



海绵城市建设 与黑臭水体综合治理 及工程实例

主 编 李冬梅
副主编 任 毅 杜青平

中国建筑工业出版社

海绵城市建设与黑臭水体 综合治理及工程实例

主 编 李冬梅

副主编 任 毅 杜青平



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

海绵城市建设与黑臭水体综合治理及工程实例/李冬梅主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-112-21336-8

I. ①海… II. ①李… III. ①城市建设-研究-中国
②城市污水处理-研究-中国 IV. ①F299.2②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 248817 号

本书内容共 12 章, 包括海绵城市建设的提出背景及其内涵; 海绵城市建设的途径; 海绵城市建设的基本要求; 我国海绵城市建设的经验成效; 黑臭水体治理的提出背景及内涵; 黑臭水体治理的技术方法及途径; 黑臭水体治理技术选择; 黑臭水体治理例析与经验成效; 海绵城市建设与黑臭水体治理的内在联系; 黑臭水体综合整治在“海绵城市”建设要求下的设计特点; 海绵城市建设与黑臭水体治理同步实施例析与经验成效; 海绵城市建设与黑臭水体治理存在的误区与建议措施。

本书适合从事黑臭水体治理和海绵城市建设的人员参考使用, 也可供相关院校大中专学生参考。

责任编辑: 张 磊

责任设计: 李志立

责任校对: 焦 乐 姜小莲

海绵城市建设与黑臭水体综合治理及工程实例

主 编 李冬梅

副主编 任 毅 杜青平

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 字数: 321 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-21336-8
(31041)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编 李冬梅

副主编 任 毅 杜青平

参 编 吴翠如 冯俊辉 程志华 梁金玲

谢 昱 黄 俊

作者简介

李冬梅，女，1972年生，湖南娄底人。现任广东工业大学土木与交通工程学院城市公用设备系主任，教授，硕士生导师。1999年4月至今，在广东工业大学从事给排水科学与工程、环境科学、环境工程专业的教学与科研工作，于2009年晋升为教授。第四批广东省“千百十”工程校级培养对象，是广东水处理产业技术创新联盟单位之一的负责人。受广东工业大学和国家留学基金委委派，分别在2011年和2014年赴丹麦Aalborg大学和美国加州大学进行2个月和12个月的访问研究。

研究领域：高效低能耗的水质控制理论与技术、环境友好高效水处理功能性材料研发、水污染控制与资源化利用、基于水环境生态治理的海绵城市生态建设、饮用水安全保障技术与工程示范、纳米材料与技术研发及应用等。近10年，主持国家自然科学基金2项、博士后科学基金1项、粤港关键领域重点突破招标项目（微污染原水处理及饮用水深度处理技术与装备）1项、广东省自然科学基金等省级项目5项；参与国家与省级项目6项；发表论文60余篇（SCI与EI收录10余篇）；已授权发明专利2项，实用新型专利4项；编写教材2本，参与专著译本1部；主持省级教改项目1项；指导校级与省级大学生“挑战杯”科技竞赛等，荣获奖项20余次，参赛人数达120余人；开设双语教学课程3门，PBL创新教学课程4门，是广东工业大学的“十佳授课”教师。

前 言

在城镇化的大背景下，城市地表径流量大幅度增加，引发洪涝积水、河流水系生态恶化、水污染加剧等严重问题，水环境污染和水系统生态退化已经成为我国水资源开发利用与水环境保护中最突出的水问题。

2013年12月的中央城镇化工作会议上，习总书记提出要大力建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”理念。2014年11月，住房和城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南》，提出海绵城市的建设要综合采取“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施，最大限度地减少城市开发建设对生态环境的影响。2015年8月，住房和城乡建设部发布《城市黑臭水体整治工作指南》，提出了黑臭水体治理的“控源截污、内源治理、生态修复”技术路线，大力推进黑臭水体整治和海绵城市建设。环保部环境规划院吴舜泽副院长在2015年4月17日的《新华访谈》中提过：《水污染防治行动计划》（简称“水十条”）中难度最大的可能就是城镇黑臭水体的治理目标。2016年12月，中央办公厅和国务院办公厅印发《关于全面推行河长制的意见》，以完善水治理体系和保障国家水安全。2017年5月，住房城乡建设部和国家发展改革委发布《全国城市市政基础设施建设“十三五”规划》，提出“加快推进海绵城市建设，实现城市建设模式转型；全面整治城市黑臭水体，强化水污染全过程控制；建立排水防涝工程体系，破解‘城市看海’难题”的目标和任务。2017政府工作报告如是说启动消除城区重点易涝区段三年行动，推进海绵城市建设，使城市既有“面子”、更有“里子”。

