

基于 LID 的水生态修复技术在海绵城市建设中的应用 ——以常德市为例

吴震中

(湖南省常德水文水资源勘测局,湖南 常德 415000)

摘要:低影响开发(low impact development, LID)是海绵城市建设的一种重要技术措施,也是解决城市水问题的有效方法。依据常德市海绵城市建设中部分工程实践经验,结合海绵城市建设规划,以基于 LID 理念的水生态修复技术措施为重点,分析和评估 LID 技术在常德市海绵城市建设中发挥的作用,探讨支撑我国海绵城市建设的关键技术方法,为海绵城市建设规划方法和技术研究提供参考。

关键词:低影响开发;海绵城市;水生态修复;常德市

中图分类号:X52

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2016)S1-0124-04

1 研究背景

改革开放以来,我国经历了一个经济社会快速发展的时期,城市建设取得了显著成就,城市人口不断增加,截至 2013 年底,我国城市化率已经提高到 53.7%^[1],同时,在城镇化过程中也普遍存在开发强度高、硬质铺装多等问题,导致城市下垫面过度硬化,改变了土地原有自然属性,破坏了生态系统的完整性。以常德市为例,城市开发建设前,在原有地形地貌的下垫面条件下,60%~70%的降雨可以通过自然渗透进入包气带,涵养水源和维持生态系统平衡,只有 30%~40%的雨水形成径流外排;而城市开发建成后,下垫面的硬化导致 70%~80%的降雨直接形成径流,仅有 20%~30%的雨水能够入渗到地下,下垫面涵养水源的功能急剧减弱,对城区的生态环境平衡造成了不利的影响,甚至出现了生态退化现象^[2]。城市开发建设破坏了自然的“海绵体”,导致“逢大雨必涝,雨后即转旱”,同时也带来了水环境污染、水安全缺乏保障和水文化消弭等一系列问题。

为解决城市内涝、水环境污染和水生态退化问题,2004 年,常德市政府与德国汉诺威市政府、德国汉诺威水协、荷兰乌特勒支市政府、湖南省原建设厅携手合作,向欧盟申请了《解决亚洲城市可持续发展的问题——常德市城区及穿紫河污水治理个案分

析》项目,并于 2005 年获得欧盟批准;2008 年再次合作,共同编制了《水城常德——常德市江北区水敏性城市发展和可持续性水资源利用整体规划》。以此为指导,常德先后聘请德国汉诺威水协、中规院等国内外顶尖规划设计单位,高标准编制了城市给水、排水、防洪、水资源利用、绿化、道路等 10 多个专业规划,和北部新城、江北、江南、穿紫河、护城河等片区水系和雨水综合利用规划。自 2009 年以来,常德市城区启动了 110 多个涉及水系治理、防洪、排水、供水、污水处理、绿地、绿色建筑等项目,预计总投资 250 亿元。

2014 年 12 月,住建部、财政部、水利部联合启动了全国首批海绵城市建设试点城市申报工作,全国有 130 多个城市参加竞争。经过严格筛选,有 34 个城市进入初选名单。2015 年 3 月 24 日,三部门初审确定 22 个城市派代表到北京参加竞争性答辩会,最终常德市等 16 座城市进入“全国首批海绵城市建设试点城市”。2015 年 12 月,为确保顺利推进海绵城市建设,协调各部门统一开展工作,常德市编制了《常德市海绵城市建设总体规划》和《常德市海绵城市建设试点城市实施方案》,作为海绵城市建设指导性文件。在常德市海绵城市总体规划中,其试点建设区为常德市江北城区的核心位置,试点面积为 36.1 km²,其中老城区为 6.6 km²,新城为 25.8 km²,拟建区为 3.7 km²。试点区域范围内,主

要建设项目有海绵小区、海绵绿地公园、海绵道路广场、水系生态治理、城市排水设施和海绵体监测系统6大类,分3年(2015—2017年)逐步建成。通过海绵城市的项目建设,因地制宜组合渗、蓄、滞、净、用、排等多种技术措施,控制径流总量、提高城市排涝标准,减少面源污染,改善城市水体环境,提高雨洪资源化利用效率,整合新老城区均衡发展,创新海绵城市开发建设的新模式。

