中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2017)12-0107-10
DOI：10.14085/j.fjyl.2017.12.0107.10
收稿日期：2017-10-09
修回日期：2017-11-02

基于景观绩效系列（LPS）的中美雨水管理绩效评价比较研究

Comparative Research on Performance Assessment of Stormwater Management between China and America based on Landscape Performance Series (LPS)

沈洁 龙若愚 陈静 *
SHEN Jie, LONG Ruo-yu, CHEN Jing*

摘要：面对中国如火如荼的海绵城市建设，如何评价其成效对城市的建设和发展至关重要。但国内学术界目前对其建设成果评价的关注度并不高，且研究侧重数学评价模型的建立，对建设成果的实证评价较少。本文以美国风景园林基金会发布的 65 个已建成的、雨水景观绩效评价案例为研究对象，对其项目类型、规模、效益组成比率、效益评价指标、评价方法及限制等进行了统计和分析。本研究将有助于补充和发展国内现有研究，在未来建立场地尺度的、适应于我国国情的雨水管理绩效评价体系，为海绵城市的健康发展提供更为科学的方法和保障。

关键词：风景园林；景观绩效；海绵城市；雨水管理；绩效评价；比较研究
基金项目：国家自然科学基金青年项目（编号 51708415）；上海市青年科技英才扬帆计划（编号 16YF1412000）；住房城乡建设部 2016 年科学技术项目（编号 2016-K2-001）；同济大学青年优秀人才培养行动计划（编号 2015KJ025）；同济大学高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室 2016 年自主与开放课题

Abstract: Facing the ongoing construction of sponge city in China, how to assess its effectiveness is very important to the construction and development of the city. However, the domestic academic community is not highly concerned about the assessment of the construction results, and the current studies place more emphasis on the establishment of a mathematical assessment model, while the empirical assessment of the construction results is very lacking. In this paper, 65 cases of performance assessment of the constructed rainwater landscape, which are published by LAF, are statistically analyzed in the aspect of project type, scale, benefit ratio, benefit assessment index，assessment methods and restrictions. It will help to supplement and develop the existing research in China, and establish a small-site-scale rainwater management performance assessment system in the future which is suitable for our national conditions, so as to provide a more scientific method for the healthy development of the sponge city.

Keywords: landscape architecture; landscape performance; Sponge City; stormwater management; performance assessment; comparative research
Fund Items: Funded by National Nature Science Foundation (Youth Foundation, No. 51708415); Shanghai Sailing Program (No. 16YF1412000); Science and Technology Program of Ministry of Housing and Urban-Rural Development (No. 2016-K2-001); Young Excellent Researcher Funding of Tongji University (No. 2015KJ025): Key Laboratory of Ecology and Energy-saving Study of Dense Habitat (Tongji University), Ministry of Education

1 引言

自 2013 年“海绵城市”的概念被提出，2014 年住房城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南》，2015 年 16 个首批城市建设试点名单公布，中国的海绵城市建设如火如荼并初具规模。我国已有并将继续有大批基于低影响开发理念的建设项目落成。我们应当如何评价海绵城市的建设，它是否实现了政府、甲方、设计师和公众的预期目标？这个问题的答案对我国海绵城市的建设和发展至关重要。

沈洁 /1985 年生 / 女 / 云南人 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院景观学系助理教授，硕士生导师 / 研究方向为风景园林设计与理论、风景园林价值与绩效评价、循证设计研究（上海 200092）
SHEN Jie, who was born in 1985 in Yunnan Province, is an assistant professor and master supervisor in the Department of Landscape Studies, College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Her research focuses on the theories and practices of landscape design, the values of landscape architecture and landscape performance assessment, the evidence-based landscape design (Shanghai 200092).
龙若愚 /1996 年生 / 女 / 湖北人 / 同济大学建筑与城市规划学院景观学系在读硕士研究生 / 研究方向为雨水景观绩效评价与循证设计研究（上海 200092）

2 中国雨水管理绩效评价研究进展

为了科学、全面地评价海绵城市建设成效，2015 年 8 月住房城乡建设部发布了《海绵城市建设绩效评价与考核办法》（试行，以下简称《考核办法》），考核包括水生态、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，其中前 4 类属于定量指标，后 2 类为定性指标，其下各设二级指标共计 18 项[1]。

《考核办法》主要是从宏观角度阐述评价体系的构成，因此在直接指导各地海绵城市建设绩效评价监测方案的制定和实施上存在一定难度。困难包括：未明确各考核指标的定量评价分析方法导致难以直接操作[2]；由于受到地方特色和建设优劣势的影响，各城市考核指标的重点和影响因素不一，无法一概而论[3]等。目前，已有数篇文献基于群组评价理论[4]、层次分析法（AHP）[3]、熵权 TOPSIS 法[5]、频度统计法、德尔菲法、理论分析法[6]等在这六大指标体系的基础上构建了数学评价模型，并以此为框架对杭州市[6]、河南省鹤壁市[5]的海绵城市建设进行了绩效评价。

但相较于海绵城市建设阶段涌现的大量文献[7-12]，国内学术界对其建设成果评价的关注只算是沧海一粟。通过 CNKI 的检索发现，除以上文献外（以上文献均出现于《考核办法》颁布之后），已有相关研究还包括：徐振强[13]总结了绩效评价常用的理论和方法，建议采用灰色关联方法对“海绵城市”进行绩效评价；王彩娟[14]、赵西宁[15]采用模糊层次分析法，赵玲萍[16]、蒋涤非[17]采用模糊综合评价法，李美娟[18]采用多层次半结构模糊决策法，张新波[19]采用可拓学评价法，郭鹏磊采用 AHP-FCE[20]方法等建立了雨水管理的数学评价模型。

而事实上，自《考核办法》颁布以来，很多试点城市都先后展开了海绵城市的绩效考核工作，但这些实践方面的经验和成果目前主要作为向政府汇报的工作报告，鲜少传导至学术研究领域上，这导致了二者之间的割裂，这也是我国该领域研究目前存在的一大问题。

总的来说，国内学术界当前在该领域的研究测重于数学评价模型建立的方法和过程，对建设成果的实证评价较少。并且与海绵城市建设研究类似，该领域研究混合了包括水利工程、环境工程、城市规划、风景园林等不同专业的视角（风景园林专业在其中占比极少），且存在以下问题：1）针对相似的评价目标（如雨水管理绩效），不同专业人士在建构数学模型时选定的评价准则存在较大差异，导致评价指标千差万别；2）普遍评价指标以环境效益为主，忽视了雨水利用系统的其他效益（如其自身的美学、社会以及经济效益[17]）；3）大部分论文未及选定指标的方法和测定指标的方式；4）多采用德尔菲法确定指标权重，只能反映专业人士的视角，在评价结果上存在偏差。此外，海绵城市的建设涉及宏观（区域）、中观（城市）和微观（场地）3 个尺度[21]，因此对其绩效评价的指标与标准也应有类似的对应关系。但由于该领域在我国的研究目前尚在起步阶段，各数学模型适用的评价尺度也并未做出严整的细分。当前国内文献中已有几种雨水管理绩效评价体系，它们在评价准则、评价指标、评价侧重以及适用尺度上都存在较大差异（表 1）。

