

城市雨洪利用研究进展

朱伟伟, 郑国全

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 从辨析“雨洪”和“城市雨洪利用”的概念及内涵入手, 分国际和国内 2 个方面, 对城市雨洪利用的理论体系和工程实践进行评述并作对比分析。研究得出: 中国在全面统筹考虑雨洪资源管理、径流污染控制、雨洪模型应用等方面均存在不足。建立以城市水文学为基础的理论框架和定量评价指标体系, 结合地理信息学, 拓展雨洪利用方法将是城市雨洪利用的未来研究要点。参 47

关键词: 雨洪; 雨洪利用; 城市; 综述

中图分类号: S7-05; X143; TU984 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)06-0976-07

Research progress on urban storm and flood utilization

ZHU Weiwei, ZHENG Guoquan

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: This paper reviewed the concepts and connotations of “storm and flood” and “storm and flood utilization” to analyze and compare the theoretical system and engineering practices internationally and domestically. The research findings indicated that there were defects in comprehensive storm and flood resources management, runoff pollution control, storm and flood model application in China. The research established a theoretical framework and quantitative estimation index system on the basis of urban hydrology; the utilizing method combining geographic information science shall be highlights for the further study of urban storm and flood utilization. [Ch, 47 ref.]

Key words: storm and flood; storm and flood utilization; urban; review

城市用地逐年增多, 不透水面积急剧增加, 洪泛区和天然排水道被占用堵塞, 不规范开发引起的回水阻碍使绝大多数城市面临着雨洪灾害的风险^[1-2]。2012 年北京发生 7·21 特大暴雨事件、2014 年华中地区出现山洪泥石流暴发, 种种险情严重阻碍了中国城市化进程。住房与城乡建设部针对现状发布了基于低影响开发、雨洪系统规划的《海绵城市建设技术指南》。可以预期, 城市雨洪利用作为缓解水资源匮乏、控制水环境污染和防止洪涝灾害加剧的重要技术手段必将成为未来的热点研究领域。国际上的城市雨洪利用已从 19 世纪初采用开挖明渠、坑塘等措施延缓水量的排放时间发展到 20 世纪 80 年代, 政府颁布法律、法规对水质加以监管再到现今利用绿地、水系对雨洪进行调蓄和净化处理的生态雨洪管理模式^[3-6]。以德、日、美为代表, 多侧重于雨洪资源的多角度调控与多重利用, 以控制非点源污染, 减轻城市排水负担, 修复和保护城市水文生态为目的, 以法律法规、经济技术为手段构建城市雨洪利用框架体系。在此背景下, 本研究希望通过归纳雨洪和城市雨洪利用的定义, 对比分析国内外城市雨洪利用理论建构和工程实践并提出未来的研究要点, 以期有助于推动中国城市雨洪利用研究的进一步发展。

收稿日期: 2014-10-27; 修回日期: 2015-04-29

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LY12D01003); 浙江省大学生科技创新活动计划项目(2015R412035)

作者简介: 朱伟伟, 从事城乡规划学等研究。E-mail: 347658024@qq.com。通信作者: 郑国全, 副教授, 博士, 从事景观规划设计与乡村旅游规划设计、低碳城市等研究。E-mail: zhengggq@zafu.edu.cn

1 城市雨洪利用理论研究

1.1 概念辨析

1.1.1 雨洪 学术界关于雨洪一词暂无准确完整而相对统一的定义。宋云等^[7]认为雨洪是未被城市地面消纳吸收,以地表径流的形式而存在的大气降水。陈玉恒^[8]将雨洪界定为有充足数量和可用质量,不能满足某种用途而被使用的自然水。潘安君等^[9]认为雨洪是降水产流、管网汇流与河流行洪的径流的统称。《辞海》中亦无“雨洪”的明确定义,按“雨水”和“洪水”的概念,可将“雨洪”理解为强降雨导致超出地表纳蓄能力的洪水,具有资源性和灾难性等特点^[10]。Faulkner^[11]强调雨洪是地域的人为分隔致使城市水文系统产生生化和物化变化,由此而带来的强降雨。综合学者对雨洪所下的定义可得出:雨洪不同于雨水,它是骤雨突降引发城市内涝并伴随江河水位快速上涨的征象,表述要点为高强度、大径流量、超出城市蓄纳能力,是一种致灾因子。

