# 国外低影响开发雨水资源利用对中国海绵城市建设的启示

米文静[1,2], 张爱军[1], 任文渊[1]

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 商洛学院 城乡规划与建筑工程学院, 陕西 商洛 726000)

**摘　要**: [目的] 研究美国、英国、德国、日本、新加坡和澳大利亚的低影响开发雨水资源利用情况,为中国海绵城市建设在管理、技术等方面提供一定依据。[方法] 通过调查研究,从政策法规、应用技术、管理体系、公众意识等方面系统地梳理国外低影响开发雨水资源利用经验,并结合国内实际,探讨促进中国海绵城市建设发展的建议。[结果] 针对目前中国海绵城市建设遇到的城市内涝、缺水及生态环境问题,可从制定和完善相关政策法规,加强先进技术的研发和应用,创新融资渠道、优化管理体系,提升公众意识等方面进行改进。[结论] 合理借鉴国外已经成熟的低影响开发雨水资源利用经验,能够更好地推进中国海绵城市建设。

**关键词**: 国外; 低影响开发; 雨水资源利用; 海绵城市

**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-288X(2018)03-0345-08　　**中图分类号**: TV213.4

**文献参数**: 米文静, 张爱军, 任文渊. 国外低影响开发雨水资源利用对中国海绵城市建设的启示[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 345-352. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.056. Mi Wenjing, Zhang Aijun, Ren Wenyuan. Oversea utilization and development of urban rainwater resources with low impact and its implications for construction of sponge city in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 345-352.

# Oversea Utilization and Development of Urban Rainwater Resources with Low Impact and Its Implications for Construction of Sponge City in China

MI Wenjing[1,2], ZHANG Aijun[1], REN Wenyuan[1]

(1. *College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 2. *College of Urban, Rural Planning and Architectural Engineering, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi* 726000, *China*)

**Abstract**: [Objective] To study oversea utilization of urban rainwater resources with low impact development (LID), such as in United States, United Kingdom, Germany, Japan, Singapore and Australia, in order to provide support for the development of management and technology on the construction of sponge city in China. [Methods] According to the literature review, this paper firstly analyzed the oversea experiences on LID in terms of government policies and regulations, application technologies, management system and public awareness. Then, suggestions for promoting the construction and development of sponge city in China were proposed based on the practical domestic situation. [Results] To solve the problems of urban waterlogging, water shortage and poor ecological environment during the construction of sponge city in China, we proposed a series of solutions, including making and improving relevant policies and regulations, strengthening the research development and application of advanced technologies, creating new financing resources, optimizing the management system and improving public awareness. [Conclusion] The results indicate that successful cases and experiences from oversea can greatly promote the construction process of sponge city in China.

**Keywords**: **oversea; low impact development; rainwater resources utilization; sponge city**

**收稿日期**: 2017-12-25　　**修回日期**: 2017-12-29

**资助项目**: 陕西省重点研发计划项目"湿陷性黄土地区海绵城市路用透水性结构研究与应用"(2017ZDXM-SF-074)

**第一作者**: 米文静(1985—),女(汉族),新疆维吾尔自治区伊宁市人,博士生,讲师,主要从事水利工程学研究。E-mail: miwenjing@nwsuaf.edu.cn。

**通讯作者**: 张爱军(1964—),男(汉族),山西省阳高县人,博士,教授,主要从事岩土工程学研究。E-mail: zaj@nwsuaf.edu.cn。

随着人类的进步和城市进程化发展，不透水的灰色基础设施急速增加，破坏了雨水入渗，阻断了降雨对地下水的补给，导致产流增加，洪水灾害频发；人类对城市地下水的大量开采，传统的雨水“快排”模式又将雨水直接排放，地下水不能得到补给，导致城市地下水漏斗问题日趋严重。灾害的频发及城市地下水资源的缺失，使人们愈发对低影响开发雨水资源利用引起关注和重视。国外对低影响开发雨水资源利用技术起源较早，第一届国际雨水集流大会于1982年在夏威夷召开，会上成立了国际雨水集流系统协会专门研究雨水资源开发和利用等问题[1-2]。针对雨水资源开发和利用，美国、英国、德国、日本、新加坡和澳大利亚等国已经具备了丰富的管理经验，形成了较为完善的理论和技术，而在中国以及其他部分发展中国家仍处在初步利用或示范阶段[3-4]。本文从中国实际出发，借鉴国外低影响开发雨水资源利用经验，探索中国特色的低影响雨水资源利用经验模式，对于中国海绵城市建设及城市可持续性发展，具有重要的实用价值。