2 LID 的理念解析

2.1 LID 概念

低影响开发(low impact development, LID)最早于1990年在美国马里兰州由环境资源部提出,用于替换传统的 Best Management Practices (BMPS) 理念,是一种创新的雨洪管理方法。LID 强调对基址自然水文环境的保护和利用,通过渗透、蒸发、过滤、截留、储存等手段,实现开发后基址水文特征与开发前的最大程度的还原^[3,4](图1)。LID 是近年来城市水环境保护和可持续雨洪控制利用的新策略^[5],其核心理念是从源头上通过一系列分散的小型措施进行产流控制,以最大限度地维持开发前的场地水文功能,实现区域良性水循环^[6-8]。从水文循环角度,要维持径流总量不变,就要采取渗透、储存等方式,实现开发后一定量的径流量不外排;要维持峰值流量不变,就要采取渗透、储存、调节等措施削减峰值、延缓峰值时间。发达国家人口少,一般土地开发强度较低,绿化率较高,在场地源头有充足空间来消纳场地开发后径流的增量(总量和峰值)。我国大多数城市土地开发强度普遍较大,仅在场地采用分散式源头削减措施,难以实现开发前后径流总量和峰值流量等维持基本不变,所以还必须借助于中途、末端等综合措施,来实现开发后水文特征接近于开发前的目标^[4]。

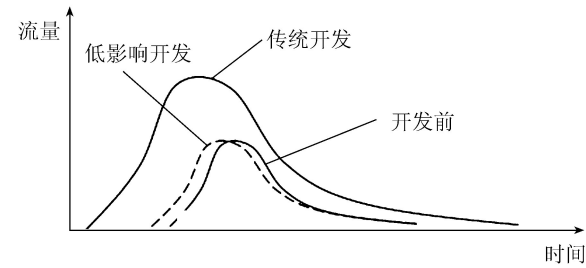


图1 低影响开发水文原理示意图

经过几十年的发展,LID 技术体系已经在发达国家得到了广泛应用,相关理论研究和工程实践已经较为成熟,其中美国、德国和日本是较早开展 LID 建设的国家,在大量工程实践过程中,已经取得了较为丰富的实践经验。美国的联邦、州、市县各级政府

都大力支持城市 LID 建设。其中,美国西部的加州、俄勒冈和华盛顿都出台了地方 LID 建设的技术规范^[9]。美国许多县一级政府同样制定了 LID 相关的计划,例如美国特拉华州萨塞克斯县(Sussex County, Delaware)的《精明增长与自然雨水管理计划》、加州圣马特奥县(San Mateo County, California)的《绿色街道与停车场计划》、明尼苏达州伯恩维尔市(Burnsville, Minnesota)的“社区绿色街道”项目等都取得良好的效果^[10]。在欧洲,德国柏林的波茨坦广场的雨洪设施是德国雨水利用的典范,在汉诺威市的康斯伯格生态城,其雨水收集系统也是独具特色。在英国,LID 系统被应用于城市排水系统,发展成为可持续城市排水系统(sustainable urban drainage systems)的理论与方法。日本在国内推行雨水贮留渗透计划,在广场、公园、运动场、停车场等利用透水铺装、渗透管、渗透井等进行贮雨渗透,利用建筑物对雨水进行收集利用^[11]。

2.2 LID 措施优化技术

LID 措施指在城市开发建设过程中采用源头消减、中途转输、末端调蓄等多种手段,通过渗、滞、蓄、净、用、排等多种技术,实现城市良性水循环,提高对径流雨水的渗透、调蓄、净化、利用和排放能力,维持或恢复城市的“海绵”功能。主要工程措施有:透水铺装、绿色屋顶、下沉式绿地、生物滞留设施、渗透塘、渗井、湿塘、雨水湿地、蓄水池、雨水罐、调节池、植草沟、渗管、植被缓冲带、初期雨水弃流设施和人工土壤渗滤等。

