老城排水系统改造的绿色方略——以美国纽约市为例

The Green Strategy of Old City Drainage System Reconstruction: A Case of New York City, The US

王思思 李畅 李海燕 袁冬海
Wang Sisi, Li Chang, Li Haiyan, Yuan Donghai

摘要: 我国目前正全面推进海绵城市建设, 老城在这一过程中遇到了诸多问题。本文对美国纽约市绿色基础设施建设的规划、实施过程、监测评估以及成本效益进行介绍, 并针对建设过程中面临的实际挑战及解决方案进行详细的阐述, 以期为我国老城的海绵城市建设的方略、目标、建设方案的完善提供参考。

Abstract: Currently, China is fully promoting the construction of sponge city, which encounters many problems in old cities especially. By introducing the plan, implementing process, monitoring evaluation and cost-effectiveness of green infrastructure renovation in New York City, the US, this paper elaborates the challenges and solutions in the process of construction in detail, supplying advice for the optimization of strategy, objective and development scheme of sponge city construction in Chinese old cities.

关键词: 海绵城市; 绿色基础设施; 解决方案; 纽约市

Keywords: Sponge City; Green Infrastructure; Solution; New York City

国家留学基金 (201409960001), 北京未来城市设计高精尖创新中心资助课题 (UDC2016040100), 北京市优秀人才培养资助青年拔尖团队项目 (2015000026833T0000), 漳州市自然科学基金 (ZZ2016J05)

作者: 王思思 (通信作者), 博士, 北京建筑大学环境与能源工程学院, 副教授, 硕士生导师; 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室。wangsisisi@bucea.edu.cn

李畅, 北京建筑大学环境与能源工程学院, 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 环境工程专业硕士研究生。

630862063@qq.com

李海燕, 博士, 北京建筑大学环境与能源工程学院, 北京市可持续城市排水系统构建与风险控制工程技术研究中心, 教授, 硕士生导师

袁冬海, 博士, 北京建筑大学环境与能源工程学院, 环境科学与工程系, 副教授, 硕士生导师

引言

近年来, 随着城市化进程的不断推进, 城市建设过程中不透水面积的比例不断增加, 致使城市下垫面的结构发生巨大变化, 严重破坏了原有自然界的水循环系统^[1]。这导致城市的水安全、水资源、水生态及水环境都遭受了不同程度的威胁。为了解决城市化所带来的这一系列问题, 我国掀起了海绵城市的建设热潮。在我国两批海绵城市试点申报的政府文件——财办建[2015]4号^[2]和财办建[2016]25号^[3]中, 均对老城占比作出了指示, 北京的试点区面积19.36 km², 老城占8.77 km²; 天津的试点区面积39.5 km², 老城占17.83 km²; 池州的试点区面积18.5 km², 老城占10.68 km²; 等。这些老城所面临的地上和地下问题的特殊性, 是海绵城市建设的焦点与难点。例如在地上, 老城的人口密度高、车流量大、公共服务设施密集、市民对公共空间改造存在抵触情绪, 以及绿地有限, 造成难以提供充足的空间以布置绿色基础设施等问题, 给工程建设带来了很大阻力^[4]; 在地下, 管网设计标准偏低、雨污管网混接、管网老化失修, 以及雨污合流制管网带来的合流制溢流 (CSO: Combined Sewer Overflows) 污染等问题。因此在当前老城的海绵城市建设中, 如何降低对城市正常运转和居民正常生活的影响? 如何对老城排水系统进行提标改造, 缓解老城的合流制溢流问题, 同时增加城市的宜居性? 如何从制度建设、目标制定、规划设计、监测评估以及公众参与等方面切实推进海绵城市建设? 这一系列问题有待进一步的深入研究。

纽约市为解决合流制溢流问题, 采用绿色基础设施和灰色基础设施相结合的改造方略, 并于2010年9月发布了《纽约市绿色基础设施规划》。他山之石, 可以攻玉。本文通过对此规划方案及实施过程中遇到的诸多问题进行回顾与分析, 拟为我国当前老城的海绵城市建设提供参考。

