

中国低影响开发城市雨水管理模式推广策略

许萍, 张丽, 张雅君, 车伍

(北京建筑工程学院 环境与能源工程学院, 北京 100044)

摘要:通过总结国内传统雨水排放方式存在的主要问题,介绍低影响开发(LID)城市雨水管理模式的内涵及其优越性,结合中国现阶段发展情况,就LID雨水管理模式的中国化,如创新式推广、本土化表达、多元化应用、数字模拟等方面进行了思考,为该模式在中国的进一步推广应用提出参考和建议;改变传统的“以点带面”的推广方式,因地制宜的选择工程技术措施,将LID理念和技术多元化应用于旧城改造、新农村建设、流域水环境治理,应用数字化模拟技术增强LID模式的科学性和可行性。

关键词:低影响开发(LID);雨水管理;推广策略;源头控制;本土化;数字模拟

中图分类号:X321

文献标志码:A

文章编号:1674-4764(2012)S1-0165-05

Extension Strategy of Low Impact Development City Rainwater Management Pattern in China

XU Ping, ZHANG Li, ZHANG Yajun, CHE Wu

(Urban Drainage Systems and Water Environment of Ministry Key Laboratory,
Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, P. R. China)

Abstract: By summarizing the main problems about the traditional rainwater drainage pattern in China, the main idea and excellences of low impact development (LID) city rainwater management pattern are introduced. Four aspects about the LID pattern extension strategy in China are put forward, which include innovative extension, innovation development, diversity application and digital analogy. According to the strategy, traditional extension pattern called “from point to area” can be changed. LID would be applied to urban reconstruction, rural area development and water environment management. Digital analogy technology should be given more attention because it can enhance the scientific and feasible of the LID pattern.

Key words: low impact development(LID); rainwater utilization; extension strategy; source control; localization; digital analog

近年来,随着中国城市化进程的加快,城市基础设施落后所引发的各种问题凸显,其中最主要的是城市内涝、面源污染、雨水资源流失、生态多样性破坏等问题^[1-13]。鉴于此,我国初步确定了新世纪城市雨水管理模式,即放弃原来的单纯以快速排放为主的设计思路,大力推广美国环保局上世纪提出的,以雨水利用、截污减排、源头径流控制为目的的新型城市雨水管理模式——低影响开发(low impact development, LID)模式。但该理念是基于美国国情提出的,下面通过介绍中国雨水管理现状、阐述LID内涵,结合中国国情,就其在国内的推广应用稍作探讨。

1 中国传统雨水排放方式存在的主要问题

雨水是城市水循环和区域水循环系统中的重要环节,对调节、补充地区水资源、改善生态环境起着极为关键的作用。中国传统城市雨水排放方式,通过硬化的管道系统,将本来可以被沿途利用的雨水快速排入水体,完全把雨水资源拒之门外,这不仅使城市周边河道洪峰提前、峰值流量提高、水流对河道的冲击加大,同时也截断了地下水资源的补给途径,

使得目前国内城市雨水问题日益突出,主要包括:雨水径流污染严重,城市内涝灾害风险加大,雨水资源大量流失,城市生态环境破坏严重等。

1.1 雨水径流污染严重

城市化发展导致了雨水径流污染日益严重,沥青混凝土道路、磨损的轮胎、融雪剂、农药、杀虫剂、动植物的有机废弃物等均会使雨水径流中含有大量污染物,最终排入城市及周边水体,严重污染的雨水径流还会污染地下水。北京城区的监测表明,屋面和道路雨水初期径流的COD平均范围为200~1 200 mg/L,一场中等规模的降雨造成的雨水径流污染物负荷总量平均可达COD 380~630 t,SS 440~670 t,TN近30 t,TP近8 t^[13]。

1.2 城市内涝灾害风险加大

城市发展中的内涝灾害问题主要是由于不透水面积增加、雨水地面汇流时间缩短、洪峰流量和径流总量加大、调蓄能力不足、排水系统不完善等引起的。随着城市财产和人口密度的加大,同样的降雨量将引起更大的内涝灾害,造成更