# 1 国外低影响开发雨水资源利用情况

## 1.1 美 国

美国的水资源利用管理起源较早，且一直处于领先地位。最早的水资源管理制度可以追溯到1901年的《联邦水法》，其后于1902年成立垦务局；1928年颁布了《防洪法》；1965年出台了《水质法》，规定各州水质标准的措施；1972年出台的《清洁水法》提出了用排放限值来控制水资源污染浪费的方法。此后，佛罗里达州等制定了低影响开发的管理条例，规定新开发区域的洪峰流量不能超过开发前的水平，且必须具备雨水蓄集设施；美国在《未来的水政策》中提出要减少水损失，提倡高效率用水[5-6]。1987年《清洁水法》修正案首次提出了雨洪最佳管理措施(best management practices, BMPs)，即依靠雨水塘、雨水湿地、渗透池等措施蓄积雨水，同时控制径流污染。1990年，马里兰州乔治王子郡环境资源署提出了低影响开发的理念(low impact development, LID)，LID是指结合生态化措施，从源头控制维持城市水文循环。

美国对雨水资源利用强调生态和低影响开发，一方面减少公共雨水管道的雨水排入量，另一方面控制雨水径流的污染。美国的低影响开发技术不仅能够集蓄雨水，减轻暴雨对城市的影响，提高雨水资源利用效果，还能有效控制污染，具有良好的经济效益，目前已在加拿大、欧洲、亚洲等地区广泛应用[7-9]。

美国的雨水资源管理涉及联邦政府机构、州政府机构、地方政府机构，在联邦政府的统一领导下，分工协作，相互配合。

## 1.2 英 国

英国是城市内涝影响较为严重的国家之一。强降雨是引发英国城市内涝的重要原因，英国传统的排水系统是尽快将雨水从落地点排至水道或渗水坑，传统的排水系统会增加下游发生洪水的风险，也造成了雨水资源的浪费，同时，污染物质随同雨水一同排放会造成环境污染。2007年英国发生了重大洪水，随后，英国政府组织调查，发布了《皮特调查：从2007年洪灾中吸取的教训》，报告中建议“改革传统排水系统、推广可持续排水系统”，2009年4月，英国成立“洪水预报中心”，建立广泛的洪水预警体系；2010年4月，英国颁布了《洪水与水管理法案》规定了洪水预防和治理的措施及要求，法案对新建设项目提出了必须使用“可持续排水系统”的要求[10]。

英国为解决洪涝、污染和提高雨水利用率，建立了可持续城市排水系统(sustainable urban drainage system, SUDS)。伦敦世纪圆顶的雨水收集利用系统每天可回收500 $m^3$ 水，其中100 $m^3$ 为屋顶集雨系统收集的雨水，这些水一部分用来冲洗厕所等，多余的雨水经过24个专门设置的汇水斗进入地表水排放管中[11-13]。SUDS对雨水资源进行了充分的利用，维持了良性水循环，提高了径流的水质，降低了城市洪水发生的概率，使排水系统与环境、生态自然融合，此外，SUDS具有较大的经济效益，实践表明其费用较传统排水系统最多可节约2/3。

英国雨水资源的监督管理部门主要是环境署和水服务办公室。环境署负责监管水资源的开采和雨水排放等，水服务办公室主要负责维护居民的利益，解决负责水质、水价等问题。

## 1.3 德 国

德国是国际上雨水管理最为先进的国家之一。德国水资源充沛，且极力主张广泛进行雨水利用，十分注重水资源管理。最早以联邦水法、建设法规和地区法规来规范水资源的可持续利用，自20世纪80年代开始，德国开展了雨水收集利用的研究和应用，1988年，德国汉堡颁布了对建筑的雨水资源利用系统给予资助的政策，1989年，制定了屋面雨水利用设施标准，1990年，德国发布了“对未受污染雨水的分散回灌系统的建设和测量”[14]。目前德国已经形成了完善的法律法规体系及先进的雨水资源利用技术体系和管理手段。

德国雨水资源利用管理实施“雨水费”制度，规定无论是私人还是公有建筑，设置有集雨设施的用户可

减免或优惠雨水费,向下水道直接排放雨水的需按房屋的不透水面积缴纳 1.84 欧元/$m^2$ 的雨水费。德国法律规定,收集的雨水必须经过处理,达到排放标准要求才可排出,对于新建或改建的建筑,必须采取雨水利用措施,才能予以立项,同时,政府积极帮助和鼓励公民使用雨水集蓄设备,对购买蓄水装置的家庭给予一定补贴,并通过多种手段,宣传、普及雨水利用的方法和积极意义[15-16]。

作为世界上拥有较为先进的雨水资源利用技术的国家之一,德国的雨水资源利用技术融合了资源利用、城市景观建设、城市环境和生态建设。目前,德国的城市雨水利用技术正在由标准化、产业化向综合化方向发展。德国现行的雨水资源利用形式主要有 5 种:一是屋面雨水利用。通过屋面集蓄系统收集到的雨水主要用于生活和工业用水。如慕尼黑新机场的屋顶设置有雨水收集设施,将雨水收集后一部分用于机场的非饮用用水,剩余部分通过管道排入排水系统,保证了雨水顺利排放、入渗,维持了原水量和水质的平衡。二是雨水屋顶花园利用。这是一种消减城市暴雨净流量、控制非点源污染和美化城市的重要途径,可以作为雨水继续利用的预处理措施,也可以调节建筑温度、减轻城市热岛效应和美化城市环境。三是道路雨水截污与渗透。在城市道路雨水收集管道口设置拦污挂篮设施,用以拦截杂物,控制污染,雨水通过排水道排入蓄水池中。先进的排水系统,可将雨水和污水分开排放,并分别加以处理与利用,目前德国城市道路透水路面面积达 80%以上。四是生态小区雨水利用。利用生态小区雨水利用系统将雨水利用与景观设计相融合,实现人与生态的和谐统一。五是一种较新的雨水处理系统—"洼地—渗渠系统"。在德国,该系统用于处理低洼草地和渗渠中的雨水,一方面降低暴雨径流,另一方面可以补给地下水,使城市水文生态系统良性循环[17-18]。