3 美国 LPS 雨水管理绩效评价研究进展

绩效评价作为行业研究的新热点[22]，国内现有研究侧重于数学评价模型的建构方法和过程，缺乏针对建设成果的实证评价。而由美国风景园林基金会(Landscape Architecture Foundation，简称 LAF）在 2010 年发起的景观绩效系列(Landscape Performance Series,简称 LPS）研究注重对建设成果的实证评价，它提倡通过一系列“案例研究调查”（Case Study Investigation,简称CSI)的方法来准确量化建成项目的景观绩效，这正好与国内现有研究形成互补。景观绩效（Landscape Performance）被定义为“景观实现预期目标和助力于可持续发展的衡量指标[23]”。其核心是对建成项目运行状态进行量化评估，从而确定被使用的设计方法和策略是否满足原本的设计意图，并且是否为项目的可持续发展做出贡献。这种量化评估的过程为设计理论和实践应用提供了一个重要的连接[24]，有助于为指导未来循证的设计（Evidence-based Design）①建立研究基础[25-26]。LPS 没有发展传统的层级因子和权重构成的评价体系，而是基于案例研究，关注每一个项目实际绩效的度量，核心的策略是确定项目的可持续特征（Sustainable Feature），从环境、社会和经济 3 个方面，构建了开放性的景观绩效可持续特征度量体系（Measure Metrics）。截至 2017 年 9 月，LAF 在线发布了 107 项关于景观设计在世界各地产生多重效益的研究，其中 65 项建成项目与雨水管理相关[23]②。

为了全面了解 LPS 在雨水管理绩效评价方面的进展情况，并从实证评价角度为我国相关领域研究提供补充，我们以这 65 个雨水景观绩效评价案例为样本，进行了基于文献综述和假设的案例分析研究。首先做出如下假设：1）所有研究团队都尽力收集了有关景观绩效的数据与文件；2）研究团队采用的数据来源和研究方法都是可靠的；3）每个项目研究的基础信息都是准确的。基于以上假设，以“项目名称、项目类型、原土地利用状况、面积、建成时间、评价准则、评价指标、评价方法和评价限制”为框架，对 65 个已建成项目的评

LONG Ruo-yu, who was born in 1996 in Hubei Province, is a master student in the Department of Landscape Studies, College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Her research focuses on stormwater landscape performance assessment and evidence-based design (Shanghai 200092).

陈静 /1980 年生 / 女 / 江苏人 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院景观学系讲师，硕士生导师 / 研究方向为城市生态与城市农业（上海 200092）
通信作者邮箱（Corresponding author Email）：jingchen@tongji.edu.cn

CHEN Jing, who was born in 1980 in Jiangsu Province, is a lecturer and master supervisor in the Department of Landscape Studies, College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Her research focuses on urban ecology and urban agriculture (Shanghai 200092).

表 1 国内雨水管理绩效评价的不同体系

Tab. 1 Different system of domestic rainwater management performance assessment

续表 1

类型	评价准则及指标来源	评价准则	评价指标	评价侧重	适用尺度	文献来源
1	《海绵城市建设绩效评价与考核办法》（试行），2015 年，住建部	水生态	年径流总量控制率	环境效益、管理机制与示范效应	城市尺度	《海绵城市建设绩效评价与考核办法》（试行）[1]
			生态岸线恢复			
			地下水位			
			城市热岛效应			
		水环境	水环境质量			
			城市面源污染控制			
		水资源	污水再生利用率			
			雨水资源利用率			
			管网漏损控制			
		水安全	城市暴雨内涝灾害防治			
			饮用水安全			
		制度建设及执行情况	规划建设管控制度			
			蓝线、绿线划定与保护			
			技术规范与标准建设			
			投融资机制建设			
			绩效考核与奖励机制			
			产业化			
		显示度	连片示范效应			
2	《通过 LID 技术和实践降低雨水处理成本》，2007 年，美国环保局	保护性设计	路幅限制	环境效益	场地尺度	《基于 AHP-FCE 的低影响开发项目绩效评价研究》[20]
			开放空间保护			
			开发集中程度			
			车道改造效果			
		渗透性能	街道渗透性			
			铺装透水性			
			渗透池效果			
			绿地渗透效果			
		径流蓄存	蓄水池效果			
			雨水桶效果			
			绿色屋顶性能			
			调节池效果			
			下凹式绿地效果			
		过滤性能	人工湿地效果			
			植被过滤带效果			
			植被滤槽效果			
			雨水花园效果			
		生物滞留带性能	植被草沟效果			
			植草洼地效果			
		低冲击景观	本土植物种植效果			
			林木更新效果			
			耐旱植物种植效果			
			土壤改良效果			
3	未详细说明其指标来源	生态效益	水质净化	综合效益	未及	《城市雨水资源化的景观学途径及其综合效益评价》[17]
			生态环境优化			
			水源涵养			
		社会与人文效益	城市发展			
			城市水文化			
			城市生活			
		经济效益	成本投资			
			收益价值			
			其他价值			

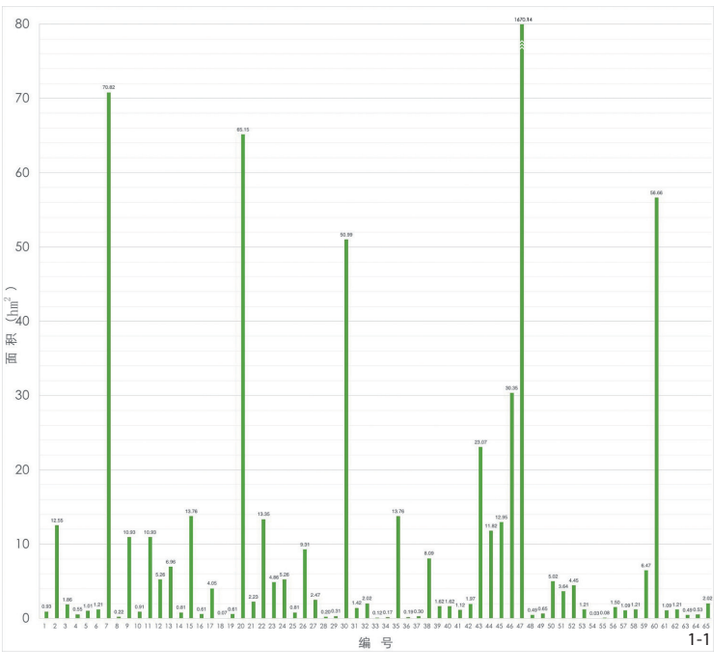
价报告进行了整理，并对其规模、类型、效益组成比率、效益评价指标、评价方法和限制进行了统计学分析。

