

秦雪, 徐海顺. 城市雨洪管理效益评估研究综述[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(4): 10-23.

QIN Xue, XU Haishun. Review of study on benefit evaluation of urban rain-flood management [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022, 53(4): 10-23.

# 城市雨洪管理效益评估研究综述

秦 雪, 徐海顺

(南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037)

**摘 要:** 可持续的城市雨洪管理要求以功能综合为前提, 整合水文、环境、生态和社会效益, 改善人地水关系。以“城市雨洪管理效益评估”为议题, 从理论背景、研究现状、评估指标、评估方法、研究结论等方面综合分析现有文献, 归纳了城市雨洪管理效益评估的5个研究视角, 即水安全、水资源、水环境、水生态和水社会, 并对评价指标、评估方法与评估工具进行了概述。城市雨洪管理效益可分为基础性生态服务与人居环境服务两大类。现有研究多集中于基础性生态服务的识别与量化, 而忽视了具有更大潜在价值的人居环境服务效益。基础性生态服务效益研究展现出了较为成熟的研究方法和可通用的模拟模型, 已得出丰富的研究结论。人居环境服务领域的雨洪管理效益的重要性 and 多元性得到普遍认可, 但量化研究不足、未纳入综合指标体系, 一定程度上限制了公众的深入了解与认知。为应对可持续雨洪管理的不确定性挑战, 城市雨洪管理有待从社会-生态的视角出发, 进一步深化对效益综合评价的重要性认知, 为改进雨洪管理效益评价体系提供参考。

**关键词:** 可持续雨洪管理; 综合评价; 环境效益; 社会效益; 城市雨洪资源利用; 水资源; 水环境

doi: 10.13928/j.cnki.wrahe.2022.04.002

开放科学(资源服务)标志码(OSID):

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2022)04-0010-13



与作者互动  
听语音  
聊科研

## Review of study on benefit evaluation of urban rain-flood management

QIN Xue, XU Haishun

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** It is required for the sustainable urban rain-flood management to integrate hydrological, environmental, ecological and social benefits under the premise of the integration of the relevant functions for improving the relationship among human, land and water. With urban rain-flood management benefit evaluation as the topic, the relevant existing literatures in the aspects of theoretical background, study status, evaluation indicators, evaluation methods, study conclusions, etc. are comprehensively analyzed, and then the five study perspectives of the urban rain-flood management benefit evaluation, i. e. water safety, water resources, water environment, water and society, etc., are summarized, while the evaluation indicators, methods and tools are briefly described as well. The urban rain-flood management benefit can be divided into two categories,

收稿日期: 2021-09-25

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(20YJJCZH190); 中国国家留学基金资助项目(201808320046); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 秦 雪(1996—), 女, 硕士研究生, 主要从事雨洪管理与绿地绩效评价研究。E-mail: snow\_qin@163.com

通信作者: 徐海顺(1981—), 男, 副教授, 博士, 主要从事海绵城市与绿色基础设施、风景园林规划设计与景观生态修复。E-mail: nj\_xu-haishun@163.com

i. e. basic ecological services and human settlements services. Most of the existing studies are focused on the identification and quantification of the basic ecological services, but the benefits of human settlements services with greater potential value are often ignored. More mature study method and universal simulation model are presented in the study on the benefits of basic ecological services, from which rich study conclusions are obtained. Both the importance and the diversity of the rain-flood management benefit in the field of the human settlements environmental service are generally recognized, but the public in-depth understanding and awareness are limited by the study status that the relevant quantitative study is insufficient and is not included into the comprehensive indicator system. In order to deal with the uncertain challenge of sustainable rain-flood management, the recognition of the importance of comprehensive benefit evaluation of the urban rain-flood management is necessary to be further deepened from the perspective of society and ecology, so as to provide the relevant reference for improving the benefit evaluation system of rain-flood management.

**Keywords:** sustainable urban rain-flood management; comprehensive evaluation; environmental benefit; social benefit; utilization of urban rainwater and flood resources; water resources; water environment

## 0 引言

在全球范围内,气候变化、城市化与水环境之间胁迫与约束的相互作用,使人地水关系失衡问题(如城市洪涝、热岛等)日益凸显。可持续雨洪管理(Sustainable Urban Water Management, SUWM)通过建立一整套合乎水文、环境、生态和社会效益的理念、工程技术、评估机制与方法,旨在解决雨洪问题、改善生态环境、关注公共福祉<sup>[1-2]</sup>。国外雨洪管理研究起步较早,已有诸多代表性理论:低影响开发(Low Impact Development, LID)采取综合性措施最大限度的减小项目开发对环境的干扰<sup>[3]</sup>;绿色基础设施(Green Infrastructure, GI)强调城市绿色空间的网络连通性和生态系统服务功能与价值<sup>[4]</sup>;水敏型城市(Water Sensitive Cities, WSC)将城市水循环作为一个整体并与城市设计有机结合<sup>[5]</sup>;新加坡ABC水计划(Active, Beautiful, Clean Waters, ABC Waters)强调水资源管理的整体性、可持续性和公众参与性,充分发挥城市空间潜力<sup>[6]</sup>。

2012年,我国提出海绵城市理念,旨在恢复和保护基于自然的水文循环,强调以功能综合为前提,重构城市人居环境<sup>[7-8]</sup>。近年来,随着试点城市建设与综合理论研究的发展,海绵城市的建设评审和效益评估方兴未艾<sup>[9-10]</sup>。2015年,我国发布《海绵城市建设绩效评价与考核办法(试行)》,从水生态、水环境、水资源、水安全、制度与执行情况、显示度6个方面,首次构建了一个系统的海绵城市绩效评估体系,但并未明确提出各项考核指标的定量评价方法。2018年,《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)(以下简称《标准》)颁布出台<sup>[11]</sup>,提出基于现场检查 and 数值核算、模型模拟和监测等多种方法,针

对年径流总量控制率及径流体积控制、路面积水控制与内涝防治、城市水体环境质量等7项指标,开展海绵城市建成后的效果评价。上述评估体系的构建与指标的量化,将理论和实践相连,一定程度上有助于优化我国城市雨洪管理的建设规划与决策。

一些发达国家经过多年的探索与实践,形成了较为系统的SUWM评估机制。一般是在长期监测的基础上,采用数值模型进行水文模拟与成本效益分析,而后为了获取公众支持并吸引社会资本的参与<sup>[12]</sup>,进一步将评估范围扩展为更广泛的环境、生态、社会和经济等综合效益<sup>[13-14]</sup>。总的来说,SUWM的建设目标在各个层面都是相似的,即保障水安全、涵养水资源、改善水环境、修复水生态、复兴水文化。可以说,雨洪评价体系是对减灾、生态、社会等效益的综合评价<sup>[15-16]</sup>,而不仅仅涉及水文效益。这也正是雨洪管理的多维度研究(多功能<sup>[17-18]</sup>、多标准决策<sup>[19-20]</sup>、多利益相关方<sup>[21]</sup>)一直被学者所关注和讨论的原因。基于此,本文从水安全、水资源、水环境、水生态和水社会的视角,梳理城市雨洪管理效益评价指标,整理现有评估方法与工具,评价现状问题与未来研究趋势,为改进我国雨洪管理效益评价体系提供参考。

## 1 城市雨洪管理效益的评估指标

### 1.1 水安全

#### 1.1.1 径流调蓄效益

城市水安全领域的雨洪管理效益评价多数聚焦于SUWM的核心思想,即重塑城市下垫面的自然水文循环,与流域自然水循环存在很大差异。随着城市不透水下垫面面积的增加,城市建成区的雨洪调节能力总体呈下降趋势,新建区较之老城区影响更为显

著<sup>[22]</sup>。研究证明, SUWM 具有显著的区域蓄滞能力, 项目实施后地表径流量和洪峰流量分别减少 18.6%~59.2%和 8%~71.4%<sup>[23]</sup>, 并延后了径流峰值的出现时间<sup>[24]</sup>。生物滞留池与植草沟分别减少 50%~84%和 17%~79%的峰值流速, 径流量减少了 47%~80%<sup>[25]</sup>。实施 LID 方案可以使总淹没面积减少 2%~17%, 高危害程度的洪水区域减少 6%~80%<sup>[26]</sup>。依据《标准》, 雨水径流控制是我国海绵城市建设评价指标中最核心的内容<sup>[11]</sup>, 通常以径流总量控制率、径流峰值削减率和推迟峰现时间作为量化指标<sup>[27]</sup>, 二级指标包括年径流总量控制率、总淹没面积、总积水削减率、淹没节点数、平均淹没深度、合流制下水道的平均输水量等<sup>[26-29]</sup>。其中, 干旱少雨地区与多雨地区的年径流总量控制率应符合“雨水年径流总量控制率分区图”的规定<sup>[11]</sup>, 依据渗透情况、地下水位等因素“因地制宜”。