1 绿色基础设施的概念内涵

1.1 基本概念

绿色基础设施 (GI: Green Infrastructure) 有广义和狭义之分。广义的绿色基础设施为“具有自然生态系统功能的、能够维持空气与水环境质量, 并能够为人类和野生动物提供多种利益的自然区域和其他开放空间的集合体”^[5]。随着时间的推移, 绿色基础设施也向更多相关专业延伸, 其概念与内涵不断得到新的诠释。美国规划协会在一份报告中对绿色基础设施给出了如下定义: “它是一种由诸如林荫街道、湿地、公园、林地、自然植被区等开放空间和自然区域组成的相互联系的网络, 能够以自然的方式控制城市雨水径流、减少城市洪涝灾害、控制径流污染、保护水环境”^[6]。这种狭义的定义更突出强调其雨洪控制利用和水文调节功能, 是广义绿色基础设施在城市雨水控制利用专业领域的具体体现。因此, 西雅图公共事业局也称其为“绿色雨洪基础设施”

(GSI: Green Stormwater Infrastructure), 主要包括生物滞留池 (雨水花园)、渗透铺装、绿色屋顶、蓄水池等^[7]。由此可见, 不论是宏观尺度的自然区域和开放空间集合体, 还是微观尺度的源头生态雨水设施, 均对维持区域水文生态平衡和调蓄雨洪发挥着重要作用, 故成为海绵城市建设的重要组成部分。本文所介绍的纽约市和我国老城的海绵城市建设主要指狭义的绿色基础设施。

1.2 绿色基础设施的功能与效益

绿色基础设施带来的最直接效益包括削减雨洪峰值、减少雨水径流量、控制雨水径流污染、降低合流制管网系统的溢流量及溢流频率。除此之外, 绿色基础设施还可以产生一系列的经济效益和社会效益, 包括促使区域土地增值、降低传统 (灰色) 基础设施的投资和运行费用、降低能源消耗、提高绿化率、增加绿色空间、净化空气、降低城市热岛效应的影响、为市民提供舒适的居住及娱乐场所、提升城市固碳能力等。这些优势都是通过传统方式对基础设施进行改造所无法比拟的。

通过绿色基础设施建设来提升城市排水能力、改善水体水质的方法得到了国际上许多老城的采纳: 如德国汉堡的雨污合流制管网占排水系统总和的 90%, 主要通过源头的绿色基础设施和终端污染控制措施相结合的方式较快地控制了合流制溢流污染^[8]; 澳大利亚的悉尼、墨尔本推行的水敏感城市设计理念, 也是通过源头的绿色基础设施控制水量水质, 从而减低了洪峰流量和环保压力^[9]; 美国费城大部分城区为雨污合流的排水体制, 该市于 2009 年 9 月实施“绿色城市, 清洁水体”计划, 并在公共用地大规模建设绿色基础设施,

加强源头雨水控制, 从而减少了对传统排水设施的需求^[10]。

世界上的许多老城之所以采用绿色基础设施来改造排水系统, 是因为其能够在合理利用原有雨污合流制管网的条件下, 提升排水能力, 缓解合流制溢流问题, 并且能为城市带来诸如维稳城市生态系统、提升城市韧性等附加效益。

2 纽约市绿色基础设施的规划与建设

2.1 纽约市绿色基础设施规划

(1) 规划背景

纽约市是世界上最大的滨水城市之一, 拥有长达 96.6 km 的滨水岸线。然而, 由于飓风、强降雨、热带风暴甚至极端高位潮水^[11]带来的水安全和水环境问题, 使其变得具有一定的脆弱性, 如拥有 7.15 万栋建筑和 40 万居民居住的洪泛区每年有 1% 的可能性会被淹没^[11], 以及降雨引发的地表径流污染和合流制溢流问题等^[12]。自工业时代以来, 如何保障水环境和水安全一直是城市发展面临的重要问题, 构建更加可持续和韧性的城市也是城市规划的愿景, 纽约市的 2030 年和 2050 年城市总体规划都印证了这一点。

