

提升水量调节服务能力的城市绿色基础设施模式*

Urban Green Infrastructure Models to Improve the Water Regulation Service Capacity

王云才 王忙忙 WANG Yuncai, WANG Mangmang

摘要 随着我国城镇化的快速推进,人类活动对城市生态系统的干扰和破坏越来越严重,导致城市生态系统服务退化,很多城市频繁出现内涝问题。城市绿色基础设施构建能够提供高效的水量调节服务功能,因此,通过分析3个典型城市绿色基础设施高效水调节服务模式,重点针对城市中的雨洪问题,阐明城市绿色基础设施如何发挥水量调节服务能力。在此基础上探讨高效水调节服务的城市绿色基础设施模式的共性与差异。最后,得出提升城市水量调节服务能力的本质是基于城市自然生态过程的“低技术、低成本、低影响”绿色基础设施模式,转变对自然灾害的认知,秉承“与水共生”——适应和包容雨洪过程的绿色基础设施发展理念,以期为今后城市绿色基础设施建设解决水量调节问题提供参考。

Abstract With the rapid development of urbanization, the interference and destruction of human activities on urban ecosystems are getting more and more serious, which leads to the degradation of urban ecosystem service, then waterlogging frequently occur in many cities. The construction of urban green infrastructure can provide high-efficient water regulation service. Consequently, this research has analyzed three typical urban green infrastructure modes which can provide high-efficient water regulation service, most of them focusing on the city stormwater management. We have clarified how the city green infrastructure plays the role in the water regulation service capacity afterwards. On this basis, this paper has discussed the commonness and differences of the high-efficient water regulation service on urban green infrastructure modes. Finally, the research draws a conclusion that how to improve the urban water regulation service capacity is based on the "low technology, low cost and low impact" green infrastructure mode which is based on the urban nature ecological process. Beyond that we should transform our cognition of nature disasters, adhering to the concept of "harmony with water", namely urban green infrastructure development that adapts to and embraces the rain and flood process. This can provide reference for the construction of urban green infrastructure in the future.

关键词 生态系统服务 | 水量调节 | 绿色基础设施 | 雨洪管理 | 建成区

Keywords Ecosystem services | Water regulation | Green infrastructure | Stormwater management | Built area

文章编号 1673-8985 (2019) 01-0001-06 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20190101

作者简介

王云才

同济大学建筑与城市规划学院

同济大学建筑与城市规划学院生态智慧与生态实践研究中心

同济大学高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室

副主任,教授,博士生导师

王忙忙

同济大学建筑与城市规划学院

博士研究生

1 “水量调节”是城市绿色基础设施生态系统服务的重要功能

绿色基础设施 (Green infrastructure, GI) 是自然生命支持系统^[1],它们总体构成保证环境、社会与经济可持续发展的生态框架^[2]。城市中的绿色基础设施发挥着重要的生态系统服务功能^[3],可以提供多种类型的生态系统服务功能。根据联合国2005年发布的《千年生态系统评估 (Millennium Ecosystem Assessment, MA)

报告》,城市绿色基础设施可以为城市提供供给服务 (Provisioning services)、调节服务 (Regulating services)、支持服务 (Supporting services) 和文化服务 (Cultural services) 4种类型服务^[4],具体进行水土涵养、雨洪管理,维持生物多样性,缓解城市热岛效应,提供生态栖息地以及文化功能等重要的生态系统服务。由此可见,提供水量调节服务是城市绿色基础设施生态系统服务的一项重要功能。

*基金项目:国家重点研发计划“绿色基础设施生态系统服务提升与生态安全格局构建”(编号2017YFC0505705)。

1.1 城市生态系统受损导致水调节服务能力下降

随着我国城镇化的快速推进,人类活动对城市生态系统的负面影响范围和强度不断增大,城市生态系统因受到强烈的人工干扰而承受越来越大的压力,城市的生态系统不同程度地受到干扰和破坏,导致城市生态系统服务退化。近年来,多个城市频繁出现内涝问题就是城市生态系统水调节服务能力下降的集中体现,表明很多城市现有的灰色基础设施在针对雨洪等问题的解决实践中存在弊端,不足以提供有效的水调节生态服务功能。