可见，河湖水系作为海绵城市的蓄水体，同时也是纳污主体。随着污染物不断稀释净化作用逐渐削弱，超过了河道水体自净界限，水污染已成为推进海绵城市建设的死结，河湖水体治理势在必行。

黑臭水体整治是海绵城市建设的突破口。它涉及控源截污、内源治理、生态修复以及其他方面。控源截污是本，必须把污染源切断；内源是标，最后恢复水道功能时要通过生态修复加以维持。因此海绵城市建设也有源头的削减、过程控制、系统治理，包含了黑臭水体的整治问题。黑臭水体依赖于海绵城市进行控源截污和内源治理。也就是说，海绵城市能够有效地控制黑臭水体的面源污染来源。

黑臭水体的治理不仅要在河流治理方面有明显成效，它还需要给城市 and 居民带来更加综合的生态环境效益。通过对河流的原始景观进行保存与修复，构建优美怡人的景观水体、增加城市绿空间、减少城市热岛效应、调节城市小气候、改善城市人居环境，同时也为更多的生物特别是水生动植物提供栖息地，提高城市生物多样性水平，最终建成生态型海绵城市。

本书在遵循住房和城乡建设部发布的《海绵城市建设技术指南》、《城市黑臭水体整治工作指南》、国务院“水十条”中提出的黑臭水体治理的明确目标，以及“十三五”规划提出的加快改善生态环境与水安全保障目标要求的基础上，力求全面地、系统地为读者阐

述三个方面的内容：一是海绵城市生态建设与城市河道生态治理的内涵、紧迫性和难点；二是海绵城市建设城市与黑臭水体综合治理的案例、方法与经验成效；三是海绵城市建设与黑臭水体综合治理的关系及常见问题分析、拟解决的措施与经典案例的实践成效。第一、二章由黄俊、任毅、李冬梅编写；第三、四章由谢昱、任毅、李冬梅编写；第五、六章由梁金玲、李冬梅、任毅、杜青平编写；第七、八章由吴翠如、李冬梅、任毅、杜青平编写；第九、十章由程志华、李冬梅、任毅、杜青平编写；第十一章由冯俊辉、李冬梅、任毅、杜青平编写。

本书受到国家自然科学基金、广东省自然科学基金、广东省质量工程教改项目等项目的支持，特此感谢。

本书可作为工科类高等学校学生教材，也可适用于设计院、科研院所等相关专业技术人员的参考工具书。

目 录

上篇 海绵城市建设

1 海绵城市建设的提出背景及其内涵	3
1.1 “海绵城市建设”理念的提出背景	3
1.2 海绵城市建设的内涵	4
1.3 中国特色“海绵城市”建设的重要性	6
2 海绵城市建设的途径	8
2.1 海绵城市与排水系统	8
2.2 海绵城市建设途径	11
3 海绵城市建设的基本要求	14
3.1 海绵城市建设的基本要求	14
3.2 海绵城市建设绩效评价与考核指标	23
4 我国海绵城市建设的经验成效	26
4.1 建筑与小区海绵城市建设例析——天津市中新天津生态城	26
4.2 市政道路海绵城市建设例析	30
4.3 公园与绿地海绵城市建设例析	39
4.4 城市广场海绵城市建设例析	45

中篇 黑臭水体治理

5 黑臭水体治理的提出背景及内涵	55
5.1 黑臭水体治理的提出背景	55
5.2 黑臭水体治理的内涵	61
5.3 中国特色黑臭水体治理的必要性	65
6 黑臭水体治理的技术方法及途径	69
6.1 产生原因及机理	69
6.2 黑臭水体治理的主要技术方法	69
6.3 黑臭水体治理的途径	75
7 黑臭水体治理技术选择	79
7.1 应急阶段	79
7.2 水质改善阶段	81
7.3 长效保持	87
8 黑臭水体治理例析与经验成效	91
8.1 黑臭水体综合治理例析	91