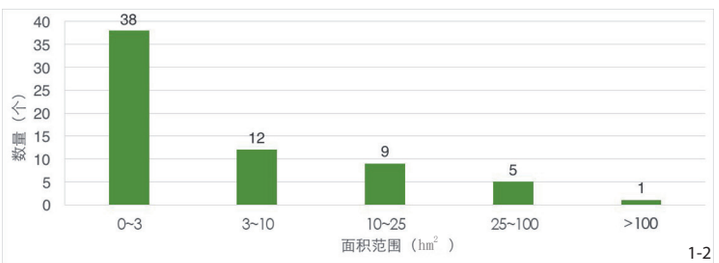
据统计表明（图1），在现有的65个项目中，面积最小的仅0.03hm^2，是ASLA总部的绿色屋顶花园（ASLA Headquarters Green Roof）；面积最大的1 670.14hm^2，是黎明社区（Daybreak Community）。根据其规模分布可划分至5个区间，随着项目面积的增大，项目数量逐步减少。其中，0~3hm^{2}的项目有38个，占比58.46%为最高；3~10hm^{2}的项目有12个，占比18.46%；10~25hm^{2}的项目有9个，占比13.85%；25~100hm^{2}的项目有5个，占比7.69%；大于100hm^{2}的项目目前只有1个，占比1.54%。

从项目类型分布上看（图2），公园是调研报告中占比最高的类型，共计23个，占比35.38%；其次是公建设施景观（包括政府、医疗、文化、办公设施等，9个）和校园景观（9个），各占比13.85%；再次是庭院/广场（8个），占比12.31%。在LPS现阶段与雨水管理相关的案例研究中，有接近半数（30个）的项目规模小于3hm^2，且类型为公园、公建设施景观、校园或庭院/广场。

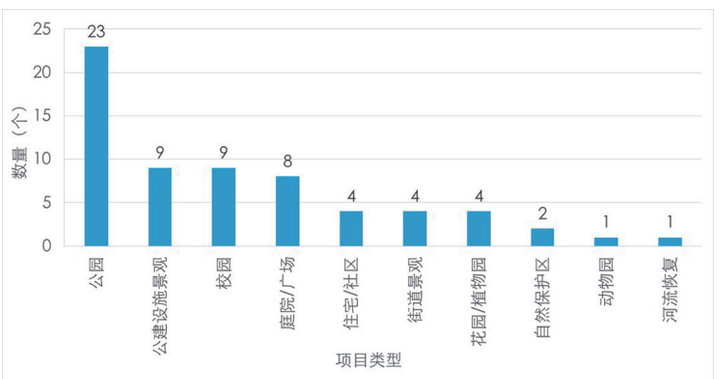
在此基础上，对65份研究调查样本的景观绩效指标进行了分类分析。环境效益的评价指标共计45个，出现总频次为258次；社会效益的评价指标共计26个，出现总频次为139次；经济效益的评价指标共计11个，出现总频次为79次（表2），环境效益评价指标比社会与经济效益评价指标的总和还要高。其中大约有50%的指标提及评价该指标使用的方法，并有30%的指标描述了此评价方法存在的限制。针对环境效益指标，研究队伍采用的评价方法主要包括：现场监测（测量气温、地表温度、节水水量、水质等），模型模拟（通过Hydro CAD、SWMM等软件模拟开发前后的径流变化等，通过Google SketchUp模型模拟阴影情况），工具计算［通过Rational Method（Q=CiA）或Washington State Department of Ecology Rain Harvesting Toolkit计算径流量，通过National Tree Benefit Calculator计算固碳量/雨水拦截量，通过Green Roof Energy calculator计算绿色屋顶产生的能量等］，从相关档案中调取数据等；对于社会效益指标，采用的评价方法主要包括：线上和线下调查（问卷调查、现场观察、摄影、录像、绘制活动地图等），从相关档案中调取数据等；对于经济效益指标，采用的评价方法包括：现场调查、数据计算（节省的成本、增加的税收和工作岗位等）、从相关档案中调取数据等。相较而言，案例研究中对环境效益指标的评价方法和限制的描述更为详细，如针对“年固碳量”这一指标，调研报告介绍并运用National Tree Benefits Calculator进行计算，并说明

1 研究调查样本规模统计信息
The size statistics of the research sample
1-1 研究调查样本的单项规模
The size information of the sample
1-2 研究调查样本的规模分布区间
The size distribution interval of the research sample





1



2

2 研究调查样本的项目类型分布
The project type distribution of the research sample

了植物胸径增加、相近树种替代等因素带来的干扰和限制。这样的详细说明有助于后来者对该评价指标的合理性、可行性进行分析、并便于总结和借鉴。而针对社会和经济效益评价指标的相关信息相对较少，很多社会效益常采用现场观察和调查问卷的方法进行调研，但调研报告很少对其观察方式、问卷内容做出详细描述；又如许多经济效益指标信息常从政府部门、相关文件等获取，又或通过模拟计算得到，可能存在信息来源不明确、准确性待考、计算模型未说明或模型不统一等问题。

单个项目样本的分析也存在类似情况：每个项目中的环境、社会和经济效益并不均等，大部分案例表明样本中的环境效益要高于社会和经济效益。我们参考相关文献[27-28]建立了一个用来说明景观绩效效益组成的标尺，以便更加直观地展现这65份研究调查样本中3类效益之间的关系。在这一标尺中，总效益数值为100%，环境、经济和社会3个类别中的相对比率用如下等式[27-28]计算：

R= 每种类型的效益数量 / 总效益数量 ×100%

R值为每种效益的相对比率。

将统计数据转化为图示后得到效益组成比率三角图（图3）。尽管每种效益的权重和重要性等因素可能会使结果产生实质性差异，但它们可以粗略地说明每个项目的绩效特征及总体绩效的分布趋势。图3中，黄色三角为经济效益三角，代表位于该区间的4个项目经济效益较高（≥50%）；红色三角为社会效益三角，代表位于该区间的9个项目社会效益较高（≥50%）；蓝色三角为环境效益三角，代表位于该区间的41个项目环境效益较高（≥50%）③；白色三角为综合效益三角，代表位于该区间的15个项目具备较为平均的综合效益。图3直观地反映出LPS雨水管理