纽约市环保局推出的《纽约市绿色基础设施规划》是针对城市排水系统的专项规划, 顺应 1994 年美国环保局发布的合流制溢流《长期控制规划》(LTCP: Long Term Control Plan)^[13], 且是纽约市城市总体规划战略《更葱绿、更美好的纽约》^[14]和 2050 年远景规划《纽约——规划一个强大而公正的城市》^[15]在水环境领域的具体落实, 同时与规划局发布的《纽约市滨水区综合规划 2020》^[12]在内容上存在一些交叉。纽约市环保局为了《纽约市绿色基础设施规划》能够更好落实, 于 2012 年 3 月颁布了《合流制溢流条例》; 同年 7 月, 又发布了《雨洪管理体系设计与建设指导手册》以进一步推进规划的实施^[16]。

纽约市在城市建设过程中, 有计划地不断实施雨洪管理。例如在全市所有合流制管网的 422 个排放口处设置调节器, 可拦截大部分污水和雨水并转移至下水道, 升级污水处理厂以提高处理雨污合流污水的能力^[1,12]; 2008—2010 年向纽约市民推行雨水桶赠送计划, 将存储的雨水用于浇灌草地和花坛; 绿色街道建设计划——通过街边的滞留洼地和植草沟来滞蓄和净化雨水; 以及史泰登岛的蓝色飘带计划中着重建设了人工湿地、雨水滞留池和一些实际的排水工程来解决岛上居民的排水问题^[16]。

(2) 规划目标

在多年实践的经验之上, 纽约市推出了《纽约市绿色基础设施规划》, 即通过灰绿结合的方式来处理城市的雨水径流污染及合流制溢流问题, 从而提高老城的排水能力, 改善水体水质。此项规划改造区域为雨污合流制区域的 7 875 英

亩不透水区域, 计划到 2030 年实现不透水面积减少 10% 的目标, 并将目标分解为四个五年去实现——第一个五年改造 1.5%, 第二个五年改造 2.5%, 第三个五年改造 3%, 第四个五年改造 3% (图 1)。

(3) 政策制度

在政策制度建设方面, 纽约市已经实施的包括: 通过对一些项目进行资金补助或者税收减免来实现绿色基础设施的补贴激励计划; 基于 GIS 的可改造区域分析, 并通过与业主机构协调和现场岩土调查等方式进行综合论证筛选, 得到可改造的场地; 对管道排放口附近及公众活动的公共空间优先改造; 对合流制溢流量及溢流频率进行考核^[18]; 明确绿色基础设施的维护部门, 编写维护技术手册以及对维护工人进行技术培训, 以确保绿色基础设施的维护管理工作^[19]; 建立对独立停车场的暴雨收费制度; 针对老城和新建区制定不同的雨水排放标准^[20]。此外, 纽约市环保局还联合公共土地信托基金会 (TPL)^①、纽约市教育局 (DOE) 和纽约市校园建设管理局 (SCA), 将绿色基础设施建设纳入校园改造的基础设施建设当中^[18]。

图 1 纽约市雨污合流制区域 10% 不透水面积改造的进度计划 (2010—2030 年)

资料来源: 作者根据参考文献 [17] 绘制

图 3 分布式生态滞留设施的监测系统示意图

资料来源: 作者改绘自参考文献 [22]

2.2 纽约市绿色基础设施的监测评估

自 2011 年开始, 纽约市每年都编制《纽约市绿色基础设施规划》的年度报告, 对当年的主要进展、新形成的制度机制、各类项目的实施情况、目标的落实情况、适应性管理情况、经验教训以及典型案例等进行总结, 并提出下一年度的具体计划。

(1) 监测评估现状

纽约市在过去的 10 年里主要使用 InfoWorks 对城市的 25 000 个集水区、7 500 根管道、6 000 个人孔以及排放口调节器进行排水系统承载力模拟评估, 并预测地表径流通行路径^[17]。由于对社区、街道等小尺度的绿色基础设施运行监测工作比较欠缺, 故随着《纽约市绿色基础设施规划》的实施, 纽约市环保局开始加强小尺度设施层面的监测系统建设, 并对示范区内具有代表性的区域建立监测系统 (图 2)。