8.2 常见问题与解决措施	118
下篇 海绵城市建设与黑臭水体治理的关系	
9 海绵城市建设与黑臭水体治理的内在联系	129
9.1 海绵城市建设和黑臭水体治理的背景	129
9.2 城市黑臭河治理与海绵城市建设的相互关系	132
10 黑臭水体综合整治在“海绵城市”建设要求下的设计特点	135
10.1 分散性污染控制技术	135
10.2 集中性污染控制技术	149
11 海绵城市建设与黑臭水体治理同步实施例析与经验成效	159
11.1 同步实施案例	159
11.2 国内外经验	184
12 海绵城市建设与黑臭水体治理存在的误区与建议措施	189
12.1 海绵城市建设误区与建议	189
12.2 黑臭水体治理误区与建议	191
参考文献	194

上 篇

海绵城市建设

1 海绵城市建设的提出背景及其内涵

1.1 “海绵城市建设”理念的提出背景

虽然我国的淡水资源总量为 28000 亿 m^3 , 占全球水资源的 6%, 仅次于巴西、俄罗斯和加拿大, 名列世界第四位。但是, 我国的人均水资源量只有 2300m^3 , 仅为世界平均水平的 $1/4$, 是全球人均水资源最贫乏的国家之一。我国位于太平洋西岸, 地域辽阔, 地形复杂, 大陆性季风气候非常显著, 造成水资源在时间与空间上的分布很不均匀, 它与土地资源在地区组合上不相匹配, 呈现出“夏多冬少, 东多西少, 南多北少”的分布状态。

根据《2016 中国环境状况公报》, 在全国 1940 个地表水国控断面(点位)中, I~III 类、IV~V 类和劣 V 类水质断面分别占 67.8%、23.7%和 8.6%。6124 个地下水水质监测点中, 水质为优良级的监测点比例仅为 10.1%, 较差级与极差级的监测点比例高达 60.1%。工业化和城市的迅速发展, 使水污染危机加剧, 河道水系功能丧失, 城市水体黑臭, 断流干涸, 不少城市出现水质型缺水现象。

随着城市规模不断扩大, 人口在增加, 不少湖泊被填埋, 水资源越发紧缺。城市的硬质不透水路面比例显著增加, 水循环路径发生较大的变化, 雨水下渗量减少, 地表径流增加, 洪水流量增加, 洪峰形成时间缩短。加之过去的城市排水管网设计以“快速排除”和“末端集中”控制为主要设计理念, 难以应对城市内涝^[1]。正是在这样的一个城市状况下, 近年来极端气候现象频发。由于极端气候造成降水不均匀和局部降雨过强, 使得我国城市内涝愈发严重。比如: 2012 北京的“7·21”特大暴雨事件, 暴雨疯狂肆虐, 雨量历史罕见, 全市平均降雨达 190.3mm, 全市受灾人口达 190 万人, 其中 79 人遇难, 经济损失近百亿元; 2014 年惠州“5·16”暴雨事件, 几小时内市区多处遭水浸街, 低洼地方变成一片汪洋; 2015 年上海市“6·18”特大暴雨事件, 造成 20 多条段马路积水, 未能发挥作用的虹口港泵站一度加剧了虹口地区道路积水; 2016 年 1 月, 广州市第一场暴雨来袭, 几乎所有城区主干道都拥堵, 市内多个水浸黑点沦陷。其中位于白云区怡新路一处工地旁边的马路由于长期水浸, 突然“爆”开一道 50m 长且超过 1m 深的裂痕, 有些城市甚至出现“逢雨必涝、雨后即旱”的现象^[2]。暴雨引起的洪涝灾害不仅对城市水利、交通等造成巨大经济损失, 也对自然资源减少、环境污染和生态退化等造成难以估量的影响。这些问题已引起政府管理层的高度重视, 成为科研人员与技术人员关注的重要课题, 引起社会各界人士的广泛关注。

国际经验和实践表明, 在提升城市排水系统的运行能力时, 可以优先考虑把有限的雨水留下来, 更多地利用自然力量排水, 把自然和城市建设融合起来, 这对于控制面源污染、防治内涝灾害、提高雨水利用程度是有效的。美国、澳大利亚以及欧洲的城市建设和雨水利用实践, 为我们提供了很好的借鉴案例^[1]。这些国家提出了低影响开发、水敏性城

市设计、水资源综合管理等理念,在城市规划设计与建设中得到了很好的应用。澳大利亚研究人员提出了城市洪水、供水、排水、污水、雨水利用和中水回用系统治理的水资源综合管理软件系统工具包(IWM Toolkit),在悉尼波特尼地区应用后,通过模型计算和优化分析,市政供水需求减少 55%,污水向河流排放减少 80%,实现了节水、减排与防洪的综合目标,促进了悉尼的水环境改善^[1]。据美国波特兰大学“无限绿色屋顶小组”(Green roofs unlimited)对占地 723 英亩的波特兰商业区进行分析,将 219 英亩的屋顶空间——即三分之一商业区修建成绿色屋顶,可截留 60%的降雨,每年将保持约 6700 万加仑的雨水,可以减少 11%~15%的溢流量^[3]。