表2 LPS雨水管理项目景观绩效统计表

Tab. 2 Statistical list of landscape performance of LPS stormwater management project

表2-1 LPS雨水管理项目环境效益统计表

Tab. 2-1 Statistical list of environmental performance of LPS stormwater management project

环境效益		指标	项目数量
生境	生境保护 / 创建 / 恢复	提高生物多样性（增加生物量密度指数BDI、动植物物种丰富度等）	7
		提供生物栖息地（包括植物、昆虫、鸟类、哺乳动物、爬行动物、两栖动物等）	6
		提高生态质量	4
		提高栖息地价值	1
		恢复生态通廊（恢复其连通性）	1
		保护未受干扰区域（潜在动物栖息地）	1
		监测和预防虫害	1
	植被	提高树木生长 / 生产效率（通过使用结构土壤等）	2
		增加树木数量	1
		恢复原生植被	1
水源	雨洪管理	控制径流总量	56
		控制径流峰值	7
		雨水拦截量（通过树冠）	7
	节水	通过使用耐旱 / 本土植物来降低灌溉耗水量	21
		雨水 / 中水的资源化利用（用于灌溉、景观和厕所用水）	18
		通过使用节水型设备 / 低流速灌溉系统来降低灌溉耗水量	9
		通过限制传统草坪面积来降低灌溉耗水量	4
		通过使用外来非饮用水水源进行灌溉来降低饮用水耗水量	2
		通过地形设计增加雨水渗透量来减少灌溉耗水量	2
	水质	改善水质：减少水体污染物（总悬浮物、氮负荷、磷负荷、硝酸盐等）	21
		改善水质：增加溶解氧	3
		改善水质：PH值下降、总类群数增加	1
		改善水质：由于融雪和雨水可以渗透，减少了冬季盐的使用	1
		利用湿地处理灰水	1
		提高废水处理量（采用生物膜反应器水处理系统）	1
	防洪	恢复自然河道（通过裁弯取直）	1
		减少洪泛面积（通过提高蓄洪能力）	1
		提高河道承受雨水速度（剪切应力）的能力	1
		提高河流输配水能力（通过移除涵洞并将该部分溪流恢复为地表流动水体）	1
		降低流速以减小水流的剪切应力 / 侵蚀能力	1
		减少溢流次数（通过在渠底安装合流制排水系统溢流拦截装置）	1

续表 2-1

环境效益		指标	项目数量
碳 / 能量	城市热岛效应	降低地表温度	8
		降低日间气温	6
		降低屋顶表面温度（采用绿色屋顶；高反射率屋顶材料等）	5
		减缓城市热岛效应	3
		降低建筑表面温度	1
	空气质量	净化空气（通过涂有二氧化钛的测试板，从空气中除去氮氧化物）	1
	能源	节约能源（通过使用太阳能、绿色屋顶、节能灯具、地源热泵等）	7
	碳	年固碳量（通过乔木、灌木和草本植物等）	24
		减少碳足迹 / 碳排放（使用本土植物，消除了肥料、杀虫剂和除草的需要；用每周手除草和每年固定的燃烧代替机械设备等；现场材料和回收利用建设废料的再利用）	4
材料 / 废料	再利用和回收	废物利用（将场地原有材料、施工拆卸材料、各种废料等回收再利用）	9
土地	土地	改善土壤质量	2
其他	其他	增加开发土地（采用统一的雨水管理设施取代传统的分散蓄流池）	1
		扩大公园面积	1
		减小车道宽度，转化成人行广场	1
合计			258

表 2-2 LPS 雨水管理项目社会效益统计表

Tab. 2-2 Statistical list of social performance of LPS stormwater management project

社会效益	指标	项目数量
娱乐和社交价值	增加游人量	22
	提供令人愉悦的户外活动空间和活动机会	14
	促进社交互动	5
	举办各类公众活动	4
	延长停留时间	2
公众健康和安全	提高满意度	10
	提高步行可达性（完整的人行道连接、无障碍设施等）	7
	提高安全性（提高公园能见度、开放性，减少交通事故和死亡事件）	6
	缓解情绪压力	5
	促进交通方式转变（汽车出行量减小，公共巴士、自行车、步行出行量增加）	4
	提高骑行可达性（贯通的骑行通道）	4
	提高生活质量	3
	降低交通流量 / 车速	2
	影响学校申请选择、增加入学需求（由于校园景观改善）	2
	提高员工工作积极性 / 学生出勤率、阅读考试成绩	2
	降低噪声	2
	减少光侵扰	1

绩效评价整体向环境效益倾斜的现象，社会效益次之，经济效益占比最小。根据项目面积对其效益组成比率做进一步分类（图 4），发现前 4 组项目在效益组成上不存在明显差异：整体分散且均呈现向环境效益偏重的趋势；而第 5 组仅有一个数据，无法进行统计分析，因此可初步得到：LPS 关于雨水管理的绩效评价存在向环境绩效倾斜的趋势，这个趋势基本不受项目面积的影响。产生这样的统计结果，可能的原因包括：经济和社会效益相对于环境效益更难以进行测量和计算；很多可持续策略都围绕环境效益展开，没有给予社会和经济效益足够的考虑；部分环境效益阻碍了社会和经济效益 [27]。因此，在未来的研究中需要更加关注社会和经济效益的评价指标和指导原则。

根据统计，环境效益共有 45 个评价指标，其中与雨水管理相关且出现频次达 16 次及以上（即 1/4 的项目都有提到）的评价指标共有 5 个，分别为“控制径流总量（56 次）”“年固碳量（24 次）”“通过使用耐旱 / 本土植物来降低灌溉耗水量（21 次）”“改善水质：减少水体污染物（21 次）”“雨水 / 中水的资源化利用（18 次）”，一定程度上可说明这 5 项评价指标得到了国外较为普遍的认可和应用。对照我国《海绵城市建设技术指南》提出的规划控制目标，即：径流总量控制、径流峰值控制、径流污染控制和雨水资源化利用，可发现现有的 LPS 雨水管理环境绩效评价涵盖了以上要点，但对“径流峰值控制”关注较弱，65 个案例中仅有 7 个提到了这一点。社会效益中与雨水管理相关且出现频次达 16 次及以上的评价指标共计 2 个，分别是“提供教育机会（24 次）”“增加游人量（22 次）”；经济效益中与雨水管理相关且出现频次达 16 次及以上的评价指标仅有 1 个，为“节约运行

