基于绿色基础设施的城市社区复兴——以华盛顿特区为例

Revitalizing Urban Neighborhoods by Adopting Green Infrastructure: The Case of Washington DC

西奥多·赵·林 著 殷一鸣 译

Written by Theodore Chao Lim Translated by Yin Yiming

摘要: 绿色基础设施利用雨水蒸发和下渗的自然过程就地管理雨水径流已得到城市规划领域的广泛认同。除了提供雨洪管理服务,绿色基础设施还有助于提升城市的宜居性,包括缓解城市热岛效应、增加社区服务设施、净化空气,甚至减少犯罪。美国联邦政府的雨洪管理法规对城市水质的要求日益严格,但改造老化的传统基础设施成本高昂,故绿色基础设施便成为实现雨洪管理目标更加有效的途径。本文追溯美国雨洪管理法规的发展对华盛顿特区社区政策之影响,在既有绿色基础设施与社区复兴的研究基础上,探讨由市场驱动力的社区复兴其绿色基础设施的布局特征,并通过对政府雨洪政策、市民主动参与以及市场投资等因素进行叠置,分析不同社区类型可能建设的绿色基础设施情景。结果表明社区间的绿色基础设施建设概率存在差异,再投资比例高的社区其布局绿色基础设施的可能性最高。

Abstract: The concept of Green Infrastructure, or using the natural processes of evapotranspiration and infiltration to manage stormwater runoff close to where rain falls is a popular concept among urbanists. In addition to providing the ecosystem services of flood management, the concept of Green Infrastructure realizes other goals of increasing urban livability, through mitigating urban heat island effect, providing community amenity, purifying air, and even reducing crime. At the same time, Green Infrastructure has been shown to be primarily driven by federal-level stormwater management regulations to make expensive improvements to aging infrastructure. Green Infrastructure is one way that cities may achieve this goal more efficiently. This paper traces the history of stormwater infrastructure regulation and urban sustainability in the US and explains how this national context influenced local policy in Washington DC neighborhoods. In addition to the popular narrative that Green Infrastructure can spur neighborhood revitalization, this paper identifies the market-driven urban processes that determine Green Infrastructure locations in revitalizing neighborhoods. Using an overlay analysis of these factors—centrally-driven planning processes, distributed voluntary participation and distributed development patterns, this paper shows how different neighborhoods throughout the District are likely to have different distributions of Green Infrastructure adoption rates, with areas experiencing high re-investment showing the highest levels of probably Green Infrastructure adoption.

关键词: 绿色雨洪设施; 基础设施法规; 社区复兴; 空间分布式基础设施

Keywords: Green Stormwater Infrastructure; Infrastructure Regulation; Neighborhood Revitalization; Spatially Distributed Infrastructure

国家自然科学基金项目 (41501169)

作者: 西奥多·赵·林, 美国宾夕法尼亚大学城市与区域规划系, 博士; 美国蒙桑图 (Monsanto) 公司环境数据分析师。tlim@design.upenn.edu

译者: 殷一鸣, 南京大学建筑与城市规划学院, 硕士研究生

近些年美国城市的制造业衰退、郊区化、以汽车为中心的发展模式以及种族歧视等问题使得城市中心人口逐步减少, 经济发展受限。通过基础设施改造振兴主城经济并吸引居民回流成为当前城市规划的重要目标之一。绿色基础设施作为华盛顿特区的复兴战略之一, 被认为有助于恢复当地的生态环境, 减轻传统基础设施系统的负担, 以及创建舒适的社区。本文首先概述了美国联邦和地方级水质管理法规的发展历史, 及其与美国绿色基础设施实施的关系; 然后以华盛顿特区社区尺度的绿色基础设施建设为例, 分析其绿色基础设施规划的背景和政策演变过程; 提取影响绿色基础设施布局的空间、经济和社会因素, 模拟绿色基础设施的社区布局情景; 最后探讨华盛顿特区实施绿色基础设施的经验教训对中国城市社区改造的借鉴意义。