我国正面临水资源短缺、水质污染、城市内涝等一系列水危机,城市用水和水安全问题急需有效解决。为此,我国在新型城镇化建设和水生态文明建设的时代背景下,学习借鉴国外的先进知识和技术,综合我国城市化基本特征,提出了海绵城市建设理念。作为人与自然和谐共存,引导城市可持续发展的有效途径,海绵城市建设理念成为我国各级政府控制面源污染、防治内涝灾害、提高雨水利用程度的指导方针和战略目标,即城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水“释放”并加以利用。海绵城市建设应遵循规划引领、生态优先、安全为重、因地制宜和统筹建设的原则,将自然途径与人工措施相结合,在确保城市排水防涝安全的前提下,最大限度地实现雨水在城市区域的积存、渗透和净化,促进雨水资源的利用和生态环境保护^[4]。

1.2 海绵城市建设的内涵

1.2.1 广义的海绵城市建设

2014 年 10 月,住房和城乡建设部印发的《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》,明确海绵城市建设的核心是实现控污、防灾、雨水资源化和城市生态修复等综合目标。通过机制建设、规划调控、设计落实、建设运行管理等全过程、多专业协调与管控,保护和利用城市绿地、水系等空间,优先利用绿色基础设施,同时科学地结合灰色雨水基础设施,共同构建弹性的雨水基础设施,实现雨水径流的“渗、滞、蓄、净、用、排”,应对极端暴雨和气候变化,恢复城市良性水文循环,保护或修复城市的生态系统。

我国现阶段实施的低影响开发(LID)建设,多指狭义的 LID 建设理念,是指进入市政管道之前,在场地规模上应用一些源头分散式小型设施。这些设施主要有生物滞留(雨水花园)、绿色屋顶、透水铺装、植草沟、雨水桶设施等。主要针对中小降雨事件进行径流总量和污染物的控制,以年径流总量控制率及设计降雨量作为重要的控制目标 and 设计依据^[5]。

然而,狭义的 LID 设施对于大流域、特大暴雨事件的应对能力不足,涵盖措施也不够全面。任何一个大、中城市都面临径流污染、排水防涝、防洪减灾、水资源短缺等错综复杂的雨洪问题和严峻挑战。上述典型的基于狭义 LID 设施无法应对全部上述挑战。必须将雨水管渠、调蓄池等灰色基础设施考虑进去。即,这些具有绿色特征和生态功能的、符合

低影响开发理念的绿色基础设施加上排水防涝等灰色基础设施,就是《指南》所包含的广义的低影响开发概念和雨水系统。

1.2.2 以水科学为主体的海绵城市建设

当前,海绵城市建设多集中在雨洪系统方面。在海绵城市建设中强调的水科学体系主要包括“水生态、水安全、水环境、水资源、水文化”这五方面。

下面,从这五个方面阐述以水科学为主体的海绵城市建设内涵:

1. 从水生态的角度

保护现有的水生态系统和恢复被破坏的水生态系统是海绵城市建设的核心目标。通过科学合理划定开发边界和保护区域,最大限度地保护原有生态体系,维持城市开发前的自然水文特征。对传统粗放城市建设模式下已经受到破坏的城市绿地、水体、湿地等,综合运用物理、生物和生态等的技术手段,使其生态功能逐步得以恢复和修复,并维持一定比例的城市生态空间,促进城市生态多样性提升。

2. 从水安全的角度

在海绵城市建设过程中,应当重视水安全体系,应研究城市水污染、洪水、干旱的危害机理及安全调控,提升水安全保障能力。

3. 从水环境的角度

海绵城市建设的重要目标之一是解决城市面源污染问题。在建设海绵城市的同时,应研究海绵城市建设引起的水环境变化机理及其引起的水环境效应,进行水环境调查和评价,确立污染物控制指标。

