

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.07.016

生物滞留设施基础研究和应用借鉴^①

梁美琪, 刘 磊

西南大学 园艺园林学院, 重庆 400715

摘要: 城市的快速发展在改变社会生活的同时, 对城市水环境构成威胁. 作为新型雨洪管理措施之一的生物滞留设施, 在有效解决城市雨洪问题中发挥着重要作用. 对生物滞留设施进行了概念、构造、机理、植物和填料等基础研究, 提出生物滞留设施规模确定的多种方法, 各地可根据地域条件参考选定. 总结生物滞留设施的研究进展, 对美国波特兰市 NE Siskiyou 绿色街道和深圳市光明新区 36 号、38 号道路建设案例进行分析, 比较思考国内研究和建设现状的空缺与不足, 总结先进的经验成果, 提出我国生物滞留设施的思考借鉴.

关键词: 生物滞留设施; 低影响开发; 雨洪管理

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)07-0099-06

城市化的快速发展给城市水环境带来一定的影响, 城市干旱缺水、内涝成灾、雨水污染等问题日益严重. 而传统的雨水管理以“排”为主, 无法有效解决城市雨洪问题. 20 世纪 90 年代由美国乔治州马里兰州环境资源署首次提出的低影响开发理念^[1]作为一种新型雨洪管理理念, 能适应城市发展需求, 为解决城市雨洪问题提供了新的思路. 生物滞留设施作为低影响开发的有效管控措施之一, 被越来越多的研究应用.

1 生物滞留设施概述

生物滞留设施是指在低洼区域种植有灌木、花草甚至树木等植物的工程措施^[2-3], 一般为增强雨水管控效果, 多选用复杂型设施, 主要由植被缓冲带、蓄水层、覆盖层、种植土层(填料)、砂层和砾石层等组成, 并配有雨水溢流口, 穿孔管等附属设备(图 1 和图 2). 生物滞留设施通过植物、土壤、填料和微生物等物理、化学和生物的综合作用, 模拟自然水文过程, 对雨水及早进行控制, 阻断或减缓地表流动, 净化雨水水质, 并使雨水成为设施景观的一部分^[4-7](图 3). 生物滞留设施中植物可以吸收和净化雨水, 缓解土壤的板结和堵塞. 在植物选择时, 应注意选择抗性较强、生长强度适宜、能经受周期性的潮湿和短时间淹没浸泡且耐旱、根系发达、雨水处理效果好^[8]的乡土植物. 在植物种植中, 应注意栽植密度和多种植物搭配的综合处理能力和景观效果. 生物滞留设施填料应选择吸附能力强、渗透性能好、比表面积大的基质, 如沸石、粉煤灰、煤渣、蛭石和石灰石等^[8], 推荐使用以土壤为基底, 含一定有机质的混合填料, 混合填料各成分的含量也应根据各地具体情况而定^[9], 尽量选用本土易生产的环保材料.

生物滞留设施集渗、滞、净等技术于一体, 作为一种生态的雨水利用设施^[7]多用于小区、城市道路、停车场、城市绿地与广场等的绿化. 最早有两种方法确定其规模: 一种采用初期雨水量标准的“半英寸”原则, 即可以处理汇水面上 12.5 mm 径流量所需要的面积; 另一种用汇水面积与径流系数乘积的 5%~7% 作为设施面积^[10]. 《海绵城市建设指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(本文简称“指南”)将生物滞留设施作为有蓄水空间的、以渗透为主要功能的设施, 其计算方法为^[11]:

① 收稿日期: 2016-03-08

基金项目: 重庆市建设科技计划项目(2015-1-21).

作者简介: 梁美琪(1993-), 女, 河北衡水人, 助理工程师, 硕士, 主要从事风景园林与规划设计研究.

通信作者: 刘 磊, 副教授.



图 1 生物滞留设施结构图(作者改绘)



图 2 生物滞留设施效果图(摘自网页)

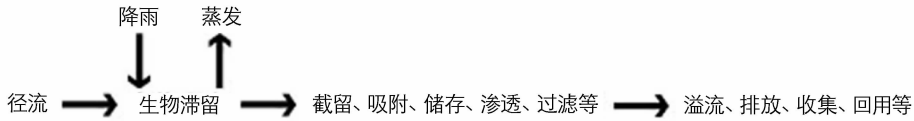


图 3 生物滞留设施作用机理示意图

$$V_s = V - W_p \quad (1)$$

式中: V_s 为设施的有效调蓄容积, 包括设施顶部和结构内部蓄水空间的容积(m^3); V 为设施进水量(m^3); W_p 为渗透量(m^3), 其中:

$$V = 10H\psi F \quad (2)$$

式中: H 为设计降雨量(mm), 结合地方降雨资料, 根据统计学方法求得; ψ 为综合雨量径流系数, 可查阅计算; F 为汇水面积(hm^2).

$$W_p = KJA_s T_s \quad (3)$$

式中: K 为土壤(原土)渗透系数(m/s); J 为水力坡降, 一般可取 1; A_s 为有效渗透面积(m^2), 根据相应水位高度和面积确定; T_s 为渗透时间(s), 指降雨过程中设施的渗透历时, 一般可取 2 h.