LID 措施的主要目的是降低地表产流量,在年径流控制目标对应的降雨条件下,实现各地块产流量不外排。其目标函数表达式为

min[f_{obj}(c_j)]j ≤ n (1)

式中:f_{obj}为总目标函数,为所有地块径流系数的加权求和或乘积;c_j为第j个地块径流系数;n为总地块数。

主要约束条件为

{ A_j ≥ A_{下沉式绿地} + A_{透水铺装} + A_{绿色屋顶} + A_{其他}
A_{下沉式绿地} ≤ η_{绿地} A_{绿地}
A_{透水铺装} ≤ η_{不透水路面} A_{不透水路面}
A_{绿色屋顶} ≤ η_{屋顶} A_{屋顶}
0 ≤ c_j ≤ 1
其他面积约束、成本约束等 (2)

式中:A 为地块面积,km²;A_{下沉式绿地}、A_{透水铺装}、A_{绿色屋顶}、A_{绿地}、A_{不透水路面}、A_{屋顶} 分别为下沉式绿地、透水铺装、绿色屋顶、绿地、不透水路面和屋顶的面积,km²。η_{绿地}、η_{不透水路面}和 η_{屋顶} 分别为绿地、不透水路面和屋

顶采用 LID 措施占总地块面积的阈值。优化目标的求解通常采用计算机优化方法,包括随机优选、遗传算法和粒子群算法等^[12]。

3 基于 LID 理念的水生态修复技术

3.1 LID 理念在水生态修复中的设计意义

经过数十年的发展,LID 理念的内涵已经逐步由雨洪的工程管理扩展到了场地设计以及城市规划与土地开发的全过程^[13]。目前,我国政府决策部门对城市 LID 雨洪管理也给予了高度重视,已明确要求各地区在城市改造和区域开发过程中要积极推进 LID 模式。将 LID 理念纳入滨水绿地体系建设,实现区域内雨水收集、渗透、过滤以及蓄滞,可以有效控制水质污染,降低洪涝灾害风险和维持良性水循环,有利于水岸生态环境的保护和恢复,构建城市水生态安全格局,具有显著的生态效益和社会经济效益。

3.2 基于 LID 水生态修复的设计目标

基于 LID 水生态修复的设计目标包括区域径流量、峰值径流量、径流频率与历时、水环境 4 方面的控制目标^[14-16]。因此,基于 LID 水生态修复开发设计目标具有地域性和针对性,应综合考虑降雨条件、分区特征、空间需求、成本投入等多方面因素,将城市水生态系统和城市排水系统从规划和技术层面加以整合,进而实现城市水生态修复的多元目标,实现开发区域社会、经济、生态效益的整体优化。其设计目标和总体方案见图 2。

3.3 基于 LID 水生态修复主要技术途径

城市水生态修复系统可实现径流体积消减、污染物控制、峰流量消减、延长汇流时间、雨水积蓄利用和雨水转输排放等多种目标^[17],其实现主要技术途径包括源头控制、传输控制以及终端处理 3 个阶段^[18]。在城市水生态修复 LID 措施设计中应基于现状场地条件和空间需求,结合雨洪生态过程不同

阶段的设计目标,选取相应的技术措施和方法,从而完善雨水从源头到末端的连续水文过程(表 1)^[8]。

表 1 水生态修复适用的 LID 技术措施综合评价

技术系统	技术措施	景观效果	生态价值	建设成本	维护管理	公众接受度
滞留系统	雨水塘	高	中	低	低	高
	扩展型滞留池	中	中	中	低	中
	小型蓄水池	高	无	高	中	低
储存系统	调蓄干塘	中	低	中	高	中
	多功能调蓄池	中	无	中	中	高
	地下储水池	低	无	高	高	中
	人工湿地	高	高	中	低	高
渗透系统	渗透管	中	低	高	高	中
	下凹绿地	高	中	中	中	高
	入渗池	中	无	中	中	中
	渗滤沟	中	无	中	中	中
	透水地面	高	低	高	高	高
过滤系统	植草沟	中	中	低	低	中
	地面砂滤池	低	低	高	高	中
	滤污设施	低	无	高	高	中
	过滤树池	高	低	中	中	高
	生物滞留池	中	中	中	中	中
	植被过滤带	高	高	低	低	高