大的生命、财产损失。

1.3 雨水资源大量流失,城市生态环境破坏严重

目前中国 600 多座城市中有 400 多座供水不足,110 多座城市严重缺水。缺水导致地下水超采,加之不透水路面又使雨水流失,地下水得不到及时补充,在许多地区形成“地下水漏斗”。据预测,2030 年全国城市化发展需新增供水量 660 亿 m^3 ,而城市径流雨水资源总量却高达 283 亿 m^3 ,合理利用雨水资源是急待解决的问题。城市发展过程中绿地、农田、森林等逐渐被不透水地面替代,导致雨水流失量增加,水循环系统的平衡遭到破坏,增加暴雨频率和暴雨径流体积。暴雨径流还会引起河道侵蚀、河流基温升高、植被破坏、一些水生动物灭绝等一系列城市水生态环境问题。

2 新型雨水管理模式的发展

我国传统雨水排放方式所存在的问题并不是特例,许多国家已经开始创建新的雨水管理模式,希望能够克服这些困难,重建自然、生态的城市。英国的可持续排水系统(sustainable drainage system, SUDS)起源于 20 世纪后期,在设计中要求综合考虑土地利用、水质、水量、水资源保护、景观环境、生物多样性、社会经济因素等多方面问题。澳大利亚、新西兰等国家的水敏感城市排放系统(water sensitive urban drainage, WSUD)的目标是通过利用处置技术创造一个功能性较强的水文景观以维持或模仿开发前的水循环,是各种最佳规划实践(best planning practices, BPPs)和最佳管理实践(best management practices, BMPs)的结合,用于可持续城市水循环管理,包含整个水循环系统(给水、污水等),但其中的暴雨管理方法目前应用最为普遍。

低影响开发(low impact development, LID),是 20 世纪 90 年代中期由美国马里兰州提出的一种新型的雨水管理方法,其主要思想是模拟自然界水的循环方式,通过在源头利用微型分散式生态处理技术使得区域开发后的水文特性与开发前一致,进而将土地开发对生态环境造成的影响减到最小^[1-13]。LID 模式的主要目标是:保护水质、减少径流量、缩短径流集聚时间、削减洪峰、补充地下水、减小土地侵蚀等,通过实施 LID,能够在取得良好的环境效益和社会效益的同时,降低工程成本、获得较好的经济效益。LID 相关雨水管理技术优越性见表 1。

表 1 LID 雨水管理技术优越性体现^[14]

分类	主要体现
环境效益	减少污染、保护开发地下水游水资源、补给地下水、改善水质、降低合流制溢流的发生概率
社会效益	削弱下游洪峰、提高公共场所舒适度、促进环保事业的社会参与程度、提高公共空间的美学价值、改善人居环境
经济效益	减少给水厂运行成本、减少市政管线投资、减少场地开发投资

3 中国 LID 雨水管理模式推广策略

针对中国传统雨水排放系统存在的问题,急需要一种既

能够削减洪峰流量、滞留雨水,又能有一定的净化功能、减少水体环境污染物负荷的多功能雨水管理措施。LID 雨管理模式的手段多样,因地制宜,建设费用低,管理方便等特点^[1-13],已逐渐在我国的一些工程中体现,包括下凹式绿地、雨水花园、植被浅沟、绿色屋顶、透水铺装等,下面就 LID 模式在中国的推广应用以及可能遇到的问题稍作探讨。

3.1 LID 模式创新式推广

LID 城市雨水管理模式在中国还处于探索、推广阶段,目前在经济相对发达的地区中有所应用,如北京、天津、苏州、珠海、深圳等(见表 2),这是中国传统的“以发达地区带动欠发达地区”的推广模式。但我们必须注意到,经济发达地区发展建设早,LID 模式的实施空间有限,真正能够大范围实现 LID 城市雨水管理模式的,是现在和将来都快速发展建设的二、三线城市和地区。

表 2 我国应用 LID 雨水管理模式的项目举例^[15]

项目名称	LID 雨水管理模式体现	备注
苏州港华燃气研发大楼	下凹式绿地、可渗透铺装	
天津仁恒海河广场商场项目	屋顶绿化率 30% 以上,可渗透铺装 40%	全部采用,成活率 95% 以上
苏州万科东环路长风住宅项目 1#~4#	可渗透铺装比率 62%,1.5 m 厚绿化腐殖土	
大连绿城深蓝中心	绿色屋顶占可绿化面积的 76.9%,可渗透铺装	采用本土植物
珠海励志办公楼	可渗透铺装比率 50%	全部采用本土植物