1.2 城市绿色基础设施构建能够提供高效的解决途径

美国国家环保局 (US Environment Protection Agency) 将绿色基础设施的理念引入城市雨洪管理措施之中,成为最佳管理实践 (BMPs) 和低影响开发 (LID) 的重要组成部分。美国国家环保局将城市绿色基础设施定义为“能够缓解雨洪径流对城市的影响,并提供多重的社区收益,同时具备环境弹性的低成本实践措施”^[5]。美国的“低影响开发”(Low impact development, LID),英国的“可持续城市排水系统”(Sustainable urban drainage system, SUDS),新加坡的“活跃、美丽、洁净水项目”(Active beautiful and clean water program, ABC),以及澳大利亚的“水敏感城市设计”(Water sensitive urban design, WSUD)^[6]都是通过使用绿色基础设施手段来解决雨洪问题。绿色基础设施通过植被和土壤达到就地处理雨水径流,成为近年来广泛推荐、有效实施的解决途径,进而为城市提供高效的水量调节服务效能。

绿色基础设施的水量调节服务在不同的城市空间尺度下具有不同的内涵。例如在区域尺度上,水量调节体现在水源林保护、河流湖泊调蓄和水库调蓄上;在城市尺度上,水量调节多集中在雨洪管理、径流调节、水体自净方面,具体表现在雨水花园、屋顶花园、渗透沟渠、雨水湿塘、雨水储存设施、可渗透铺装等类型。本文针

对当今大多数城市面临的城市内涝问题,通过介绍3个发挥高效水调节服务的城市绿色基础设施的典型模式来挖掘内在的原理和规律,通过实践来认识真理,以期为今后城市绿色基础设施建设提供参考和借鉴。

2 城市绿色基础设施高效水调节服务的典型模式

2.1 生态制约性和适宜性创造的生态空间模式:美国伍德兰兹社区

伍德兰兹社区 (Woodlands Community, Texas) 是由麦克哈格 (McHarg) 为主的费城 WHRT 设计团队在1970年代进行的生态规划项目实践。麦克哈格称其为最满意的城市生态设计作品^[7-9]。该项目获得了许多奖项,因其在环境规划方面的巨大成功获得1974年美国住房和城市发展部 (HUD) 颁发的美国第六届年度双年奖^[9]。斯珀恩 (Spirn) 认为这个项目创造了对自然的整体认识,超越狭隘时空的界限^[10]。该项目规划的本质是充分认识到现状环境的生态制约性和适宜性并创造出一种与自然和谐相处的生态空间模式,是一种非常值得借鉴的绿色基础设施典型模式。

伍德兰兹社区项目的生态制约性集中在雨洪调蓄方面。(1) 气候上,该社区属于亚热带季风性湿润气候,夏季易受飓风和暴雨影响。(2) 地理位置方面,约有1/3的面积位于百年一遇的泛洪平原,存在暴雨过后径流和淹没面积大的问题;同时传统的混凝土沟渠排水系统会降低地下水位,并导致植物死亡。(3) 土壤方面,基地内以渗透性差的黏土土壤为主,不利于蓄滞雨水。(4) 地形大多比较平坦,不具备径流调节能力^[11]。

基于以上生态制约性问题和挑战,麦克哈格通过跨学科团队和方法的合作,对现状进行全面的生态调查,分析基地所处的自然特征和生态过程,包括地质、地下水水文学、地表水文学、湖沼学、土壤学、植物生态学、野生动物和气候学。在此基础上提出一个生态适宜性的规划策略:(1) 保护高渗透性土壤,提高土壤渗水;(2) 保护现有的丰富森林资源,发挥良好的水

土涵养功能;(3) 采用自然地表排水系统,顺应自然规律,降低成本^[12]。关于项目的绿色基础设施水调节具体措施和实践成效见图1和图2。

伍德兰兹社区是经过时间验证的经典生态规划案例,其通过分析土壤的水文性质来解决雨洪调节服务功能的“因地制宜”的规划设计模式被证明是成功的^[15]。该模式可以为我国城市绿色基础设施解决水量调节服务提供借鉴。