### 1.1.2 防洪减灾效益

在城市化地区, LID 是缓解城市洪涝灾害的有效途径, 洪峰流量和洪水事件可分别减少 8%~71.4%<sup>[23]</sup>和 0%~40%<sup>[30]</sup>。但已有研究表明, 城市雨洪措施的雨洪控制能力随降雨重现期的增大而减小<sup>[31]</sup>, 在较小降雨事件下, 海绵城市的性能随着雨洪控制措施的大规模实施而提高<sup>[32]</sup>。《标准》也将控制高频率的中小降雨径流作为 LID 措施实施的首要目标<sup>[11]</sup>。当前我国海绵城市建设试点区域有限, 且多数采用场地层面的 LID 措施, 因此, 雨洪管理措施一般难以应对极端降水(重现期大于 3 a)造成的城市区域范围洪涝灾害<sup>[33]</sup>。这不仅造成了严重的人民生命财产损失, 也引起了公众对海绵城市建设的广泛质疑。于是有学者提出引入蓄滞水面率<sup>[26]</sup>、最大淹没深度<sup>[34]</sup>、内涝势冲量<sup>[35]</sup>等指标, 通过定量划分洪水危险等级区域, 实现城市淹没区域洪涝的动态变化可视化, 有助于提升公众认知。

## 1.2 水环境

广泛的水质处理效益评估研究证实, 雨洪控制措施具有显著的径流污染物削减效果。李春林等<sup>[36]</sup>通过模拟城市化前、城市化后和 LID 措施实施后 3 种情景方案的水文水质过程发现, LID 措施对总悬浮固体(Total Suspended Solids, TSS)、化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)的去除量较大, 但两者排放量仍然远远高于城市化前, 总氮(Total Nitrogen, TN)和总磷(Total Phosphorous, TP)的污染物排放量接近于城市化前的自然状态。LID 措施降低了 26.47%~60.98%的地表径流污染物负荷, 其中, TN 减少

0.30%~34.20%, TP 减少 0.27%~47.41%, TSS 减少 0.33%~53.59%, 铅(Pb)降低 0.30%~60.98%, 生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)和 COD 分别降低 0%~26.70%、0%~27.52%<sup>[37]</sup>。

海绵试点城市的污染负荷 TSS 削减率在 45.0%~47.7%之间, 平均削减率为 46.1%<sup>[7]</sup>。依据《标准》, TSS 与城市其他径流污染物指标有一定的相关性<sup>[11]</sup>, 因而通常将 TSS 作为径流污染物控制评价指标。同时, LID 措施对雨水 pH 值具有显著的中和作用, 对重金属具有较好的截留、吸附作用, 如透水路面对铜(Cu)和锌(Zn)的去除率分别为 85%~92%和 65%~82%<sup>[38]</sup>, pH 值和重金属也可以作为衡量 LID 系统效力的指标因子<sup>[39]</sup>。此外, 透水路面的微生物去除率达 98%~99%<sup>[40]</sup>, 但也有相反观点提出, 由于研究范围有限, LID 措施的微生物去除性能尚未得到证实, 部分 LID 措施的环境条件反而会促进微生物滋生<sup>[41]</sup>。

综上, 水质处理的评价指标可大致分为物理化学参数、营养物质、重金属与微生物 4 个维度, 其中物理化学参数包括 TSS、pH 值、浊度、BOD、COD 等; 营养物质包括 TN、TP、氨氮、硝酸盐、磷酸盐等; 重金属元素包括 Cu、Zn 和铁(Fe)、锰(Mn)、铅(Pb)、镍(Ni)、镉(Cd)、铬(Cr)等; 微生物指标有总大肠菌群、大肠杆菌和粪便链球菌等<sup>[37-42]</sup>。其中, TSS、COD、TN、TP 是使用频率最高的水质评估指标<sup>[43]</sup>。除此之外, 所有降雨事件的污染物浓度峰值出现在径流产生后的半小时内和流量峰值之前<sup>[44]</sup>。因此, 初期雨水处理<sup>[45-46]</sup>也可以作为水质处理效率的重要评价因子。同时, 在雨水渗透能力较差的区域, 提高年径流总量控制率可以有效减少径流污染, 故而也可以考虑将年径流总量控制率纳入水质处理的效益评价体系。

## 1.3 水资源

### 1.3.1 雨水利用效益

目前雨水利用效益研究大多围绕城市尺度, 开展雨水资源化利用效益评估、雨水资源利用潜力评估, 以雨水利用效益的单一性效益评价为主, 将其纳入综合效益评估体系的研究较少。谷桂华等<sup>[47]</sup>根据海绵试点城市玉溪市降水特性和城市土地利用, 采用传统水量利用经验公式计算城市雨水资源利用率, 实现雨水可利用效益的量化分析, 该市现状年均雨水可利用量占城市年均总用水量的 30%, 每年雨水可利用经济效益 6 752~8 965 万元, 一般年份约为 8 034 万元。赵飞等<sup>[48]</sup>从可用雨洪资源增量的角度, 运用水资源量、防洪排涝和污染物削减效益 3 个指标表征城

市雨洪资源综合利用潜力,认为我国各城市实施雨洪资源综合利用措施后,雨洪资源综合利用潜力巨大,折合经济效益约1 714.8亿元/a。因此,可运用雨水资源化利用率<sup>[49]</sup>和雨水资源利用潜力<sup>[48]</sup>2项指标表征雨水利用效益。

将水资源作为城市重要的环境资本有利于发挥SUWM的综合效益。如孙栋元等<sup>[50]</sup>从影响城市雨洪资源利用的社会适应性、经济合理性和技术可行性等方面,探索构建了黄土高原地区城市雨洪资源利用综合评价模型和评价指标体系。除此之外,雨水收集再利用(如雨水桶<sup>[51]</sup>、绿墙<sup>[52]</sup>等)与中水回用可以为雨水资源化利用提供更多的可能性。如DE MACEDO等<sup>[53]</sup>依据蓄水量和水质标准,评估生物滞留池的中水回用潜力,并认为中水回用潜力也是干旱地区水安全效益的重要指示因子。总的来说,雨洪控制利用在城市尺度关注于雨洪利用效率的量化分析,场地层面则关注于雨水再利用的实践与应用。

### 1.3.2 地下水回补效应

城市雨洪管理强化了城市建成区地表水、土壤水和地下水的水力联系,具有显著的地下水回补效益。地下水回补效应也是衡量雨洪管理效益的定量评价指标之一。《标准》规定,应在海绵城市建成前5a和建成后1a,连续监测地下水潜水水位的平均降幅,从而判断地下水埋深变化趋势是否得到明显遏制<sup>[11]</sup>。宋剑英等<sup>[54]</sup>运用区域渗透能力、地下水水位变化2个指标,评估济南市海绵城市促渗补泉效应,分析表明,可以运用降雨量、入渗量、径流量3项指标表征雨水下渗量的变化趋势;运用地下水水位变化直接反映地下水补给量,从而间接反映海绵城市项目的促渗保泉效果。然而,不同于城市径流控制已有大量研究及成果,学界对城市自然水文循环系统的入渗水分运动机制、水量水质输出过程关注不足,也缺乏必要的监测手段与研究方法<sup>[55]</sup>,因此,地下水回补效应目前仅作为项目的考察项进行评价。

## 1.4 水生态

### 1.4.1 固碳效益与温室气体排放

雨洪设施的厌氧环境有利于微生物的去氮与固碳作用<sup>[18]</sup>,但水的循环利用可能会产生额外的环境风险,这些生态过程也是大气温室气体(Greenhouse Gas, GHG)二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和甲烷(CH<sub>4</sub>)等的来源之一<sup>[56]</sup>。MAO等<sup>[57]</sup>监测了人工湿地与对照场地的平均GHG排放通量,得到湿地区域GHG平均通量为212.27 mg·m<sup>-2</sup>(CO<sub>2</sub>)、8.84 mg·m<sup>-2</sup>(CH<sub>4</sub>)和197.4 μg·m<sup>-2</sup>(N<sub>2</sub>O),约为对照场地平均通量的5.8倍;

D'ACUNHA等<sup>[58]</sup>通过试验测量人工湿地中CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>的气体过饱和,通量分别为4.1 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、45 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>,这也证明了可以将GHG作为有效的雨水管理系统环境效益评估因子。因此,虽然多数情况下雨洪设施作为碳汇提供生态固碳效益(主要来源于植物),但其也可能作为碳源而产生负面影响。

### 1.4.2 缓解城市热岛效应与提供生物栖息地效益

在城市热环境中,LID通过绿色屋顶等手段减小城市不透水下垫面比例,再加上部分雨水控制措施雨季蓄水、旱季释水的工作原理使得局地热容量增加,城市热岛效应(Urban Heat Island, UHI)<sup>[17-60]</sup>得以有效缓解。《标准》规定,应通过现场监测得到建成前与建成后的海绵城市建成区与郊区的日平均气温差值,作为城市热岛效应缓解的量化评估指标,后者应小于前者<sup>[11]</sup>。因此,可用平均气温降低值表征LID措施的热岛缓解效应。