德国的雨水资源利用由水务局负责管理,全社会共同监督。此外,与水有关的供水、污水等均由水务局统一管理,此种管理模式,可有效提高管理效率。

### 1.4　日 本

由于地理环境制约,日本淡水资源相对短缺,政府对雨水资源的收集和利用十分重视。20 世纪 50—70 年代,日本为满足工业发展的需要,大兴水利,对水资源重开源、轻节流,轻污染,造成了地面下沉、污染严重的局面;20 世纪 80 年代起,日本转变了思路,1980 年推行了雨水贮留渗透计划,1988 年成立了"日本雨水贮留渗透技术协会",1992 年颁布了"第二代城市下水总体规划",将雨水收集利用设施作为城市规划建设的重要部分,规定新建和改建的大型建筑需设置雨水蓄排设施。2000 年,日本制定了新的《全国综合水资源计划》构建可持续的用水体系[19]。此外,日本为激励居民收集利用雨水,对设置集雨设置的家庭和企业给予一定补贴。

日本雨水资源利用设施包括建在商场、运动场等公共设施下,均具有调蓄雨洪的大型地下水库;连通低洼地区雨水的地下河;建在透水性路面下的渗水井;地处低洼区域修建的排水泵站;城市区域修建的兼具景观、运动、休闲等功能的雨水调节池等。位于日本东京都墨田区的运动场馆两国国技馆是日本大型公共设施利用雨水资源的典范,国技馆的屋面雨水利用设施最多可收集 1 000 $m^3$ 雨水[20-21]。

日本的水资源规划管理由国土厅负责,建设省、环境厅等部门及各级行政共同协商执行。

### 1.5　新加坡

新加坡地处南亚次大陆西边海湾,暴雨频发。但是,联合国世界水资源发展报告公布的世界人均水资源拥有量排名,新加坡排名 171,年人均拥有可再生水资源 149 $m^3$。为了解决洪水与淡水资源缺乏问题,新加坡政府实施了一系列成效显著的政策措施。

新加坡建立了低影响开发的雨水资源利用集水区计划。新加坡公用事业管理局先后建立了 14 个水库收集附近区域雨水,新加坡集水系统供水量达到城市总供水量的 30%以上。1977 年,新加坡开始规划整治河道,同时改造了市政管网,实现了雨污分离。目前,新加坡具有先进的雨水排放系统,可以经受数小时的连续高强度降雨,雨水通过地表和地下收集后,一部分蓄积在水库中,超出量直接排入大海[22-23]。

新加坡的水资源由新加坡公用事业管理局负责,具体业务由水务署负责。新加坡的水资源管理采用政府、公众、企业共同管理水资源的管理模式,企业和组织机构承担某水库或者某河道的日常维护工作。该管理模式有效的节约了管理成本,同时增强了社会的环保意识。新加坡公用事业管理局 2006 年推出"活跃、美丽、清洁"水源计划("ABC"计划)清淤疏浚,美化环境。目前,全岛已有 34 条水道成功改头换面,既可收集雨水,也能供居民休闲娱乐[24-25]。

### 1.6　澳大利亚

澳大利亚是世界最早开展水资源可持续管理的国家之一,早期,澳大利亚主要是通过收集雨水并加以利用,来减少地下水的开采量,同时大量补充地下水。澳大利亚具有较为完善的管理制度作为支撑,如《雨水排放许可制度》减轻了国家的面源污染,《雨水管理和再利用的国家导则》提高了雨水资源利用率,也降低了雨水的污染,《雨水收集器使用标准》使雨水

收集利用过程统一、规范[26-27]。

2012年，水敏感性城市设计(water sensitive urban design, WSUD)应运而生，水敏感性城市设计以“水—环境—社会”和谐为理念，包含了可持续水管理与城市规划设计中交互式的因素，水敏感性城市设计的目标是将城市的发展对水环境的影响降到最低，其主要任务是雨洪控制、水质控制，雨水资源再利用[28-29]。此外，澳大利亚的雨水生态过滤系统已非常成熟，它是对植物洼地系统进行改造，通过具有特定渗透系数和有机营养含量的特殊土壤介质增强雨水的渗透，该技术彰显了“绿色”、可持续的特点，已纳入到道路景观、建筑设计中[30]。