4. 从水资源的角度

海绵城市建设所包括的低影响开发雨水系统、再生水系统等能够极大程度的缓解城市水资源紧缺的问题,实现水资源的高效利用。

5. 从水文化的角度

海绵城市建设是对城市文化、水文化的传承和创新,是生态文明建设的重要组成部分。因此,应大力发展海绵城市建设文化、挖掘工程建设的文化底蕴、开发水文化旅游景点。

“水生态、水安全、水环境、水资源、水文化”不是单独某一个水领域就能完成的,必须有污水系统、再生水系统、给水系统、雨水系统和水利系统等水领域内的广泛协同和配合^[6]。广义的海绵城市建设不应局限在雨洪系统,要从城市涉水领域更广的角度审视海绵城市建设。海绵城市的雨、污管网建设要求对直接排入水体的污染点源采取截污措施,完善污水收集系统;雨水系统的建设要求,是对初期雨水采取收集、初步净化并与再生水系统联合起来,实现中水回用的目标。综合考虑“水生态、水安全、水环境、水资源、水文化”这五个系统,减少了城市点源与面源污染,提高了水资源的利用率,控制污染水体向自然水体排放,推进了黑臭水体治理“控源截污”的目标。

在海绵城市建设热潮的今天,一定要明确海绵城市建设的核心,掌握城市给水系统、污水系统、雨水系统、内涝系统、防洪系统等客观规律、相互关系和它们在海绵城市建设中的位置和作用。针对不同流域、城市,以及项目的具体问题和条件,根据系统关系和轻重缓急,实现各种复杂情况下的有效衔接。不能借着海绵城市建设热潮随意创造“新概

念”、模糊系统关系、忽视重点和难点,造成不必要的混乱,影响海绵城市的可实施性、可操作性和目标的可达性。

1.2.3 多专业共同构建海绵城市

海绵城市建设一定需要多专业跨领域的协调配合,才能有效推进实施进程。因此,还需要从多专业、跨领域进行多角度审视,这是国内外城市雨洪管理领域的重要经验。除水专业外,海绵城市还涉及城市规划、土地利用、园林绿地、道路、生态等许多相关专业和领域。

城市总体规划作为顶层设计,在进行城市总体布局时,需明确海绵城市建设的总体目标及相关指标,编制海绵城市建设专项规划,对现有的城市各相关专项规划(如道路、绿地和水系统等专项规划)、控制性详细规划及修建性详细规划进行修编。同时,还需调整自身在具体施工方面上的不足,最终将海绵城市建设的理念、原则、方法及技术措施等内容分层纳入到各规划中。给水排水专业负责前期研究、总体目标和指标的确定及分解;规划专业负责协调与其他专业的关系和建设管控;道路园林等专业负责各指标的落实与详细设计等。

由于硬化道路和广场是降雨产生汇流的主要源头,因此,在设计构建海绵城市的具体方案时,建筑设计应与市政管网的竖向设计、园林设计相结合,实现源头减排。园林绿地是主要的“海绵体”,在消减其自身产流的基础上,还应接受来自周边地块的雨水,并与管网系统衔接,达到海绵城市建设要求。构建园林绿地系统时,还应与环境生态工程等专业结合,对绿地内植物进行规划设计。目前,在新型城镇化发展模式转型的大局和潮流下,与海绵城市建设相关的专业,需要有创新和变革的思维,克服存在的问题,弥补不足,拓展各自专业的功能,同时加强专业间的沟通和协作,共同应对城市化进程中产生的雨水问题及其水生态环境问题。长期的研究和实践充分表明,这一系列问题不是某一个专业单独面对的问题,也并非一个专业可以解决^[6]。各专业之间切不可“各自为政”和“相互冲突”。其实,从城市环境和生态等更高的角度和建成海绵城市的终极目标看,各专业在建成海绵城市的目标应当是一致的,需要互相理解、团结合作和相互融合,在海绵城市建设过程中遇到矛盾时需要协商,而不是画地为牢。

1.3 中国特色“海绵城市”建设的重要性

海绵城市建设是在生态文明建设背景下,具有中国特色的新型城市发展理念,国际通用术语为“低影响开发雨水系统构建”,指在城市开发建设过程中采用源头削减、过程控制、末端处理等多种手段,通过渗透、滞留、调蓄、净化、回用、排放等多种技术,控制面源污染、防治内涝灾害、提高雨水利用程度,实现城市良性水文循环^[8]。

我国人均淡水资源贫乏。但随着城市规模的发展扩大,人均需水量不断增加,匮乏的淡水资源仍不断被污染,呈现出水质型缺水状况,城市水资源危机日益严重。城市水安全作为国家安全战略的重要组成部分,亦是城市可持续发展的基本条件。因此,水资源危机成为政府急需解决的问题。