水文效益通过提供稳定的水流并维持合适的土壤环境来驱动生物生态效益,而活跃的生物过程则增加了水的吸收和过滤,进而增强了水文效益<sup>[61]</sup>。对于城市雨洪管理提供的生物栖息地效益,一般采用现场采集、样方取样等方法,调查动植物的物种丰富度、香浓多样性指数、相对丰富度等指标,从而实现生物多样性和为野生动物提供栖息地的生态效益量化评估<sup>[62-63]</sup>。其中,大型底栖无脊椎动物的群落种类和结构同周围环境之间的关系特别密切,其也被用作水环境污染的指示生物。

除此之外,城市雨洪措施的生态效益还包括改善空气质量<sup>[15]</sup>、水土保持等。但考虑到城市雨洪措施生态效益的发挥与城市绿地生态效益有较大相关性的一致性,生态质量服务受绿色空间特征影响更为显著,且场地层面的生态效益影响较小,因此,城市或区域尺度的固碳、缓解热岛效应、提供野生动物栖息地等更具生态效益。

## 1.5 水社会

### 1.5.1 社会效益

雨洪管理的社会效益是指雨洪设施建成后带来的广泛的社会福祉,其价值远大于雨洪措施所产生的直接经济效益<sup>[64-65]</sup>。目前,相较于水文效益,雨洪设施的社会效益研究较少,但其重要意义已被广泛认可,包括健康效益<sup>[18-66]</sup>、空间可达性与环境公平<sup>[17-67]</sup>、提升社区活力<sup>[68]</sup>、社会接受度<sup>[69-70]</sup>等。SUWM对个人、家庭和社区的影响,可以从身体健康、心理健康、经济福祉与社会接受度4个维度展开<sup>[69]</sup>;而公众对于雨洪概念、建设目标等方面的态度和行为,则需要综合

考虑雨洪措施的功能、美学、健康和安、娱乐性、经济性和文化价值等效益,同时,由于公众的认知程度受性别、年龄、收入水平和参观频率等因素的影响较大,也可以考虑适当纳入人口统计学、社会经济学与地理特征等影响因子<sup>[71]</sup>。李萌萌等<sup>[64]</sup>通过主观评价货币化的方式进行社会效益客观化评价,结果显示:天津大学北洋园校区的海绵设施中,社会效益最高的是雨水湿地 15.5 元/(m<sup>2</sup>·a), 下凹式绿地社会效益最低 1.0 元/(m<sup>2</sup>·a), 根据各海绵设施建设面积, 该校区海绵设施总社会效益约为 232.8 万元/a。

### 1.5.2 文化效益

雨洪管理的文化服务效益以公共性为度量,其范围的广泛性与内容的多样性已获得广泛认可<sup>[72]</sup>。杨青娟等<sup>[73]</sup>通过重要性-满意度分析(Importance-Satisfaction Analysis, ISA)得出,审美欣赏、休闲/生态旅游、场所感是城市雨洪管理最受重视的文化效益,而公众对某些雨洪管理措施所提供的文化效益的满意度与重要性感知之间还存在差距。也有研究者提出从娱乐和教育两方面定性评价 SUWM 的文化效益,其中,娱乐指标由是否能提供绿色休闲场所来表征,该要素可以在提供休闲娱乐效益的同时提升公众认知;教育指标则包括增加宣传教育、提供教育基础设施与服务等<sup>[62]</sup>。总的来说,由于难以进行定量分析,文化效益的评估研究目前相对较少。

### 1.5.3 景观效益

现有研究普遍肯定了雨洪措施的景观效益,如美化城市、提高视觉景观质量和改变审美倾向(欣赏野草之美)等<sup>[74-75]</sup>。但与前文提及的效益相比, SUWM 的景观效益并不是雨洪管理措施效益评价的重点,并且,由于雨洪措施环境效益的保障往往需要复杂、多样的生态系统,这使得雨洪设施很难达到人类视觉上对景观美感的要求。因此,多数效益评估只是简单将景观效益纳入社会效益分类中,而缺乏进一步的量化分析。

### 1.5.4 经济效益

如前文所述, SUWM 具有广泛的社会、文化、景观效益,这种无形价值的提升也间接增加了雨洪管理的经济价值。一般来说,雨洪管理的经济收益可以分为直接经济收益(如减少城市洪涝的社会经济损失、因雨水管理设施节约的运营和维护成本、减少的污染治理费用、节水费用等)与间接经济收益(如减少的调水费用、减少能源使用、增加工作机会、房产增值等)<sup>[74-76]</sup>。LID 改建项目相比于 45%的传统型改建花费,其成本仅占现有建设成本的 20%<sup>[77]</sup>。绿色屋顶经济效益较高,建设成本效率为 12.51 元/m<sup>3</sup>,

费效比为 5/12(0.41)<sup>[78]</sup>。对城市绿地的投资可能会对当地住房和商业市场产生重大影响,从而产生更具吸引力和功能性的景观<sup>[79]</sup>。

综上所述,城市 SUWM 具有缓解城市洪涝风险、水质处理、缓解城市热岛和提供生物栖息地等基础性生态服务,同时能够提供健康、环境公平、教育与审美等层面的人居环境服务。城市雨洪管理效益评估指标及释义如表 1 所列。

已有城市雨洪管理效益评估成果中,杨丰潞等<sup>[80]</sup>从经济效益、环境效益以及社会效益 3 个层面出发,构建 LID 措施净收益效益指标,得出每单位面积的 LID 措施能获得的年净效益为 6.53 元/m<sup>2</sup>;付喜娥等<sup>[65]</sup>将环境和社会因素引入成本效益分析框架中,应用条件价值法(Contingent Valuation Method, CVM)得出 SUWM 的社会效益值为 1.16 亿元。总的来看,城市雨洪管理量化效益成果较少,多数是对指标内容、重要性排序等所做的定性描述,这体现了雨洪效益评估存在的一些问题:(1)当前城市雨洪管理效益评估以某个或某些技术的单目标效益量化为主,涵盖生态环境、社会福祉等方面的综合绩效评价多数处于体系构建<sup>[15]</sup>、权重计算<sup>[81]</sup>的探索性阶段,仅有少数综合指标体系实现了项目应用与实践研究<sup>[82]</sup>;(2)现有研究多数从环境资源影响出发进行物质环境效益评价,但仅仅利用水文环境效益来解释雨洪效益是不完全的。SUWM 除雨洪控制效益之外所提供的生态环境与社会文化等效益,是其有别于传统雨洪管理的关键所在<sup>[83]</sup>,越来越多的研究者将社会、文化、景观、经济等非水文效益引入评价体系中,但其量化研究的方法与手段尚不成熟。

## 2 城市雨洪管理效益评估的方法与工具

### 2.1 评估方法

雨洪管理效益评估方法根据不同评估内容,分为水文效益评估方法、成本效益评估方法、价值评估方法(见表 2)。基于数据监测、情景模拟的水文效益评估,更容易甄别机制特性、提出量化的指标和阈值。因此,国内外在城市水安全、水环境、水资源等领域的水文效益评估多采用试验法<sup>[84]</sup>、情景模拟法<sup>[25]</sup>、建构模型法<sup>[85]</sup>等进行模拟与定量研究。目前,成本效益评估(见表 2)研究数量较多、应用范围广泛,为了有效地降低经济成本并使得 SUWM 的效果最大化,研究者们通过有形效益与无形效益的定量化与货币化转化,一方面加深了公众对雨洪措施的了解与认可,另一方面也为设计决策者提供了清晰合理的决策支持。

