

基于绿色基础设施的美国城市雨洪管理进展与启示

Practice and Implication of Green Infrastructure and Urban Stormwater Management in the US

胡宏
Hu Hong

城市化和工业化造成城市的自然生态环境被不透水面分割, 呈现破碎化和硬化, 导致城市受到不同程度的雨水溢流和水体污染困扰。绿色基础设施模拟自然生态系统吸收、减缓和过滤雨水^[1]。已有研究证实绿色基础设施有助于改善城市水质、提升公共卫生服务水平和生活质量、带来经济效益、促进社区价值提升, 是建设健康城市的重要内容^[2]。美国现有 772 个城市采用雨污合流排水模式^[3]。这些城市的雨洪管理一般分三种方式: 一是增加集中布局的大规模雨水管网, 二是建设分散的绿色基础设施, 三是将两种布局方式相结合^[4]。由于传统的雨污合流管网老化, 升级改造的财政预算有限, 近年来美国的许多地方政府开始选择将大型城市排水管网与小规模分散的绿色基础设施相结合, 进行雨洪治理。美国环保局也支持将绿色基础设施作为城市雨洪管理的长期战略。

在 20 世纪, 城市降水在美国通常被视作废水而非一种可利用的资源, 城市雨洪管理主要以建设传统雨水管网(灰色基础设施)从而促进雨水快排为主。但是此类灰色基础设施升级改造的成本常达数十亿美元, 而且不能从根本上解决雨洪问题。从 1972 年的《清洁水法》(The Clean Water Act) 开始, 美国环保局不断加强对城市水量和水质的监管, 地方政府不得不寻求创新方法, 在解决雨洪问题的同时控制成本投入^[5]。1970 年代, 政府开始倡导“最佳管理实践”(Best Management Practice), 对雨水径流进行末端控制; 到 1990 年代发展为“低影响开发”(Low Impact Development), 强调恢复雨水下渗的自然生态过程; 再到 21 世纪的“绿色基础设施”(Green Infrastructure) 战略, 进一步丰富了多尺度的可持续雨洪管理模式^[1]。

美国政府对于新建或改建的城市用地, 明确要求其建设绿色基础设施, 对雨水径流进行源头控制。而美国大部分城市

的增长速度缓慢, 每年新建或改建的项目数量有限, 所以基于绿色基础设施的雨洪管理主要依靠对现状建成环境的更新改造, 即建设不同尺度、多样化、分散的绿色基础设施, 以形成网络, 减轻雨水管网的负担。为达成这一目标, 地方政府除了通过公共投资在公共用地建设示范性项目外, 还采取两种途径促进市场和公众在私人土地上建设绿色基础设施: 第一种是设计经济激励项目, 鼓励市场投资; 第二种是进行公众教育, 培养社会对城市雨洪危害和绿色基础设施效益的认同。如今美国已逐步形成了包括政策管理、技术研发、财政支付、公众参与和后期维护在内的全方位城市雨洪管理策略。

中国快速城镇化面临一系列水生态恶化、水资源短缺、水环境污染和水安全保障问题^[6], 城市雨洪管理问题的根源来自于全球气候变暖的大背景下, 快速城市化所建设的大量建筑物和硬质路面使得不透水地面的占比增大, 降水形成的地面径流无法迅速通过地下管网排出, 造成地面溢流, 而溢出的雨水径流冲刷地面污垢, 携带化学物质和其他污染物流入地下水系统或河流等自然水体, 对城市水环境和公共健康形成威胁。据研究, 5%~10% 的不透水面比例就会影响自然水文特征和水环境质量^[7]。中国城市雨洪问题是高密度建成环境下的复杂问题, 破解这一难题需要运用系统方法, 从政策到实施、从政府到社会、从集中管网布局到分散小规模绿色基础设施布局的多维视角进行综合雨洪管理^[8]。然而, 我国在综合雨洪管理方法和实践上起步较晚, 其运行效果有待检验, 相应的规划策略和治理方法仍需完善^[9]。

本专辑选择美国雨洪管理的前沿热点话题和东西海岸的代表城市, 梳理智能雨洪管理途径与发展前景; 阐述低影响开发的实施评估手段与成效; 总结城市尺度的雨洪管治策略; 研究基于绿色基础设施的社区复兴路径; 归纳绿色基础设施的水质水量影响及组合布局策略; 最后解析绿色基础设施视角下的河道生态修复理论与实践。

国家自然科学基金项目 (41501169)

作者: 胡宏, 南京大学建筑与城市规划学院, 副研究员。h.hu@nju.edu.cn

美国雨洪管理系统正在经历从静态到动态、被动到主动、零散到系统的转变升级，智能雨洪管理成为各级政府对城市雨洪实现有效和实时调控的前沿领域。《美国智能雨洪管理途径与发展前景研究》介绍美国智能雨洪管理的发展背景，辨析智能雨洪管理与传统雨洪管理的异同，分析智能雨洪调控的实证案例、发展重点和现实障碍，最后指出其未来的推广需要建立良好的市场运营机制和政策支持。美国智能雨洪管理经验可为中国雨洪管理的智能化和科学化提供借鉴。

已有研究多是分析城市与区域低影响开发的工程和社会经济效益，较少针对已实施项目的雨洪管理效果进行评估。这主要是因为低影响开发项目实施周期尚短，监测数据收集不易。《加州奥兰治县低影响开发：实施和评估中的挑战与对策》介绍奥兰治县进行低影响开发的管理背景，阐述其正在参与构建的低影响开发评估框架和创新性的水质信贷交易机制。奥兰治县的经验说明低影响开发的成功需要在项目实施前后都对场地进行充分的调查和监测，将评估方式标准化，并建立灵活的水质信贷交易机制，在区域层面实现低影响开发效益最大化。

