

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.005

海绵城市 LID 非工程措施的内涵与应用

赵大维, 陈 韬, 韩朦紫

(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)

摘 要: 为控制城市降雨径流带来的内涝和面源污染风险、保障城市排水安全和水环境质量,参照联合国减少灾害风险办公室(UNDRR)制定的减灾术语,阐述了城市雨水低影响开发(LID)非工程措施的界定、类型和作用方式,分析了 LID 非工程措施在海绵城市建设各阶段中的应用。研究表明,LID 非工程措施能够通过政策、法律、经济和公众意识提升等方式推动海绵城市建设,引导规划设计,提供资金筹集方法,保障工程措施的监督管理和运行维护。然而,目前非工程措施还面临着作用效果难以量化、作用目标不可控等实施障碍,未来海绵城市建设重心将逐渐转向 LID 非工程措施。

关键词: 低影响开发; 非工程措施; 海绵城市; 雨水径流

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0031-07

Intension and Application of Non-structural Measures for LID in Sponge City

ZHAO Da-wei, CHEN Tao, HAN Meng-zi

(Urban Stormwater System and Water Environment Key Laboratory <Ministry of Education> ,
Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to control waterlogging and non-point source pollution risks caused by urban rainfall runoff, and to guarantee urban drainage safety and water environment quality, the definition, types and functions of non-structural measures for urban stormwater low impact development (LID) were elaborated regarding the disaster reduction terminology developed by United Nations office for disaster risk reduction (UNDRR). The application of LID non-structural measures in different sponge city construction stages was analyzed. The results showed that the sponge city construction could be promoted by LID non-structural measures through policies, laws, economy and public awareness promotion. LID non-structural measures could guide the planning and design and provide financing methods, so that the supervision, management, operation and maintenance of structural measures would be guaranteed. However, non-structural measures are still faced with implementation obstacles such as difficulty in quantifying their effects and uncontrollable targets at present, and the focus of sponge city construction will gradually shift to LID non-structural measures in the near future.

Key words: low impact development; non-structural measures; sponge city; stormwater runoff

基金项目:北京市社会科学基金资助项目(18GLB013)
通信作者:陈韬 E-mail:chentao@bucea.edu.cn

随着城市化带来的不透水表面激增,超出传统灰色基础设施处理能力的雨水径流、管道溢流进入城市水系,形成内涝和面源污染风险^[1],对城市安全和城市水系造成不利影响^[2]。发展绿色基础设施(GI),结合灰色基础设施,达到最大公共效益,已成为各国城市雨水管理的必然趋势^[3-4]。

自 2014 年住房和城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》)以来,已有 30 个国家试点海绵城市得到批准建设,此外,各省市还有百余个海绵城市试点项目,推动了全国各地的城市雨水低影响开发(LID)设施的建设。尽管海绵城市的投资已近 2 000 亿元^[5],但部分试点的建设并未达到预期目标,在试点建设过程中各个阶段也发现了很多早期在欧美国家进行 LID 建设时遇到的难题,如在规划阶段缺乏经验、设计阶段规范标准和数据支撑不足,建设阶段激励政策不到位,运维阶段不闻不问等^[6-7]。

在对 LID 非工程措施分类梳理的基础上,结合海绵城市建设实践中的案例,分析其在海绵城市各建设阶段中的应用,识别其中的关键问题,提出对策建议。

1 LID 非工程措施

LID 非工程措施是一个潜力巨大、多样化的“工具箱”,参照联合国减少灾害风险办公室(UNDRR)制定的减灾非工程措施术语,对其进行界定,并按作用范围和作用方式分类。

1.1 界定

海绵城市 LID 措施旨在防止或最大限度地减少雨水径流量与径流污染,可分为工程措施和非工程措施^[8]。其中,LID 工程措施是指 LID 中的物理设

施、工艺及实现其径流控制能力的技术,常见的有透水铺装、雨水湿地、植草沟等雨水渗滤、滞蓄和传输设施。LID 非工程措施不涉及物理设施,而是通过政策、法律、经济和公众教育等降低雨水径流风险和影响,常见的有设计规范、土地利用规划、研究与评价、信息资源和公众意识提升计划等“源控制”或“污染预防”措施。LID 工程措施会受到降雨随机性和技术经济的影响,在实际应用中存在一定局限;而非工程措施不直接作用于雨水径流,主要是管理措施,即软措施,可以保障或协同工程措施更充分地发挥作用。