美国环保局在 LID 模式的经济优越性方面做了较全面的汇总(见表 3、4),这给中国 LID 模式的全面推广提供了很好借鉴,这种明显的经济优越性,正是我们在欠发达地区推广 LID 模式的最好理由。

表 3 美国传统管道系统与 LID 模式在总工程费用方面的比较^[14]

项目名称	传统开发模式投资	LID 投资	投资差额	投资降低百分比/%
第二大道街道边缘改造工程(华盛顿州,西雅图)	\$868 803	\$651 548	\$217 255	25
奥本山地区(美国威斯康星州西南部)	\$2 360 385	\$1 598 989	\$761 396	32
贝林翰市政厅停车场改造(华盛顿)	\$27 600	\$5 600	\$22 000	80
贝灵汉布勒德尔多诺万公园(华盛顿)	\$52 800	\$12 800	\$40 000	76
Laurel Springs(杰克逊,美国威斯康星州)	\$1 654 021	\$1 149 552	\$504 469	30
Prairie Glen Subdivision(杰曼敦,威斯康星州)	\$1 004 848	\$599 536	\$405 312	40
Somerset Subdivision(乔治王子县,马里兰州)	\$2 456 843	\$1 671 461	\$785 382	32

中国发展研究基金会预测到 2030 年,中国城市化率将达到 65%左右,平均每年将有 2 000 万人进城落户^[16],这就要求足够的城市基础设施作保障。未来 20 年,以二、三线城市为代表的中、西、东北部地区势必进入建设高峰期。从 2010 年中国统计摘要(如表 5)中可以看到,中、西、东北部地区建筑业发展潜力很大。

表 5 2009 年中国各地区建筑业经济指标一览表^[17]

地区	东部 10 省	中部 6 省	西部 12 省	东北 3 省
	合计	合计	合计	合计
建筑业总产值/亿元	42 267.5	14 802.4	12 941.3	5 852.65
占全国比重/%	55.7	19.5	17.1	7.7

注:摘自表“东、中、西、东北地区主要经济指标(二)”

LID 模式的源头控制、环保可持续、低成本的优势更适合国内经济发展相对较慢的地区,而传统的推广模式更强调“以点带面”,这种保守、相对较慢的推广模式必定会延缓 LID 在欠发达地区的应用,使一些地区走上“先建设、后治理”的老路。所以,是同步的、在更广泛的“源头地区”——欠发达地区大力推广 LID 模式迫在眉睫。

3.2 LID 理念本土化表达

LID 城市雨水管理模式在工程技术方面都较易实现,中国古人在几千年改造自然的过程中,积累了丰富的工程技术经验,许多工程措施都因地制宜,就地取材。在学习国外 LID 先进理念的同时,注意与中国实际相结合,充分应用本土化工程措施及本土植物,不但可节省工程开支,减小工程对周边环境的影响,还可为保护生态多样性、人与自然和谐可持续发展提供保障。

例如石笼,最早运用于 2 000 多年前的都江堰水利工程,为其护岸、作堰提供保障,使都江堰工程安全运行至今。古代石笼外包竹条、内充卵石,就地取材,制作方便。现代石笼,又称格宾石笼,外包抗腐高强金属丝网、内充石料或建筑废料^[18],可结合工程当地地形和生态环境特点,为保护河床、治理滑坡等提供可持续、低碳、生态保障(如图 1 为北京市北小石河石笼护岸工程)。石笼的特点有生态性好、透水性强、抗冲击、柔韧性好等^[18]。目前,石笼广泛应用于水利、市政园林、水土保持等领域。



图 1 利用石笼对北京市北小河进行生态河道改造

又如选用本土植物。本土植物,即当地土生土长的、经过长期种植,能很好的适应当地自然环境,自然分布、自然演替,已经融入当地的生态系统中的植物^[19]。LID 这种集雨水管理、环境保护、景观设计于一体的全新场地开发模式,强调充分利用开发项目当地的生态、地理环境特点,选用本土植物和传统、生态的改造技术,使工程不仅在雨季发挥作用,旱季同样能发挥很好的环境效益和社会效益。