此方法中, 各参数可根据各地降雨特征、水量标准以及材料选择与性能等确定, 并在适当范围内调整, 以更精确地计算出各场地选取设施的规模.

此外, 还可根据模型模拟设施的性能. 暴雨洪水管理模型(storm water management model, SWMM)作为一种对动态降雨径流模拟的模型^[12]受到广泛的好评与应用. SWMM 模拟过程中, 执行含湿量平衡, 跟踪水在设施每一层之间的移动和存储(图 4). SWMM 报告中, 生物滞留设施控制的性能通过总体径流、渗入和蒸发速率反映, 说明了设施的总体水量平衡, 包括总进流量、渗入、蒸发、地表径流、暗渠以及初始和最终蓄水容积, 并将部分数据序列写入到文本文件, 便于显示和图形绘制^[13]. 还可综合应用 RECARGA, MUSIC, MOUSE 等模型对生物滞留设施的水文效应进行分析和模拟, 并将相应的雨洪模拟软件与 GIS(地理信息系统, geographic information system), Rhino 等分析软件结合应用.

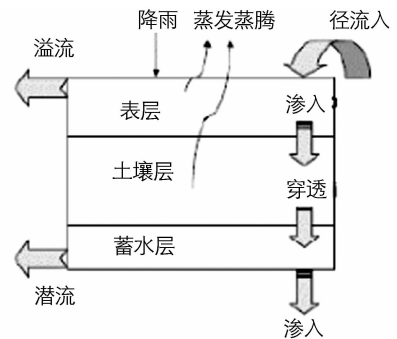


图 4 SWMM 模拟生物滞留示意图

2 生物滞留设施研究应用

国内外对生物滞留设施的水文效应有一定的研究: 文献[14]介绍了生物滞留设施对营养物质、重金属、油脂, 致病菌类和 TSS(总悬浮物)的净化效果; 文献[3, 10, 15]研究了设施的净化效果, 并提出相应的填料配比; 文献[8, 14-17]分别研究了生物滞留设施的水文效应和水量控制、设施的径流、峰值削减率和峰值延迟时间等. 文献[8, 12, 14, 16]通过 SWMM 和 RECARGA 等模型验证, 模拟生物滞留设施的水文过程, 设计参数和水量、水质控制效果等. 此外, 还开展了生物滞留设施的应用建设.

美国波特兰市较早进行生物滞留的研究和应用, 其绿色街道项目尤为突出. NE Siskiyou 绿色街道是

该市建成较早、效果最好的雨洪管理项目之一, 它巧妙地将街道绿化与雨水管理有机地结合在一起, 并充分体现了街道的绿化景观, 荣获 2007 年美国景观师协会(ASLA)综合设计奖. 波特兰位于美国西北部, 太平洋东岸, 受海洋性季风的影响, 气候分明, 年降雨量为 1 029.5 mm, 其中 11 月至次年 4 月是雨季, 全年 80% 的降水集中在这段时间里^[18]. NE Siskiyou 绿色街道以较少的投入有效解决了雨洪问题, 营造出自然优美的街道景致, 并逐渐与城中其他绿色街道连成绿网, 共同作用.

NE Siskiyou 绿色街道及周边行车道等约 930 m² 的汇水面积形成的雨水径流沿坡而下, 汇入 2 m 宽、15 m 长的生物滞留设施之中, 路缘侧石间隔一定距离设有 45 cm 左右的雨水入口, 允许雨水流入扩展池中. 根据道路坡度, 入口处设路缘坡, 方便雨水进入. 并设沉积池, 雨水流入并漫延过沉积池, 流入 18 cm 左右深的生物滞留设施进行拦截, 设施由河卵石与碎石粒组成, 使雨水充分聚集沉降, 渗入地下. 设施内连续设计多个处理单元, 根据不同的降雨量, 当降水超过一个单元的承载量时, 水会从一个单元流入另一个单元, 形成跌水景观, 直到植物和土壤完全吸收水分或者单元储水饱和和^[19]. 当水量过多时, 雨水流过各单元, 最终流入城市排水系统, 为防止各单元间雨水流速过快, 路缘石设开口, 进行二次收集雨水(图 5—图 7). 设施内多选用乡土植物(图 8), 雨水在设施内被植物减速、净化和渗透.