表1 城市雨洪管理效益评估指标及释义

Table 1 Main valuation indicators of urban stormwater management and its meaning

大 类	小 类	一级指标	二级指标	指标内容	文献来源	数据类型	数据来源	
基础 性生 态服 务	水安全	径流调蓄和防洪除涝效益	径流总量控制率 径流峰值削减率 推迟峰现时间	通过渗透、滞蓄、净化等方式控制城市下垫面的降雨径流,是雨洪控制效果评价的重要指标	[11, 26-29]	定 量	数据监测/数值模拟	
	水环境	水质处理效益	部分物理化学参数、 营养物、重金属与 微生物等水质指示 因子	通过物理、化学和生物过程,减少径流中的污染物负荷,但特定的环境条件可能会促进细菌滋生	[37-42]	定 量	数据监测/数值模拟	
	水资源	雨水利用效益	雨水资源化利用率、 中水回用潜力	雨水收集处理后用于市政杂用、绿化浇灌、工农业生产、冷却等的年雨水总量与年均降雨总量的比值	[47, 49, 53]	定 量	经验公式/数值模拟	
			雨水利用潜力	通过雨水利用价值与成本损失的货币化计算得出雨水利用效益值	[48]	定 量	统计年鉴/历年降雨数据	
		地下水回补效应	区域渗透能力、地 下水位变化	促进自然水循环过程,增加雨水入量,促进地下水补给	[54-55]	定量与 定性	数据监测/数值模拟/ 经验公式/定性描述	
	水生态	固碳与温室气体 排放	土壤含碳量、年碳 积累率、甲烷等温 室气体的气体通量	随着植被生长,其自身结构和土壤中固定了空气中大量的CO <sub>2</sub> 及其他含碳物质;但雨洪设施中水的循环利用可能是大气温室气体的来源之一	[18, 57-58]	定 量	数据监测/数值模拟/ 经验公式	
		缓解城市热岛效 应	平均气温降低值	通过降低城市不透水下垫面比例、增加局地热容量,降低城市日间气温、地表和建筑表面温度	[59-60]	定量与 定性	数据监测/定性描述/ 专家打分法	
		提供野生动物栖 息地	植被和大型底栖无 脊椎动物的丰富度 和多样性等	改善城市水质,为水生动植物提供生境,提高城市的生物多样性	[61-63]	定量与 定性	实地调研/专家打分法	
	人居 环境 服务	水社会	健 康	身体健康与体力活 动、场地联系与心 理重建	为居民提供日常休闲锻炼的场所,植被和水域有助于社会交往与心理健康	[18, 64]	定量与 定性	数据监测/问卷调查/ 实地调研/专家打分法
可达性与环境 公平			场地可达性、绿地 面积、质量和多样 性	增加居民平等的利用公共空间的机会,协调城市生态系统服务供需平衡,提高人们生活质量	[17, 67]	定量与 定性	数据监测/问卷调查/ 专家打分法	
提升社区活力			访问人次、区域游 人热力分布等	增加社区吸引力,提升社区活力	[82]	定量与 定性	数据监测/问卷调查/ 专家打分法	
提高社会接受度			居民喜好效用值、 认知	居民对雨洪设施功能、价值的认可与支持程度	[69-70]	定量与 定性	问卷调查/定性描述/ 专家打分法	
文 化			娱 乐	提供绿色休闲场所	为居民提供用于放松休闲的公共活动空间	[62]	定量与 定性	实地调研/定性描述/ 专家打分法
			教 育	增强宣传教育	增强人们节约用水、循环利用雨水资源的意识,改善人居环境,甚至有研究显示可以降低犯罪率	[62]	定量与 定性	问卷调查/定性描述/ 专家打分法
				提供教育相关的基 础设施与服务	作为教育场所,为人们提供与水循环的物理、化学和生物过程等知识有关的公益讲解、科学标识等	[62]	定量与 定性	问卷调查/定性描述/ 专家打分法
水景观			美 学	视觉景观质量	为公众提供景观美感	[74-75]	定量与 定性	问卷调查/定性描述/ 专家打分法
水经济			直接经济 收益	减少城市洪灾社会 经济损失、降低建 设成本、减少能源 使用等	降低为处理城市水问题带来的一系列经济成本和由于热岛效应所引起的如空调等电力设施造成的能源消耗	[26, 68-69, 74-76]	定量与 定性	数据监测/数值模拟/ 经验公式
			间接经济 收益	增加就业机会、土 地增值等	人力资源以及设备制造的社会需求提升,增加就业机会;与景观设计结合,提升周边地区的居住环境质量,提升土地价值	[79]	定量与 定性	定性描述/实地调查

水社会领域下的社会、文化等效益评价, 主要依据于场所中人的体验与感知, 且涉及价值规范, 因此主观性更强, 更难以量化, 以往常采用定性分析<sup>[64]</sup>、

问卷调查<sup>[67]</sup>或借助基于经济学理论的货币价值评估法来量化评估研究。其中, 货币价值评估法(见表2)分为市场价值法与非市场价值法。市场化评估法通过

表2 城市雨洪管理效益评估方法

Table 2 Benefit evaluation method of urban stormwater management

分类	评价方法	文献来源	研究领域	评估对象	主要内容	适用性
水文 效益 评估	容积法	[87]	水安全 水资源	径流体积控制 规模	依据年径流总量控制率、设计降雨量及汇水面积, 计算渗透、滞蓄、净化等设施的控制规模	按照容积法计算得到的雨洪调蓄量具有一定的富余量, 同时计算简便, 可操作性较强
	水量平衡法	[88]	水安全 水资源	雨洪调蓄效益	依据水量平衡原理, 设计水量平衡方程, 从而推算出雨洪设施的径流速率与调蓄洪水总量	可用于雨洪调蓄研究, 但为了避免出现错算及漏算, 要求准确测定水量平衡要素, 并保证要素具有较高代表性
	有源淹没分析法	[88]	水安全	雨洪调蓄效益	基于数字高程模型 (DEM)、降雨条件、地貌数据等, 准确模拟雨洪设施建设前后的洪水淹没空间分布	可广泛应用于防洪工程规划、景观设计等领域
	内涝势冲量评估方法	[35]	水安全	内涝程度评价	将不同内涝深度所对应的内涝时间用冲量的形式累加, 最终得到综合反映整个降雨历时过程中的内涝特征值	适用于评价城市整体内涝程度, 能有效评估区域整体 LID 措施防涝设计的总体合理性
	情景模拟评估法	[25]	水安全 水环境 水资源	水文控制、水质处理效益	模拟不同城市下垫面与气候变化条件下的内涝灾害情景与水文水质处理效果, 常用水文模拟软件有 SWMM 等	定量评估不同情景下多种雨洪管理措施或区域的防洪减灾、污染物削减效益
	费效比	[78]	水环境 水经济	成本效益评估	分别计算 LID 建设成本和环境效益, 根据比值评估其成本效益	原理简单、实用性强, 但在较大尺度上计算耗时费力
	建设成本法	[86]	水经济	建设经济成本	通常用来比较 LID 措施建设前期成本, 包括土地、建设、材料和设备的一次性支出, 可直接反映 LID 措施投资成本	可用于计算 LID 措施与传统设施的建设成本差异, 简单易行, 但忽视了管理和维护等其他相关环节的经济投入
	成本效益分析法	[86]	水社会 水经济	综合效益评估	通过计算雨洪项目的净现值和效益成本比率, 实现市场价值与非市场价值的货币化估算	涵盖面较广, 构建了水生态、经济、社会、景观、游憩等市场与非市场价值的综合指标体系
	生命周期评价法	[20, 25]	水安全 水环境 水经济	综合效益评估	定量评估雨洪建设项目全过程中的环境成本和环境效益, 研究证明, 环境成本收益明显高于其负面影响	丰富了 LID 的成本内涵, 但在实际的运用过程中其对工程费用和价格数据收集的要求较高, 计算量大
	综合成本收益分析法	[86]	水经济 水环境 水社会	综合效益评估	从经济、环境、社会 3 个维度进行成本与收益的定量化、货币化评估	适用于全面评估雨洪管理的综合效益
	非支配遗传算法	[20, 25]	水经济 水环境 水社会	成本效益评估与综合评价	基于非支配遗传算法的多目标优化模型计算得出总费用和年径流总量控制率的帕累托最优曲线, 可为设计决策者提供多套不同的优化方案	适用于各类 LID 措施和尺度, 但其往往含有若干最优解, 因此, 需要结合实际条件与需求进行多指标综合评价, 算法参数设置对结果影响较大
	替代成本法	[90]	水经济	环境、生态效益	通过估算替代品的花费而代替雨洪管理生态效益或服务的价值	部分效益无法用技术手段代替, 难以准确计量, 如美感
	影子工程法	[90]	水经济	雨水利用收益评估	生态环境破坏以后, 人工建造某工程来代替原来的环境功能, 其投资费用就是资源损失价值	一般难以准确计量经济效益
	享乐价格法	[86]	水社会	土地增值	通过揭示同类房地产价格与房产周边环境属性的关系, 来衡量生态环境质量变动的货币价值, 从而反映周边环境质量	该方法的使用前提是公众能够清晰地理解和评价生态环境因素与房产价值之间的关系
	旅行成本法	[86]	水社会	娱乐价值	使用者为进入场所或能够参加特定活动而支付的隐含价格	适用于休闲空间 (公园、广场等) 的娱乐价值货币化评估
选择试验法	[91]	水社会 水环境 水经济	居民偏好	一种基于非市场估价技术的调查方法, 可用于评估成本效益、环境效益和政策之间关系	适用于环境效益的货币化评估	
条件价值法	[65, 79]	水社会	人居环境服务	通过调查人们对某一环境效益的支付意愿或赔偿接受意愿, 评估环境效益改善或环境质量损失的经济价值	适用于社会效益的经济价值评估, 但仅用经济社会变量解释支付意愿是不完全的	