1 社区尺度绿色基础设施规划背景

1.1 城市雨洪管理逐步向社区尺度深入

美国现有 772 座城市使用雨污合流制排水系统 (CSS: Combined Sewer Systems), 这些系统被认为是工业革命时期的“遗产”基础设施^[1]。19 世纪末 20 世纪初, 合流制排水系统刚开始普及, 在当时被认为是尖端技术。发展到 21 世纪, 它们已经无法满足现代化城市雨洪管理的需求^[2]。生活污水和雨水汇集在同一系统中, 下雨时, 雨水和未经处理的污水混合物从排水系统溢出, 成为地面溢流, 进入自然水体造成污染。使用合流制排水系统的美国城市往往历史悠久, 位于所谓的“锈带”。这一区域在 19—20 世纪初曾经经历高速增长, 现在却遭受美国制造业衰退后的人口和经济压力^[3,4]。

图1为美国雨洪管理的关键事件时间表。美国联邦级地表水质量的管理法规是《清洁水法》(CWA: The Clean Water Act), 目标是通过排放许可证制度消除合流制溢流(CSO: Combined Sewer Overflow)^[5]。同时, 排放许可证制度还被用于管理分流制排水系统的排放点, 确保排放达到水质要求^[6]。合流制排水系统和分流制排水系统的许可证通常由公共事业单位或地方政府颁发。

联邦级别的雨洪管理政策向城市社区尺度的深入得益于几个关键事件的推动。首先是蒙哥马利环境联盟起诉科斯特尔案件(Montgomery Environmental Coalition v. Costle)裁定合流制溢流污染不同于污水处理厂排放污染, 使得地方政府意识到管理合流制溢流需要采取特殊的策略。然后国会通过了《清洁水法》修正案, 即1987年的《水质法》。该修正案首次提出, 雨水向自然水体的排放需要获得雨水排放许可证。该项规定明确将“点源污染”的定义拓展至收集大面积区域雨水的离散点, 即使这些源头区域与污水收集、传输和储存无关。将离散的集水点与其大范围的汇水面积关联, 这在当时是一种新的思维方向, 最终演化为将城市社区与雨水汇流联系起来。两年后, 美国环保局在联邦公报上发布了国家合流制溢流控制策略^[7]。该文件重申合流制溢流排放是独立于城市污水厂处理设施的排放, 必须达到《清洁水法》中基于技术和水质的要求才能获得排放许可证。

1994年, 美国环保局出台了合流制溢流控制政策, 为控制大面积雨水溢流提供了更多的技术支持^[5]。同时, 该政策还认可了不同利益相关者的重要性, 这就确立了社区在雨污管理中的重要性。这些利益相关者将承担维修社区排水系统的主要费用, 估计成本总计为636亿美元^[8]。“污水排水区”

(汇流至排水管网集水点的排水区域)成为城市雨洪管理和投资的基本单元。此后, 美国环保局意识到管理雨水径流除了在“管道末端”管理雨水之外(通常通过处理工程和储存室进行), 还应控制源头附近的径流^[1]。绿色基础设施是当前源头控制的主要措施, 包括生态洼地、雨水花园和透水铺装等。这些设施就地吸收雨水, 减轻现有基础设施的负担^[1]。传统排水基础设施的运作是基于雨水径流的高效运输, 使其

尽快从城市建设用地排出; 而绿色基础设施尝试恢复渗透、蒸发、蒸腾的自然水文过程, 将雨水转化为社区资源。美国越来越多的城市通过实施绿色基础设施达到联邦环境法规的要求, 同时提升城市宜居性^[9]。

1.2 社区发展观念的更新推动绿色基础设施建设

随着可持续发展“三重底线”原则在城市规划师和环保主义者中普及^[10,11], 环境绩效的目标开始强调要兼顾经济效益和社会效益^[12]。新的社区发展观念认为社区发展应当从生态系统服务中获取价值。传统的排水基础设施规划主要关注管道、水泵和蓄水池的耐久性等技术问题, 其运作产生较高的用水、废水和雨水成本, 加重了人口衰减的城市核心区的负担。而现在的绿色基础设施规划有更长远的目标, 即创建舒适社区, 振兴城市核心区^[13]。社区通过建设绿色基础设施替代对大型传统基础设施的改造升级, 将从生态服务系统中获取更多效益, 表现在游憩空间的增加、空气的净化、热岛效应的缓解和城市绿地率的提高。通过改善城市宜居性, 增加房地产价值, 可吸引年轻的创意阶层入住曾经环境凋敝的社区, 从而吸引更多的再开发和投资^[14], 形成社区振兴的良性循环。