1.2 作用范围

LID 非工程措施按作用范围分为场地策略和顶层策略两类。其中,场地策略通过人为行动落实,作用在场地、设施或人员等目标上,如街道清扫、雨水设施维护、人员培训等,其特点是作用范围相对较小、目标明确,针对目标采取具体的措施,从而达到局部污染控制、环境保护和 LID 的作用。顶层策略是指政府或管理机构通过城市规划、法规制定、政策发布等,对大范围的雨水管理制定的策略,如国务院办公厅发布《关于推进海绵城市建设的指导意见》(以下简称《指导意见》)、将“海绵城市”纳入雄安新区城市建设规划等各地海绵规划。这类顶层策略作用范围较广,可以指导和推动大范围的雨水管理进程。

1.3 作用方式

LID 非工程措施按照作用方式通常分为五大核心类别:战略管理政策、城市规划设计、污染防治措施、公众意识提升和监督管理政策,其实施目标、作用方式和使用阶段如表 1 所示。

表 1 LID 非工程措施作用目标与方式

Tab. 1 Target and approach of LID non-structural measures

项 目	实施目标	作用方式	使用阶段
战略管理政策	责任主体	激励、约束、管理政策,资金筹集保障制度	工作前、中期
城市规划设计	建设区域	制定规划方案、设计标准	建设前期
监督管理政策	责任主体	相关法规、规范,验收、考核、评价制度或标准	建设中后期、建成后
污染防治措施	环境、工程设施	清洁、管理、维护措施	建设后期、建成后
公众意识提升	公众群体	宣传教育,教学培训,问卷调查	任何时期

2 LID 非工程措施在海绵城市建设中的应用

将海绵城市建设分为开展推行、规划设计、工程建设和维护管理四个阶段,每个阶段需要采取适宜的非工程措施予以支撑和辅助。前期的开展推行和

规划设计阶段分别以战略管理政策、城市规划设计推动和引导为主;中期工程建设阶段的战略管理政策和城市规划设计各尽其责;后期的维护管理阶段由监督管理政策进行有效把关,建设完成后的运维

离不开污染预防措施;整个建设过程中,与公众保持沟通,了解其想法、获取其支持至关重要,公众意识提升在四个建设阶段都是不可忽略的。

2.1 开展推行阶段

新技术措施的大范围实施可能会遇到各方阻力,通过试点的有效试行可以减少推行阻力。德国在推行 GI 之初也受到质疑,当地水协会选择试点地区进行经济补贴,鼓励政府与公众建设雨水设施并保障其运行维护,验证了 GI 对雨水的有效治理,使得该计划逐步推向全国^[9]。

我国在 2011 年提出“生态海绵城市”的概念^[10],2014 年住房和城乡建设部明确“大力推行 LID 建设模式,加快研究建设海绵型城市的政策措施”,并发布《指南》和《指导意见》等一系列战略政策,选出试点城市,出台经济激励政策。在政府鼓励、社会高度关注以及国家财政的支持下,全国范围内掀起了海绵城市的建设高潮。

2.2 规划设计阶段

① 专项规划,引领建设

海绵城市试点之初,由于经验不足,工程碎片化、简单化的问题突出,城市建设管理部门之间意见不统一,区域范围并未达到预期效果^[11]。为解决标准不一和规划衔接问题,编制“专项规划”是统筹解决雨水管理问题的一种方法^[12]。通过分层设计,将 LID 目标、策略和原则纳入城市总体规划中的城市水系、排水防涝等相关专项规划,并通过控制性详细规划分解落实^[13]。2016 年住房和城乡建设部印发《海绵城市专项规划编制暂行规定》(建规〔2016〕50 号),要求全国各市编制海绵城市专项规划。海绵城市的顶层设计应从城市本底出发,明确建设目标,落实施工方案,协调相关专项规划,纳入城市规划体系^[14]。