澳大利亚的水资源管理为区域管理和流域管理相结合的体系，管理机构分联邦、州和地方政府三级，联邦政府的水资源管理委员会主要负责全国水资源的规划及国家性政策的制定等，州政府主要负责本州水资源利用法规的制定及居民取水许可证的发放，地方政府的水管局主要任务是对上级政府颁布的制度、政策进行执行。

美国、英国、德国、日本、新加坡、澳大利亚的低影响开发雨水资源利用情况不尽相同，各有特点。结合上述从法律体系、技术、管理等方面举措的分析，提出中国海绵城市建设可借鉴的管理措施和管理机构(见表1)。

**表1 美、英、德、日、新、澳等国可借鉴的雨水资源利用管理措施及管理机构**

| 国家 | 可借鉴雨水资源利用管理措施 | 水资源利用管理机构 |
|---|---|---|
| 美国 | 用排放限值控制水资源污染浪费，各州制定低影响开发管理条例 | 联邦政府机构、州政府机构、地方政府机构 |
| 英国 | 新建设项目必须使用“可持续排水系统” | 环境署和水服务办公室 |
| 德国 | 实施“雨水费”制度；收集的雨水必须经过处理，达到排放标准才可排出；新建或改建的建筑采取雨水利用措施才能予以立项 | 水务局 |
| 日本 | 对设置集雨设置的家庭和企业给予一定补贴 | 国土厅 |
| 新加坡 | 政府、公众、企业共同管理水资源，由企业和组织机构承担某水库或者某河道的日常维护工作 | 公用事业管理局 |
| 澳大利亚 | 以完善的管理制度作为支撑，相关制度包括《雨水排放许可制度》《雨水管理和再利用的国家导则》《雨水收集器使用标准》等 | 区域管理和流域管理相结合，分联邦、州和地方政府三级管理 |

## 2 中国海绵城市建设现状

### 2.1 海绵城市的背景

随着城市化进程加快，中国城市面临内涝、缺水、污染、生态恶化等诸多问题，雨水资源没有合理的利用是引发问题的首要原因。雨水不能有效的排放，将导致城市内涝。据住建部资料显示，2007—2015年，中国超过360座城市遭遇内涝。将雨水快速排放，不仅造成雨水资源浪费导致城市缺水，还会使氮、磷等有机物排放引起污染[31]。雨水资源不能有效存储、利用，使缺水问题日益严重，目前全国600多个城市中有2/3供水不足，其中1/6严重缺水。

城市环境问题逐渐受到关注和重视，2011年两会期间，全国人大代表提出了建设海绵体城市的提案；2012年4月，以“绿色环境与能源”为主题的《2012低碳城市与区域发展科技论坛》上，海绵城市的概念被首次提出；2013年12月，习近平总书记在《中央城镇化工作会议》讲话中强调了海绵城市建设要提升城市排水系统，优先考虑雨水的集蓄；2014年2月，《住房和城乡建设部城市建设司2014年工作要点》推进了海绵城市建设的步伐；2014年10月，颁布了《海绵城市建设指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》，对海绵城市建设规划、设计、工程建设、维护管理做了具体要求；2014年12月，下发了《关于开展中央财政支持海绵城市建设试点工作的通知》，对海绵城市建设试点给予专项资金补助[32]。