2.2 蓝绿色基础设施开放式雨水处理系统模式:瑞典奥古斯腾堡社区

蓝绿色基础设施是目前被视为应对气候变化(洪水和干旱),减少城市化(特别是洪水)负面影响的重要途径。蓝绿色基础设施可提供多重自然和社会功能,包括雨水管理、绿道和生态网络(绿色基础设施的重要组成部分)等^[16]。蓝绿色基础设施可以提供水体净化、防洪、蓄水等水调节生态系统服务能力^[17]。瑞典南部的奥古斯腾堡社区(The Augustenborg, Sweden) 雨洪调蓄项目是一个很好的例子。奥古斯腾堡地区的蓝绿色基础设施建立了十几年,改善了不能满足城市雨水蓄滞问题的陈旧灰色基础设施,获得2010年联合国世界人居奖等奖项。欧洲环境局 (EEA) 认为该地区的生态发展在处理雨洪问题上有显著的改善效果。

奥古斯腾堡的蓝绿色基础设施主要利用开放式雨水处理系统来实现雨洪调节生态服务功能。基本操作原理是让降雨先通过开放式的雨水处理系统再到下水道系统,通过一系列开放式的蓝绿色基础设施产生渗透、蓄水和蒸发作用,从而延缓排水时间。开放式雨水处理系统主要包括3个部分:(1) 多种类型的开放式排水沟渠系统;(2) 渗透场地设计;(3) 蓄水池和地表储水(图3,表1)^[18]。

通过蓝绿基础设施的实施,相对于1994年的5次洪水灾害,奥古斯腾堡地区在2009—2014年间没有发生水灾^[20]。此外,有研究发现2007年该地区发生夏季强降雨,邻近的马尔默市部分地区遭受到严重破坏,相比之下