各试点城市发展程度不同,面临的问题也不同,分别在对其建设环境、问题识别和需求分析的基础上,提出各具特色的海绵城市建设的总体目标,并分级细化为控制指标。萍乡市为解决海绵试点老城区改造中的城建资料缺失、管网破旧混乱、蓝绿空间少、施工实施困难、内涝积水严重等系列问题,编制了一套完整的从城市总规到控制性详规到修建性详规的规划体系,完善详尽的规划是萍乡试点成功的开端。《深圳市海绵城市建设专项规划及实施方案(优化)》中新老城区侧重明显不同,新城区落实新

指标,老城区解决旧问题。《西宁市海绵城市建设专项规划(2016—2030)》采用“治山”模式,提出了山体林木覆盖率、水土流失控制、景观提升等规划目标。遂宁对水敏感地区进行重点保护规划。白城因寒冷干旱、水资源匮乏、缺少城市绿色海绵体,将优化城市水资源和景观水空间格局作为海绵城市的规划目标。

② 设计标准,因地制宜

由于海绵城市设计标准发布滞后于工程建设或设计时未严格参照标准、国家级设计标准适用性不足、标准不成体系、各专业之间难以协调、缺乏完整性等^[15],导致海绵城市设计实践中出现一些问题。例如,核心控制指标设计不合理,未能结合试点的突出问题进行科学设计;设计时使用的技术类型单一;设计参数不合理,缺乏依据;设施布局规模不合理,过多地使用末端处理设施等^[16-17]。

为解决海绵城市快速建设和实施过程中部分设计单位和施工企业面临转变设计理念、基础性规范和标准匮乏等诸多困难^[18],依据《指南》和我国现有标准体系,结合我国各地发展现状,参考国外先进发展经验,住房和城乡建设部于 2016 年发布《海绵城市建设国家建筑标准设计体系》,并陆续编制系列标准设计图集。各实施主体仍需在实践中不断发现问题,并修正和完善标准。

2.3 工程建设阶段

① 财政缺口,社资补充

海绵城市建设是一项浩大的工程,据测算,海绵城市建设投资需 1.5 亿元/km² 左右^[19],以萍乡市为例,建成区面积 50.87 km²,全面建成所需资金高达 101.74 亿元。各海绵城市试点在资金上都存在着巨大的缺口,财政不足是限制海绵城市建设与发展的严重问题^[20]。

2014 年财政部发布《关于开展中央财政支持海绵城市建设试点工作的通知》,对使用 PPP 模式的试点设置了奖励金;2015 年的《指导意见》鼓励试点城市在建设和运维海绵城市过程中使用 PPP 模式。PPP 模式在海绵城市建设中发挥了举足轻重的作用,比如,迁安海绵城市建设试点区 21.5 km²,项目总投资 33.98 亿元,其中政府投资 14.66 亿元,其余资金为 PPP 模式;固原海绵城市试点区 23 km²,总投资 38.34 亿元,其中 PPP 模式项目约 29.88 亿元。鹤壁市海绵城市试点中 PPP 建设资金投入比率约

为17.1%。PPP模式缓解了海绵城市建设的财政缺口,但在实际实施中还存在诸多问题^[21],如:涉及多部门参加,利益相关者众多,协调关系复杂;海绵城市公益性强,如何创造收益、实现可持续发展;项目后期运维责任、项目风险分担不明,还可能出现财政补贴有限、异化融资风险、举债风险隐患、投资收益低且回报方式单一等问题^[22]。

海绵城市PPP项目建设中,其项目收益与社会效益是政府与社会资本博弈的焦点。项目建设初期适当注重项目收益,建立起博弈双方的良好信任,吸引社会资本的广泛参与;项目建设中后期倾向于社会收益,使得海绵城市建设成果由社会共享,并着重提升其整体效应水平^[22]。可借鉴欧美国家的雨水管理收费制度^[23-24],比如美国的雨水排放费。对于片区内的多个项目进行打包处理,提高管理效率,吸引投资^[25]。

② 公众支持,保障实施

海绵城市的成功开展和持续建设取决于不同利益相关者,公众是主体之一,公众的行为和观念显著影响海绵城市的实践^[26]。对老旧城区进行改造更新时,马路开挖、违章建筑的拆除、小区改造等影响居民日常生活的施工,可能会引起公众对海绵城市改造的抵触。