几乎每年 NE Siskiyou 绿色街道的雨水都由它的景观系统管理, 很多流量模拟测试表明, NE Siskiyou 绿色街道设计具备可将 25 年一遇的暴雨流量减少 85% 的能力^[19]. 波特兰 NE Siskiyou 绿色街道在设计过程中让公众充分参与, 并通过标识教育使大家充分了解新型雨洪管理的应用(图 9).

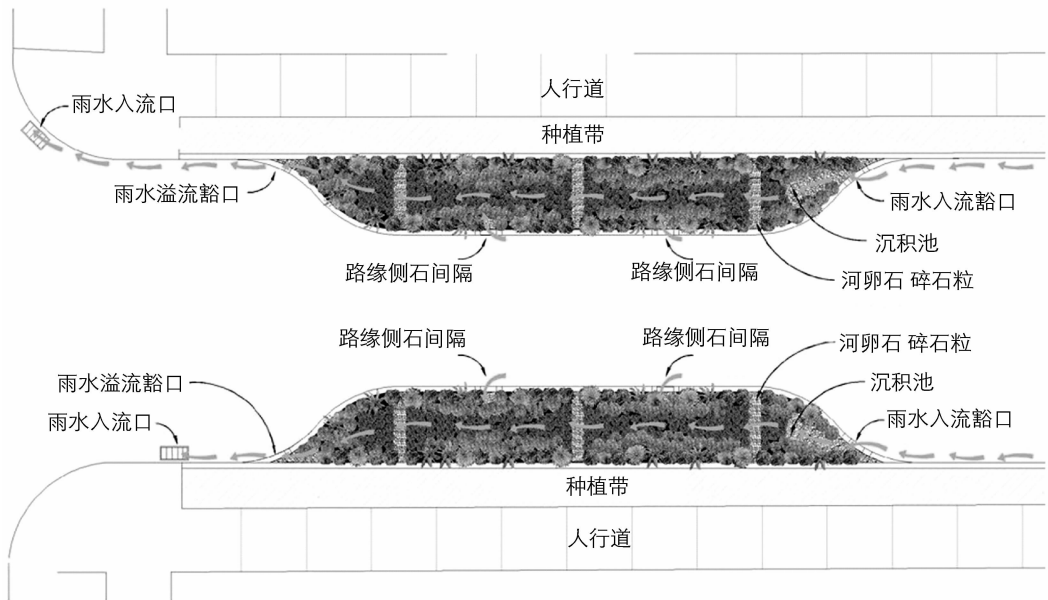


图 5 NE Siskiyou 绿色街道生物滞留设施雨水流向示意图(摘自网页)



图 6 NE Siskiyou 绿色街道生物滞留设施细节展示(摘自网页)



图 7 NE Siskiyou 绿色街道效果展示(摘自网页)



图 8 NE Siskiyou 绿色街道

生物滞留设施植物选择(摘自网页)



图 9 NE Siskiyou 绿色街道

宣传教育展示(摘自网页)

国内关于低影响开发生物滞留设施研究应用在深圳市光明新区较早开展,深圳市光明新区划定了多条市政道路进行低影响开发示范建设,现已有部分建成,并在雨洪管理方面取得了良好效果,形成示范先例,指导后续研究建设。深圳市光明新区位于深圳西部地区,辖区总面积为 155.33 km²。深圳市多年平均降雨量为 1 837 mm,降雨年分布极不均匀,主要集中于每年的 4 月—9 月^[20]。光明新区 36 号和 38 号两条道路已基本建设完成,改善了传统道路排水弊端,实现新型道路雨洪管理,合理安排道路雨水组织,改善后达到道路综合径流系数不大于 0.60,污染物去除率达 40%~50%的目标。

两条道路借鉴已有经验,利用道路绿化带设置生物滞留设施,路缘侧石(道牙)设开口。降雨时,雨水径流由开口处进入生物滞留设施。设施开口处设沉积池,雨水先流经沉积池进行污染净化,沉积处理,防止设施堵塞,之后进入生物滞留设施,进行收集滞留下渗。设施内设溢流口,即传统道路雨水口,过量的降雨通过溢流,进入城市排水系统。此外,完成建设的两条路面均采用透水沥青,下面依次为砾石层和路基,部分降雨可直接由路面入渗储存处理,多余雨水再汇入生物滞留设施^[21](图 10—图 12)。