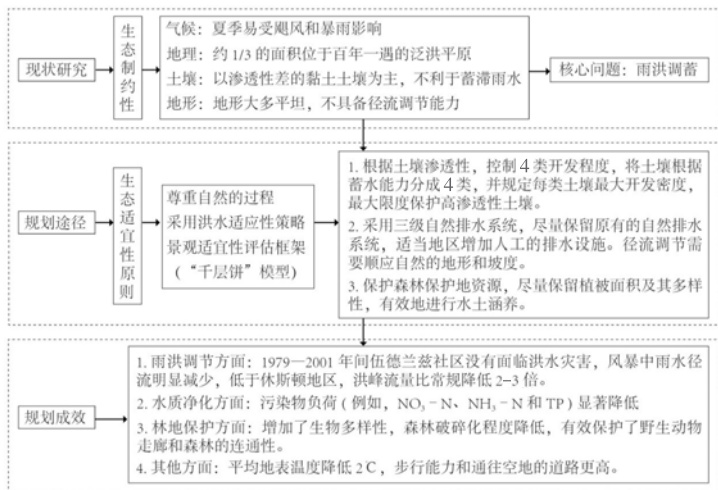


图1 伍德兰兹社区规划途径及成效
资料来源: 参考文献[11-15]。

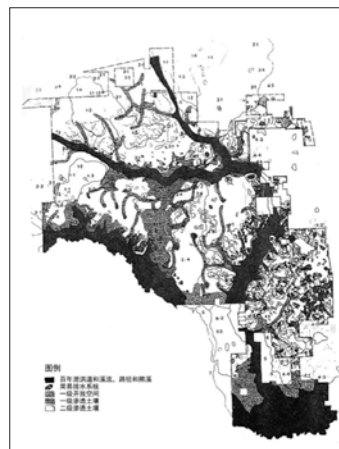


图2a) 伍德兰兹社区基于生态制约性的规划分析

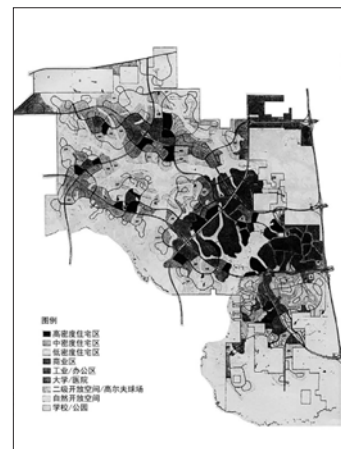


图2b) 德伍德兰兹社区基于生态适宜性的用地规划
资料来源: 参考文献[13]。

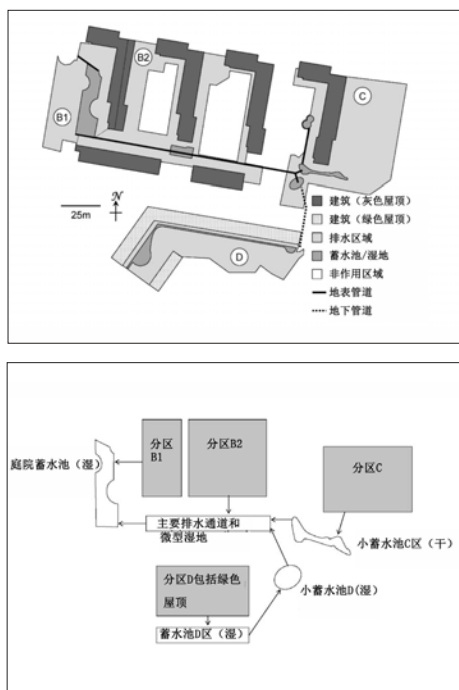


图3 奥古斯腾堡的开放式雨水处理系统原理图
资料来源: 根据参考文献[19]整理。

奥古斯腾堡地区的径流相对周边地区减少 50%^[21-22]。除了在一般和严重洪水事件期间降低洪水风险之外^[19, 21], 有报告指出奥古斯腾堡的蓝绿色基础设施系统对社会经济和生态环境产生了积极影响^[23], 例如通过为当地的植物和野生动物提供更好的环境, 从而增加 50% 的生物多样性^[24]。综上所述, 奥古斯腾堡的蓝绿色基础设施系统在雨洪时期能够发挥积极有效的水调节服务能力。

表1 奥古斯腾堡的开放式雨水处理系统具体内容

开放式雨水处理系统	具体设施	实景照片
多种类型排水沟渠	开放式的排水沟渠系统, 可以减缓、保留和排水。包括不同深度矩形截面的混凝土通道, 或带有草地或岩石底部的低洼地, 通常在沟渠底部设置障碍来减缓流速	
渗透场地	主要通过数个绿色屋顶 (包括植物屋顶花园)。另外, 还有公园、草地和可渗透铺装的停车场来实现入渗	
蓄水池和地表储水	包括蓄水池、池塘、道路下面的涵洞、草地和湿地等	

资料来源: 根据参考文献[18]整理。

2.3 塘群调蓄系统的动态平衡模式: 江西浞陂古村

有着“庐陵文化第一村”美誉的浞陂古村拥有人工与自然完美融合的“两河一塘(群)”塘群调蓄系统,几百年来人与水处在一种动态平衡的关系中。该村的塘群系统可以看成是传统绿色基础设施的组成部分^[25],具有很好的雨洪调蓄、旱涝调节、水质净化等生态调节服务功能^[26]。

浞陂古村位于江西省吉安市青原区文陂乡,依靠富水河的便利条件,水运物流发展兴盛,商埠繁荣,明清时期以发达的商贾文化闻名赣中地区。由于地势低洼,经常面临洪水和暴雨灾害,尤其是古庐陵地区的雨季主要集中在农历五月,俗称“端午水”,导致该地区一直面临着洪涝灾害^[27]。虽然浞陂古村处于年复一年的大小水患之中,但是通过具有传统生态实践智慧的塘群调蓄系统有效协调了雨洪灾害对居住、农业生产和水运发展的负面影响,保证了古村数百年的繁荣。