采取教育、宣传、调查等方式提升公众意识,如开展课堂讲解、分发海绵城市宣传册、进行问卷调查等活动。在海绵城市建设运行中,还可以通过加强与施工区域业主沟通,鼓励公众参与运维工作、实施监督权利等方式提高公众参与度。美国的一项调查表明,通过6~12个月的雨水管理学习后,29%的接受培训的居民开始采取对雨水管理有益的行为,使用雨水措施的居民增加了40%,调查范围内草坪的氮肥和农药使用量分别减少约40%和25%。教育可以在一定程度上提升工作人员、利益相关者、普通公众等的环保意识,目前国内仍缺乏针对不同人群学习雨水管理知识的途径。

2.4 维护管理阶段

① 评价考核,把关质量

评价考核是海绵城市建成后进行验收工作的关键步骤,不仅是对工程设施的质量把控,也是对海绵城市成效的验证。各试点城市在验收和监测评估过程中仍有很多突出的共性问题:施工进度滞后、工程质量参差不齐、指标完成度低等;监测评估时的监测

方式、监测目标、评估指标仍不明晰。《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)中对评价内容和方法做了详尽的解释并提出了监测要求,部分试点考核不合格,主要存在设计不合理、资金不到位、工作开展缺乏组织、法律法规有缺失、机制体系不健全等问题。

为更好地提高评价考核效果,需要与现实问题接轨,根据目标引导科学的规划设计^[27-28];优化资金配置,建立资金使用监督机制^[21];明确项目管理机构职责,被考核的项目有明确的负责方;加强相关立法,保障海绵城市的可持续性发展^[17];合理监测,以评促建,如《贵州省海绵城市建设技术导则(试行)》纳入了工程设施的质量管理与验收,厦门市出台《海绵城市建设工程评价标准》等,必要时引入第三方监测评估。

② 运行维护,确保效果

绿色基础设施往往比灰色设施需要更频繁的维护,LID工程措施的建成验收仅是起点,而不是终点,必须重视工程措施的运行与维护。

海绵城市中的LID工程措施、排水管网和生态河湖水系等都需要维护,否则即使设计方案合理、建设施工到位,仍难以达到目标效果,甚至会加重污染。然而目前海绵城市项目中的运行维护管理十分薄弱,建设期就存在生物滞留设施被乱倒垃圾、植物缺乏维护枯萎、透水铺装未能定期清洗出现堵塞等现象。在海绵城市建设广泛采用的PPP模式中,建设单位至少有10年运维期,但由于缺乏此类项目的运维经验加上受公众环保意识等的影响,后期的运维效果和绩效考核仍存在诸多不确定因素。对于建设单位不负责运维的项目,设施发挥长久功效存在更大隐忧^[29]。

欧美一些国家对雨水设施实行分级维护,由不同技能水平的人员完成不同频次、有所侧重的设施检查活动,通过常规维护、不定期维护、纠正性维护等方式,保障设施的可持续性运行。一些地方将运维交给专业的第三方承包商完成,解决了运维责任等系列问题。

目前海绵城市试点陆续进入了运维阶段,《指南》中提出“LID设施建成后应明确维护管理责任单位,确保LID设施正常运行”,并列出12类工程措施维护时的注意事项。嘉兴、重庆、厦门、宁波等陆续发布当地的海绵城市建设工程施工、验收及维护技

术导则和标准,《浙江省低影响开发设施运行维护技术导则》中还对工程设施的突发情况做出了应急响应和管理导则,对不同类型的区域划分了养护等级并制定了量化标准。

3 国内外现状及建议

3.1 实施障碍与国内现状

LID 非工程措施本身具有滞后于工程措施建设、短期效果不明显、难以量化等特点,而且实施途径多样化、作用目标不可控,实施过程中有很多不确定因素。比如,公众对习惯改变的抗拒、工作人员对雨水管理缺乏理解而不能正确判断和使用等,这些都会阻碍非工程措施的实施。由于非工程措施不便于量化成数据来体现其效用与价值,因而在雨水行业的绩效和成本方面缺乏广泛和坚实的知识基础^[8],也影响了政府在雨水管理上对非工程措施的投入。