1.3 市场导向的绿色基础设施建设与社区复兴

传统的基础设施由政府规划和管理, 通常位于公共用地(街道)。绿色基础设施建设用地类型多样, 需要依靠大量私有地产业主的支持。地方政府不能强制私有土地业主加装绿色基础设施。唯一的合法途径就是建设许可程序, 即《分区及土地发展条例》(SALDOs: Subdivision and Land Development Ordinances)。该条例要求土地进行开发建设时, 房地产商需要通过雨水最佳管理措施就地控制雨水径流。此条例监管下的绿色基础设施布局受房地产市场的影响很大。具体而言, 城市内开发、再开发和重大改造的选址由房地产的市场价值决定, 通常进行开发的社区都是欣欣向荣、地产升值潜力大的社区。一些凋敝的社区会继续缺乏生态系统服务, 无法从绿色基础设施战略中受益。绿色基础设施在市场引导下的空间布局呈现不均衡性, 也较难与社区复兴挂钩。

图1 美国绿色基础设施及合流制溢流长期控制计划相关事件时间表

理想情况下,政府的规划方案应当确保所有社区的基础设施服务是公平的,并将环境资源和便利设施通过重新分配,布局在最需要它们的社区^[15-17]。实际上,以市场为导向的开发或再开发往往在某些特定社区带动更多的投资和绿色基础设施建设量,形成社区振兴的正反馈(图2)。研究表明公共区域的绿色基础设施可以增强公众安全感,吸引购物者进入商店,从而增加房产价值^[18-22]。对于绿色基础设施的接触、认知和欣赏会通过邻近的社交网络传播^[23]。也就是说,绿色基础设施分布密度高的区域周边更有可能增加绿色基础设施的建设。市场和社交网络在特定社区的正反馈累积,加剧了绿色基础设施布局的空间不均衡,使得城市社区的经济和环境分异更加明显。

2 华盛顿特区绿色基础设施的规划和实施

2.1 政策历史

华盛顿特区兼有雨污合流制排水系统和分流制排水系统(图3)。华盛顿特区水务局(WASA: Water and Sewer Authority)是负责该地区供水和污水服务的公共事业单位,是合流制排水系统的美国国家污染物排放削减许可证的持有机构。特区的能源与环境局(DOEE: Department of Energy and Environment)是城市部分地区分流制排水系统的美国国家污染物排放削减许可证的持有部门。

20世纪90年代中期,为响应联邦消除合流制溢流的号召,特区水务局开始起草合流制溢流长期控制计划(LTCP: Long Term Control Plan)。长期控制计划提出建设三大雨水输送和传输管道,增强合流制排水系统的性能,以达到《清洁水法》中控制合流制溢流的要求^[24]。2002年长期控制计划提出特区水务局需要进行灰色和绿色基础设施投资。2005年水务局将长期控制计划确定为官方法律文件(图4)。2005—2007年,公民环保组织和水务局多次共同呼吁发放合流制排水系统的国家污染物排放削减(NPDES)许可证。环保组织要求水务局负责实施计划,在不牺牲临时水质标准的基础上使用低影响开发—改造(LID-R: Low Impact Development - Retrofit),即绿色基础设施,替代拟建的管道^[25]。

在2002年提交长期控制计划时,水务局认同“低影响开发—改造”设施可以控制雨水径流,当时预算花费300万美元对系统进行整体控制。但是该长期控制计划的实施存在

图3 华盛顿特区合流制排水系统区域

图4 绿色基础设施规划与华盛顿特区社区关联的关键事件及政策

难度。由于水务局无权管理区内的开发或再开发,不能批准低影响开发—改造的申请,使得雨洪管理与低影响开发—改造技术的应用产生断层^[24,26]。绿色基础设施本身依赖私有地产的开发和改造,水务局作为公共事业单位,无权在特区内的私人土地上广泛地实践绿色基础设施。

到2010年,全美绿色基础设施的建设越来越普遍。先前特区的公民行动组织怀疑绿色基础设施会推迟长期控制计划目标的实现,而现在许多公民团体开始呼吁建设更多的绿色基础设施^[27]。自然资源保护委员会、阿纳卡斯蒂亚流域协会等非政府组织也确定与能源与环境局和特区运输部门展开合作,以简化项目、降低成本。公民团体还积极支持特区其他绿色政策,如当时市长阿德里安·芬蒂(Adrian Fenty)的绿色华盛顿特区议程,以共同促进社区复兴、提升环境质量。