以分布式生态滞留设施为例 (图 3)。在降雨过程中, 不透水区域产生的雨水径流一部分被储存在生态滞留设施当中 (蒸发、蒸腾、水平和垂直渗透), 超出生态设施承载能力部分的雨水和其他区域的雨水径流汇合后进入雨污合流制管

注: 图中右上方的试点区占地 19.3 英亩, 位于布鲁克林区东北部, 纽敦河支流附近的威尔逊大道和百老汇之间; 图中右下方的试点区占地 22.7 英亩, 位于布鲁克林区的布朗斯维尔与东纽约社区之间。

图 2 示范区内进行分布式生态滞留设施监测的区位图

资料来源: 作者改绘自参考文献 [21]

① 公共土地信托基金会 (TPL): 一个国家级非营利性质的开放空间保护组织。

网系统。通过这样对径流从形成至进入管网的完整过程进行长期监测，能够使其在今后具体的场地设计以及评估其对径流削减和污染控制的贡献变得更加精准可靠。

(2) 监测评估项目

由于绿色基础设施的功能效益受当地的土壤、气候、降水以及地下水位等因素影响，故可能在老城和新建区之间存在一定差异。纽约市环保局为了能够更加清晰地统计评估绿色基础设施对老城各方面的贡献率，以及为今后在设计绿色基础设施时提供更多的基础数据，起草了关于绿色基础设施监测评估草案，截至目前该草案共包括 24 项监测项目（表 1）。在监测过程中，针对不同生态环境下不同类型的绿色基础设施进行监测，最终收集的数据将用于绿色基础设施的性能评估，从而提出多尺度、不同生境、不同类型的绿色基础设施运行维护建议。

(3) 生态评估

目前，纽约市对每年的绿色基础设施建设评估工作，其范围已经不局限于对排水系统能力提升的评估，而是扩展到更广阔的环境、生态、社会和经济等各方面的效益。表 2 列出了纽约市最主要的生态评估内容。

在纽约市排水系统的绿色改造过程中，对生态效益监测评估工作的重视程度正在不断提升，甚至在今后的城市发展中，对生态效益的评估将直接影响城市的政策制定和政务的审批流程。纽约市对绿色基础设施生态效益的重视，与这个时期美国政府重视温室气体减排并积极推动“碳减排”、倡导绿色经济的发展战略一致^[13]。

2.3 纽约市绿色基础设施的成本效益分析

据纽约市环保局估测，到 2030 年，实施绿色设施的成

表 1 24 项监测评估项目

24 项监测评估项目	
雨水入流量	植物的生长情况
雨水出流量	设施各项指标的阈值
纵向渗透率	绿色基础设施的外观
横向渗透率	对城市生态系统的贡献率
雨水滞蓄量	绿色基础设施的潜在效益
水面的蒸发量	常规技术对雨洪调蓄的贡献率
雨水总渗透量	新开发技术对雨洪调蓄的贡献率
对悬浮物的去除率	绿色基础设施的设计及建设成本
绿色屋顶对雨水的滞蓄情况	针对雨水下渗的工程土壤最优混合比
绿色屋顶不断增加的介质 (如新生植物、鸟类、杂物等)	对可持续性指标的贡献率 (如温度、日照等)
植物对雨水的吸收量	基于雨洪管理的最优植物配置
植物对雨水的蒸腾量	基于生态目标的最优植物配置

资料来源：作者根据参考文献 [19] 总结

本仅为 53.3 亿美元，远低于投入灰色设施的 68 亿美元。其中，源头控制措施的成本约为 24 亿美元，而传统灰色设施中用于污水处理厂和管网系统扩建改造的资金为 39 亿美元。在绿色设施中，每减少 0.00379 m³（1 加仑）合流制溢流问题的成本为 0.45 美元，而在灰色设施中这个数字为 0.62 美元（图 4）。

老城排水系统的绿色改造方略在成本上优于传统的灰色改造计划，大大减少了对基础设施的改造投入以及日后的升级费用，同时对化石能源的节约也使得绿色基础设施建设更

图 4 建设绿色设施和灰色设施的成本对比图

资料来源：作者改绘自参考文献 [20]