尽管 LID 非工程措施在国内的普及推广还需时间,但是非工程措施始终贯穿于海绵城市建设,它与工程措施是海绵城市不可或缺的“左膀右臂”。战略管理政策在海绵城市建设工作开展前期具有推动作用,为一项新技术的落地实施完成“破冰”工作。建设初期,工程措施的正确建设离不开科学合理的规划设计。建设中期,资金筹集和配置离不开非工程措施的“保驾护航”。建设后期,对落地项目的考核评价是保障海绵城市建设工作成果质量的重要一步。建设完成后,长期的运行维护工作和公众的支持,是海绵城市可持续发展的根基。

目前,国内在战略管理政策和城市规划设计等顶层策略方面已初见成效,在中央和地方政府及相关部门的协同努力下,推广和规划设计海绵城市已经有了较完整的框架,这也是海绵城市在多地成功实施的基石。在监督管制政策上,尽管财政部推行使用 PPP 模式在一定程度上缓解了海绵城市建设的资金、分工、责任等问题,但是各个 PPP 项目具体的实施进展、各地政府与资本的博弈和合作,还没有实现标准化的流程,风险的划分和承担仍然是 PPP 模式前进的阻力。在公众意识提升政策的实施上,国内仍然有提升空间,特别是在二三线城市,如公众对施工的抵触情绪,工程设施被垃圾堵塞污染等问题,可借鉴国外的经验,从公众意识提升的方向上着力。污染预防措施主要针对工程措施的验收、维护和环境的治理,很多试点在验收过程中不达标,除了

在工程建设中存在问题外,还应在制定验收标准时与现实接轨,因地制宜。海绵城市建成后的长期运行情况还需时间检验,坚持维护管理工作十分必要,可以向国外借鉴运维模式。

3.2 国外现状与建议

实行雨水管理较早的发达国家,近年来 LID 发展重心已经逐渐向非工程措施倾斜。调查数据表明,澳大利亚使用量增加趋势最显著的 11 项 LID 措施中,有 9 项是非工程措施,在 41 项非工程措施中 76% 的使用量呈上升趋势。美国和新西兰多达 90% 的 LID 非工程措施使用量呈上升趋势。随着雨水管理在全球范围内逐渐受到重视,建设雨水工程措施必然伴随着非工程措施的出现;在建设完成度比较高的城市中,雨水管理实施受制于建设空间等因素,非工程措施有着更大的发挥空间。

非工程措施在我国雨水管理中的作用还需在以下几个方面继续探索完善:①发掘非工程措施的实际使用情况及影响,进行更加全面的统计分析,将非工程措施的作用在建设更清晰地体现出来,并将经验运用在场地策略中;②加强水文资料对海绵城市专项规划的支撑,建立地方海绵城市标准体系;③开发嵌入国内基础数据的水文模型,强化对 LID 设施筛选、设计优化和量化评估的建模辅助,促进 LID 工程实践的技术迭代和应用尺度的扩大;④深入理解经济激励措施及管理学的投融资问题,建立 LID 工程措施的全生命周期成本效益评价方法及其基础数据库,探讨雨水排放许可收费交易制度的可行性,探索海绵城市的 PPP 模式与第三方团队管理相结合;⑤落实运行管理维护规范导则,持续收集现场和实验数据,加强监测和数据开放共享,保障工程设施的智慧化运行管理,以确保工程措施可持续发展;⑥推广环境教育,改进教育方式,提升从业人员专业化水平,提高全民参与度,为海绵城市的可持续发展打下群众基础。

4 结语

LID 非工程措施对于城市雨水管理意义重大,工程措施具有实际的雨水控制效果,二者协同可使海绵城市在控制城市降雨径流、防止城市内涝、保障城市排水安全和水环境质量中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] BALLO S, LIU M, HOU L J, et al. Pollutants in