到目前为止,能源与环境局作为独立的机构,已经开始管理特区内大量分散的绿色基础设施项目。从2007年开始,能源与环境局通过智慧河流计划(Riversmart Programs)^[28]对在私人土地上自愿建设的绿色基础设施提供补贴。居民、小企业、学校和教堂可通过申请获得对其房产雨水管理技术的评估和建议。虽然智慧河流项目为申请者提供“信用额度”作为雨洪收费的补贴,但大部分申请者的申请目的是改善其房产和社区环境并参与社区管理。截至2014年末,共有3737个智慧河流家庭项目在2836处房产安装完成,占特区住宅物业的2.5%^[23]。智慧河流屋顶计划(Riversmart Rooftops Program)^[28]为特区内12处绿色屋顶的安装提供了

补贴。与此同时,能源与环境局也参与特区内众多河流和小溪的生态恢复。

2015年,特区水务局通过了长期控制计划的修正案,缩减原计划三分之二的管道,在污水排水区积极地推进绿色基础设施规划(利用绿色基础设施改造30%的不透水地面)^[29]。图5对比了2002年的长期控制计划和2015年修订后的计划所采取的建设方案。位于华盛顿特区东南方和西南方社区的雨水排入阿纳卡斯蒂亚河(Anacostia River),将继续建设2002年所规划的大型管道工程,计划通过该管道消除98%的河流污染。这些新管道建设预计于2022年竣工,在此之前,附近的社区无法从中获益。长期控制计划修正案提出在特区东北方的社区建设绿色基础设施,这些社区已经开始享受各种生态系统服务功能和价值。

近年来,华盛顿特区水务局以及能源与环境局的职权范围内有两种强制建设绿色基础设施的管理方法。第一种是通过华盛顿特区市政管理条例(DCMR)的建设许可程序进行管理。2013年开始,市政管理条例要求建设面积超过5000平方英尺(464.5 m²)的项目,以及在前期评估中结构成本占项目总成本大于或等于50%的项目,必须实施雨洪控制措施,达到就地吸纳最初1.2英寸(3 cm)降雨量的要求,且恢复土地开发前的排水能力(满足两年一遇的暴雨流量峰值及15年一遇的暴雨流量峰值)。第二种是通过绿化面积率(Green Area Ratio)对土地再开发进行管理。已有研究表明:水文循环的负面变化不仅是由于地面的不透水性引起,还因

图5 合流制溢流长期控制计划(2002)与合流制溢流长期控制计划修正案(2016)的对比
资料来源:华盛顿特区水务局,2016

为灌溉和植被变化引起的蒸发量减少，以及伴随着城市化进程的土壤压实^[30-32]。2016年，华盛顿特区市政管理条例增加了额外的景观和植被质量标准。除了分区条例中的不透水铺装的指标（例如批量铺装），绿化面积率进一步考虑了原生植被和树荫的保护。

2.2 社区绿色基础设施的实施

表1总结了华盛顿特区的绿色基础设施项目、负责的机构以及实施机制。大部分绿色基础设施的建设由改建/新建或自愿参与项目推动，以机构主导的促进生态修复或绿色基础设施建设的合作较少。大多数投资项目都被动依赖土地开发与再开发的区位选择。

华盛顿特区水务局目前确定了两个进行改造的雨污合流区域——波托马克河（Potomac River）排水区以及岩溪（Rock Creek）排水区，规定对其不透水地面的改造需达到30%~60%。这两个排水区覆盖的社区，建成环境和人口特征差异较大。图6显示了两个污水排水区内的社区居民收入状况。图7对比了两个污水排水区不透水地面的用地类型构成。波托马克河污水排水区位于特区较为富有的区域，而岩溪污水排水区则覆盖了区内相对贫穷的社区。波托马克的不透水地面中私人商业性建筑占比高于岩溪，而私人住宅占比低于岩溪。不同的社会经济环境特征使得两个排水区的绿色基础设施实施策略有所不同，社区从中获得的收益亦有差异。