表 2 纽约市绿色基础设施的生态评估内容

类型	内容
碳汇方面	由于推进绿色基础设施建设的过程中引入了新的植被，随着植被的成长在其自身结构及土壤中固定了空气中大量的 CO ₂ 及其他含碳物质
对热岛效应的缓解	绿色基础设施可以通过植被、土壤和水体等来削弱热岛效应，从而降低由于热岛效应所引起的如空调等电力设施造成的能源消耗，以及减少一些由于高温所引起的其他问题（如疾病、交通事故、生物灭绝等）
提高生物多样性	绿色基础设施具有给野生动物提供觅食场所和筑巢机会的潜能，从而不断提升城市的生物多样性
空气净化	绿色基础设施通过植被的自身呼吸和叶片吸附等作用，对空气中的有害物质进行净化
生活质量	绿色基础设施的建设使公众更容易接触到自然生态系统，因此显著提升了其社会效益，如房地产价值的提升，公众的身体健康、心理状态和创新能力的提升，甚至有数据显示可以降低犯罪率
降低雨水处理成本	通过滞蓄降雨过程中所形成的地表径流，从而削减了进入污水厂的雨水量，降低了污水厂的工作负荷，进而降低了污水厂中化学药剂的使用量
增加就业机会	由于绿色基础设施的建设，在其前期建设及后期维护过程中需要大量的普通劳工，因此增加了许多就业机会，这对城市中社会及经济弱势群体显得尤为重要

资料来源：同表 1

为经济。与此同时,绿色基础设施规划的投入灵活,在实施规划一段时间后,可以根据成效再制定新的排水系统升级规划以及新的投资计划。

在初期阶段,由于需要新建大量绿色设施,所以其建设和维护费用会比灰色设施略高。但随着时间的推移,绿色设施的成本会远远低于灰色设施的成本,因为管道的建设、修复和污水处理厂的升级扩建会使成本居高不下。此外,在老城排水系统的升级改造中采用灰绿结合的建设理念,符合当今艰难经济情况的时代主题,因为其不仅比传统的灰色设施改造方式节省数十亿美元,而且有助于城市的可持续发展^[23]。

3 纽约市绿色基础设施建设面临的挑战及解决方案

3.1 建设过程中面临的挑战

在纽约市,对地上和地下空间进行大规模改造的难度极大。在近几年规划实施过程中,有限的空间、时间及地质土壤等本底条件都是制约绿色基础设施建设的重要因素,纷繁复杂的社会问题也阻碍了工程施工的推进(表3)。

此外,还有许多其他影响因素,如纽约市的雨污合流制管网系统达三分之二之多、建设材料的采购时间过长、工程建设的资金来源问题、公民的游行反对及城市中其他的一般性限制因素等,均给工程的正常进行造成了极大的挑战。

3.2 应对挑战的解决方案

纽约市环保局为了实现2030年雨污合流制区域不透水面积的改造目标,针对此次改造过程中面临的诸多挑战,采用了工程措施和非工程措施双管齐下的破解思路。

3.2.1 工程措施

(1) 采用适应空间条件的设施。为解决纽约市地上空间被限制的问题,纽约市环保局在改造过程中多采用一些能够

适应狭小空间的绿色基础设施,如雨水桶、生态树池和绿色屋顶等。

(2) 改良本底土壤条件。纽约市环保局在建设绿色基础设施的过程中将原土层更换为工程土壤和开级配碎石填料层。

(3) 开发新设施。为了更好地适应地上和地下空间条件,纽约市环保局开发了一种全新的、对地下条件和地上空间要求更低的绿色基础设施技术,称为“绿色条带”(Green Strip)。其主要特点是道路到路缘石间设置一段坡度为10%的区域,以利于路面雨水快速流入绿色条带;路缘石进水口处设置6×12英寸的碎石带,以削弱进水对植被的冲刷;人行道与侧石之间的胀缝为0.5英寸,以保证温度变化后设施不发生胀裂;设施正下方的填料依次是工程土壤和开级配碎石填料层,其压实后空隙率大于15%,故能够在保证设施骨架强度的同时达到良好的蓄水效果(图5)。