a. 源头控制阶段。雨水源头控制阶段处于排水系统上游,其主要目标是在雨水进入市政排水管网前采取各种措施,从源头减少面源污染物的排放率和进入排水系统的雨水径流量,并实现雨水控制利用。主要设计途径包括:①利用滨水绿地与城市水体的水地高差,通过地形坡度处理(如缓坡地形、阶梯形生态护岸、下凹绿地)形成薄层漫流,有效减缓汇流速度,并延长径流流程和滞留时间;②最小化不透水区域面积,并采用渗透性景观铺装,使其转变为功能性 LID 设施,促进雨水径流下渗;③灌木土壤的平均渗透率要高于草地土壤^[19],增加植被覆盖率,提高低矮灌木的比例以有效维持土壤的渗透率;④对于土壤渗透性能差、硬质比例高的区域可结合场地大小采用渗透井、渗透池、渗透管渠等集中式渗

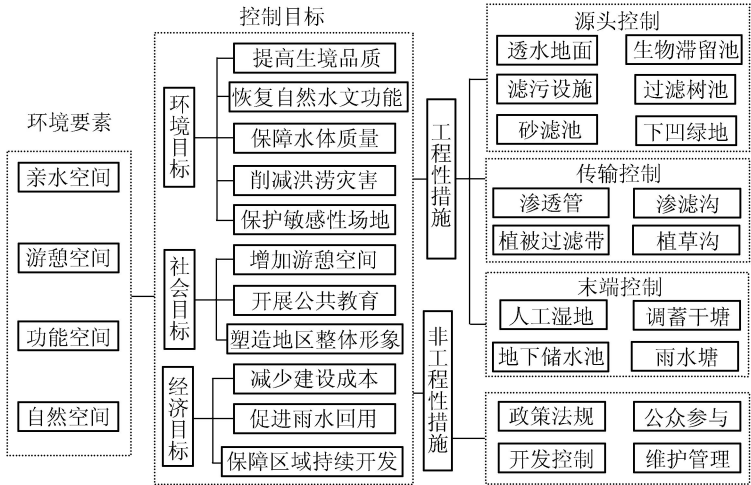


图 2 基于 LID 水生态修复设计目标与总体方案

透设施;⑤需要注意的是,初期雨水通常污染物浓度较高^[19],需根据雨水污染程度从源头对初期雨水采取集中式收集弃流、截污或过滤等预处理措施。常见的初期弃流方法包括容积法弃流、小管弃流(水流切换法)等,弃流形式包括自控弃流、渗透弃流、弃流池、雨落管弃流等。

b. 传输控制阶段。雨水传输控制阶段是指雨水从源头集中传输至排水系统末端或储存段之间的路径,其主要目标是利用调蓄、渗透、滞留等处理措施改变来源区域的地表水文活动,以有效截留、处理雨水径流污染物并短时贮存雨水。主要设计途径包括:①结合人工旱溪或雨水沟渠特色景观营造,利用沙砾、块石、植被等材料增加排水设施表层的粗糙度,从而在雨水传输过程减缓径流速度;②利用场地纵向坡度在排水过程设置堰坝或形成阶梯式排水过程,延长雨水滞留和传输时间;③结合竖向设计与低势绿地将雨水分散汇集处置,实现雨水短时储存和浅层下渗;④采用渗透管渠,在排水过程使得部分雨水自然下渗^[13]。

c. 终端处理阶段。雨水终端储存阶段处于排水系统的末端,其主要目标是在雨水和污染物进入受纳水体或储存设施前进行处理,从而对雨水加以净化、储存或利用。主要设计途径包括:①不可渗区域的地表雨水经过过滤后可传送至雨水塘或人工湿地,实现雨水储存和下渗;②城市水体通常是滨水区滞蓄雨水、排涝的主要通道,结合水系规划保护和恢复河岸植被缓冲带,可促进敏感生态栖息地重建,拦截外源污染物,保障水体质量;③小型人工水景或者植物种植池蓄留、净化雨水^[13]。