- stormwater runoff in Shanghai (China): implications for management of urban runoff pollution[J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(7): 873–880.
- [2] 耿莎莎. 基于城市规划视角下的城市内涝防治研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- GENG Shasha. Research on the Prevention of Urban Waterlogging Based on Urban Planning[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013 (in Chinese).
- [3] COHEN J P, FIELD R, TAFURI A N, *et al.* Cost comparison of conventional gray combined sewer overflow control infrastructure versus a green/gray combination [J]. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 2011, 138(6): 534–540.
- [4] MADDEN S S A. Choosing Green Over Gray: Philadelphia's Innovative Stormwater Infrastructure Plan [D]. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2017.
- [5] LI H, DING L Q, REN M L, *et al.* Sponge city construction in China: a survey of the challenges and opportunities[J]. *Water*, 2017, 9(9): 594.
- [6] 陈展图, 覃洁贞. 我国海绵城市建设对策研究——非工程性措施视角[J]. *改革与战略*, 2017, 33(5): 53–55.
- CHEN Zhantu, QIN Jiezheng. Research of sponge city construction in China—the perspective of non-engineering measures [J]. *Reformation & Strategy*, 2017, 33(5): 53–55 (in Chinese).
- [7] 车伍, 张鹏, 赵杨. 我国排水防涝及海绵城市建设中若干问题分析[J]. *建设科技*, 2015(1): 22–25, 28.
- CHE Wu, ZHANG Kun, ZHAO Yang. Analysis of several problems in waterlogging prevention and sponge city construction in China[J]. *Construction Science and Technology*, 2015(1): 22–25, 28 (in Chinese).
- [8] TAYLOR A C, FLETCHER T D. Nonstructural urban stormwater quality measures: building a knowledge base to improve their use[J]. *Environmental Management*, 2007, 39(5): 663–677.
- [9] NICKEL D, SCHOENFELDER W, MEDEARIS D, *et al.* German experience in managing stormwater with green infrastructure [J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2013, 57(3): 403–423.
- [10] 董淑秋, 韩志刚. 基于“生态海绵城市”构建的雨水利用规划研究[J]. *城市发展研究*, 2011, 18(12): 37–41.
- DONG Shuqiu, HAN Zhigang. Study on planning an “eco-sponge city” for rainwater utilization [J]. *Urban Studies*, 2011, 18(12): 37–41 (in Chinese).
- [11] 张伟, 王家卓, 车伍, 等. 海绵城市总体规划经验探索——以南宁市为例[J]. *城市规划*, 2016, 40(8): 44–52.
- ZHANG Wei, WANG Jiazhao, CHE Wu, *et al.* Experience of sponge city master plan: a case study of Nanning City [J]. *City Planning Review*, 2016, 40(8): 44–52 (in Chinese).
- [12] 车伍, 马震, 王思思, 等. 中国城市规划体系中的雨洪控制利用专项规划[J]. *中国给水排水*, 2013, 29(2): 8–12.
- CHE Wu, MA Zhen, WANG Sisi, *et al.* Specific planning for stormwater management and utilization in Chinese urban planning system [J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(2): 8–12 (in Chinese).
- [13] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. *给水排水*, 2015, 41(3): 1–7.
- QIU Baoxing. Connotation, ways and prospect of the sponge city (LID) [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2015, 41(3): 1–7 (in Chinese).
- [14] 章林伟, 牛璋彬, 张全, 等. 浅析海绵城市建设的顶层设计[J]. *给水排水*, 2017, 43(9): 1–5.
- ZHANG Linwei, NIU Zhangbin, ZHANG Quan, *et al.* Brief analysis of top-level design of sponge city construction [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2017, 43(9): 1–5 (in Chinese).
- [15] 李兰, 李锋. “海绵城市”建设的关键科学问题与思考[J]. *生态学报*, 2018, 38(7): 2599–2606.
- LI Lan, LI Feng. The key scientific issues and thinking on the construction of “Sponge City” [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(7): 2599–2606 (in Chinese).
- [16] 张建云, 王银堂, 胡庆芳, 等. 海绵城市建设有关问题讨论[J]. *水科学进展*, 2016, 27(6): 793–799.
- ZHANG Jianyun, WANG Yintang, HU Qingfang, *et al.* Discussion and views on some issues of the sponge city construction in China [J]. *Advances in Water Science*, 2016, 27(6): 793–799 (in Chinese).
- [17] 宋芳晓, 张海荣. 我国海绵城市建设管理的问题和策略探析[J]. *城市发展研究*, 2016, 23(10): 99–104.
- SONG Fangxiao, ZHANG Hairong. Problems and strategies in the construction and management of Chinese sponge city [J]. *Urban Development Studies*, 2016, 23(10): 99–104 (in Chinese).
- [18] 王连接, 王开春, 黄勤钰, 等. 海绵城市建设地方标准体系构建初探[J]. *给水排水*, 2019, 45(12): 47–51,