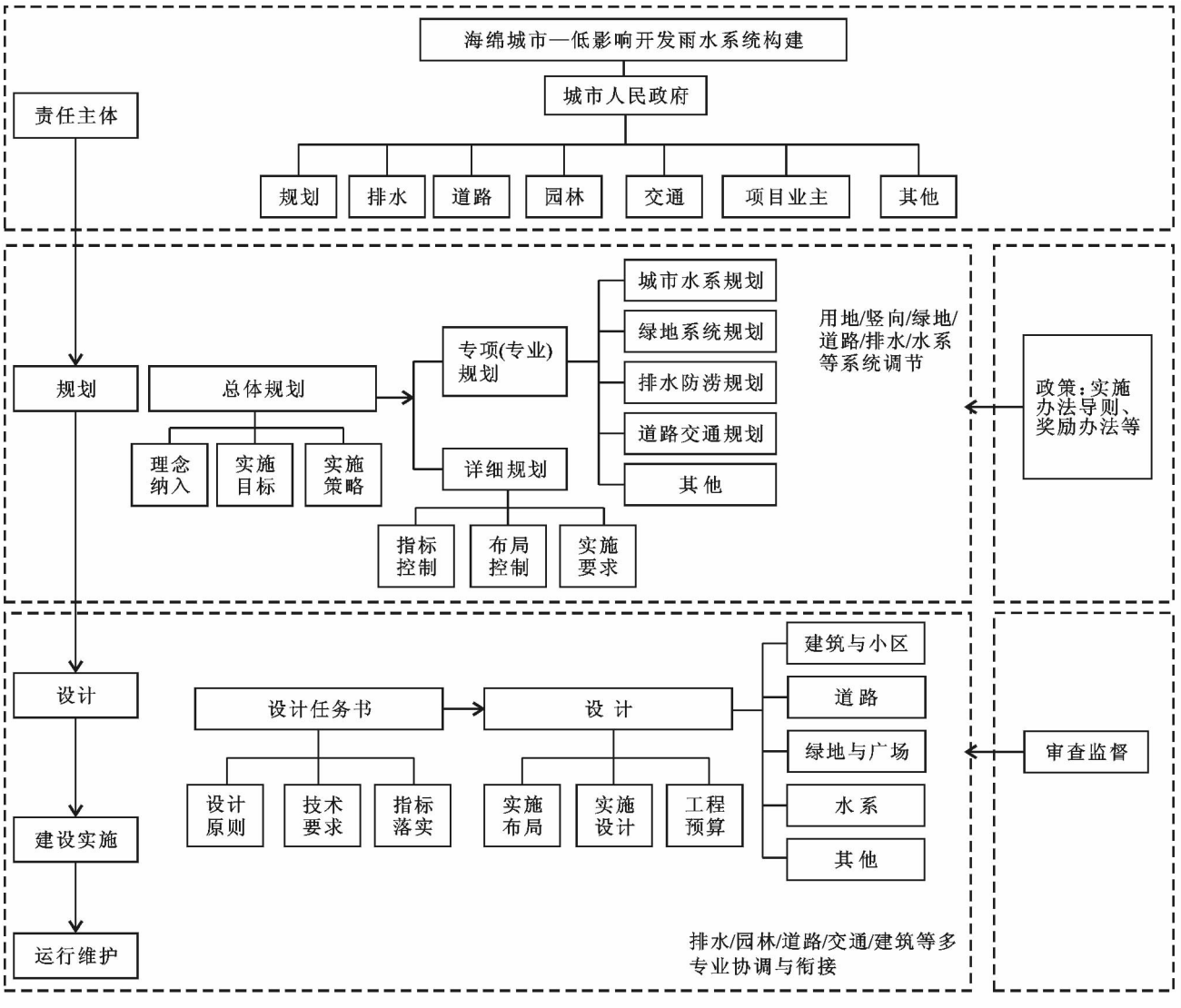
2015年3月，经竞评，迁安市、西咸新区等16个城市和地区成为海绵城市首批建设城市；2016年3月，财政部、住建部、水利部联合启动了2016地下综合管廊和海绵城市建设试点城市的申报工作，福州等17个城区参评，其中排名在前14位的北京、天津等市区成为2016年中央财政支持的海绵城市建设试点；2017年7月，住房城乡建设部印发《关于将上海等37个城市列为第二批城市设计试点城市的通知》，确定上海、延安等37个城市和地区列为第2批城市设计试点城市[33]。

### 2.2 海绵城市的特征及内涵

海绵城市是指城市能够像海绵一样，在面对气候环境变化时具有一定的“弹性”，下雨时“吸收、存蓄、渗透、净化”，缺水时“释放”，海绵城市建设遵循顺应自然的低影响开发模式，自然积存、自然渗透、自然净化。

中国传统的雨水管理系统是直接排放，造成了水资源的浪费，此外，中国排水管路系统并不发达，

面对特大暴雨及持续降雨等突发情况,会造成城市内涝。同时,雨水中的氮、磷等有机物及有毒物质直接排放将对环境造成污染。海绵城市改变了传统的排水系统,将管道排水变为生态治水,其建设内容是运用低影响开发的措施建设城市生态环境,对被破坏的水体等自然环境予以修复和保护,其具体的构建系统见图 1。




注:内容摘自《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)》。

**图 1　海绵城市——低影响开发雨水系统构建途径示意图**

"海绵城市"涵盖理念、功能、技术、管理等几个方面:城市水功能协调,主要体现在城市生活、工业、农业、灌溉、环境等用水能够得以满足,城市吸水、排水协调;城市水节约高效主要体现在城市用水重视雨水收集、净化、利用等技术的应用,有效提高节水效率;城市水环境优美主要体现在城市水资源管理遵循人水和谐理念;城市水管理完善主要体现在健全的水资源管理制度和法律体系等。

## 3　国外低影响开发雨水资源利用对中国海绵城市建设的启示

中国海绵城市建设处于示范阶段,雨水资源利用管理相关法律法规尚不健全;雨水资源利用的理念和技术多限于雨水存储,没有与生态环境有机的联系,没有形成体系;管理体系不完善;公众缺少雨水利用意识。借鉴国外已经成熟的低影响开发雨水资源利用经验,能够更好的推进中国海绵城市建设。

### 3.1　制定和完善海绵城市建设的政策法规及制度

(1) 进一步完善雨水资源利用管理法律法规。为了推进海绵城市建设,住房城乡建设部办公厅于 2015 年 7 月印发了《海绵城市建设绩效评价与考核办法(试行)》(建办城函〔2015〕635 号),规定绩效考核以实地考察、查阅资料、监测数据分析相结合的方式分城市自查、省级评价和部级评价 3 个阶段考核,