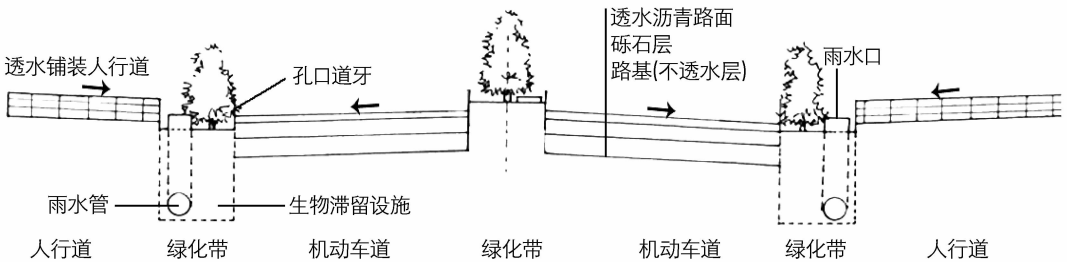


图 10 深圳市低影响开发市政道路断面(作者改绘)



图 11 生物滞留效果



图 12 生物滞留设施孔口道牙、沉砂池

许多研究表明两条道路的示范建设对雨水水量水质处理效果良好。在低影响开发建设的基础上,还保留了传统的市政雨水排水管道(设计标准为 2 年一遇),两者结合使现有雨水处理能力达到 4~5 年一遇^[21]。

光明新区市政道路作为国家建设先进示范区,取得了一定成绩,但应注意加强植物的搭配和设施在道路中的景观性,协调各设施的运用,加强养护管理,进一步提升性能。

3 关于生物滞留设施的思考借鉴

目前,我国许多地区仍在大量建设灰色基础设施,大力发展城市建设,雨水排放仍以传统方式为主,并未全面意识到传统排水方式的弊端。因此,应先从管理者与相关工作者开始,转变传统观念,引入生物滞留设施,让生物滞留设施的运用贯穿源头、中途和末端,甚至使生物滞留设施与其他低影响开发设施乃至城市管网共同作用,更好地解决雨洪问题。

国内关于生物滞留设施的研究较为集中,但不够深入。在借鉴国外成功经验的基础上,还应运用正确的方法,有针对性地进行研究。应强化对生物滞留设施的认知,充分认识其功能、作用、机理和效益等,结合各地自然条件及场地特征,加强前期分析和调查,以便更好地进行设计。对设施本身而言,其设计规模、填料构成、设计深度和植物栽植等因素都会影响运行机理与效果。我国各地条件差异较大,在充分研究基础资料的前提下,明确设计目标,完善设计施工,增强设施的控制效果和适用性。

充分分析设施的运行和效果,加强后期监测和评估,以不断提升生物滞留设施的应用。加强设施景观效果建设,并将设施设计与地形、场地功能、景观小品和植物绿化等要素^[4,7]结合设计,美化城市,及时进行清扫管护,研究出适合国内的设计方法和维护更新频率,做到“学其形知其意”,多角度、多方法地研究,全面深入了解生物滞留设施,有条件的地区可以辅以实验或实例研究。

国外生物滞留设施的广泛应用离不开管理者、商业者和设计者,特别是公众的共同参与。国内受许多现实因素的限制,可选择部分公众参与其中,更好地创建为人民服务的绿色基础设施。加强对生物滞留设施基础知识的宣传教育,通过组织学习、标识宣传等方式普及生物滞留设施建设,调动公众参与的积极性,为决策者出谋划策。

最后,国外生物滞留设施的成功应用,离不开大量建设导则、政策法规、评价体系和奖惩制度的制定及有力支撑。国内却较少有相关的政策法规出台,强制性评价和奖惩也较为匮乏,但目前已有相关文件试行或正在编制。虽然国内已在这些方面做了诸多努力,但生物滞留设施从理论到应用涉及多方面知识,需多方参与建设,园林、水利、规划和市政等多部门应综合协调,共同作用。

4 结 语

生物滞留设施的雨洪管理效益不可小觑,此外在缓解城市热岛效应,降低大气温度,增加湿度,增强生物多样性,美化城市环境等方面也发挥着重要的作用。加强生物滞留设施的研究应用对我国城市建设和环境改善具有重要的意义。生物滞留设施也将成为我国生态建设,新型雨洪管理的重要措施,其研究应用前景广阔,设计建设将成为海绵城市建设的趋势。