3.2.2 非工程措施

(1) 科学规划选址。纽约市环保局联合交通局(DOT)和公园及娱乐场所管理局(DPR)建立了一套关于场地的《选址指导手册》,并与纽约市建筑局(DOB)协调建筑物与绿色基础设施建设位置的关系^[19],以确保选址在符合安全施工的前提下,对建筑物、交通运输、行人通行及现有行道树的干扰最小化。

(2) 修订标准规范。基于改造过程中面临的场地限制问题,纽约市环保局对《绿色基础设施设计标准和导则》进行修订,并针对现场环境及岩土情况对绿色基础设施的建设方法进行改良^[19],以确保其能够与灰色设施形成良好的耦合,达到提升城市生态环境的效果。

(3) 合理拆迁腾退。纽约市环保局为使拆迁腾退过程中私有财产不被破坏而专门制定了一系列标准,并与公共设施管理公司协调进行公共设施的拆迁工作^[19]。

(4) 优化施工过程。纽约市环保局为此项工程建立了一套基于互联网的施工地图,地图上可以显示纽约市每一项改造工程的具体位置、设计方案及工程进展情况,并每月进行更新^[25]。通过此地图,改造参与人员及公众对这项工程的认知度得到极大的提升,增强了城市内不同部门之间的协调默契度,开拓了其他城市的学习借鉴渠道。同时市民可以根据此图选择最佳的出行路线,从而缓解城市的交通压力。此外,纽约市环保局建立了一套严格的工程监管制度,包括强力的监督问责制度,以保障工程建设对市民私有财产及日常生活的干扰最小化^[19]。

(5) 明确资金来源。项目的资金来源主要来自政府财政支出和民间资本(信托基金和捐赠项目)^[25]。截至2015年底,

表3 纽约市绿色基础设施建设过程中面临的挑战

类型	内容
选址	包括行道树、街道长椅、车道、公交车站、建筑出入口、装卸货区域及密集的地上和地下交通线路,造成了绿色基础设施建设在空间上的限制
本底条件	有些区域的地下水位和地下基岩位置较高,土质为高黏性土壤,甚至有些区域的土壤被污染情况较为严重,诸如此类的本底条件增加了绿色基础设施的改造难度
与公共设施之间的冲突	现有的高架和地下设施给建设绿色基础设施前的岩土测试阶段带来了一定的风险
施工过程	绿色基础设施建设施工过程中的脚手架、施工栅栏和其他大型设备等占用公共用地问题,对城市的正常运转造成了一定的影响

资料来源:同表1

纽约市环保局已为绿色基础设施建设投入超过 1.87 亿美元^[19]；2017 年 3 月，纽约市环保局又为未来 10 年（除去之前几年的 4.1 亿美元外）新增了 10 亿美元的财政预算。民间资本方面，自规划实施以来，有 34 位私人业主为此项工程捐赠共计超过 1 500 万美元^[25]。另外，美国环保局也于 2012 年在纽约市的绿色基础设施建设示范街区中投资了 200 万美元^[16]。

通过纽约市应对挑战的解决方案，可以看出在老城的诸多问题瓶颈面前，同时实施工程措施（采用适应空间条件的设施、改良本底土壤条件、开发新设施）和非工程措施（科学规划选址、修订标准规范、合理拆迁腾退、优化施工过程以及采用公私合作的募集资金模式等），是目前推进老城排水系统绿色改造方略行之有效的办法。这与我国海绵城市建设的推进思路一致。

4 纽约市绿色基础设施建设对我国老城海绵城市建设的启示

纽约市的绿色基础设施建设与我国许多老城的海绵城市建设从现状问题到解决策略都极为相似。如在问题层面，均存在雨污合流制管网所带来的合流制溢流问题；雨污合流制管网规模比例都比较大；进行绿色基础设施建设的难度也都较大。在问题的解决策略层面，对老城排水系统的升级改造均主要采用建设绿色基础设施的方法来提升控制径流污染