市场交易价格来确定生态系统服务收益,如替代成本法、影子工程法;非市场价值评估方法则被广泛用于无法直接进行价值评估的社会服务效益,包括显示偏好法(享乐价格法、旅行成本法等)和表达偏好法(选择试验法等)。在非市场价值评估法中,条件价值法应用最为广泛,但这种评估方法仅仅包括经济社会变量,忽略了非经济因素的影响,因此,如1.5小节所述,越来越多的研究者尝试引入偏好、态度与可达性等非经济变量。

除此之外,城市雨洪管理的效益评价一般分为两个步骤:(1)对雨洪管理措施进行量化统计,形成各单项效益评价;(2)对各效益进行权重分析与价值评估,通过雨洪效益的价值化,实现雨洪管理措施效益

的横向比较。已有文献基于层次分析法<sup>[16,24]</sup>、TOPSIS法<sup>[19]</sup>、联合分析法<sup>[70]</sup>等,在前文提到的5个领域的基础上构建了效益评价体系。

## 2.2 评估工具

城市雨洪模拟是当前城市内涝防治、海绵城市建设中的关键性支撑技术。国外模型研发较早,相对成熟。我国的模型大多基于某一特定方向或研究区域开展应用研究<sup>[92]</sup>,但近年在自主研发和二次开发上也取得了一定的突破(见表3)。如基于HIMS的海绵城市雨洪模型<sup>[7]</sup>、基于SWMM的一二维耦合水动力模型<sup>[93]</sup>。综合效益评估工具多数以三重底线模型(Triple Bottom Line-oriented, TBL)为基础<sup>[94]</sup>,围绕经济、环境、社会因素展开,为使用者提供简单易行的计算

表3 城市雨洪管理效益评估工具

Table 3 Benefit evaluation tool of urban stormwater management

分类	评估工具	文献来源	发行时间/机构或团队	主要功能	适用性
雨洪管理模型	SWMM	[31]	1969—1971年/美国环境保护署	模拟动态的城市降雨-径流过程和多种污染物的累积、冲刷现象,实现水文、水质效果模拟	目前应用最为广泛,雨洪模拟效果较好,相比其他模型,参数少、操作简单
	SUSTAIN	[92]	2003年/美国环境保护署	城市降雨径流控制模拟与决策支持系统,通过雨洪措施的经济性和有效性评估,选择最优方案	可应用于区域、流域及社区等不同尺度
	Info Works	[92]	1997年/Wallingford公司	通过仿真模拟城市水文循环,进行管网局限性分析和方案优化	可应用于市政给排水系统网络模拟、投资效益分析等研究
	MIKE Urban	[92]	1972年/丹麦水力研究所	主要用于动态模拟排水管网系统随时间、空间上的变化过程,具有完整的水质模拟模块	可用于监测实时运行情况,所需数据少,建模与运行简单,但需要人为调整参数
	L-THIA-LID 2.1	[37]	2015年/LIU Yaoze等	评估LID措施对水量和水质的影响与成本效益	适用于评估流域尺度上不同LID措施或组合方案的实施效果
	基于水文水资源模拟系统的城市雨洪模型	[7]	2016年/刘昌明等	具有我国软件著作权的自主开发软件,该模型遵循自然产汇流特征,以用地类型为最小计算单元,能够评估区域产流产污过程、管道排水情况等	适用于各类LID措施建设效果与城市各用地类型的产流产污评估,可在其基础上定制模型,进行二次开发
	一二维耦合水动力模型	[93]	2020年/YIN Dingkun等	综合SWMM一维和元胞自动机双排水模拟(CADDIES)二维模型,精确模拟地表积水和淹没过程	模拟结果准确,适合于小规模如社区尺度的水文模拟
综合效益评估工具	绿色基础设施(GI)估值工具箱	[13]	2011年/英国自然管理局	通过对城市GI直接经济效益、间接经济效益、费用支出缩减、降低管理风险等效益的货币估值,量化估算城市GI环境效益	部分指标因国情和政策不同或基础数据不足而无法计算
	水敏型城市指数工具	[82]	2016年/澳大利亚水敏型城市合作研究中心	基于表格工具,评估水敏治理、增加社区资本、基本服务公平、优化城市空间等水敏感效益	可用于支持水敏型城市的相关投资与决策
	可持续排水系统效益评估工具	[14]	2016年/英国建筑业研究与信息协会	基于三重底线模型(TBL)评估和比较不同排水方案的多维效益	适用于城市排水系统设计和运行阶段的效益预测和经济效益评估
	绿色基础设施规划模型	[17]	2018年/顾康康等	基于雨洪管理、绿色空间可达性、净化空气、缓解热岛效应、景观连通性5个功能指标,评估城市绿色基础设施的多功能性	明确绿色基础设施高需求区,探讨绿色基础设施不同功能之间的权衡和协同关系

方法,但指标量化、效益权重与特殊地理人文因素的影响尚有待进一步探讨。表3列出了雨洪管理效益评估工具以及它们的功能与适用性。

### 3 研究趋势

(1)可持续雨洪管理与传统的水基础设施不同,其效益评价结果随时间的发展和环境条件的改变而发生变化,并且具有一定的不确定性。现有雨洪管理效益评估的研究范围已扩展到选址优化<sup>[83]</sup>、多尺度效应<sup>[18]</sup>、多学科协同效益<sup>[95]</sup>与风险评估等领域。因此,未来可以进一步基于气候变化与城市化进行城市雨洪管理的动态时空演变情景模拟,立足于不同城市人文地域条件,形成“因时制宜”与“因地制宜”的具体指导方略。

(2)作为城市发展理念和建设方式由“城市治理”向“城市共治”转型的重要标志,海绵城市建设需要社会经济发展、城市开发运营、市政建设管理、生态文明建设等方面的制度、机制与之配套。雨洪建设工程的有效性,一方面与雨洪设施的数量、质量息息相关,另一方面有待于从单纯地关注水文生态系统转变为科学地认知城市复合生态系统,综合人口、技术与认知等社会问题,转变雨洪管理认知方式<sup>[96]</sup>,扩展居民城市雨洪管理的参与广度与深度,探索一种综合城市环境改善和社会反馈的社会-生态方法<sup>[97]</sup>。

(3)城市水管理迈向可持续的系统转型是一个渐进式的发展过程<sup>[1]</sup>。现阶段,我国受传统水管理理念、利益相关方认知<sup>[98]</sup>、雨洪管理水平以及风险因素等影响,对狭义上的雨洪“管理”即非工程性雨洪配套措施的重要性认知较为薄弱,如政策法规、管理机制、宣传教育、民众参与等<sup>[3,99]</sup>。克服这些问题需要更好地理解SUWM措施的综合功能与效益。只有准确地认识多功能雨洪措施的价值,才能在实践中对其进行更好的设计与管理,从而进一步增加其价值、获得更好的投资回报,形成良性循环<sup>[73]</sup>。

### 4 结论

(1)城市雨洪管理的核心在于雨洪控制,目的就是在城市建成空间内恢复自然水文循环,保护城市生态系统。基础性生态服务领域的效益研究已经得出了大量研究成果。但立足于不断变化的水文水社会条件,指标评价有待进一步更新与发展,如在防洪减灾效益中引入动态洪涝过程指标,关注城市雨洪利用效益和促渗补水的指标建设与机制研究,关注利用城市

雨洪作为非饮用水源和地下水补充的水质与水安全问题,促进雨洪管理设施持续高效地发挥综合效能。

(2)人居环境服务领域的非实物型效益,当前已被人们广泛认知,定性描述也比较成熟,但准确、有效的定量评估仍有待进一步发展,这在一定程度上限制了公众对雨洪管理效益的深入了解。建议针对居民健康、景观美感与文化娱乐等生态系统服务,建立雨洪管理综合效益评价指标体系。本文评价指标的选取尚存在一定的局限性,未来有待进一步补充和完善。

(3)水文模型模拟与预测、综合效益评价工具等技术手段的综合应用,已经在衡量雨洪控制目标、制定与优化措施方案、实施精确检测与量化效果等方面发挥了重要作用,有待进一步加强对建设成果的实证评价,促进水管理各利益相关方的认知与互动。