考核指标分为水生态、水环境、水资源、水安全、制度建设及执行情况、显示度6个方面，但部分指标要求有待于进一步明确，如雨水资源利用率要求雨水收集总量与年平均降雨量的比例达到各地根据实际确定的目标。海绵城市建设的主要目标是雨洪管控和污染控制，目前中国尚未出台专门的雨水资源利用管理的法律法规。将海绵城市低影响开发的理念融入到法律法规等政策性文件中，制定全国性的、具体的、专门的雨水资源利用管理法律法规，将对雨水资源利用及海绵城市建设起到积极的作用[34-35]。建议有关法规增加相关条款，规定新建、改建的建筑物需设置雨水集蓄设施方可报批，低影响开发技术要应用在各类建筑工程项目的设计、施工、使用的全过程。

(2) 法律法规中制定经济激励和惩罚的规定。《关于开展中央财政支持海绵城市建设试点工作的通知》提出了海绵城市试点工作开展绩效评价，评价结果好的按中央财政补助资金基数给予10%的奖励，具体绩效评价办法及雨水收集奖励和违规排放处罚的办法尚未出台[36]。建议建立经济杠杆调控制度，根据建筑是否设有雨水积蓄处理设施及所在区域径流总量控制是否达标，给予一定的奖励或处罚措施，设置有雨水利用设施且径流总量控制率达到标准的实施减免水费或给予经济补贴，否则，收取相应的雨水排放费用。

(3) 进一步完善考核评估制度。考核评估是检验海绵城市建设成效的重要手段，现阶段已有的考核制度《海绵城市建设绩效评价与考核办法(试行)》从宏观的角度对水生态等6个方面的18项指标做出了要求，各指标要素的定量评价考核方法并未明确提出，给各市的具体实施工作带来难度。进一步完善海绵城市考核评估制度，建立定量与定性相结合的核心指标体系，增加实施细则和指南，将信息化建设运用于考核评估，建立科学合理的监测、考核、评估体系对中国海绵城市建设具有积极的意义[37-38]。

### 3.2 加强低影响开发技术的研发和应用

(1) 建立全面的技术体系。低影响开发技术按主要功能不同，可分为渗透、储存、调节、转输、截污净化等，其设施主要包括透水铺装、生物滞留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地、植草沟、植被缓冲带等。海绵城市建设是一个长期、复杂的过程，涉及规划、设计、施工、测评、使用、后期维护等环节，做好科学、合理的顶层设计，建立包含建设全过程的技术体系可以为海绵城市建设提供强有力的技术支持。

(2) 因地制宜，系统推进。中国幅员辽阔，城市水背景差异较大，南北方海绵城市建设思路及技术选择有所不同，北方城市降雨量小，蒸发量大，如何产生并集蓄更多的雨水资源是关键问题，南方城市径流丰富，易发生内涝，如何有效地集蓄利用雨水资源是需重点考虑的问题。以西宁市为例，西宁市具有水资源不足，降雨少的特点，在海绵城市建设方面西宁结合实际提出了“润城必先理水，理水必先治山”的理念，推行了规建合一、控管结合的体制机制和半干旱缺水型海绵城市建设的“西宁模式”。嘉兴市具有径流丰富的特点，其在试点区域完成了31个建筑与小区海绵化改造项目，海绵城市最明显的成效是解决了积水问题。各试点城市应充分做好本地区调研工作，根据本地区的气候、水文、环境、经济等因素，结合《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》和国外先进的理念和技术，合理选择兼具经济性和实用性的低影响开发技术或其组合系统。

(3) 积极提升技术水平。目前，中国海绵城市建设已研发出多种新型材料及结构类型，如兼具隔离、排水、加筋、净化功能的透水铺装材料有海绵蜂巢加筋系统、高分子塑料模块、透水无纺布、海绵渗排水席垫等，能够用于绿色屋顶、车库顶板绿化的无纺布、土工网、凸壳排水板等新材料，以及不同功能的雨水花园结构。但中国低影响开发技术起步较晚，部分研发相对滞后，如中国西北华北地区黄土分布广泛，目前的透水铺装设施尚未解决路面透水与黄土地基具有湿陷性的技术矛盾，此外，城市数据信息监控、收集和应用等技术尚不成熟。全面采用调查研究、介质试验、在线监测、模型模拟、大数据等多种措施，注重新理论、新材料、新技术、新方法的应用与创新，对海绵城市建设的理论和技术的提升具有积极的意义[39-41]。

### 3.3 创新融资渠道，优化管理体系

(1) 创新融资渠道，开展PPP模式。按照海绵城市试点中央财政专项奖补标准，每个试点奖补标准为4～6亿元，预算分析显示，海绵城市建设成本，每1 $km^2$约1～1.5亿元投入，以地方投资平台借债的方式满足资金需求违背海绵城市建设带动经济增长的目的。PPP模式采用政府与社会资本合作的融资模式，可以有效解决政府财政建设资金不足的问题，同时推进第三产业的发展，促进地区与区域之间的经济合作，提升财政公共服务绩效水平，强化城市公共服务设施和社会基础设施建设。目前广西壮族自治区南宁市海绵城市试点率先采用PPP项目模式，效果明显[42]。