3 华盛顿特区的绿色基础设施空间分布模型

3.1 绿色基础设施布局的决定因素提取

3.1.1 政府推动的绿色基础设施建设

如前所述，政府雨洪管理法规强制某些地块进行绿色基础设施建设，这是影响绿色基础设施布局的重要因素。为了

图6 污水排水区内社区收入中位数
资料来源：华盛顿特区人口普查数据

表1 华盛顿特区绿色基础设施项目、负责机构以及实施机制

绿色基础设施相关项目	负责机构	实施机制	与社区的关系
智慧河流计划	能源与环境局	能源与环境局及特区运输部门合作发起，通过社区与服务供应商宣传，鼓励居民和业主自愿参与，并为其提供补贴	通过已经参加过项目的邻里宣传了解自愿性质的项目
生态修复	能源与环境局	能源与环境局确定的项目和合作关系（例如：园林局、大学等）	与社区没有直接的关联
雨洪管理要求	华盛顿特区市政管理部门；能源与环境局	对于超过5 000平方英尺的新建和重建项目的规定	高开发率/再开发率的社区呈现较高的绿色基础设施建设率
雨水滞留信用交易系统	能源与环境局	为达到管理要求，自愿地将地块管理的雨洪流量“交易”给其他地块	房地产价值高的社区可能会与较远的社区寻求交易，以管理雨水
雨水滞留信用购买协定计划	能源与环境局	地块可选择建设绿色基础设施以兑换信用	具有非营利组织、信仰型组织、政府机构、大学或者私营企业的社区可能有较高的绿色基础设施建设率
绿色基础设施认证计划	特区水务局	自愿参与培训计划，以配备更好的绿色基础设施建设及维护工人	惠及具备高发展潜力、再开发潜力的社区，提升绿色基础设施建设和维护的技术能力；惠及社区绿化维护
华盛顿特区清洁河流计划	特区水务局	追踪现有绿色基础设施项目，尤其是位于目标合流制排水系统污水排水区的项目	与社区没有直接的关联
绿化面积率	能源与环境局和华盛顿特区市政管理部门	作为分区法规要求的一部分，由开发引起	执行园林绿化及公共空间的标准，惠及具备高发展潜力、再开发潜力的社区
机构确定的绿色基础设施设计计划	特区水务局和能源与环境局	机构之间的合作（例如与特区运输部门的合作），或合作建设	如果各机构优先考虑区域的环境质量与绿化需求，有可能均衡发展绿色基础设施建设，并振兴处境艰难的社区

表示其对于绿色基础设施实施的推动,本文构建了特区的新建筑密度地图,以此代表绿色基础设施的建设概率(图8)。由供应商向居民宣传也可能促使社区自发建设绿色基础设施。能源与环境局及非政府组织共同合作对当地景观设计公司、服务供应商和房地产销售公司进行绿色基础设施知识的培训,这些市场主体向社区的新居民和购房者宣传智慧河流家庭项目,使新房主从资助的“景观升级”中获益。代表房产销售的密度图显示了业主通过房产经纪人加入智慧河流家庭项目的概率。随着越来越多的房地产经纪人了解智慧河流家庭计划,也将有更多的业主可能申请该计划。

3.1.2 自愿参与形成的绿色基础设施建设

智慧河流家庭计划的历史数据显示不同时期的项目申请者在空间上相互邻近^[23]。因此构建已有申请项目的空间密度图,可预测未来申请的空间布局。对于智慧河流屋顶计划而言,物业经理是否愿意安装绿色屋顶获取环境效益,与房产价值和商业地产市场的竞争力有关。通过构建两个图层来表示关注环境舒适度的竞争性商业建筑的空间分布状况:一个是智慧河流屋顶计划的历史参与分布密度图,另一个是能源星级建筑的分布密度图。智慧河流社区计划的对象包括学校和教堂。能源与环境局积极对该类机构进行宣传并提供技术援助,通过构建学校和教堂的分布密度图模拟建设绿色基础设施的潜在机会。

3.1.3 道边绿色基础设施布局

道边绿色基础设施布局有两种可能。其一,在已建设绿色基础设施的区域,如果已实施项目位置的选择由交通容量、建设可行性或相似社区内道路替代计划决定,则以往道边绿色

基础设施的空间分布预示着未来的设施实施地点。其二,在尚未建设绿色基础设施建的社区,从规划的公平正义角度考虑,假设绿色基础设施在街道均匀分布,那么社区将不仅获得雨洪管理服务,还能从邻近的绿色基础设施中获得附加价值^[15]。