多年来,北京等大城市在开展城市绿化的过程中,大量引进国外的冷季型草,包括草地早熟禾(来自美国)、高羊茅(来自美国)、多年生黑麦草(来自美国和丹麦)等^[20]。冷季型草坪草,以其每年长达 10 个月的生长周期受到多方青睐。但是近年来,这种草坪耗水量巨大、对其周边本土植物生长有抑制作用、管理复杂、价格高等缺点逐渐凸显。据调研,2005 年北京市草坪年灌水量一般为 1.0 m³/m²,每年草坪灌溉需水量约为 5 000 万 m³^[21]。结合国外应用本土植物进行生态工程改造的成功案例,若能在 LID 项目中采用本土植物,既能保护开发地生态环境的多样性、杜绝外来物种入侵带来的隐患,又可降低工程建设运行管理费用、增加工程观赏性和独特性。

3.3 LID 技术多元化应用

以 LID 模式技术措施为代表的一大类“绿色、生态、源头”的生态控制工程技术,不仅适用于新建项目,将其广泛应用于旧城改造、新农村建设、流域水环境治理方面,同样可得到良好的环境、社会、经济效益。

将 LID 技术应用于旧城改造,改进并加强旧城区原有基础设施的功能,必定会为生态城市建设提供有利保障。我国多年来粗放的城市化建设留下了不少问题,如城市内涝、热岛效应、城市及周边环境质量下降等,传统的城市雨水排放策略,完全割裂了水的社会循环与自然循环之间的关系。本着两个循环“多点耦合”理念,借用 LID 技术措施,充分利用旧城区零星地块进行雨水的下渗、蒸发,以改善旧城区下垫面环境,从而让城市最大限度的融于自然。多点耦合的措施简要介绍见表 6。

将 LID 技术应用于新农村建设。农村地区生态环境较好,大部分为可渗透地面,但面源污染较重,LID 措施因地制宜、源头控制、生态绿色、低成本、管理简单等特点非常适合在农村地区推广,不仅可以改善农村地区居民的生存环境,还能为面源污染治理提供坚强后盾。

表 6 多点耦合措施举例

多点耦合措施	特点
路牙石破 碎化处理	施工简单,节约道路绿化用水,促进雨水下渗、减小管道输水压力、对道路初期雨水有一定净化作用
地面可渗 透铺装	促进雨水下渗,充分利用土壤的自然净化功能,减小市政管道的输水压力,削弱城市暴雨洪峰
小区道路、广场、 停车场等的破碎 化处理	滞留、净化雨水,促进雨水下渗,增强观赏性
硬化河岸改为生 态堤岸(如图 2)	有效治理面源污染,增强水体的观赏性,恢复生物多样性



图 2 北京某小区生态堤岸(均由作者拍摄)

将 LID 技术应用于流域水环境治理。流域水环境治理一直是水污染治理的难题, LID 技术源头控制、分散管理的特点为全流域水环境治理提供了全新的思路: 对流域内土壤特性、水文地质情况、生态环境进行分类, 不同子区域根据自身特点, 采取相应的 LID 措施, 如土质利于下渗的地区以雨水源头下渗为主、地势低洼地区以水量调蓄为主、生态环境较好且地势较低地区以水质净化为主等, 这样各地区不仅解决了自身雨水管理问题, 也为流域水环境治理做出了贡献。

3.4 LID 效果数字化模拟

基于地理信息系统(GIS)的数字化模拟技术, 能够可视化的表达、模拟水文变化过程, 有效地为区域水资源管理、LID 模式前期设计提供数据支持, 将这一数字模拟技术应用