续表 2-2

社会效益	指标	项目数量
教育价值	提供教育机会（雨水管理、园艺课堂、户外科学实验室、自然教育、儿童项目等）	24
	提升环保 / 可持续意识	4
	提供志愿者服务	2
	鼓励民众在自宅建设雨水滞留设施	1
风景质量 / 视觉	提高视觉景观质量	5
	改变审美倾向（欣赏野草之美）	1
创造场所 / 场所感	提高场所感知及认同感	3
食品生产	产出食物	2
其他	提高城市中公园占比（通过扩大公园面积）	2
合计		139

表 2-3 LPS 雨水管理项目经济效益统计表

Tab. 2-3 Statistical list of economic performance of LPS stormwater management project

经济效益	指标	项目数量
成本节省	节约运行和维护费用（如饮用水灌溉、除草、施肥、种植维护、停车场维护、取暖、制冷等能耗、雨洪的处理和清理的费用等）	20
	节约建设成本（如就地取材、材料替换、废物利用、保留现状植物、运输、用雨水基础设施代替传统市政管道的费用等）	11
税收收入	创造收入（通过门票、活动费用、税收、农作物生产等）	12
房产价值	提升周边房产价值	10
场地价值	提升场地评估价值	2
	增加居住吸引力	1
经济发展	促进经济发展（如提高周边住宅入住率，促进周边房产开发，推动区域发展）	6
	刺激经济活动（通过提供小型商业活动 / 免费户外活动课程 / 培训场地的环境，吸引新的零售企业以及商业用途）	3
	促进筹款和基金补助	3
创造就业机会	创造就业机会	10
其他	树木产值	1
合计		79

和维护费用（20 次）”。这几项指标可说明雨水管理设施具有教育意义，且有助于降低后期维护费用，这在国外已基本达成普遍共识。

通过对评估报告的整理，发现 LPS 关于雨水管理的绩效评价研究存在以下几方面问题。

1）尚未形成统一的绩效评价体系，存在绩效分类交叉、重叠，评价方法各异等问题。

由于现有研究是根据数据的易得性以及研究者的专长来选择指标和研究方法的，采用的研究标准和方法在不同项目之间往往不同[29]，譬如：环境效益中“控制径流总量”一项，有的研究者以削减径流量的百分比为指标，有的研究者以雨水在地的消纳容量为指标，此外获取数据的方式也不尽相同，有的通过公式计算得到，有的采用水文模型模拟获得；有 1/3 的案例提到了雨水管理设施对水质的净化作用，但水质净化的标准并不统一，有的以氮含量的减少为标准，有的以悬浮固体量减少为标准，还有的以重金属减少为标准；因雨水管理设施节约的运营和维护成本，有的研究者将其划定为环境效益，有的研究者将其划定为经济效益；此外还包括降低噪声、减少光污染是属于环境还是社会效益，食物产出是属于经济效益还是社会效益？（目前 LPS 均将其归属于社会效益）类似的绩效指标存在界限模糊、标准不清的现象。

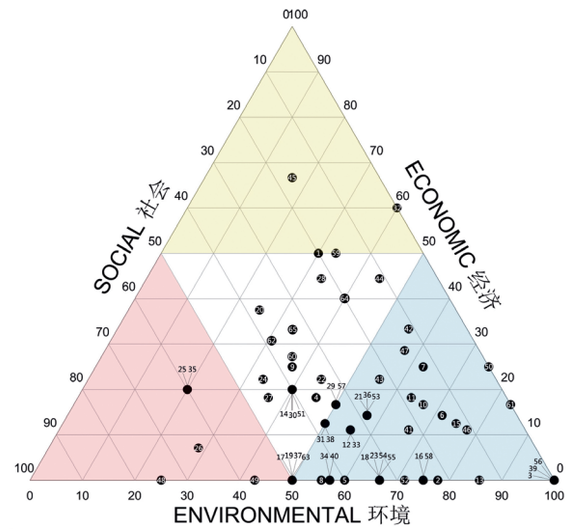
2）现有研究轻视了雨水景观的无形价值与效益。

一方面，当前 LAF 的景观绩效研究主要以联合国发布的“环境良好、社会公平和经济可行”的可持续发展理论为纲领，针对环境、社会和经济 3 方面的景观价值进行效益量化。相较于我国当前很多研究只重视环境效益，已有很大进展。但正如前所述，现有针对社会和经济效益的研究不如环境效益研究细致、深入，目前的可持续三角环呈现出一大两小的不均衡状况。

另一方面，现在越来越多的实践者和学者认为，现有 LPS 的研究框架片面地强调了定量测量[30]，轻视了景观设计中的无形价值，譬如人们对场所营造的审美和情感回应——这种情感的可持续性，也应当是景观可持续发展的基石之一，因此他们认为应当拓宽可持续性的定义，把美学和其他的无形效益也包括在内[31-34]。

雨水景观是一种基于生态过程的景观设计类型，而生态维度所需要的复杂、多样及可变性，往往与人类偏爱整洁和秩序的喜好相冲突[33]，这样的审美观对于传统的“形式美学”是一次挑战。面对审美价值与生态价