解决城市水资源危机有两条途径,一是增加水资源供给量,二是减少城市用水量。城

市用水量的减少只能是提高节约用水技术，这在工业用水和居民生活用水方面能产生一定的效果，对于城市生态用水和城市景观用水方面节约的潜力十分有限。在没有跨地区调水的情况下，某一城市区域水资源的供给量是一定的。只能通过调节城市中径流的时间分配，来增加城市水资源供给量。建设海绵城市，就是通过采取适当的措施调节城市径流的季节分配。在雨季，将可能造成洪涝灾害的地表径流量储存在城市水生态系统中，在缺水季节时再把蓄存的水释放出来，供城市经济社会系统或自然生态系统利用，解决当前城市水资源短缺的突出问题。

我国海绵城市建设的重大意义，在于能够“弹性”适应环境变化和应对自然灾害。近年来，极端气候频发。由于极端气候造成降水不均匀和局部降雨过强，使得我国暴雨洪涝灾害愈发严重，直接造成经济损失和人员伤亡。城市发生内涝，一般是由于城市地下排水系统落后于城市建设。但从根源上说，是城市建设和建筑改变了地表径流量，增加了地下管网的负担。通过海绵城市建设，能有效控制地面径流量，使城市排水对地下管网的建设要求相应变低，从而有效缓解城市内涝，保障城市安全。海绵城市建设改变了城市粗放型的发展模式，通过对城市原有生态系统的保护、生态恢复和修复及低影响开发，逐步恢复城市自然的“海绵”功能，为居民营造一种更加宜居的生态环境。

建设海绵城市，还可以带来综合生态环境效益。比如，通过城市植被、湿地、坑塘、溪流的保存和修复，可以明显增加城市的“蓝”、“绿”空间，减弱城市热岛效应，改善人居环境。同时，为生物提供栖息地，提高城市生物多样性。

2 海绵城市建设的途径

2.1 海绵城市与排水系统

2.1.1 海绵城市与低影响开发雨水系统

狭义的低影响开发雨水系统（Low Impact Development, LID），是指在场地开发过程中采用源头、分散式措施维持场地开发前的水文特征，也称为低影响设计（Low Impact Design, LID）或低影响城市设计和开发（Low Impact Urban Design and Development, LIUDD）。如图 2-1 所示，LID 系统的核心是维持场地开发前后水文特征不变，包括径流总量、峰值流量、峰现时间等^[4]。1990 年由美国马里兰州乔治王子郡环境资源署首次提出该理念。

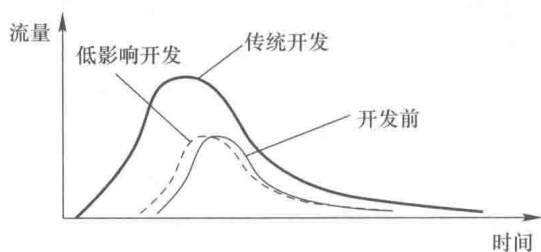


图 2-1 低影响开发水文原理示意图^[4]

近些年低影响开发理论在发达国家的应用实例表明，LID 设计通常是在雨水进入市政管道之前，充分利用场地上一些源头分散式小型设施进行径流总量和污染物的控制。这些小型设施主要有生物滞留（雨水花园）、绿色屋顶、透水铺装、植草沟、雨水桶等，主要针对中小降雨事件进行径流总量和污染

物的控制，以年径流总量控制率及设计降雨量作为重要的控制目标和设计依据^[5]。另外，在干旱少雨、水资源匮乏和地下水过量开采地区，如何收集和储存雨水也格外重要。因此，LID 概念内涵得到了进一步的拓展。在水量控制（雨水收集）以及水质控制（水质净化）的基础上，进一步纳入了雨水的资源化利用这一理念。因为雨水资源化利用的同时，LID 能减少对环境水体的污染，并能减少对淡水资源的使用和地下水资源的开采。也因此减少了人为活动对于自然水资源的干扰，依靠水生态系统的自我调节能力达到水生态修复的目的。同时，雨水的源头下渗、收集和蒸发同样能减少进入污水处理厂的水量，从而降低其运行负荷、能源消耗以及产生的气体污染物，最终实现区域良性水文循环。

2.1.2 海绵城市与城市雨水排水系统

与发达国家相比，我国大部分城市土地开发强度普遍较高。按照国际惯例，一个地区的国土开发强度达到 30% 已经是警戒线。超过该强度，人的生存环境与生态环境就会受到影响。发达国家人口密度小，土地开发强度较低，绿化率较高。例如，英国伦敦的开发强