### 参考文献(References):

- [1] MARLOW D R, MOGLIA M, COOK S, et al. Towards sustainable urban water management: A critical reassessment [J]. *Water Research*, 2013, 47(20): 7150-7161.
- [2] 魏依柯, 陈前虎. 国际视野下的可持续雨洪管理政策研究: 基于美国、英国和中国的比较 [J/OL]. *国际城市规划*: 1-15 [2021-09-01]. <https://doi.org/10.19830/j.upi.2020.384>.  
WEI Yike, CHEN Qianhu. Research on sustainable stormwater management policies from an international perspective: based on the comparison of the United States, the United Kingdom and China [J/OL]. *International Urban Planning*: 1-15 [2021-09-01]. <https://doi.org/10.19830/j.upi.2020.384>.
- [3] 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.  
CHE Wu, LYU Fangfang, LI Junqi, et al. Typical stormwater management systems in developed countries and their enlightenment [J]. *China Water & Wastewater*, 2009, 25(20): 12-17.
- [4] 张伟, 车伍, 王建龙, 等. 利用绿色基础设施控制城市雨水径流 [J]. *中国给水排水*, 2011, 27(4): 22-27.  
ZHANG Wei, CHE Wu, WANG Jianlong, et al. Using green infrastructure to control urban rainwater runoff [J]. *China Water & Wastewater*, 2011, 27(4): 22-27.
- [5] WONG T H, BROWN R R. The water sensitive city: principles for practice [J]. *Water Science & Technology*, 2009, 60(3): 673-682.
- [6] 沙永杰, 纪雁. 新加坡 ABC 水计划: 可持续的城市水资源管理策略 [J]. *国际城市规划*, 2021, 36(4): 154-158.  
SHA Yongjie, JI Yan. Singapore ABC Water Plan: Sustainable urban water resources management strategy [J]. *International Urban Planning*, 2021, 36(4): 154-158.
- [7] 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, 31(5): 719-731.
- LIU Changming, ZHANG Yongyong, WANG Zhonggen, et al. The LID pattern for maintaining virtuous water cycle in urbanized area: A preliminary study of planning and techniques for sponge city[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(5): 719-731.
- [8] 张建云, 王银堂, 胡庆芳, 等. 海绵城市建设有关问题讨论[J]. 水科学进展, 2016, 27(6): 793-799.
- ZHANG Jianyun, WANG Yintang, HU Qingfang, et al. Discussion on issues related to sponge city construction[J]. Advances in Water Science, 2016, 27(6): 793-799.
- [9] 高峰, 蔺欢欢. 海绵城市的建设与评估概念模型构建研究[J]. 国际城市规划, 2017, 32(5): 26-32.
- GAO Feng, LIN Huanhuan. Research on conceptual modeling of the construction and evaluation of sponge city[J]. International Urban Planning, 2017, 32(5): 26-32.
- [10] YIN D K, CHEN Y, JIA H F, et al. Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 280(2): 124963.
- [11] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于发布国家标准《海绵城市建设评价标准》的公告. [EB/OL]. (2019-04-10) [2021-12-21]. [http://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgnr/tzgg/201904/20190410\\_240118.html](http://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgnr/tzgg/201904/20190410_240118.html).
- Ministry Of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Announcement of the Ministry of Housing and urban-rural development on the issuance of the national standard *Evaluation standards for the construction of sponge cities* [EB/OL]. (2019-04-10) [2021-12-21]. [http://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgnr/tzgg/201904/20190410\\_240118.html](http://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgnr/tzgg/201904/20190410_240118.html).
- [12] 周艳妮, 尹海伟. 国外绿色基础设施规划的理论与实践[J]. 城市发展研究, 2010, 17(8): 87-93.
- ZHOU Yanni, YI Haiwei. Foreign green infrastructure planning theory and practice[J]. Urban Development Studies, 2010, 17(8): 87-93.
- [13] 肖希, 李敏. 英国绿色基础设施估值工具箱方法评鉴[J]. 城市问题, 2016(1): 52-57.
- XIAO Xi, LI Min. Review and reference to the urban GI valuation toolkit calculator of UK[J]. Urban Problems, 2016(1): 52-57.
- [14] ASHLEY R, GERSONIUS B, DIGMAN C, et al. Including uncertainty in valuing blue and green infrastructure for stormwater management[J]. Ecosystem Services, 2018(33): 237-246.
- [15] 俞茜, 李娜, 王杉, 等. 低影响开发设施的综合效益评估指标体系研究[J]. 水力发电学报, 2020, 39(12): 94-103.
- YU Qian, LI Na, WANG Shan, et al. Research on the comprehensive benefit evaluation index system of low-impact development facilities[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2020, 39(12): 94-103.
- [16] LI Q, WANG F, YU Y, et al. Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: a case study in Guangxi, China[J]. Journal of Environmental Management, 2019 (231): 10-20.
- [17] 顾康康, 程帆, 杨倩倩. 基于GISP模型的城市绿色基础设施多功能性评估[J]. 生态学报, 2018, 38(19): 7113-7119.
- GU Kangkang, CHENG Fan, YANG Qianqian. Analysis of multi-functional urban green infrastructure using a GISP model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): 7113-7119.
- [18] DEMUZERE M, ORRU K, HEIDRICH O, et al. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure[J]. Journal of Environmental Management, 2014(146): 107-115.
- [19] LUAN B, YIN R X, XU P, et al. Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS [J]. Journal of Cleaner Production, 2019 (223): 680-691.
- [20] 陶涛, 肖涛, 王林森, 等. 海绵城市低影响开发设施多目标优化设计[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 92-96.
- TAO Tao, XIAO Tao, WANG Linsen, et al. Multi-objective optimization design of low-impact development plan in sponge city construction[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2019, 47(1): 92-96.
- [21] CHEN Y, CHEN H M. The collective strategies of key stakeholders in sponge city construction: a tripartite game analysis of governments, developers, and consumers[J]. Water, 2020, 12(4): 1087.
- [22] 李孝永, 匡文慧. 北京城市土地利用/覆盖变化及其对雨洪调节服务的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5525-5533.
- LI Xiaoyong, KUANG Wenhui. Urban land use/cover change and its impact on urban flood regulation ecosystem service in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5525-5533.
- [23] HU M C, ZHANG X Q, LI Y, et al. Flood mitigation performance of low impact development technologies under different storms for retrofitting an urbanized area [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 222: 373-380.
- [24] 孙会航, 李俐频, 田禹, 等. 基于多目标优化与综合评价的海绵城市规划设计[J]. 环境科学学报, 2020, 40(10): 3605-3614.
- SUN Huihang, LI Lipin, TIAN Yu. Sponge city planning and design based on multi-objective optimization and comprehensive evaluation [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(10): 3605-3614.
- [25] JIA H F, WANG X W, TI C P, et al. Field monitoring of a LID-BMP treatment train system in China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187(6): 1-18.
- [26] HU M, SAYAMA T, ZHANG X, et al. Evaluation of low impact development approach for mitigating flood inundation at a watershed scale in China [J]. Journal of Environmental Management, 2017 (193): 430-438.
- [27] PALLA A, GNECCO I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale[J]. Journal of Hydrology, 2015, 528: 361-368.