3.1.4 经济激励形成的绿色基础设施布局

许多文献认为在私有土地上建设绿色基础设施需要通过经济激励政策的推动^[33-36]。如果业主愿意减少不透水铺装面积,建设绿色基础设施就地吸收雨水,那么可以通过信用额度抵消该地块的雨洪费用^[32]。华盛顿特区水务局和能源与环境局为自愿建设绿色基础设施的业主提供信用额度。另外,能源与环境局还建立了雨水滞留信用交易系统,允许获得信用额度的业主与其他业主进行额度交易,或在其他环境容量大的地块产生雨污溢流。因此,高密度城市核心区可以与低密度的城市郊区相互合作,通过交易机制获取信用额度,在建设成本低的地块实施绿色基础设施,而不用向能源与环境局支付罚款。

目前雨水滞留信用交易系统和雨洪收费信用额度计划的参与程度都很有限。这两种经济激励制度的目的有所不同。雨洪收费信用额度计划鼓励高度不透水地区(需要支付高额雨水费用的地区)的业主就地缓解雨洪问题,将会导致高度不透水区域采用更多的绿色基础设施。相比之下,雨水滞留信用交易系统激励下,高度不透水地区可能会选择“交易”雨水信用,通过另一位业主异地管理雨水。这将导致在低密度的、较低不透水性的区域建设更多的绿色基础设施,因为在这些地方的建设成本较低。本文考虑到物业经理实地管理雨水的情况,认为较高不透水性的区域比低不透水性的区域更有可能实施绿色基础设施。

图7 岩溪(左)和波托马克河(右)污水排水区不透水土地使用分类
资料来源:华盛顿特区水务局,2015

图8 华盛顿特区绿色基础设施空间分布影响因子的输入图层

3.2 绿色基础设施空间分布情景模拟

本文应用 GIS 分析方法, 将各类影响因子转化为密度网格以展现各类指标空间分布特征。具体方式是在华盛顿特区的行政区范围内, 构建 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的网格, 然后计算各类指标在每个网格内的密度或数量, 并进行标准化处理。标准化后的数值表示了每个网格内数据点的密度。密度分布从低至高划分为五个等级 (图 8)。然后对单个因子图层进行叠置分析 (图 9)。模拟结果表明, 绿色基础设施的空间格局集中于市中心、东北部地区以及南部体育场区域。这些区域在建筑许可证图层以及房地产销售图层拥有较高的比重。已有研究表明, 社区居民的住房拥有率与在私人地产上自愿采用绿色基础设施行为呈正相关^[23,37]。因此, 即使智慧河流家庭等自愿补贴项目的宣传随着时间推移而广泛传播, 在大量居民并未拥有房屋所有权的社区, 参与率可能仍然停滞不前。为确保这些社区也可以享受绿色基础设施的附加利益, 华盛顿特区可能需要征用空置土地来建设绿色基础设施, 或者在公共街道、公共学校用地或其他地方政府用地上增加投资, 建设绿色基础设施。

本文的因子叠置分析采用的是等权重叠置方法, 即假设输入图层的每个决定因素对于结果的影响是相同的; 未来分析中可通过调整因子权重反映不同因子的重要性。可能真正影响绿色基础设施布局的因素只是新建/再建的建设许可证。在此种情况下, 可以预计绿色基础设施的空间分布将更加集中于市区 (靠近城市中心) 以及体育场区域 (城市南部) 等开发潜力大的区域。如果认为雨洪法规将会是推动绿

色基础设施实施的主要因素, 则可提高建筑许可证图层以及房地产销售图层的相对权重。如果更相信邻里之间对于自愿性质的绿色基础设施项目的相互影响, 则可以赋予智慧河流家庭参与率图层更高的权重。

4 结论与讨论

华盛顿特区建设绿色基础设施主要受到分区及土地发展条例对土地开发中雨洪管理的约束、社会自愿参与以及政府经济激励的影响。这些政策由两个机构进行管理, 两者的目标不同, 优先考虑的事项也有差异。能源与环境局更多地关注生态和社区建设的目标; 而特区水务局作为供水和污水处理的公用事业单位, 主要目标是通过经济节约的方式实施合流制溢流长期控制计划。两个机构的不同目标导向, 对于开发/再开发进程的管理方式, 以及对自愿参与的绿色基础设施项目的宣传途径, 使得不同社区通过不同的渠道建设了绿色基础设施。