1.1.2 城市雨洪利用 城市雨洪利用是由城市雨水利用、城市排水和防洪中衍生出,并兼有上述词汇内涵特性的新概念^[12]。国外称城市雨洪管理(urban storm water management),其内涵可解释为在法律、政策、经济等前提的保障或管制下,通过规划设计、工程管理等途径来缓解或消除城市降雨过程中潜在的城市内涝、河道侵蚀、雨水污染等问题,并在特定条件下进行收集利用的一种系统化的管理方式^[13-15]。中国可持续水资源战略研究报告中将雨洪利用界定为对集雨面流出的雨洪水进行收集、积聚和储存,从水文循环中获取水资源为人类所用的一种方式^[16]。当被视为可利用资源时,也称雨洪资源化,单从字面上表述包括雨水利用和洪水利用。闫科^[17]认为前者是山区集雨工程和城市集雨设施对雨水的收集利用;后者为水坝、河系、蓄滞洪区对洪流的拦蓄调节、分流下渗。两者合称雨洪利用。周玉文等^[18]将城市雨洪利用的概念简述为采用一系列工程措施对城区降水实行全面管理。笔者以为国内外在定义“城市雨洪利用”存在差异的原因有二:一是发达国家经过长期的研究与实践,已形成独立完整的科学体系并取得良好成效,在宏观政策、技术研发、工程实践中均涉及雨洪的管理调控。而中国的雨洪利用事业处于起始阶段,定义的角度多聚焦于利用的技术手段,未准确区分现代意义上的城市雨洪利用与简单的雨水利用的差别。

1.2 国外城市雨洪利用理论体系概述

1972年,美国为控制非点源污染而提出非点源污染最佳管理处理措施(BMPs-best management practices)^[19]。BMPs的侧重点在于采取洪峰流量与污染物控制;地下水补给与储存水体保护;生态敏感性管理等综合性措施。以景观控制为基础的暴雨管理和面源污染处理技术低影响开发(LID, low impact development)是BMPs的延续,主要采用分散性的小规模设施对雨洪初期径流进行源头控制。LID以合理的场地开发为中心主旨,集水文分析、沉淀控制、综合治理于一体^[20-21]。绿色基础设施(GI, green infrastructure)提出于20世纪90年代,解释为由绿道、湿地、公园、森林保护区等开放空间组成的网络,以自然的方式管理城市径流、削减洪涝灾害。这种非人工网络可通过雨水花园、绿色屋顶、植被种植、透水敷装等要素遍布城市角落^[22],是关于开放空间规划和土地保护的新理念。20世纪末,英国以解决传统排水问题产生的洪涝多发和生态污染为目的而建立了可持续排水系统(SUSD, sustainable urban drainage system)。SUSD由过去的“水排放”变更为“水循环”,由优化单一的排水设施升级为优化区域排水系统,在设计和建设的过程中综合考虑水质、水量^[23]。澳大利亚水敏感性城市设计(WSUD, water sensitive urban design)的中心思想是将雨洪管理与城市景观相交融,实现水环境和城市建设的协调发展。以保持水环境原始状态为目标^[24-26],严格控制和管理水循环系统,减少污水排放,削减径流。新西兰的低影响城市开发设计(LIUID, low impact urban design and development)是LID和WSUD的进一步强化和改进^[27],控制雨洪的潜在流势,利用现存降雨的自然过程及其附属体系滞留蓄存雨洪水以达到减少流失量的目的。除了关注雨洪控制利用外,更侧重于减轻对天然水体的影响^[28-29]。上述规划设计理念相较于传统的排水策略,优先考虑自然水循环。在暴雨产生的源头——降雨的过程——雨水汇集形成地表径流这些环节中采用人工和非人工措施进行控制管理^[30],最大程度地利用雨洪资源。