4 实例应用

基于 LID 的水生态修复的理念,常德市在海绵城市建设中采取渗和滞为主,蓄为辅。主要考虑的技术措施为下沉式绿地、绿色屋顶、渗透铺装、生态护岸、水生态修复工程、植草沟、蓄水池、生态滤池、湿塘、人工湿地、植被缓冲带和初期雨水弃流措施等。涉及建筑小区新建与改造工程、城市道路广场改扩建工程和水系湿地生态恢复工程等 3 大 LID 工程。

涉及主要工程建设内容为:棚户区改造、在建项目海绵建设、已建项目海绵改造、道路广场改造和建设下沉式绿地、植草沟和透水铺装工程、老城区护城河水系生态恢复工程、城市建成区穿紫河水系截污综合治理工程、新河渠水系治理工程、柔性驳岸建设、雨水调蓄工程、雨水湿地工程和水系连通与内河

水系综合整治工程等。

依据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》确定 3 种措施的径流消减量和污染物去除率参数范围。经过模拟分析,下沉式绿地、透水铺装和绿色屋顶径流消减量分别为 150 ~ 300、30 和 14 mm,而 SS 去除率分别为 100%、80% ~ 90% 和 70% ~ 80%。通过 LID 措施的实施,中心城区产流量和污染负荷的输出量明显减少,基本达到年径流控制目标。

5 结 语

常德市作为全国首批海绵城市试点城市之一,利用基于 LID 理念的生态修复技术措施为海绵城市示范区的建设提供了多种 LID 的设计途径,为水系生态治理和修复提供一种新的思路 and 对策,是一种解决城市雨水问题的有效方法。同时,由于 LID 工程具有地域性和复杂性的特点,在实践中需要多专业人员协作和配合,也需要城市自然水系与 LID 措施之间的联合调配,这都是我们所面临的困难与挑战,有待进一步深入研究,也有待工程实践的进一步检验。

参考文献:

[1] 潘家华,李恩华,单菁菁,等. 城市蓝皮书:中国城市发展报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2015.

[2] 中国城市规划设计研究院. 常德市海绵城市总体规划(2015-2030 年)[M]. 北京:中国城市规划设计研究院,2015.

[3] 张剑飞,李晶晶. 基于 LID 理念的海绵城市公园绿地规划研究:以常德姚湖公园为例[J]. 中外建筑,2015(7):104-106.

[4] 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)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.

[5] AHIABLA ME L M, ENGEL B A, CHAUBEY I. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2012, 223(7):4253-4273.

[6] JAMES M B, DYMOND R L. Bioretention hydrologic performance in an urban storm water network [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2011, 17(3):431-436.

[7] Franklin J C. Improving urban watershed health through suburban infill design and development [D]. Charlottesville: University of Virginia, 2011.

[8] ERICKSON V G. Designing for water quality [D]. Charlottesville: University of Virginia, 2000.

(下转第 136 页)

大学,2012.

[3] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学焦点问题[J]. 生态学报, 2003, 23(7):1249-1256.

[4] 张丹, 张勇, 何岩, 等. 河道底泥环保疏浚研究进展[J]. 净水技术, 2011, 30(1):1-3, 7.

[5] 胡小贞, 金相灿, 卢少勇, 等. 湖泊底泥污染控制技术及其适用性探讨[J]. 中国工程科学, 2009 (9):28-33.

[6] 杨洁. 用于水体修复的释氧复合剂的研制及作用机理研究[D]. 上海:华东理工大学, 2015.

[7] 李爽, 李正阳, 马会强. 过氧化钙制备方法及其在环境修复应用中的研究进展[J]. 当代化工, 2015, 44(12):2808-2810.

[8] 刘熹. 固定化微生物技术在湖塘水体原位修复中的应用研究[D]. 南宁:广西大学, 2015.