(2) 协调好复杂关系，优化管理体系。雨水资源利用管理是一项系统的、复杂的工程，涉及法学、工学、理学、农学等多个学科的多个专业，如城市规划设

计、园林景观、道路、法律、植物学、农业等。海绵城市建设和雨水资源管理的效果受法律法规、技术设施、社会环境、自然环境、管理形式等多方面因素影响,做好海绵城市建设,需要构建体系,同时组织好各行各业的专家,协助主管部门共同做好研究、设计、开发、应用等工作。

(3) 多部门明确分工,形成联动工作机制。目前,中国城市雨水资源利用涉及城市建设、水利部门、环境保护、质量监督检查、建筑设计等多个部门,为了避免因多部门管理而造成的效率低下,建议各部门明确职责,合理分工,确定好组织单位、负责单位,各司其职,形成协调、联动机制,提高雨水资源利用管理效果[43-45]。

### 3.4 转变传统观念,提升公众的雨水管理和利用意识

(1) 转变城市建设传统观念,建立低影响开发模式。传统观念里,雨水会导致洪涝,要快速排放,城市内涝和缺水的现状使旧观念发生了改变。海绵城市建设的理念强调了雨水资源的宝贵性和合理利用的重要性,海绵城市建设不能局限于收集、利用雨水资源,还应考虑生态、水循环等因素。《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》明确指出,海绵城市开发建设后,其水文特征要接近开发前,其建设开发要使城市内涝、水资源浪费、径流污染、生态环境恶化等问题得到有效改善,建立从水质、水量、水循环、城市安全、景观、生态等整体考虑的低影响开发的新模式。

(2) 提升公众意识,将雨水利用落到实处。中国于 2015 年 3 月确定 16 个首批建设的海绵城市,已历时 2 a,目前,公众对海绵城市的认知水平仍然较低,尚未形成低影响开发和雨水资源利用的意识。建议政府结合中国实际与国外先进经验从加大宣传、完善制度、经济补贴等方面着手,提升公众的雨水管理意识,规范雨水利用行为,将雨水利用工作落到实处。宣传方面建议从首批建设的海绵城市中遴选优秀建设城市或先进工程项目作为示范工程,对优秀建设城市和示范工程给予一定奖励,并通过展示、交流、参观、媒体宣传等方式对海绵城市建设的理念、优势、技术、发展动态、成果等进行宣传,提升公众对海绵城市的认知水平;制度方面建议各级政府、有关部门建立健全公众雨水利用管理制度,规定海绵城市试点城市新开发区域的洪峰流量不能超过开发前的水平,且必须设置雨水蓄集设施否则不予批准;经济方面积极向群众宣传管理制度,并提供雨水集蓄技术应用培训,对设置雨水集蓄设施的家庭给予一定的水费减免或补贴,对未设置的家庭提升水费价格或起征排污费。

## 4 结 论

目前,中国海绵城市的研究与实践处于示范阶段,存在诸多问题,国外低影响开发的先进成果较多,但系统的分析和归纳的成果较少,通过对美国、英国、德国等国的低影响开发成果从立法、技术、管理等方面进行系统梳理,结合中国发展实际,从制定和完善相关政策法规,加强先进技术的研发和应用,创新融资渠道、优化管理体系,提升公众意识等方面提出建议,对中国海绵城市建设有重要的推动作用。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 胡良明,高丹盈. 雨水综合利用理论与实践[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009:1-32.

[2] 张忠霞,周振,姚吉伦. 雨水资源综合利用研究[J]. 城市建设理论研究,2015(3):1522-1523.

[3] 车伍,乔梦曦,王思思. 中国古代雨水管理实践的现代启示[C]//中国土木工程学会全国排水委员会. 2012 年年会论文集. 北京:北京建筑工程学院,2012:8-15.

[4] 张建新,郑大玮. 国外雨水收集利用与研究[J]. 四川水利,2004(S1):61-63.

[5] 钟春节,吕永鹏,杨凯,等. 国内外城市雨水资源利用对上海的启示[J]. 给水排水,2009,35(S2):154-158.

[6] 吴欢. 国外城市雨水综合利用管理系统综述[J]. 市政技术,2010,28(5):106-107.

[7] 邢薇,赵冬泉,陈吉宁,等. 基于低影响开发(LID)的可持续城市雨水系统[J]. 中国给水排水,2011,27(20):13-16.

[8] 孙艳伟,魏晓妹, POMEROY C A,等. 低影响发展的雨洪资源调控措施研究现状与展望[J]. 水科学进展,2011,22(2):287-293.

[9] 欧阳如琳,程哲,蔡文婷,等. 从中美案例经验谈海绵城市 PPP 模式的关键实施要点[J]. 中国水利,2016(21):35-40.

[10] Joksimovic D, Alam Z. Cost efficiency of low impact development(LID) stormwater management practices [J]. Procedia Engineering, 2014,89:734-741.

[11] Melville-Shreeve P, Ward S, Butler D. A preliminary sustainability as sessment of innovative rainwater harvesting for residential properties in the UK[J]. Journal of Southeast University(English edition),2014,30(2):135-142.