由房地产开发促进的绿色基础设施建设使得华盛顿特区有望达到其绿色雨洪管理目标。尤其现在华盛顿特区房地产市场火热, 甲级写字楼与联邦办公楼竞争激烈, 将刺激绿色措施的实施^[38], 进而为社区带来诸多益处, 例如社区舒适性的提升、空气质量的改善以及热岛效应的缓解。然而这些效益在整个区域的分布是不平衡的。通过图 9 与图 6 的对比说明: 在市场驱动绿色基础设施实施的情景下, 城市的东南部、东北部较为贫困的社区建设绿色基础设施的概率较低。这些社区几十年来投资减少, 房产销售较少, 建筑面积有限 (图 6 中特区中央的人口普查区的收入中位数显示非常低, 是因为该处为美国联邦政府大楼所在地, 几乎没有居民)。

由于市场力量的杠杆作用具有机会主义的缺陷, 为了使居民能够公平地享有绿色基础设施提供的生态系统服务, 规划师必须慎重地、有意识地在低收入、边缘化的社区布局绿色基础设施项目, 避免机会主义。同时, 规划师也需谨慎对待绿色基础设施比传统基础设施“更经济”的想法。该观念源自地方公用事业单位为了提高经济效益, 将雨洪设施的建设成本、运营成本和维护成本分配给产生雨污溢流外部性的房地产所有者。为了确保所有的社区都可以从绿色基础设施中获益, 城市政府不能完全追求经济效益, 还需考量社会效益。

中国正积极开展海绵城市建设, 在社区尺度上也进行了一些有益尝试。华盛顿特区的社区复兴案例对中国社区雨洪管治有两点启示。(1) 中国城市应完善社区层面的雨洪管理法规及激励政策, 将其与土地利用和建筑挂钩, 明确责任机构职责, 在政府引导下综合利用各类资源, 建立多元化的投资机制与宣传模式, 鼓励企业和各类社会团体参与社区雨洪管理。(2) 通过适宜性分析等科学分析方法评估社区绿色基