参考文献:

- [1] Southeast Michigan Council of Governments Information Center. Low Impact Development Manual for Michigan: A Design Guide for Implementors and Reviewers [S]. South Michigan: South Michigan Council of Governments Information Center, 2008.
- [2] 彭文峰. 生物滞留技术在城市道路面源污染中的应用 [J]. 资源节约与环保, 2014(1): 74.
- [3] 胡爱兵, 李子富, 张书函, 等. 模拟生物滞留池净化城市机动车道路雨水径流 [J]. 中国给水排水, 2012, 28(13): 75-79.
- [4] 刘家琳, 张建林. 雨水径流控制的景观设计途径及在公园绿地中的应用分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(11): 183-189.
- [5] 何卫华, 车 伍, 杨 正, 等. 生物滞留技术在道路雨洪控制利用中的应用研究 [J]. 给水排水, 2012, 38(增刊): 132-135.
- [6] 李 平, 王 晟. 生物滞留技术控制城市面源污染的作用与机理 [J]. 环境工程, 2014, 18(3): 75-79.
- [7] 李朱婧, 周建华, 葛煜喆. 雨水花园在步行街的选址与空间形态研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(5): 164-170.

- [8] 李家科, 刘增超, 黄宁俊, 等. 低影响开发(LID)生物滞留技术研究进展 [J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 431-439.
- [9] CARPENTER D D, HALLAM L. Influence of Planning Soil Mix Characteristics on Bioretention Cell Design and Performance [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2010, 15(6): 404-416.
- [10] 孟莹莹, 陈建刚, 张书函, 等. 生物滞留技术研究现状及应用的重要问题探讨 [J]. 中国给水排水, 2010, 26(24): 20-24, 38.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行) [EB/OL]. (2014-10-22)[2016-01-08]. <http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201411/W020141102041225.pdf>.
- [12] 颜乐, 夏自强, 丁琳, 等. 基于 SWMM 模型的生物滞留池水文效应研究 [J]. 中国农村水利水电, 2014(4): 25-28.
- [13] ROSSMAN L A. Storm Water Management Model User Manual Version 5.0 [M]. America: The United States Environmental Protection Agency, 2011.
- [14] 马效芳, 陶权, 姚景, 等. 生物滞留池用于城市雨水径流控制研究现状和展望 [J]. 环境工程, 2015, 19(6): 6-9, 29.
- [15] 孟莹莹, 王会肖, 张书函, 等. 基于生物滞留的城市道路雨水滞蓄净化效果试验研究 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(2/3): 286-291.
- [16] 孙艳伟, 魏晓妹. 生物滞留池的水文效应分析 [J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(2): 98-103.
- [17] 潘国艳, 夏军, 张翔, 等. 生物滞留池水文效应的模拟试验研究 [J]. 水电能源科学, 2012, 30(5): 13-15.
- [18] 陶一舟. 城市街道雨水的管理与利用——美国波特兰市“绿色街道”改造设计 [J]. 园林, 2007(6): 22-23.
- [19] 王水浪, 包志毅, 吴晓华. 城市雨水的可持续管理——波特兰绿色街道的设计及其启示 [J]. 山东林业科技, 2009(2): 68-71.
- [20] 胡爱兵, 任心欣, 俞绍武, 等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区 [J]. 中国给水排水, 2010, 26(20): 69-72.
- [21] 丁年, 胡爱兵, 任心欣. 深圳市低冲击开发模式应用现状及展望 [J]. 给水排水, 2012, 38(11): 141-144.

Fundamental Research and Relevant Application on Bio Retention Facilities

LIANG Mei-qi, LIU Lei

School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The rapid development of cities poses threats to urban water environment when it changes social life. As one of the new storm water management measures, bio retention facilities play an important role in solving the problems of storm water in cities effectively. A fundamental research has been carried out on the definition, structure, mechanism, plants, padding and other relevant aspects of bio retention facilities, to put forward several methods determined based on bio retention facility scale, for different areas to select according to their own regional conditions. In addition, the study progress of bio retention facilities has also been summarized in this research, the green street NE Siskiyou in Portland in USA and the construction cases of road No. 36 and road No. 38 in Guangming New District in Shenzhen analyzed, the vacancies and deficiencies in the current situation of relevant researches and construction in China compared and considered, some advanced experience and achievements summed up, and some considerations and experiences for China's bio retention facilities proposed. Besides, the paper also shows the comprehensive benefits and broad prospects of bio retention facilities, to provide references for the deep study on bio retention facilities.

Key words: bio retention facilities; Low Impact Development; storm water management