能力；制定到 2030 年的长期改造目标，并分解为阶段性目标去落实；通过政府财政支出和民间资本相结合的模式来解决资金来源问题。因此，纽约市的经验对我国老城的海绵城市建设具有极强的借鉴意义。

（1）借鉴纽约市采用灰绿结合的老城排水系统升级改造理念很必要。因为以调蓄池、管网系统为代表的灰色设施，在雨洪调蓄能力方面有一个固定的上限；而绿色设施在雨洪调蓄能力方面具有一定的拓展性^①，且随着全球极端天气发生频率的不断加剧，其在雨洪调蓄能力升级成本（时间成本、资金成本和环境成本）方面的优越性更加凸显。因此，将城市尺度的排水系统中绿色设施占比提高，从而巩固灰绿设施的耦合关系，乃大势所趋。

（2）纽约市采用的是多部门协同作战的策略，并通过制度标准建设、资金补助、税收减免、试点项目建设、监测评估、教育宣传和公众参与等手段来力保规划目标的实现。在实施过程中，通过年度评估的方法，保证规划目标和实施方案可以根据实际情况不断调整，不断优化方法，使之具有较强的适应性和灵活性。

（3）纽约市案例也提醒我们，要充分预测我国老城海绵城市建设过程中可能遇到的困难和挑战。发达国家历经 30 年，仍没有完成雨污合流制系统改造和水污染控制。如纽约市提出通过 20 年时间，完成对全市雨污合流制区域 10% 不

图 5 绿色条带的施工图

资料来源：作者改绘自参考文献 [24]

① 绿色基础设施的拓展性：其一，绿色基础设施的主要组成部分由植物（消能、净化和吸收）、土壤（横向、纵向渗透和微生物净化）、卵石（消能、固定和吸附）、水（消能、稀释和净化）等构成，这些组成部分自身都含有一定的拓展性容量；其二，绿色基础设施具有遭遇外界冲击后一段时间内、一定程度上自动恢复的韧性；其三，绿色基础设施除具有排水功能还具有降低热岛效应，提升城市固碳能力等功能。

透水面积进行绿色基础设施建设,但在起初的5年内并未完成原计划1.5%的目标,其艰难程度可见一斑。老城排水系统改造的复杂性,时间周期长,因此我国老城海绵城市建设在编制专项规划和制定实施方案过程中,更应实事求是、因地制宜,根据新老城区特点制定改造时间、目标和标准,不宜一刀切,否则欲速则不达,可能会在推进过程中带来许多后遗症。**UPI**