58.
WANG Lianjie, WANG Kaichun, HUANG Qinzhen, *et al.* Research on local standard system of sponge city [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45 (12): 47 - 51, 58 (in Chinese).
- [19] 满莉,毛依娜. 我国海绵城市建设商业模式研究——基于美、德两国的经验借鉴[J]. *地方财政研究*, 2016 (7): 105 - 112.
MAN Li, MAO Yina. Research on the business model of sponge city construction in China—based on the experience of the United States and Germany [J]. *Sub National Fiscal Research*, 2016 (7): 105 - 112 (in Chinese).
- [20] NGUYEN T T, NGO H H, GUO W S, *et al.* Implementation of a specific urban water management—sponge city [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 652: 147 - 162.
- [21] 耿潇,赵杨,车伍. 对海绵城市建设PPP模式的思考[J]. *城市发展研究*, 2017, 24 (1): 125 - 129, 134.
GENG Xiao, ZHAO Yang, CHE Wu. Public-private partnerships in the sponge city [J]. *Urban Development Studies*, 2017, 24 (1): 125 - 129, 134 (in Chinese).
- [22] 翟慧敏,王蛟龙,罗嫣然. 海绵城市建设PPP模式的应用研究[J]. *城市学刊*, 2019, 40 (5): 23 - 27.
ZHAI Huimin, WANG Jiaolong, LUO Yanran. Research on the application of PPP model in sponge city construction [J]. *Journal of Urban Studies*, 2019, 40 (5): 23 - 27 (in Chinese).
- [23] TASCIA F A, ASSUNC AO L B, FINOTTI A R. International experiences in stormwater fee [J]. *Water Science & Technology*, 2018 (1): 287 - 299.
- [24] 李俊奇,刘洋,车伍. 发达国家雨水管理机制及政策[J]. *城乡建设*, 2011 (8): 75 - 76.
LI Junqi, LIU Yang, CHE Wu. Stormwater management mechanism and policy in developed countries [J]. *Urban and Rural Development*, 2011 (8): 75 - 76 (in Chinese).
- [25] 张建昂,任斌. 海绵城市建设的PPP项目投融资问题及优化措施[J]. *工程造价管理*, 2019 (5): 74 - 79.
ZHANG Jian'ang, REN Bin. PPP project investment and financing problems and optimizing measures for sponge city construction [J]. *Engineering Cost Management*, 2019 (5): 74 - 79 (in Chinese).
- [26] WANG Y T, SUN M X, SONG B M. Public perceptions of and willingness to pay for sponge city initiatives in China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 122: 11 - 20.
- [27] 李俊奇,任艳芝,聂爱华,等. 海绵城市: 跨界规划的思考[J]. *规划师*, 2016, 32 (5): 5 - 9.
LI Junqi, REN Yanzhi, NIE Aihua, *et al.* Sponge city: cross-disciplinary planning [J]. *Planners*, 2016, 32 (5): 5 - 9 (in Chinese).
- [28] 关天胜. 厦门市海绵城市建设全过程管控机制探讨[J]. *给水排水*, 2019, 45 (12): 43 - 46.
GUAN Tiansheng. Discussion on the control mechanism of the whole process of sponge city construction in Xiamen [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45 (12): 43 - 46 (in Chinese).
- [29] 李文哲,涂洋,吴锬. 建成区海绵城市建设问题与对策研究[J]. *工程建设与设计*, 2018 (12): 142 - 145.
LI Wenzhe, TU Yang, WU Kun. Research on the problems and countermeasures of sponge city construction in urban built-up area [J]. *Construction & Design for Project*, 2018 (12): 142 - 145 (in Chinese).

作者简介:赵大维(1996 -),男,白族,贵州大方人,硕士研究生,研究方向为城市雨水低影响开发。

E-mail: 592134299@qq.com

收稿日期: 2021 - 01 - 04

修回日期: 2021 - 01 - 27

(编辑: 丁彩娟)