3 效益组成比率三角图
Ternary graph of performance proportion



1 Mary Bartelme Park
玛丽巴特迈公园
2 U.S. Coast Guard Headquarters at St. Elizabeth's
美国海岸警卫队圣伊丽莎白总部
3 Pete V. Domenici U.S. Courthouse Landscape Retrofit
皮特·多梅尼西美国法院景观改造
4 Sundance Square Plaza
圣丹斯广场
5 Phoenix Civic Space Park
凤凰城城市公园
6 James Madison University Bioscience Building Landscape
詹姆斯·麦迪逊大学生物科学大楼景观
7 EcoVillage at Ithaca
伊萨卡生态村
8 1315 Peachtree Street
1315桃树街
9 Palmisano Park / Stearns Quarry
帕米萨诺公园 / 斯特恩矿坑公园
10 Buffalo Public School #305 McKinley High School
布法罗公立学校#305 麦金利高中
11 The Morton Arboretum Meadow Lake & Permeable Parking Lot
莫顿植物园
12 Thomas Jefferson Visitor Center and Smith Education Center at Monticello
蒙蒂赛洛杰斐逊游客中心和史密斯教育中心
13 Sarah E. Goode STEM Academy
萨拉·古德STEM学院
14 Brian C. Nevin Welcome Center, Cornell Plantations
康奈尔种植园布莱恩·内文欢迎中心
15 George "Doc" Cavalliere Park(Doc Park)
乔治·卡瓦列雷公园
16 Sidwell Friends Middle School
西德威尔友谊中学
17 Boneyard Creek: Restoration Scott Park and the Second Street Detention Basin
意地溪修复项目：斯科特公园和第二街滞留池
18 One Drop At A Time
水滴居住区景观提升
19 Advocate Lutheran General Hospital Patient Tower
路德教会总医院病人塔楼
20 Carmel Clay Central Park
卡梅尔克雷中央公园
21 Randall Children's Hospital
兰德尔儿童医院
22 University of Texas at Dallas Landscape Enhancements
达拉斯得克萨斯大学景观提升
23 Watch Factory, Phases 1 and 2
手表工厂 (1期和2期)
24 Dutch Kills Green
达奇吉尔斯公园
25 Ann Arbor Municipal Center
安娜堡市政中心
26 Buffalo Bayou Promenade
布法罗河口海湾长廊
27 William G. Milliken State Park & Harbor, Phase 2 Lowland PARK
威廉·米利肯州立公园和港口 (2期低地公园)
28 Simon and Helen Director Park
西蒙和海伦导演公园
29 Chicago Museum of Science and Industry Smart Home
芝加哥科学及工业博物馆智能家居
30 Blue Hole Regional Park
蓝洞区域公园
31 The Avenue
林荫道
32 Charles City Permeable Streetscape Phase 1
查尔斯市透水街道景观 1期
33 Central Wharf Plaza
中央码头广场
34 Brent Elementary Schoolyard Greening Phase 1
布伦特小学校园绿化 1期
35 Park Avenue/US 50, Phase 1 Redevelopment
帕克街 1期重建
36 Frontier Project
前沿项目
37 Park Seventeen Roof Garden
帕克17区屋顶花园
38 Pennswood Village Regional Stormwater Management System
佩斯伍德村区域雨水管理系统
39 Snoqualmie Falls Upper Park
斯诺夸尔米瀑布公园
40 Elmer Avenue Neighborhood Retrofit
埃尔默大道街区改造
41 Kresge Foundation Headquarters
克雷斯吉基金会总部
42 Uptown Normal Circle and Streetscape
伊利诺伊州圆形公园和街道景观
43 Portage Lakefront and Riverwalk
波提湖滨公园
44 Port of Los Angeles Wilmington Waterfront Park
洛杉矶港口威尔明顿滨水公园
45 Richmond Canal Walk Methodology
里士满运河步道
46 Westerly Creek at Stapleton
斯泰普尔顿西风溪
47 Daybreak Community
黎明社区
48 Seattle Children's PlayGarden
西雅图儿童游乐花园
49 Thomas Jefferson University Lubert Plaza
托马斯杰斐逊大学鲁伯特广场
50 Salvation Army Kroc Community Center
救世军克罗克社区中心
51 Cusano Environmental Education Center
库萨诺环境教育中心
52 The Dell at the University of Virginia
弗吉尼亚大学河谷
53 The Lurie Garden at Millennium Park
千禧公园卢瑞花园
54 ASLA Headquarters Green Roof
ASLA总部屋顶绿化
55 Zoomazium at Woodland Park Zoo
伍德兰动物园
56 Taylor 28
泰勒28社区
57 Thornton Creek Water Quality Channel
桑顿溪人工水道
58 Kroon Hall, Yale School of Forestry and Environmental Studies
耶鲁林业与环境研究院克鲁恩大楼
59 Gilkey Creek Relocation and Restoration
吉尔基溪迁移和恢复项目
60 Menomonee Valley Redevelopment and Community Park
梅诺莫尼谷改造和社区公园
61 Malibu Lumber Yard
马里布木材厂
62 Canal Park
运河公园
63 Tujunga Wash Greenway
图洪加沃什溪绿道
64 Ravinia Festival South Parking Lot Methodology
拉维尼亚音乐节南停车场
65 Loch Norse Commons at Northern Kentucky University
北肯塔基州大学洛克诺斯绿地

值这对天生就存在的“潜在矛盾”[35] ④，如何通过设计影响大众的喜好，找到雨水景观实用与美学更好的结合途径，这对于我国数量庞大的雨水管理建设项目很有现实意义。大量研究肯定了雨水景观的美学价值[36-37]，现有的 LPS 报告中也有 6 份指出了雨水景观对于公众审美的影响，但目前这部分内容只是被简单地纳入社会效益的分类中，并没有做更进一步的探讨。基于笔者在博士阶段对于风景园林价值的研究[38-39]，笔者认为虽然美学价值和社会价值间存在千丝万缕的关系，但二者本质上是截然不同的范畴，因此未来有必要将雨水景观的美学价值独立出来进行研究。

3）现有研究缺乏对发挥相似效益案例的统一分析，难以获得系统性结论。

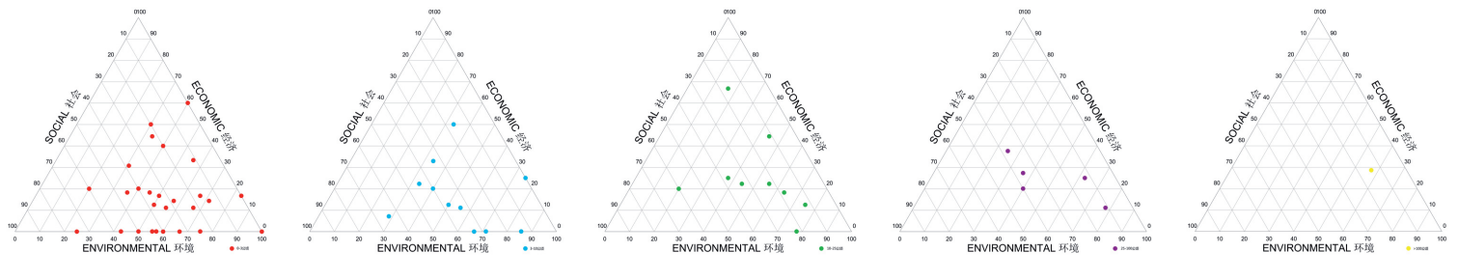
受限于评价体系不统一的问题，目前无法对发挥相似效益的案例进行整体的、统一模式下的分析，这就很难将在这些案例中使用的设计方法和策略与它的价值和效益，以一种系统的方式关联起来，从而对实践形成有效反馈。而这一点正是景观绩效评价研究的重要意义之所在，也是现阶段研究的最大缺憾。

因此，针对 LPS 研究存在的以上问题，笔者认为构建和完善景观绩效评价体系（评价准则—评价指标—评价方法—评价限制），以此为基础对系列建成项目进行统一模式下的评价和分析工作，实现设计策略和实践成效之间的连接与反馈，将是该领域研究亟待发展的重要方向。