图 9 多因子叠置分析结果

基础设施建设的优先次序，确定不同社区绿色基础设施的组成要素以及空间布局。为了保证各类社区均能从绿色基础设施中获益，规划布局应注重社会效益和环境正义。UPI

注：未注明资料来源的图表均为作者绘制。

参考文献

- [1] Office of Water. Report to Congress: Impacts and Control of CSOs and SSOs[R]. US EPA, 2004.
- [2] MELOSI M V. The sanitary city: urban infrastructure in America from colonial times to the present[M]. Johns Hopkins University Press, 2000.
- [3] BIRCH E L, WACHTER S M. Growing greener cities: urban sustainability in the twenty-first century[M]. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, Inc, 2011.
- [4] SCHILLING J, LOGAN J. Greening the rust belt: a green infrastructure model for right sizing America's shrinking cities[J]. Journal of the American Planning Association, 2008, 74(4): 451-466.
- [5] US EPA. Combined Sewer Overflows: Guidance for Nine Minimum Controls[EB/OL]. (1995) [2017-07-02]. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/owm0030_2.pdf.
- [6] US EPA. Integrated Municipal Stormwater and Wastewater Planning Approach Framework[EB/OL]. (2012)[2017-07-02]. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/integrated_planning_framework.pdf.
- [7] US EPA. National Combined Sewer Overflow Control Strategy. Federal Register[EB/OL]. (1989) [2017-07-28]. <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0356.pdf>.
- [8] US EPA. Clean Watersheds Needs Survey 2008: Report to Congress[R]. US EPA, 2008.
- [9] MANDARANO L, PAULSEN K. Governance capacity in collaborative watershed partnerships: evidence from the Philadelphia region[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2011, 54(10): 1293-1313.
- [10] KIDD C V. The evolution of sustainability[J]. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 1992, 5(1): 1-26.
- [11] DANIELS T L. A trail across time: American environmental planning from city beautiful to sustainability[J]. Journal of the American Planning Association, 2009, 75(2): 178-192.
- [12] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [13] BENEDICT M A, MCMAHON E. Green infrastructure: linking landscapes and communities[M]. Washington DC: Island Press, 2006.
- [14] FLORIDA R. The rise of the creative class: and how it's transforming work, leisure, community and everyday life[M]. Basic Books, 2002.
- [15] HECKERT M, ROSAN C D. Developing a green infrastructure equity index to promote equity planning[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2015, 19: 263-270.
- [16] WOLCH J R, BYRNE J, NEWELL J P. Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities 'just green enough'[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 125: 234-244.
- [17] KRUMHOLZ N. A retrospective view of Equity Planning Cleveland 1969-1979[J]. Journal of the American Planning Association, 1982, 48(2): 163-174.
- [18] BRANAS C C, CHENEY R A, MACDONALD J M, et al. A difference-in-differences analysis of health, safety, and greening vacant urban space[J]. American Journal of Epidemiology, 2011, 174(11): 1296-1306.
- [19] GARVIN E C, CANNUSCIO C C, BRANAS C C. Greening vacant lots to reduce violent crime: a randomised controlled trial[J]. Injury Prevention Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention, 2013, 19(3): 198-203.
- [20] BOLITZER B, NETUSIL N R. The impact of open spaces on property values in Portland, Oregon[J]. Journal of Environmental Management, 2000, 59(3): 185-193.
- [21] TROY A, GROVE J M. Property values, parks, and crime: a hedonic analysis in Baltimore, MD[J]. Landscape & Urban Planning, 2008, 87(3): 233-245.
- [22] WOLF K L. Business district streetscapes, trees, and consumer response[J]. Journal of Forestry, 2006, 103(8): 396-400.
- [23] LIM T C. An empirical study of spatial-temporal growth patterns of a voluntary residential green infrastructure program[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2017(3): 1-20.
- [24] DC WASA. Combined Sewer System Long Term Control Plan - Final Report[R]. DC WASA, 2002.
- [25] DC WASA. Order Denying Review in Part and Remanding in Part[EB/OL]. (2008) [2017-07-30]. [https://yosemite.epa.gov/oa/eab_web_docket.nsf/CW/A~Decisions/54BBDD75E876EDE8852577450059FB0F/\\$File/DC%20Water%20-%20PUBLISHED.pdf](https://yosemite.epa.gov/oa/eab_web_docket.nsf/CW/A~Decisions/54BBDD75E876EDE8852577450059FB0F/$File/DC%20Water%20-%20PUBLISHED.pdf).
- [26] DC WASA. Consent Decree[Z]. 2005.
- [27] DC Water. Petition to Support the District of Columbia Combined Sewer Overflow Long Term Control Plan with Low Impact Development Strategies[EB/OL]. (2010)[2017-07-02]. https://www.nrdc.org/sites/default/files/wat_10100402a.pdf.
- [28] DOEE. "Get Riversmart!" [EB/OL]. [2017-08-02]. <https://doee.dc.gov/service/get-riversmart>.
- [29] DC Water. Long Term Control Plan Modification for Green Infrastructure[EB/OL]. Washington DC: DC Water. (2015)[2017-08-02]. <http://www.dcen.net/dc/wp-content/uploads/2015/06/2015-05-20-DCEN-GI-Pres.pdf>.
- [30] BHASKAR A S, WELTY C, MAXWELL R M, et al. Untangling the effects of urban development on subsurface storage in Baltimore[J]. Water Resources Research, 2015, 51(2): 1158-1181.
- [31] LIM T C. Predictors of urban variable source area: a cross-section analysis of urbanized catchments in the United States[J]. Hydrological Processes, 2016, 30(25): 4799-4814.
- [32] SCHWARTZ S S, SMITH B. Restoring hydrologic function in urban landscapes with suburban subsoiling[J]. Journal of Hydrology, 2016, 543: 770-781.
- [33] PARIKH P, TAYLOR M A, Hoagland T, et al. Application of market mechanisms and incentives to reduce stormwater runoff[J]. Environmental Science and Policy, 2005, 8(2): 133-144.
- [34] THURSTON H W, TAYLOR M A, ROY A, et al. Applying a reverse auction to reduce stormwater runoff[J]. Ambio, 2008, 37(4): 326-327.
- [35] ROY A H, WENGER S J, FLETCHER T D, et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States[J]. Environmental Management, 2008, 42(2): 344-359.
- [36] VALDERRAMA A, LEVINE L. Financing Stormwater Retrofits in Philadelphia and Beyond[R]. Natural Resources Defense Council, 2012.
- [37] ANDO A W, FREITAS L P C. Consumer demand for green stormwater management technology in an urban setting: the case of Chicago rain barrels[J]. Water Resources Research, 2011, 47(12): 155-168.
- [38] EICHHOLTZ P, KOK N, QUIGLEY J M. Doing well by doing good? green office buildings[J]. Social Science Electronic Publishing, 2010, 100(5): 2492-2509.

(本文校译：许政)