浞陂古村的“两河一塘(群)”塘群调蓄系统,包括富水河、浞水和28口象征星宿的水塘。陂塘调蓄系统可以从“导”和“蓄”这两大方面进行分析(表2,图4-图5)^[28]。28口水塘与沟渠、河流共同构成的塘群调蓄系统可对应住建部发布的《海绵城市建设技术指南》,与“湿塘”和“雨水湿地”相似,亦可涵盖“渗透塘”“调节塘”的概念,截留地表径流、减缓峰值径流、增加蒸发和地下水回补,能够起到雨洪调节的功能,是一种绿色、经济、高效的径流收集和污染控制的绿色基础设施^[29]。

3 高效水调节服务的城市绿色基础设施模式的共性与差异

综上所述,3个不同模式的绿色基础设施都发挥了积极有效的雨洪调节作用,被证明是一种高效的水调节服务的城市绿色基础设施模式。通过研究发现这3个模式在本质上存在一些共性。(1) 规划思想一致性。本质上都是基于城市自然生态过程的“低技术、低成本、低影响”城市绿色基础设施模式。首先通过分析和

表2 浞陂古村的塘群调蓄系统的动态平衡模式原理分析

塘群调蓄系统	具体表现	具体措施及细节
“导”水系统	村落外部	富水河: 在富水河上游近村口200 m设置了水坝, 靠近村口东北侧设置了引水分水闸口 浞水河: 村西口万寿宫遗址西侧有一座分流水闸。水闸建在浞水的分流节点上, 分为南北两座, 浞水至此一分为二: 一支沿西北汇入富水河; 另一支则向东入村, 先以明渠串联了4口水塘, 而后又分为两条支流, 一条通过暗渠向东北斜穿过商业街流入富水河, 另一条以明暗渠穿插的方式串联9口水塘最后也汇入富水河。这座分流水闸可以根据季节的变换同时调节两个支流的水量来保证村落的水量平衡
	村落内部	陂头街: 街道正中纵向铺有青石板, 青石板两侧铺卵石, 街道边缘两侧为下水明沟, 具有较好的渗水和排水功能 广场: 主要由广场周边明沟或暗沟组成, 通过明沟和暗渠与巷道排水系统相连。明沟和暗渠分布在广场的一侧或多侧 巷道: 由青石板和卵石组成, 通常在巷道一侧或两侧设置明沟以及在青石板下设暗渠等方式 建筑: 房屋天井下方垒砌一青石板水池, 供暂时积聚雨水之用, 同时天井下地面四周采用江南地区“四水归堂”式排水明沟。天井内的排水明沟与外围巷道的明沟暗渠相连通
“蓄”水系统	28口水塘群系统 (象征天上28星宿)	由东北侧富水河水口引水, 至水口处分成南北两个不同的水塘循环水系, 最终向西汇入浞水, 形成八卦环形围绕村庄。 由于南北两段水塘之间的村庄地势关系以求志堂为界分别向南北水塘排水; 北侧的陂头街以街道路面为界, 北侧的水汇入富水河, 南侧的水通过明沟暗渠汇入北段水塘系统。这些水塘之间则通过沟渠和数个排水孔进行连通, 在连通的同时也可进行分隔独立, 可随季节更换调节每一口水塘的水位和水量

资料来源:根据参考文献[28,30]整理。

认识自然过程,以顺应自然、模拟自然的方式在不同的地区实现良性水文循环过程,然后采用“低技术、低成本、低影响”的方式有效调节城市中的缺水和内涝等问题,将城市生态系统服务能力发挥最大化。(2) 规划尺度接近。无论是伍德兰兹社区还是浞陂古村落都属于城市内的小尺度范畴,目前城市绿色基础设施雨洪管理在社区小尺度场地的研究进展十分迅速,其景观生态效益逐步得到认可。城市社区是城市绿色基础设施实施雨洪管理提升城市生态系统的水量调节服务功能的重要类型之一。(3) 形成一种公众参与、适应和接纳雨洪过程的城市绿色基础设施模式。3个案例都构建了一个适应和接纳雨洪过程的社区和村落的绿色基础设施发展模式,社区居民或村民通过充分的认识与参与,可以增加对突发性灾害的认知与应对,每个人的行为参与都是雨洪管理过程的一部分。将雨洪过程与生活体验相结合,能够培养社区居民的环境共识,并增强应对雨洪事件的能力。