感谢车伍教授和匿名审稿人对文章提出的宝贵意见和建议。

参考文献

- [1] 林伟斌,林伟光,连彦等.纽约市GI建设对我国海绵城市建设的启示[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2016(3):102-106.
- [2] 中华人民共和国财政部.关于组织申报2015年海绵城市建设试点城市的通知[EB/OL]. [2015-01-20]. http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/tongzhigonggao/201501/t20150121_1182677.html.
- [3] 中华人民共和国财政部.关于开展2016年中央财政支持海绵城市建设试点工作的通知[EB/OL]. [2016-02-25]. http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefaui/201603/t20160301_1827474.html.
- [4] 车伍,赵杨,李俊奇.海绵城市建设热潮下的冷思考[J].南方建筑,2015(4):104-107.
- [5] MARK B, MCMAHON E. Green Infrastructure[M]. USA: Island Press, 2006.
- [6] 车伍,张伟,王建龙,等.低影响开发与绿色雨水基础设施——解决城市严重雨洪问题措施[J].建设科技,2010(21):48-51.
- [7] TACKETT T. Seattle's policy and pilots to support green stormwater infrastructure[C]. 2008 International Low Impact Development Conference. Washington: Environmental and Water Resources Institute of ASCE, 2008.
- [8] 杨雪,车伍,李俊奇,等.国内外对合流制管道溢流污染的控制与管理[J].中国给水排水,2008,24(16):7-11.
- [9] 王思思,张丹明.澳大利亚水敏感城市设计及启示[J].中国给水排水,2010(20):64-68.
- [10] 王召森,林蔚然.美国费城海绵城市建设借鉴——合流制溢流污染长期控制规划[J].建设科技,2016(15):49-52.
- [11] NYC Department of City Planning. Climate Resiliency: What is New York City's Flood Risk?[EB/OL]. [2017-07-25]. <http://www1.nyc.gov/site/planning/plans/climate-resiliency/climate-resiliency.page>.
- [12] 程婧.2012美国规划协会最佳综合规划奖——《纽约滨水区综合规划2020》评析与借鉴[J].国际城市规划,2014(4):128-132.
- [13] 程熙,车伍,唐磊,等.美国合流制溢流控制规划及其发展历程剖析[J].中国给水排水,2017(6):7-12.
- [14] 何丹,朱小平,王梦珂.《更葱绿,更美好的纽约》——新一轮纽约规划评述与启示[J].国际城市规划,2011(5):71-77.
- [15] New York City Government. One New York-The Plan for a Strong and Just City[OL]. [2017-07-25]. <http://www.nyc.gov/html/onenyc/downloads/pdf/publications/OneNYC.pdf>.
- [16] 姜丽宁,应君,徐俊涛.基于绿色基础设施理论的城市雨洪管理研究——以美国纽约市为例[J].中国城市林业,2012,10(6):59-62.
- [17] Department of Environmental Protection of New York City. NYC Green Infrastructure 2012 Annual Report[R/OL]. [2016-12-08]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2013.pdf.
- [18] Department of Environmental Protection of New York City. NYC Green Infrastructure 2013 Annual Report[R/OL]. [2016-12-08]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2014.pdf.
- [19] Department of Environmental Protection of New York City. NYC Green Infrastructure 2015 Annual Report[R/OL]. [2017-05-01]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2016.pdf.
- [20] Department of Environmental Protection of New York City. NYC Green Infrastructure Plan-A Sustainable Strategy for Clean Waterways[OL]. [2016-12-08]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/NYCGreenInfrastructurePlan_LowRes.pdf.
- [21] Department of Environmental Protection of New York City. Report for Post-construction Monitoring Green Infrastructure Neighborhood Demonstration Areas[R/OL]. [2017-07-25]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/cso_long_term_control_plan/post-construction-monitoring-report-gi-neighborhood-demonstration-areas.pdf.
- [22] Department of Environmental Protection of New York City. Green Infrastructure Performance Metrics Report[R/OL]. [2016-12-08]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi-performance-metrics-report-2016.pdf.
- [23] Department of Environmental Protection of New York City. NYC Green Infrastructure Plan 2011 Update[R/OL]. [2016-11-08]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2012.pdf.
- [24] Department of Environmental Protection of New York City. Green Infrastructure Standards and Specifications[S/OL]. [2017-03-18]. http://www.nyc.gov/html/dep/html/stormwater/green_infrastructure_standards.shtml/bioswales-standard-designs.pdf.
- [25] Department of Environmental Protection of New York City. NYC Green Infrastructure 2016 Annual Report[R/OL]. [2017-07-25]. http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2017.pdf.

(本文编辑:王枫)

(上接97页)

- guidelines[M]. Arlington, Va.: Recreation and Park Association, 1995.
- [10] BUECHNER R D. National park recreation and open space standards[M]. Washington: National Recreation and Park Association, 1971.
- [11] LANCASTER R A. Recreation, park and open space standards and guidelines[M]. Alexandria, Va.: National Recreation and Park Association, 1983.
- [12] 马劲武.地理设计的发展与意义[J].中国园林,2014(10):9-11.
- [13] Greenplay-geowest-design concepts-appendix iv-grasp history and methodology[EB/OL]. [2017-07-06]. <http://www.ashevilleenc.gov/civicax/filebank/blobdload.aspx?BlobID=23491>.
- [14] 方家,吴承熙.美国城市开放空间规划方法的研究进展探析[J].中国园林,2012(11):62-67.
- [15] VEAL A J. Open space planning standards in Australia: in search of origins[J]. Australian Planner, 2013, 50(3): 224-232.
- [16] LAYTON R. The relationship between characteristics of public greenspace and opinions of service[D]. Raleigh: North Carolina State University, 2016.

(本文编辑:王枫)