- [28] MEI C, LIU J H, WANG H, et al. Integrated assessments of green infrastructure for flood mitigation to support robust decision-making for sponge city construction in an urbanized watershed[J]. *Science of the Total Environment*, 2018(639): 1394-1407.
- [29] 庞璇, 张永勇, 潘兴瑶, 等. 城市雨洪模拟与年径流总量控制目标评估: 以北京市未来科技城为例[J]. *资源科学*, 2019, 41(4): 803-813.
- PANG Xuan, ZHANG Yongyong, PAN Xingyao. Urban stormwater simulation and assessment of the control rate of total annual runoff: A case of the Future Science and Technology Park in Beijing[J]. *Resources Science*, 2019, 41(4): 803-813.
- [30] AHIABLAME L, SHAKYA R. Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016(171): 81-91.
- [31] 常晓栋, 徐宗学, 赵刚, 等. 基于 SWMM 模型的城市雨洪模拟与 LID 效果评价: 以北京市清河流域为例[J]. *水力发电学报*, 2016, 35(11): 84-93.
- CHANG Xiaodong, XU Zongxue, ZHAO Gang, et al. Urban rainfall-runoff simulations and assessment of low impact development facilities using SWMM model: A case study of Qinghe catchment in Beijing[J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2016, 35(11): 84-93.
- [32] LENG L Y, MAO X H, JIA H F, et al. Performance assessment of coupled green-grey-blue systems for Sponge City construction[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 728: 138608.
- [33] 杨默远, 刘昌明, 潘兴瑶, 等. 基于水循环视角的海绵城市系统及研究要点解析[J]. *地理学报*, 2020, 75(9): 1831-1844.
- YANG Moyuan, LIU Changming, PAN Xingyao, et al. Analysis of sponge city system and research points from the perspective of urban water cycle[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(9): 1831-1844.
- [34] 唐明, 周涵杰, 许文涛, 等. 蓄涝水面率选择对城市内涝治理效果的影响及分区研究[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2021, 52(12): 12-24.
- TANG Ming, ZHOU Hanjie, XU Wentao, et al. Study on influence from selection of water surface ratio for waterlogging on effect of urban. waterlogging prevention and control and its zoning method[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2021, 52(12): 12-24.
- [35] 沈才华, 王浩越, 褚明生. 构建内涝势冲量的海绵城市内涝程度评价方法[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2019, 51(3): 193-200.
- SHEN Caihua, WANG Haoyue, CHU Mingsheng. Construction of evaluation method of intrinsic degree of sponge city based on the momentum of waterlogging potential energy[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2019, 51(3): 193-200.
- [36] 李春林, 刘森, 胡远满, 等. 基于暴雨径流管理模型(SWMM)的海绵城市低影响开发措施控制效果模拟[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(8): 2405-2412.
- LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman. Simulation on the control effect of low impact development measures of sponge city based on storm water management model (SWMM)[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(8): 2405-2412.
- [37] LIU Y Z, BRALTS V F, ENGEL B A. Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 511: 12-23.
- [38] TURCO M, BRUNETTI G, PALERMO S A, et al. On the environmental benefits of a permeable pavement: metals potential removal efficiency and Life Cycle Assessment[J]. *Urban Water Journal*, 2020, 17(7): 619-627.
- [39] 赵华. 低影响开发雨水系统水质在海绵城市建设中的引导作用[J]. *给水排水*, 2016, 52(10): 56-60.
- ZHAO Hua. Guiding role of low impact development rainwater system water quality in sponge city construction[J]. *Water Supply and Drainage*, 2016, 52(10): 56-60.
- [40] TOTA-MAHARAJ K, SCHOLZ M. Efficiency of permeable pavement systems for the removal of urban runoff pollutants under varying environmental conditions[J]. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2010, 29(3): 358-369.
- [41] HATHAWAY J M, HUNT W F, JADLOCKI S. Indicator Bacteria Removal in Storm-Water Best Management Practices in Charlotte, North Carolina[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2009, 135(12): 1275-1285.
- [42] ECKART K, MCPHEE Z, BOLISSETTI T. Performance and implementation of low impact development-A review[J]. *Science of the Total Environment*, 2017(607): 413-432.
- [43] HAGER J, HU G J, HEWAGE K, et al. Performance of low-impact development best management practices: a critical review[J]. *NRC Research Press*, 2018, 27(1): 17-42.
- [44] LI C L, LIU M, HU Y M, et al. Characterization and first flush analysis in road and roof runoff in Shenyang, China. [J]. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2014, 70(3): 397-406.
- [45] 李想, 邸青. 暴雨和缓冲带特征对城市滨水缓冲带雨洪消减与水质净化效果的影响机制[J]. *生态学报*, 2019, 39(16): 5932-5942.
- LI Xiang, DI Qing. The influence mechanism of stormwater reduction and water purification of urban riparian buffer strip on different stormwater and buffer strip conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(16): 5932-5942.
- [46] 曲悠扬, 邓小鹏, 閻超成. 基于 SEM 的南方多雨地区海绵城市评价研究[J]. *建筑经济*, 2019, 40(1): 112-116.
- QU Youyang, DENG Xiaopeng, GE Chaocheng. Evaluation of sponge city in southern rainy area in china based on SEM[J]. *Construction Economy*, 2019, 40(1): 112-116.
- [47] 谷桂华, 朱文祥, 文姬丹. 玉溪城市雨水资源可利用潜力评估[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(7): 184-186.
- GU Guihua, ZHU Wenxiang, WEN Yadan. Assessment on using

- potential of urban rainwater resources in Yuxi, Yunnan[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(7): 184-186.
- [48] 赵飞, 张书函, 陈建刚, 等. 我国城市雨洪资源综合利用潜力浅析[J]. *人民黄河*, 2017, 39(4): 48-52.
- ZHAO Fei, ZHANG Shuhan, CHEN Jiangang. Analysis of Urban Rainwater Resources Potential for Integrated Utilization in China[J]. *Yellow River*, 2017, 39(4): 48-52.
- [49] 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.
- MA Yue, GAN Xu, DENG Zhaoxian, et al. Discussion on Evaluation and Analysis Method of Water-Related Core Indexes of Assessment and Monitoring System for Sponge City[J]. *Water Purification Technology*, 2016, 35(4): 42-51.
- [50] 孙栋元, 李元红, 金彦兆, 等. 甘肃黄土高原区城市雨洪资源利用综合评价[J]. *灌溉排水学报*, 2013, 32(1): 13-17.
- SUN Dongyuan, LI Yuanhong, JIN Yanzhao, et al. Comprehensive Evaluation of Utilization of Urban Rainwater Resource in Loess Plateau of Gansu Province[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2013, 32(1): 13-17.
- [51] CHAI H X, CHEN Z, SHAO Z Y, et al. Long-term pollutant removal performance and mitigation of rainwater quality deterioration with ceramicsite and *Cyperus alternifolius* in mountainous cities of China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(32): 32993-33003.
- [52] PRODANOVIC V, HATT B, MCCARTHY D, et al. Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution treatment and reuse [J]. *Journal of Environmental Management*, 2020(261): 110173.
- [53] DE MACEDO M B, DO LAGO C A F, MENDIONDO E M. Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: Potentials and challenges for water security in a subtropical catchment [J]. *Science of the Total Environment*, 2019(647): 923-931.
- [54] 程学磊, 刘彦, 海然, 等. 透水滤芯渗井技术及其在城市海绵化改造应用研究[J]. *水利水电技术*, 2021, 52(8): 66-75.
- CHENG Xuelei, LIU Yan, HAI Ran, et al. Study on technology of permeable filter element seepage well and its application to urban spongification improvement [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2021, 52(8): 66-75.
- [55] 周栋. 海绵城市建设中地层特性与蓄排水功能的相互关系研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2017.
- ZHOU Dong. Interrelationship analysis of formation properties and water storage and drainage function in construction of sponge city [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2017.
- [56] KAVEHEI E, IRAM N, RASHTI R M, et al. Greenhouse gas emissions from stormwater bioretention basins [J]. *Ecological Engineering*, 2021, 159: 106120.
- [57] MAO X F, WEI X Y, ENGEL B, et al. Network-based perspective on water-air interface GHGs flux on a cascade surface-flow constructed wetland in Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. *Ecological Engineering*, 2020, 151: 105862.
- [58] D'ACUNHA B, JOHNSON M S. Water quality and greenhouse gas fluxes for stormwater detained in a constructed wetland [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 231: 1232-1240.
- [59] 朱玲, 由阳, 程鹏飞, 等. 海绵建设模式对城市热岛缓解效果研究[J]. *给水排水*, 2018, 54(1): 65-69.
- ZHU Ling, YOU Yang, CHENG Pengfei, et al. Research on the mitigation effect of sponge construction model on urban heat island [J]. *Water Supply and Drainage*, 2018, 54(1): 65-69.
- [60] 徐洪, 杨世莉. 城市热岛效应与生态系统的关系及减缓措施 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(6): 790-798.
- XU Hong, YANG Shili. Urban heat island effect and urban ecosystems [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2018, 54(6): 790-798.
- [61] ZHANG K, CHUI T F M. Linking hydrological and bioecological benefits of green infrastructures across spatial scales-A literature review [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 646: 1219-1231.
- [62] MOORE T, HUNT W F. Ecosystem service provision by stormwater wetlands and ponds-A means for evaluation? [J]. *Water Research*, 2012, 46(20): 6811-6823.
- [63] RADINJA M, COMAS J, COROMINAS L, et al. Assessing stormwater control measures using modelling and a multi-criteria approach [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 243: 257-268.
- [64] 李萌萌, 郭祺忠, 练继建, 等. 一种海绵城市社会效益计算方法: 以天津大学北洋园校区为例[J]. *地学前缘*, 2020, 27(3): 281-289.
- LI Mengmeng, GUO Qizhong, LIAN Jijian, et al. A calculation method for assessing the social benefits of a sponge city: a case study for the Peiyang Park Campus, Tianjin University [J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27(3): 281-289.
- [65] 付喜娥. 基于条件价值法的绿色基础设施社会效用评估: 以苏州金鸡湖景区为例[J]. *中国园林*, 2019, 35(10): 46-50.
- FU Xi'e. Assessment of social utility of green infrastructure based on the contingent valuation method: taking Suzhou Jinji Lake scenic area as an example [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2019, 35(10): 46-50.
- [66] SUBIZA-PEREZ M, VOZMEDIANO L, SAN J C. Green and blue settings as providers of mental health ecosystem services: Comparing urban beaches and parks and building a predictive model of psychological restoration [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 204: 103926.
- [67] WENDEL H E W, DOWNS J A, MIHELICIC J R. Assessing equitable access to urban green space: the role of engineered water infrastructure [J]. *Environmental science & technology*, 2011, 45(16): 6728-6734.
- [68] 张炜, 杰克·艾亨, 刘晓明. 生态系统服务评估在美国城市绿色基础设施建设中的应用进展评述 [J]. *风景园林*, 2017(2): 101-108.