解决城市雨洪的难题不只是研究绿色基础设施的技术问题，成功的雨洪管理需要将多元主体纳入雨洪决策和实施过程，制定综合雨洪管治策略。《绿色基础设施视角下的城市雨洪管治策略——以费城为例》在辨析美国城市雨洪管治策略类型的基础上，选取首个城市尺度雨洪管治案例城市——费城，分析其雨洪管治方案的主要内容、经济措施的历史演变轨迹和管治策略的发展阶段。费城雨洪管治经验说明制定雨洪管治方案初期就应将相关部门纳入参与主体，通过对居民和商业团体的激励措施，将市场和社会力量引入雨洪管治，有助于提高雨洪管治的效果。

通过建设绿色基础设施进行城市社区复兴，有助于恢复城市生态环境，减轻传统基础设施系统的负担，提升社区宜居性。这一规划策略在美国已得到广泛共识。《基于绿色基础设施的城市社区复兴——以华盛顿特区为例》分析华盛顿特区雨洪管治向社区尺度深入的规划背景，探讨由市场驱动的社区复兴其绿色基础设施的布局特征，并对全市社区绿色基础设施空间分布进行模拟和评价。模拟结果表明，未来的规划工作需要预测特定类型社区的特殊需求，更有针对性地进行投资建设和社会教育，以实现社会公平。

快速城市化使得城市下垫面建成环境日趋复杂，已有研究对复杂城市环境中的雨水汇流过程进行模拟，提出雨洪管治策略。《城市复杂建成环境下绿色基础设施对雨水径流的水质水量影响及规划布局研究》梳理既有文献，对比分析美国城市不同绿色基础设施（雨水花园、透水路面、路边花坛、绿色屋顶、树坑等）对于雨水吸收和水质改善的影响；然后以纽约市和费城市为例，总结复杂城市环境中多种绿色基础设施组合布局策略；最后提出中国城市建设绿色基础设施的

建议，包括与灰色基础设施的改建相结合，推进绿色基础设施在公共区域和商业区域的建设，长期监测水质水量结果并建立国家数据库等。

城市化导致城市自然河道生态退化和形态渠化。通过绿色基础设施进行生态修复，重建城市河道的生态系统功能，有助于促进流域健康。《绿色基础设施视角下城市河道生态修复理论与实践——以西雅图为例》阐述城市河道修复的内涵、价值和方法，以西雅图的河口栖息地修复和溪流重现项目为例，介绍基于绿色基础设施的河道修复策略，最后探讨公众参与在西雅图河道修复中起到的关键作用。西雅图采取的局部渐进式修复策略可为我国“城市双修”提供工作思路。

在城市雨洪管理中，内涝缓解和污染控制只是城市雨洪管理的部分目标。现代化城市雨洪管理应是集社会、经济、生态效益和设计美感于一体的多目标决策过程。绿色基础设施作为提高建成环境质量、缓解自然水体污染、增加社会和经济效益的最佳路径，在美国城市雨洪管理中的应用日益广泛。美国既有理论和实践可为建设中国特色“海绵城市”提供战略指导和技术支撑，有利于推动中国城市雨洪管治理论的深入研究和实践发展。中国当前城市化进程需要对城市雨洪进行前瞻性和综合性管理，既要注重前沿工程技术的应用，也要推动雨洪管治的健全和规范。城市雨洪管理需要与区域规划、流域规划、城市规划、控制性详细规划、居住小区设计等不同尺度规划策略协调，提升城市雨洪管理的兼容性和可操作性。通过多样化的政策机制组合、定量的雨洪管理评估、实施过程的持续监测和定期反馈调整，提高管理的科学性，创造更宜居健康的绿色人居环境。UPI

参考文献

- [1] US EPA. Enhancing Sustainable Communities with Green Infrastructure. EPA 100-R-14-006, 2014.
- [2] COUTTS C. Green infrastructure and public health[J]. Planning Practice & Research, 2016, 25(4): 439-459.
- [3] US EPA. Keeping Raw Sewage & Contaminated Stormwater Out of the Public's Water[OL]. (2011)[2017-08-10]. <https://www3.epa.gov/region02/water/sewer-report-3-2011.pdf>.
- [4] THURSTON H W, GODDARD H, SZLAG D, et al. Controlling stormwater runoff with tradable allowances for impervious surfaces[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003, 129(5): 409.
- [5] 张丹明. 美国城市雨洪管理的演变及其对我国的启示[J]. 国际城市规划, 2010, 25(6): 83-86.
- [6] 俞孔坚, 李迪华, 袁弘, 等. “海绵城市”理论与实践[J]. 城市规划, 2015, 39(6): 26-36.
- [7] BRADEN J B, JOHNSTON D M. Downstream economic benefits from storm-water management[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2004, 130(6): 498.
- [8] 王绍增, 象伟宁, 刘之欣. 从生态智慧的视角探寻城市雨洪安全与利用的答案[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 4921-4925.
- [9] 蔡云楠, 温钊鹏, 雷明洋. “海绵城市”视角下绿色基础设施体系构建与规划策略[J]. 规划师, 2016, 32(12): 12-18.

(本文编辑：王枫)