4 结语

当前针对我国海绵城市建设成效发布的《考核办法》，以环境效益的实现作为主要考核标准，有可能造成绿色基础设施被一味作为雨水的收纳体，而忽视了它在其他方面应当承担和发挥的效益与作用。而 LPS 以场地尺度的已建成雨水景观为研究对象，证明了雨水景观除了我们惯常认知中的环境效益，同样具备社会和经济效益（甚至于美学效益。尽管这些研究尚不及环境效益研究深入）。笔者认为，环境效益的实现是海绵城市建设的底线，尤其对于场地尺度的“海绵体”。一个实现了综合效益的雨水景观，不仅能消纳雨水、减轻洪涝灾害，降低水体污染、促进良性的水循环以及生态系统的修复，还能通过丰富的视觉与触觉感受，激发场地的活力和吸引力，提高公众对雨水管理的认知，提升场地的价值。因此，在未来对我国海绵城市建设绩效评价的后续研究中，有必要借鉴 LPS 的综合效益评价体系。此外，由于 LPS 最终所展现的指标是通过对建成项目的实地调查获得，在各项

4 效益组成比率三角图（根据面积分类）
Ternary graph of performance proportion (based on area classification)



4

目中重复率较高的指标完全可以作为建立和完善评价体系的指标来源，研究报告中所记录的评价方法和限制也可以作为后续确定评价方法的参考和依据。这些都能够对国内现有研究存在的譬如评价指标以环境效益为主、指标来源和评价方法不明等问题进行回应和补充。而国内对于数学评价模型的研究也有助于完善 LPS 的体系，未来对发挥相似效益的案例进行整体的、统一模式下的分析，从而实现设计理论与实践应用之间的有效连接。可以预期的是，二者之间的补充和发展将成为未来雨水管理绩效评价研究的生长点，为我国海绵城市的健康发展提供更为科学的方法和保障 。

注释：

① 循证设计（Evidence-based Design）是指建立在有客观度量标准、系统的循证知识的基础上的设计，循证设计被认为是风景园林学科走向科学性的途径之一，近年来在国际上逐渐受到关注。（具体请参见陈筝等论文《走向循证的风景园林：美国科研发展及启示》）

② 本文通过 LPS 案例研究的标签“Stormwater Management”和“Stormwater Management Facility”来确定研究范围，最终获取 65 个已建成项目的绩效研究报告作为案例分析对象。值得注意的是，由于现有研究对象是由研究者根据兴趣及资料易得性自行选择，项目规模和类型的统计数据并不能完全反映雨水景观适用的规模及类型。

③ 项目 17、19、37、63 具备 50% 的社会效益和 50% 的环境效应，故在红、蓝色三角中被重复计数 1 次。

④ 即在生态上有重要性的景观可能在视觉上缺乏吸引力，反之亦然。

⑤ 文中所有图片均由作者自绘。

⑥ 表 2 展示了 65 份研究报告中筛选出的所有绩效评价指标，其中在案例研究中显示直接或间接与雨水管理相关的效益指标以灰色进行标明，表格原始数据来源于 LPS 官网（https://landscapeperformance.org/）。

参考文献 (References):

[1] 住房与城乡建设部. 海绵城市建设绩效评价与考核指标（试行）[Z]. 2015.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the people's Republic of China. The Performance Assessment and Evaluation Index of Sponge City Construction (Trial)[Z]. 2015.

[2] 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（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(4): 42-51.

[3] 黄丽娟，张鹏. 海绵城市绩效评价的指标权重设定分析 [J]. 绿色科技，2016（22）：117-122.

Huang Lijuan, Zhang Peng. Sponge Urban Performance Evaluation Index Weightset Analysis[J]. Green Science and Technology, 2016(22): 117-122.

[4] 程鸿群，佘佳雪，姬睿，等. 基于群组评价的海绵城市建设绩效评价研究 [J]. 科技管理研究，2016（24）：42-47.

Cheng Hongqun, She Jiaxue, Ji Rui, et al. Research on Performance Evaluation of the Sponge City Construction Based on Group Evaluation[J]. Science and Technology Management Research, 2016(24): 42-47.

[5] 刘秋常，韩涵，李慧敏，等. 基于熵权 TOPSIS 法的海绵城市建设绩效评价——以河南省鹤壁市为例 [J]. 人民长江，2017（14）：23-26.

Liu Qiuchang, Han Han, Li Huimin, et al. Evaluation of sponge city construction based on entropy weight—TOPSIS: case of Hebi City, Henan Province[J]. Yangtze River, 2017(14): 23-26.

[6] 朱伟伟. 海绵城市评价指标体系构建与实证研究 [D]. 杭州：浙江农林大学，2016.

Zhu Weiwei. Research on Renovation Mode and Benefit Evaluation of Sponge City in Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016.

[7] 车伍，桑斌，刘宇，等. 城市雨水控制利用标准体系及问题分析 [J]. 中国给水排水，2016（10）：22-28.

Che Wu, Sang Bin, Liu Yu, et al. Analysis on Standards for Urban Stormwater Management and Some Problems[J]. China Water & Wastewater, 2016(10): 22-28.

[8] 李俊奇，王文亮，车伍，等. 海绵城市建设指南解读之降雨径流总量控制目标区域划分 [J]. 中国给水排水，2015（8）：6-12.

Li Junqi, Wang Wenliang, Che Wu, et al. Explanation of Sponge City Development Technical Guide: Regianal Division for Total Rainfall Runoff Volume Capture Target[J]. China Water & Wastewater, 2015(8): 6-12.

[9] 仇保兴. 海绵城市 (LID) 的内涵、途径与展望 [J]. 中国勘察设计，2015（7）：30-41.

Qiu Baoxing. The connotation, approach and Prospect of sponge city (LID)[J]. China Investigation & Design, 2015(7): 30-41.

[10] 刘海龙. 景观水文：一个整合、创新的水设计方向 [J]. 中国园林，2014（1）：6.

Liu Hailong. Landscape Hydrology: An Integrated and Innovative Water Design Direction[J]. Chinese Landscape Architecture, 2014(1): 6.

[11] 车生泉，谢长坤，陈丹，等. 海绵城市理论与技术发展沿革及构建途径 [J]. 中国园林，2015（6）：11-15.

Che Shengquan, Xie Changkun, Chen Dan, et al. Development and Constructive Approaches for Theories and Technologies of Sponge City System[J]. Chinese Landscape Architecture. 2015(6): 11-15.

[12] 成玉宁，袁旸洋. 让自然做功事半功倍——正确理解“自然积存、自然渗透、自然净化”[J]. 生态学报，2016（16）：4943-4945.