于 LID 雨水管理工程的前期决策设计, 增强其科学性和可行性^[22], 从而加快 LID 的推广和应用。

GIS 与数字模拟技术在我国起步较晚, 现在逐步应用于城市发展规划、城市给排水系统管理、城市雨水管理等方面。刘若愚利用 GIS 与数字模拟技术, 对以昭山乡为例的长株潭结合部进行了雨水利用系统规划研究, 通过对昭山乡降水时空分布特征、下垫面情况、人居水环境需求等基础信息的调查, 结合当地地理要素信息, 对昭山乡降水形成的地表径流、水体水位变化进行了模拟分析; 结合昭山乡水资源规划目标, 确定雨水规划布局, 包括即时水库缓冲保护带、截水沟、绿色水道、雨水下渗系统、用地类型规划等方面。通过实施这一雨水总体规划, 该地区在今后能够达到雨水资源化利用, 枯水年(年降水 1 000 mm)可利用雨水 $6.7 \times 10^7 \text{ m}^3$, 并由此指导产业布局, 减轻地区水污染状况; 并能调节地区气候, 改善当地自然和人居环境^[22]。

城市基础设施的数字化、信息化是未来城市基础设施管理的大趋势, 但数字模拟技术不仅需要较高标准的硬件软件做支撑, 更需要庞大、精确的数据做保障。我国目前还处于发展不均衡阶段, 这一高标准严要求的技术不可能快速大范围推广, 可根据各地财力状况分阶段实施(见图 3)。在采用 LID 模式的同时, 若能够注重地质、水质、土质、管道工程等资料信息的收集、整理和完善, 一定能够为将来整个流域水环境管理系统的数字化、信息化提供便利的条件, 节约不少人力、物力和时间。

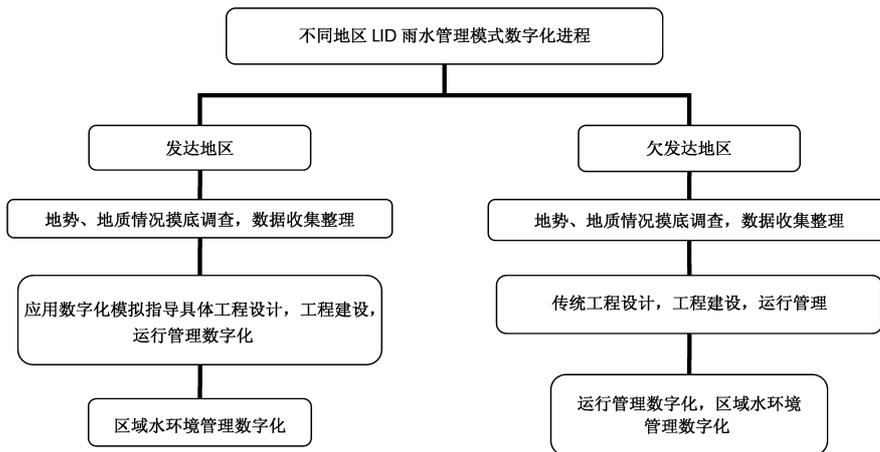


图 3 我国不同地区 LID 模式数字化进程

4 结 语

需要注意的是, 国内的专利保护制度还不太健全, 而 LID 雨水管理模式的推广离不开广大科研、设计、施工人员的发明创造, 借用 LID 模式中的“源头”理念, 对其在我国推广过程中的各类创新技术提供知识产权方面的“源头保护”; 在各类工程招标中优先选用具有自主知识产权的产品和技术, 必定会为我国绿色基础设施的建设、生态环保产业的发展奠定

良好的基础。

中国地形复杂, 气候迥异, 每个地区在雨水资源利用方面都面临不同的问题, 很难用几个典型工程案例涵盖。以可持续发展思想为主线、因地制宜采取合理措施为准则的 LID 城市雨水管理模式在中国应“遍地开花”, 每个地区都有自己的侧重点和亮点, 同时各个地区又在功能上联系紧密、互为补充。

参考文献:

- [1] 王建龙,车伍,易红星. 基于低影响开发的都市雨洪控制与利用方法[J]. 中国给水排水, 2009, 25(14): 6-9.
WANG Jianlong, CHE Wu, YI Hongxing. Research and progress of stormwater management models based on low-impact development [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(14): 6-9.
- [2] 李海燕,车伍,董蕾. 北京城市住区雨水利用适用技术选择[J]. 建筑科学, 2009, 25(12): 7-11.
LI Haiyan, CHE Wu, DONG Lei. Feasible rainwater harvesting technology selection in Beijing urban residential districts [J]. Building Science, 2009, 25(12): 7-11.
- [3] 李俊奇,向路路,毛坤,等. 北京城市住区雨水利用适用技术选择[J]. 中国给水排水, 2010, 16(10): 129-133.
LI Junqi, XIANG Lulu, MAO Kun, et al. Case study on rain garden storage-infiltration system for disposal of roof runoff [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(10): 129-133.
- [4] Auckland Regional Council. Auckland regional stormwater action plan-A coordinated approach to regional stormwater management and the delivery of improved stormwater quality outcomes [EB/OL]. (2010-7-15) [2012-7-21]. http://www.arc.govt.nz/environment/water/stormwater/stormwater_home
- [5] 何强,柴宏祥. 绿色小区雨水资源化综合利用技术[J]. 环境工程学报, 2008, 2(2): 205-207.
HE Qiang, CHAI Hongxiang. A technology of rainwater resource utilization in green residential districts [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(2): 205-207.
- [6] 师前进,何强,柴宏祥. 绿色建筑住宅小区节水与资源利用设计探讨[J]. 给水排水, 2008, 34(1): 77-79.
SHI Qianjin, HE Qiang, CHAI Hongxiang. Residential green building design of water conservation and resource utilization [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(01): 77-79.
- [7] 车伍,张伟,李俊奇,等. 中国城市雨洪控制利用模式研究[J]. 中国给水排水, 2010, 34(01): 77-79.
CHE Wu, ZHANG Wei, LI Junqi, et al. Study on patterns of urban stormwater management in China [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(16): 51-57.
- [8] Debo N T, Reese J A. Stormwater Management (Second Edition) [M]. London: CRC Press LLC, 2003.
- [9] Low impact design innovative grant programme 2008-2010 [EB/OL]. (2010-7-20) [2012-2-21]. <http://www.epa.gov/gate-way/science/sustainable.html>.
- [10] Wision and recommenrdations for a water sensitive city [EB/OL]. (2010-7-23) [2012-2-21]. www.watersensitvecities09.com.
- [11] 周晓兵. 城市景观规划设计中的雨水控制利用研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2009.
- [12] Incorporating low impact development into municipal stormwater programs [EB/OL]. (2010-11-15) [2012-2-21]. www.epa.gov/nps/lid.
- [13] 刘洋,李俊奇,车伍,等. 北京市城区雨水径流污染控制与节能减排[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(9): 93-96.
LIU Yang, LI Junqi, CHE Wu, et al. Stormwater runoff pollution control and energy saving of Beijing urban [J]. Environmental Pollution and Control, 2008, 30(9): 93-96.
- [14] Reducing stormwater costs through low impact development (LID) strategies and practices [EB/OL]. (2007-12-7) [2012-2-21]. <http://www.epa.gov/nps/lid>.
- [15] 2010-2011年绿色建筑案例[C]. 北京: 中国建筑科学研究院上海分院/天津分院, 2011.
- [16] 中国发展研究基金会. 中国发展报告 2010: 促进人的发展的中国新型城市化战略 [M]. 北京: 人民出版社, 2010.
- [17] 盛来运, 钟守洋. 中国统计摘要-2010 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [18] 张光莉. 多种生态护岸形式在堤防工程中的应用[J]. 广东水利水电, 2010, 10: 33-36.
ZHANG Guangli. The form of a variety of ecological revetment embankment project [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2010(10): 33-36.
- [19] 何跃. 公路绿化本土植物选择的思考 [C]. 全国山区公路环境与岩土工程学术会议论文集: 133-137.
- [20] 段碧华, 韩宝平, 陈之欢, 等. 北京郊区冷季型草坪草引种研究初报[J]. 北京农学院学报, 2002年1月: 13-17.
DUAN Bihua, HAN Baoping, CHEN Zhihuan, et al. Breeding and selecting of cold-season turfgrass varieties in Beijing suburb [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2002(17): 13-17.
- [21] 孙亚. 北京城市草坪草需水量研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [22] 刘若愚. 基于 GIS 上的长株潭结合部雨水利用系统规划研究——以昭山乡为例 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.

(编辑 郝洁)