[9] 庄旭超. 微生物原位强化修复技术在城市污染河道治理中的应用[D]. 武汉:华中农业大学, 2012.

[10] 陈翠雪. 厦门筼筮湖环境污染特征调查和微生物修复的初步研究[D]. 厦门:厦门大学, 2009.

[11] 李小雁. 人工生态基及网箱水草在景观水体中的应用[D]. 上海:华东师范大学, 2009.

[12] 石艳玲, 郑伟. ETS 污水生态处理系统的研究[J]. 辽宁化工, 2015, 44(8):924-925.

[13] 李玉臣. “ABFT+潜流人工湿地”技术在清河南七家污水处理站的应用[J]. 北京水务, 2014 (1):32-34.

[14] 刘智晓, 崔福义, 句立展, 等. 多级生物膜过滤工艺处理生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(13):9-13.

(收稿日期:2016-12-02 编辑:彭桃英)

+++++

(上接第 127 页)

[9] 俞露. 低冲击开发模式综述 [J]. 城乡建设,2010(6):180.

[10] 张善峰, 宋绍杭, 王剑云. 低影响开发:城市雨水问题解决的景观学方法 [J]. 华中建筑,2012(5):83-88.

[11] 凌子健, 瞿国方, 何仲禹. 海绵城市理论与实践综述 [C]//新常态:传承与变革-2015,中国城市规划年会论文集,北京:中国城市规划设计研究院,2015.

[12] 刘昌明, 张永勇, 王中根, 等. 维护良性水循环的城镇化 LID 模式:海绵城市规划方法与技术初步探讨[J]. 自然资源学报,2016(2):23-25.

[13] 柳骅. 低影响开发在城市滨水景观设计中的应用解析 [J]. 生态经济,2014(11):63-64.

[14] 汤君. 城市滨水空间复兴模式研究[D]. 长沙:中南大学,2011.

[15] 雷雨. 基于低影响开发模式的城市雨水控制利用技术体系研究[D]. 西安:长安大学,2012.

[16] 曹磊, 杨冬冬, 黄津辉. 基于 LID 理念的人工湿地规划建设探讨:以天津空港经济区北部人工湿地为例 [J]. 天津大学学报(社会科学版),2012, 14(2):144-149.

[17] 李强. 低影响开发理论与方法评述[J]. 城市发展研究,2013, 20(6):30-35.

[18] 黎小龙. 雨洪管理目标的城市公园规划设计研究:以武汉市为例 [D]. 武汉:华中农业大学,2012.

[19] 胡爱兵, 张书函, 陈建刚. 生物滞留池改善城市雨水径流水质的研究进展 [J]. 环境污染与防治,2011, 33(1):74-77.

(收稿日期:2016-09-06 编辑:王 芳)

+++++

《水利经济》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊
全国水利系统优秀期刊 全国农业系统优秀期刊

(邮发代号 28-252, CN32-1165/F, 双月刊)

《水利经济》是由河海大学与中国水利经济研究会共同主办的以技术性为主、兼顾学术性和管理性的科技期刊。《水利经济》1983 年创刊,是全国唯一的水利经济研究方面的专业性期刊。

主要刊登内容:水经济学理论;水权、水市场与水价研究;水利工程建设中的经济效益、社会效益和环境效益评价与分析,水利工程经济评价和财务评价,水利工程资本运作与费用分摊研究;水利工程管理研究,以及水利事业和水利建设的管理体制体制改革研究;水库移民经济研究;农业经济与管理研究;生态与环境经济研究,生态建设领域中的水资源可持续发展研究等。

主要读者对象:从事水经济、水利水电技术、经济管理、生态、环境、农业经济及管理工作的有关工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校师生。

订阅办法:读者可通过邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。2017 年每期定价 15 元,全年 6 期共计 90 元。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 河海大学《水利经济》编辑部 邮政编码:210098

电话/传真:025-83786350 E-mail:jj@hhu.edu.cn 网址:www.hehaiqikan.cn/sljj/ch/index.aspx