与此同时,上述3种城市绿色基础设施模式

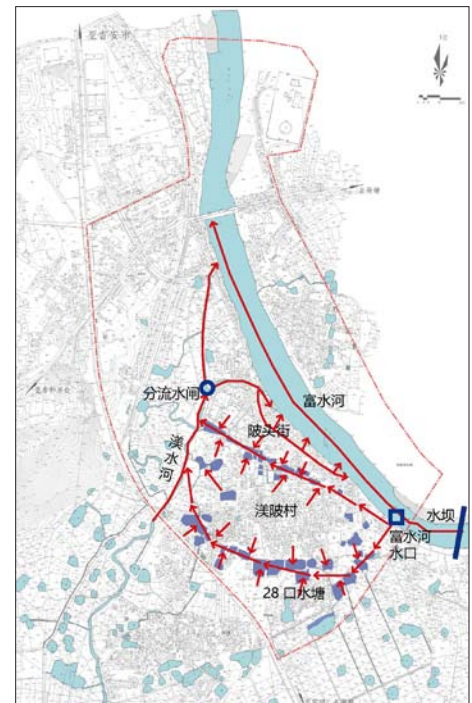


图4 浞陂古村的现状水系分析
资料来源:根据参考文献[27]改绘。

也存在不小的差异性。这主要体现在以下几个方面。(1) 生态环境的差异。由于不同地区之间

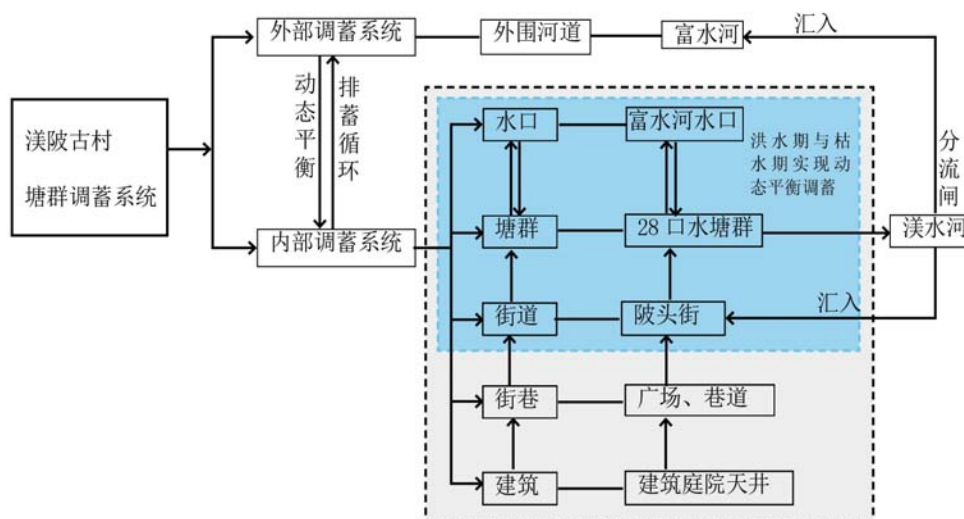


图5 澧陂古村塘群调蓄系统的动态平衡模式模式
资料来源:根据参考文献[27]改绘。

地形地貌和降水过程差异较大,以及城市建设特点不同,会面临不同的生态问题,因此,绿色基础设施雨洪管理建设必须因地制宜。(2) 新老城市地区的差异。新建区域的绿色基础设施采用的方法未必适宜老城市改造区域。例如奥格斯滕堡案例就是一个老城区基础设施改造项目,以前城市灰色排水基础设施随着城市的发展不能满足今天的雨洪需求,但是基于各种现状问题不能完全推翻创新,而是选择绿色基础设施的排水系统辅助灰色排水管道共同解决雨洪调节问题。(3) 规划理论和技术方式不同。例如伍德兰兹社区规划是在科学的综合分析和评估——“千层饼”模型的基础上进行规划设计的,而澧陂古村则是基于祖先们对人与自然互利共生关系深刻感悟的基础上进行生态实践的能力——即生态实践智慧^[31]。无论哪种生态理论知识和技术都有其适应的地区和项目,规划实践中需要因地制宜,结合实际借鉴经验进行探索。