- ZHANG Wei, AHERN J, LIU Xiaoming. A Review of the Application of Ecosystem Service Valuation in Urban Green Infrastructure Development of United States[J]. *Landscape Architecture*, 2017(2): 101-108.
- [69] VENKATARAMANAN V, PACKMAN A I, PETERS D R, et al. A systematic review of the human health and social well-being outcomes of green infrastructure for stormwater and flood management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 246: 868-880.
- [70] 武文婷, 施泰隆, 张善峰. 基于联合分析法的城市住区绿地雨水设施居民喜好度研究[J]. *中国园林*, 2020, 36(6): 39-44.  
WU Wenting, SHI Tailong, ZHANG Shanfeng. Research on the public preference of rainwater facilities in the green space of urban residential areas based on conjoint analysis [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2020, 36(6): 39-44.
- [71] VENKATARAMANAN V, LOPEZ D, MCCUSKEY D J, et al. Knowledge, attitudes, intentions, and behavior related to green infrastructure for flood management: A systematic literature review[J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 720: 137606.
- [72] O'BRIEN L, DE VREESE R, KERN M, et al. Cultural ecosystem benefits of urban and peri-urban green infrastructure across different European countries[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, 24: 236-248.
- [73] 杨青娟, 梅瑞狄斯·弗朗西丝·多比, 王胤瑜. 雨洪管理多功能景观文化生态系统服务的重要性-满意度研究[J]. *景观设计学*, 2019, 7(1): 52-67.  
YANG Qingjuan, DOBBIE M F, WANG Yinyu. Importance-satisfaction analysis of cultural ecosystem services of multifunctional landscapes designed for stormwater management[J]. *Landscape Architecture Frontiers*, 2019, 7(1): 52-67.
- [74] 蒋涤非, 邱慧, 易欣. 城市雨水资源化的景观学途径及其综合效益评价[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 65-74.  
JIANG Difei, QIU Hui, YI Xin. Landscape approach and benefit analysis for urban rainwater utilization[J]. *Resources Science*, 2014(1): 65-74.
- [75] 沈洁, 龙若愚, 陈静. 基于景观绩效系列(LPS)的中美雨水管理绩效评价比较研究[J]. *风景园林*, 2017(12): 107-116.  
SHEN Jie, LONG Ruoyu, CHEN Jing. Comparative research on performance assessment of stormwater management between China and America based on Landscape Performance Series (LPS)[J]. *Landscape Architecture*, 2017(12): 107-116.
- [76] OSSA-MORENO J, SMITH K M, MIJIC A. Economic analysis of wider benefits to facilitate SuDS uptake in London, UK[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2017, 28: 411-419.
- [77] BAHRAMI M, BOZORG-HADDAD O, LOÁICIGA H A. Optimizing stormwater low-impact development strategies in an urban watershed considering sensitivity and uncertainty[J]. *Environmental monitoring and assessment*, 2019, 191(6): 340. doi: 10.1007/s10661-019-7488-y.
- [78] 李俊生, 尹海伟, 孔繁花, 等. 绿色屋顶雨洪调控能力与效益评价[J]. *环境科学*, 2019, 40(4): 1803-1810.
- LI Junsheng, YIN Haiwei, KONG Fanhua, et al. Green roof rainwater regulation ability and benefit evaluation[J]. *Environmental Science*, 2019, 40(4): 1803-1810.
- [79] MELL I C, HENNEBERRY J, HEHL-LANGE S, et al. To green or not to green: Establishing the economic value of green infrastructure investments in The Wicker, Sheffield[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 18: 257-267.
- [80] 杨丰璐, 杨高升. 海绵城市背景下LID措施综合效益量化研究[J]. *资源与产业*, 2020, 22(6): 75-81.  
YANG Fenglu, YANG Gaosheng. Quantitative study on comprehensive benefits of low influence development (lid) approaches in sponge cities[J]. *Resources & Industries*, 2020, 22(6): 75-81.
- [81] 王强, 付厚利, 秦哲, 等. 基于LID模式的雨水管控能力模拟与综合效益评估[J]. *人民长江*, 2018, 49(19): 21-25.  
WANG Qiang, FU Houli, QIN Zhe, et al. Simulation of rainwater control capability based on LID mode and its comprehensive benefit evaluation[J]. *Yangtze River*, 2018, 49(19): 21-25.
- [82] ROGERS B C, DUNN G, HAMMER K, et al. Water Sensitive Cities Index: A diagnostic tool to assess water sensitivity and guide management actions [J]. *Water Research*, 2020, 186: 116411.1-116411.13.
- [83] 柯磊, 翟国方, 施益军, 等. 基于综合效益最大化的绿色雨洪基础设施选址研究: 以加拿大魁北克市博波尔区为例[J]. *国际城市规划*, 2020, 35(6): 120-127.  
KE Lei, ZHAI Guofang, SHI Yijun, et al. Research on the site selection of green stormwater infrastructure based on maximizing comprehensive benefits: A case study of Beaubourg District, Quebec City, Canada[J]. *International Urban Planning*, 2020, 35(6): 120-127.
- [84] WU J, CAO X, ZHAO J, et al. Performance of biofilter with a saturated zone for urban stormwater runoff pollution control: Influence of vegetation type and saturation time [J]. *Ecological Engineering*, 2017(105): 355-361.
- [85] ZHU Z H, CHEN Z H, CHEN X H, et al. An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 231: 504-514.
- [86] 张善峰, 董丽, 黄初冬. 绿色基础设施经济收益评估的综合成本收益分析法研究: 以美国费城为例[J]. *中国园林*, 2016, 32(9): 116-121.  
ZHANG Shanfeng, DONG Li, HUANG Chudong. Research on the comprehensive cost benefit analysis method of green infrastructure economic benefit evaluation: taking Philadelphia as an example [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2016, 32(9): 116-121.
- [87] 资强, 殷乐, 杨仲韬, 等. 基于容积法设计的海绵场地理论径流控制能力研究[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(16): 24-29.  
ZI Qiang, YIN Le, YANG Zhongtao. Study on theoretical runoff control ability of sponge site designed according to volume method

- [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(16): 24-29.
- [88] 李薇. 雨洪调蓄公园规划设计与综合评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.  
LI Wei. Study on the Planning Design and Comprehensive Evaluation of Rainfall Storage Park[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [89] BHATT A, BRADFORD A, ABBASSI B E. Cradle-to-grave life cycle assessment (LCA) of low-impact-development (LID) technologies in southern Ontario[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 231: 98-109.
- [90] 王庆日. 城市绿地的价值及其评估研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.  
WANG Qingri. Value of Urban Green Space and its Assessment [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [91] ZANDER K K, GARNETT S T, STRATON A. Trade-offs between development, culture and conservation-Willingness to pay for tropical river management among urban Australians[J]. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(12): 2519-2528.
- [92] 夏军, 张印, 梁昌梅, 等. 城市雨洪模型研究综述[J]. 武汉大学学报(工学版), 2018, 51(2): 95-105.  
XIA Jun, ZHANG Yin, LIANG Changmei. Review on urban storm water models[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2018, 51(2): 95-105.
- [93] 范玉燕, 汪诚文, 喻海军. 基于一二维耦合水动力模型的海绵小区建设效果评估[J]. 水电能源科学, 2018, 36(12): 16-20.  
FAN Yuyan, WANG Chengwen, YU Haijun. Evaluation of sponge community construction based on coupled 1D and 2D hydrodynamic model[J]. *Water Resources and Power*, 2018, 36(12): 16-20.
- [94] GORDON B L, QUESNEL K J, ABS R, et al. A case-study based framework for assessing the multi-sector performance of green infrastructure [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 223: 371-384.
- [95] JOHNSON C, TILT J H, RIES P D, et al. Continuing professional education for green infrastructure: Fostering collaboration through interdisciplinary trainings [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019(41): 283-291.
- [96] FERGUSON B C, BROWN R R, FRANTZESKAKI N, et al. The enabling institutional context for integrated water management: Lessons from Melbourne [J]. *Water Research*, 2013, 47(20): 7300-7314.
- [97] CALDERON-CONTRERAS R, QUIROZ-ROSAS L E. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of urban ecosystem services: A case from Mexico City [J]. *Ecosystem Services*, 2017(23): 127-137.
- [98] DROSOU N, SOETANTO R, HERMAWAN F, et al. Key factors influencing wider adoption of blue-green infrastructure in developing cities [J]. *Water*, 2019, 11(6): 1234.
- [99] 赵晶. 城市化背景下的可持续雨洪管理 [J]. 国际城市规划, 2012, 27(2): 114-119.  
ZHAO Jing. Sustainable stormwater management in the background of urbanization [J]. *Urban Planning International*, 2012, 27(2): 114-119.

(责任编辑 王海锋)

## 广 告 目 次

封 二: 南京南瑞继保电气有限公司

封 底: 中水电第十一局(郑州)有限公司

封 三: 舟山市博远科技开发有限公司

目次页: 《水利水电技术(中英文)》杂志协办单位

前插一: 第二届成都国际水电创新应用成果大会

202: 《水利水电技术(中英文)》订阅