Cheng Yuning, Yuan Yangyang. Let nature do work with half the effort—correctly understanding “natural accumulation, natural infiltration, natural purification”[J]. Acta Ecological Sinica, 2016(16): 4943-4945.

[13] 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.
Xu Zhenqiang. Establishment and application of conceptual model for performance evaluation of sponge cities in China—Discussion on the construction of sponge city innovation system platform in China[J]. China Ancient Cities, 2015(5): 16-25.
[14] 王彩娟，徐得潜．城市雨水利用系统的模糊层次综合评价[J]．工业用水与废水，2009（5）：15-18.
Wang Caijuan, Xu Deqian. Overall evaluation of urban rainwater utilization system by fuzzy-analytic hierarchy process[J]. Industrial Water & Wastewater, 2009(5): 15-18.
[15] 赵西宁，冯浩，吴普特，等．黄土高原小流域雨水资源化综合效益评价体系研究[J]．自然资源学报，2005(3)：354-360.
Zhao Xining, Feng Hao, Wu Pute, et al. Study on Integrated Benefit of Rainwater Resources Utilization in Small Watershed on the Loess Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2005(3): 354-360.
[16] 赵玲萍，雷春生，张凤娥，等．灰色模糊综合评价法在城市雨水利用系统中的应用[J]．节水灌溉，2011（12）：57-58；62.
Zhao Lingping, Lei Chunsheng, Zhang Feng'e, et al. Application of Grey Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Rainwater Utilization System[J]. Water Saving Irrigation, 2011(12): 57-58; 62.
[17] 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（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.
[18] 李美娟，徐向舟，许士国，等．城市雨水利用效益综合评价[J]．水土保持通报，2011（1）：222-226.
Li Meijuan, Xu Xiangzhou, Xu Shiguo, et al. Benefit Assessment of Urban Rainwater Utilization[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011(1): 222-226.
[19] 张新波，赵新华，洪弢，等．基于可拓学的城市雨水利用设计方案评价[J]．中国给水排水，2006（19）：105-108.
Zhang Xinbo, Zhao Xinhua, Hong Tao, et al. Evaluation of Rainwater Utilization Project Design Schemes Based on Extension Methodology[J]. China Water & Wastewater, 2006(19): 105-108.
[20] 郭鹏磊，张曦．基于AHP-FCE的低影响开发项目绩效评价研究[J]．小城镇建设，2017（7）：99-106.
Guo Penglei, Zhang Xi. Research on Performance Evaluation of Low Impact Development Project Based on AHP-FCE[J]. Development of Small Cities &Towns, 2017(7): 99-106.
[21] 俞孔坚，李迪华，袁弘，等．“海绵城市”理论与实践[J]．城市规划，2015（6）：26-36.
Yu Kongjian, Li Dihua, Yuan Hong, et al. “Sponge City”: Theory and Practice[J]. City Planning Review, 2015(6): 26-36.
[22] 戴代新，李明翰．美国景观绩效评价研究进展[J]．风景园林，2015（1）：25-31.
Dai Daixin, Li Minghan. Research Development of Landscape Performance Assessment in America[J]. Landscape Architecture, 2015(1): 25-31.
[23] Laf. Landscape Performance Series[DB/OL].[2017]. https://landscapeperformance.org/.
[24] Yang B, Li S, Binder C. A research frontier in landscape architecture: landscape performance and assessment of social benefits[J]. Landscape Research, 2015(13): 1-16.
[25] Brown R D, Corry R C. Evidence-based landscape architecture: The maturing of a profession[J]. Landscape and Urban Planning, 2011,100(4): 327-329.
[26] Deming E, Swaffield S. Landscape Architectural Research: Inquiry, Strategy, Design[M]. New York: John Wiley & Sons, 2011.
[27] 罗毅，李明翰，孙一鹤．景观绩效研究：社会、经济和环境效益是否总是相得益彰?[J]．景观设计学，2014(1)：42-56.
Luo Yi, Li Minghan, Sun Yihe. A Study of Landscape Performance: Do Social, Economic and Environmental Benefits Always Complement Each Other?[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2014(1): 42-56.
[28] Luo Y, Li M. How does it change after one year? A comparison of the Landscape Architecture Foundation's published case studies in 2011 and 2012/2013[Z]. 2014138-147.
[29] 罗毅，李明翰，段诗乐，等．已建成项目的景观绩效：美国风景园林基金会公布的指标及方法对比[J]．风景园林，2015（1）：52-69.
Luo Yi, Li Minghan, Duan Shile, et al. Landscape Performance of Built Projects: Comparing Landscape Architecture Foundation's Published Metrics and Methods[J]. Landscape Architecture. 2015(1): 52-69.
[30] 福斯特·恩杜比斯，希瑟·惠伊洛，芭芭拉·多伊奇，等．景观绩效：过去、现状及未来[J]．风景园林，2015(1)：40-51.
Ndubis F, Whitlow H, Deutsch B, et al. Landscape Performance: Past, Present, and Future[J]. Landscape Architecture, 2015(1): 40-51.
[31] Meyer E. Sustaining Beauty: The Performance of Appearance A Manifesto in Three Parts[J]. Journal of Landscape Architecture, 2008, 5(1): 6-23.
[32] M·艾伦·戴明．实践研究：未来框架[J]．世界建筑导报，2013（6）：112-121.
Deming M E. Research in Practice: A Framework for the Future[J]. Architectural Worlds, 2013(6): 112-121.
[33] Nassauer J. Messy Ecosystems, Orderly Frames[J]. Landscape Journal, 1995, 14(2): 161-170.
[34] Deming M, Meng S. Social & Cultural Metrics: Measuring the Intangible Benefi ts of Designed Landscapes[J]. Landscape Architecture, 2015.
[35] Gobster P, Nassauer J, Daniel T, et al. The shared landscape: What does aesthetics have to do with ecology?[J]. Landscape Ecology. 2007, 7(22): 959-972.
[36] Echols S, Pennypacker E. From Stormwater Management to Artful Rainwater Design[J]. Landscape Journal. 2008, 27(2): 268-290.
[37] Echols S, Pennypacker E. Artful Rainwater Design: Creative Ways to Manage Stormwater[M]. Washington, D.C.: Island Press, 2015.
[38] 沈洁．风景园林价值观之思辨[D]．北京：北京林业大学，2012.
Shen Jie. An Reflection and Analysis on the Values System of Landscape Architecture[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
[39] 沈洁，王向荣．风景园林价值观之思辨[J]．中国园林，2015（6）：40-44.
Shen Jie, Wang Xiangrong. The Reflection and Analysis on the Values System of Landscape Architecture[J]. Chinese Landscape Architecture, 2015(6): 40-44.

（编辑 / 王一兰）