4 结论与讨论

提升城市水调节服务能力的本质是改善城市人工系统对自然系统的干扰和破坏。人工系统看似高效却具有极其脆弱的生态本质,构建城市绿色基础设施是一种高效的解决途径。通

过城市绿色基础设施典型模式的分析,可以得出基于城市自然生态过程的“低技术、低成本、低影响”城市绿色基础设施雨洪调蓄模式能够发挥高效的生态系统服务功能,有效提升水量调节服务能力,可以为今后城市绿色基础设施建设提供参考和借鉴。

最后,我们要转变对自然灾害的认知,做好准备并提升避险自救能力,建构人水互惠共生观,构建一种适应和包容雨洪过程的城市绿色基础设施发展模式。树立尊重自然、顺应自然、保护自然生态的雨洪管理理念,将雨洪视为城市重要的自然资源,构建人与水互惠共生的生态关系,构建适应和包容的生态发展模式^[32-33]。

参考文献 References

- [1] BENEDICT M A, MCMAHON E T. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century[J]. *Renewable Resources Journal*, 2002, 20 (3): 12-17.
- [2] BENEDICT M A, MCMAHON E T. Green infrastructure: linking landscapes and communities[M]. Washington DC: Island Press, 2006.
- [3] JACK A, CILLIERS S, NIEMELÄ J. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: a framework for supporting innovation[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014 (125): 254-259.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis[M]. Washington DC: World Resources Institute, 2005.
- [5] US Environmental Protection Agency. Benefits of green infrastructure[R/OL]. (2016-4-19)[2016-8-31]. <http://www.epa.gov/green-infrastructure/benefits-green-infrastructure>.
- [6] 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 and flood management systems in developed countries and their inspiration[J]. *China Water & Waste Water*, 2009, 25 (20): 12-17.
- [7] LYLE J T. Design for human ecosystems - landscape, land use, and natural resources[M]. Washington DC: Island Press, 1999.
- [8] STEINER F R, YARO R, MCHARG I L. To heal the earth: selected writings of Ian L. McHarg[J]. *Electronic Green Journal*, 2001 (2): 4-10.
- [9] MORGAN G, KING J. The woodlands: new community development 1964-1983[M]. Austin: Texas A&M University Press, 1987.
- [10] SPIRN A W. Urban nature and human design: renewing the great tradition[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 1985, 5 (1): 39-51.
- [11] MCHARG I, SUTTON J. Ecological planning for the Texas coastal plain[J]. *Landscape Architecture*, 1975 (1): 78-89.
- [12] Wallace, McHarg, Roberts & Todd (WMRT). Woodlands new community - guidelines for site planning[R]. 1973.
- [13] YANG B, LI S. Design with nature: Ian McHarg's ecological wisdom as actionable and practical knowledge[J]. *Landscape & Urban Planning*, 2016 (155): 2132.
- [14] 王志芳,任仲申,张敏. 以土壤因素为主导的生态规划——美国得克萨斯州伍德兰兹社区规划过程及评价[J]. *国际城市规划*, 2015 (4): 88-94.
WANG Zhifang, REN Zhongshen, ZHANG Min. An ecological planning method with focus on soil: the planning process and evaluation of Woodlands Community, Texas, the USA[J]. *Urban Planning International*, 2015 (4): 88-94.

