Cities*, 2013, 35: 200–212.
- [21] ZIERSEN J, CLAUSON-KAAS J, RASMUSSEN J. The role of Greater Copenhagen Utility in implementing the city's Cloudburst Management Plan [J]. *Water Practice & Technology*, 2017, 12(2), 338–343.
- [22] Climate ADAT. The economics of managing heavy rains and stormwater in Copenhagen – The Cloudburst Management Plan [EB/OL]. [2020–07–10]. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/the-economics-of-managing-heavy-rains-and-stormwater-in-copenhagen-2013-the-cloudburst-management-plan>.
- [23] 索尔·维尔斯赫伊, 安娜·亚丝拉琪·隆德, 尼尔·休·麦克莱恩·戈林, 等. 丹麦哥本哈根暴雨防控详细规划 [J]. *景观设计学*, 2016(5): 54–67.
- HVILSHOJ S, LUND A A, GORING N H, *et al.* Copenhagen cloudburst concretization plan, Denmark [J]. *Landscape Architecture Frontiers*, 2016(5): 54–67 (in Chinese).
- [24] Asian Development Bank. Nature-based solutions for cities in Viet Nam; water sensitive urban design [EB/OL]. [2020–07–10]. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/535016/nature-based-solutions-cities-viet-nam.pdf>.

作者简介:王思思(1983–),女,吉林长春人,博士,副教授,研究方向为城市雨水控制利用。

E-mail: sisiwang034@foxmail.com

收稿日期: 2020–07–10

修回日期: 2020–08–24

(编辑: 丁彩娟)

节约每一滴水,

回收每一滴水,

让每一滴水多循环一次