[12] 车伍,吕放放,李俊奇,等. 发达国家典型雨洪管理体系及启示[J]. 中国给水排水,2009,25(20):12-17.

[13] 高嘉,王云才. 美英澳 3 国雨水管理系统比较与启示[J]. 中国城市林业,2016,14(3):22-25.

[14] 管克江.德国城市雨水处理有讲究[J].中州建设,2014(5):60.
[15] 赵晋阳.汉诺威雨水治理方案对青岛市雨水治理工作的启示[J].科技风,2015(15):133.
[16] 谭卓琳,董禹.国外雨水花园污染物滞留技术研究进展[J].绿色科技,2016(20):98-101.
[17] 孙奎利,孙奎永,杨波,等.国外雨水花园建设实践及经验启示[J].山西建筑,2014,40(19):216-218.
[18] 尹文超,赵昕,刘鹏,等.德国可持续建筑认证体系对水系统的要求分析[J].给水排水,2015,51(10):80-83,85.
[19] 姜亦华.日本的水资源管理及启示[J].经济研究导刊,2008(18):180-183.
[20] 钟素娟,刘德明,许静菊,等.国外雨水综合利用先进理念和技术[J].福建建设科技,2014(2):77-79.
[21] 娄鹏,刘建.东京下水道的可持续管理[J].水利发展研究,2007,7(5):51-54.
[22] 吕卫国.新加坡——收集每一滴水[J].人类居住,2012(1):11-13.
[23] 刘兴坡.新加坡城市内涝治理经验及启示[J].中国给水排水,2013,29(22):11-13.
[24] 潘丽娟.浅谈新加坡的雨水综合利用系统[J].城市道桥与防洪,2013(7):160-161.
[25] 尹澄清.城市面源污染的控制原理和技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:97-126.
[26] 陈端,黄国兵,张鹤,等.澳大利亚雨水管理技术介绍及其在中国应用前景初步分析[C]//国际水利工程与研究协会中国分会,中国水利学会水力学专业委员会,中国水力发电工程学会水工水力学专业委员会.第三届全国水力学与水利信息学大会论文汇编.北京:中国长江科学院,澳大利亚西悉尼大学,2007:149-155.
[27] 王思思,张丹明.澳大利亚水敏感城市设计及启示[J].中国给水排水,2010,26(20):64-68.
[28] Wong T H F,王健斌.生态型景观,水敏型城市设计和绿色基础设施[J].中国园林,2014,30(4):20-24.
[29] Sterren M V D, Rahman A. Single lot on site detention requirements in New South Wales Australia and its relation to holistic storm water management[J]. Sustainability of Water Quality and Ecology, 2015,6:48-56.
[30] 张玉鹏.国外雨水管理理念与实践[J].国际城市规划,2015,30(S1):89-93.
[31] 吴丹洁,詹圣泽,李友华,等.中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J].中国软科学,2016(1):79-97.
[32] 刘剑.首批海绵城市试点建设存在的问题及建议[J].低温建筑技术,2016,38(12):144-146.
[33] 潘笑文,徐得潜.基于典型年法的海绵城市建设控制指标研究[J].水土保持通报,2017,37(1):123-127,131.
[34] 汪小玲,杨海真.生态城区考核评价指标体系的构建[J].建筑科学与工程学报,2005,22(1):20-23.
[35] 车生泉.西方海绵城市建设的理论实践及启示[J].人民论坛·学术前沿,2016(21):47-53,63.
[36] 李俊奇,刘洋,车伍,等.城市雨水减排管制与经济激励政策的思考[J].中国给水排水,2010,26(20):28-33.
[37] 徐振强.中国特色海绵城市试点示范绩效评价概念模型的建立与应用:兼论我国海绵城市创新体系平台的建设[J].中国名城,2015(5):16-25.
[38] 马越,甘旭,邓朝显,等.海绵城市考核监测体系涉水核心指标的评价分析方法探讨[J].净水技术,2016,35(4):42-51.
[39] Shao Weiwei, Zhang Haixing, Liu Jiahong, et al. Data integration and its application in the sponge city construction of China[J]. Procedia Engineering, 2016, 154:779-786.
[40] Bayon J R, Jato-Espino D, Blanco-Fernandez E, et al. Behaviour of geotextiles designed for pervious pavements as a support for biofilm development[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2015,43(2):139-147.
[41] Donggeun K, Hyunwoo K, Mooyoung H. Runoff control potential for design types of low impact development in small developing area using XPSWMM[J]. Procedia Engineering, 2016,154:1324-1332.
[42] 满莉,李雨霏.用PPP模式建设海绵城市[J].水资源保护,2016,32(6):164-165.
[43] 邓淼方.基于海绵城市理念的城市道路设计方式研讨[J].价值工程,2016,35(30):139-140,141.
[44] 席保军,董娟.西安城市空间特色的保护与发展[J].建筑科学与工程学报,2010,27(2):121-126.
[45] 鞠茂森.关于海绵城市建设理念、技术和政策问题的思考[J].水利发展研究,2015,15(3):7-10.