- [15] YANG B, LI M H. Assessing planning approaches by watershed streamflow modeling: case study of the Woodlands, Texas[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 99 (1): 9-22.
- [16] DEMUZERE M, ORRU K, HEIDRICH O, et al. Mitigating and adapting to climate change: multifunctional and multi-scale assessment of green urban infrastructure[J]. *Journal of Environmental Management*, 2014 (146): 107-115.
- [17] KEESSTRA S, NUNES J, NOVARA A, et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services[J]. *Science of the Total Environment*, 2018 (610-611): 997-1009.
- [18] THOMAS C. A case study of runoff coefficients for urban areas with different drainage systems[R/OL].[2018-11-2]. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8917902>.
- [19] VILLARREAL E L, SEMADENI-DAVIES A, BENGTSSON L. Inner city stormwater control using a combination of best management practices[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22 (4-5): 279-298.
- [20] SÖRENSEN J, EMILSSON T. Flood risk reduction by sustainable urban drainage system - evaluation using insurance data[M]. *Journal of Hydrology* (in press).
- [21] SHUKRI A. Hydraulic modeling of open stormwater system in Augustenborg[M]. Lund: Lund University, 2010.
- [22] BENGTSSON L, MILLOTI S. Extreme storms in Malmö, Sweden[J]. *Hydrological Processes*, 2010, 24 (24): 3462-3475.
- [23] LUDZIA A, LARSSON R, AGUAYO S. Evaluation of a sustainable urban drainage system in Augustenborg, Malmö[J]. *Journal of Water Management and Research*, 2014, 70 (2): 107-112.
- [24] MANSO M, CASTRO-GOMES J. Green wall systems: a review of their characteristics[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015 (41): 863-871.
- [25] 张蕾. 传统的绿色基础设施之华北黄泛平原古城坑塘景观启示[J]. *给水排水*, 2013 (S1): 247-251.
ZHANG Lei. The enlightenment of traditional green infrastructure on the pit-pond landscape of the ancient city in the Yellow River Pan-plain of north China[J]. *Water and Wastewater*, 2013 (S1): 247-251.
- [26] 俞孔坚, 姜芊孜, 王志芳, 等. 陂塘景观研究进展与评述[J]. *地域研究与开发*, 2015, 34 (4): 1-2.
YU Kongjian, JIANG Qianzi, WANG Zhifang, et al. The research progress and prospect of Bei Tang landscape[J]. *Areal Research and Development*, 2015, 34 (4): 1-2.
- [27] 邓洪武, 邹元宾, 郭晓康. 汉陂古建筑的文化艺术及其价值——江西古村落群建筑特色研究之三[J]. *南昌大学学报*, 2004 (3): 102-107.
DENG Hongwu, ZOU Yuanbing, GUO Xiaokang. Discussion on the ancient buildings and the cultural meanings of Meipi Village: the third research on features of Jiangxi ancient village buildings[J]. *Journal of Nanchang University*, 2004 (3): 102-107.
- [28] 许冬梅, 王忙忙, 王云才. 人工与自然系统的有机统一——江西汉陂古村的生态实践智慧启示[J]. *南方建筑*, 2017 (6): 111-115.
XU Dongmei, WANG Mangmang, WANG Yuncai. Link between man-made system and nature: inspired by the ecophronesis of Meipei Ancient Villiage in Jiangxi Province[J]. *South Architecture*, 2017 (6): 111-115.
- [29] 廉学勇, 王士杰. 陂塘系统对构建城市水生态环境的影响和借鉴[J]. *华北水利水电大学学报 (社会科学版)*, 2017 (8): 4-8.
LIAN Xueyong, WANG Shijie. Beitang (pond) system's influence on and reference to the construction of urban water ecological environment[J]. *Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Social Science Edition)*, 2017 (8): 4-8.
- [30] 张冬. 基于旅游开发背景下的汉陂古村公共空间优化研究[D]. 长沙: 中南林业大学, 2014 (5): 76-91.
ZHANG Dong. Optimization based Meibeil Village tourism development under the background of public space[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2014 (5): 76-91.
- [31] XIANG W N. Ecophronesis: the ecological practical wisdom for and from ecological practice[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016 (11): 65-69.
- [32] 颜文涛, 王云才, 象伟宁. 城市雨洪管理实践需要生态实践智慧的引导[J]. *生态学报*, 2016 (8): 4940-4942.
YAN Wentao, WANG Yuncai, XIANG Weining. Urban rainfall and flood management practice needs the guidance of ecological practice wisdom[J]. *Journal of Ecology*, 2016 (8): 4940-4942.
- [33] WANG Y, SHEN J, XIANG W. Ecosystem service of green infrastructure for adaptation to urban growth: function and configuration[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2018 (5): 1-12.