1.3 国内城市雨洪利用相关理论概述

一是从景观生态学的角度研究如何将城市雨洪利用融入景观环境建设。俞孔坚等^[31]、赵晶等^[32]将景

观生态安全格局的构建与城市雨洪利用相结合,提出城市绿地应设计为可滞留、净化雨洪,回补地下水的“绿色海绵”系统。李宏等^[33]分析了国外城市雨洪利用的景观营造方法,如“雨水花园”“绿色街道”,为深入研究雨洪蓄滞的景观途径提供了参考。高元^[34]以城市雨洪的调蓄、排放、净化等方式为基础,分别介绍了城市雨洪利用中的景观设计思路与模式。姬锐锐^[35]将绿色基础设施与水体景观相融合,提出了由生物滞留系统、渗透系统和调蓄系统组成的生态化城市雨洪控制利用体系。

二是从环境工程学的角度研究城市雨洪利用的模式与途径。车伍等^[36]以城市雨洪利用系统中常用的技术措施为基础单元,构建了中国城市雨洪控制利用综合系统的优选模式。宫永伟等^[37]以地理信息系统为操作平台来预测城市雨洪调控措施的效果,结合优化算法设计最优城市雨洪利用方案。

三是从城乡规划学的角度研究城市雨洪专项规划的设立。董蕾等^[38]认为唯有进行城市雨洪专项规划才能使城市雨洪利用与城市基础设施建设、径流污染控制、洪涝灾害预防相结合,促使城市开发与环境保护相统一。周正楠等^[39]通过分析城市地表水系形态、地表类型和空间节点,提出了有利于减小城市洪涝灾害的城市滨水空间规划。

2 城市雨洪利用实践研究

2.1 国外实践

2.1.1 德国“标准产业化” 德国在城市雨洪利用方面居世界前列,目前已形成完整的雨洪收集、处理、控制和渗透等技术手段和相应法规体系。从1989年至今,已出台3代管理条例,分别对商住、公用等领域的雨洪利用设施的设计、施工、运行等方面制定严格标准^[40]。在汉诺威,由雨水滞滤沟、坡道绿地、蓄水湖、输水沟构成的雨洪滞蓄下渗系统使城区建成后的径流量接近未自然状态的 $14\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,远低于传统住区高达 $165\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[41]。

2.1.2 日本“小国大业” 日本于1980年推行雨水储存渗透计划。基于地少人多的国情,政府采用渗井、渗沟等占地面积小,可修建于楼前屋后的设施对城市雨洪进行调控利用,1992年颁布的《城市地下水总体规划》正式将雨水渗沟、渗塘作为城市建设的组成部分,并要求大型公共建筑必须设有雨洪就地下水渗设施^[42]。现今,岛内已有大量的雨洪利用工程。大阪和名古屋的大型雨洪利用系统,集水面达 $35\ 000\text{ m}^2$,可蓄水 $2\ 000\text{ m}^3$,年利用水量 $3\ 000\text{ m}^3$ 。东京建有的连接市内长达 $15\ 700\text{ km}$ 的下水道的首都圈外围排水系统,其末端设有高 25.4 m ,长 177.0 m ,宽 78.0 m 的大型蓄水池,可在城市洪涝期以 $200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度将洪水排出。

2.1.3 新加坡“集水区”计划 新加坡在城市水体管治方面成绩斐然,占国土面积 $2/3$ 的集水区的建设受全球瞩目。全岛被划分为“受保护区”“河道蓄水区”“骤雨收集区”三大集水区域^[43]。“受保护区”为自然保护区,其土地仅作雨洪消纳吸收所用;“河道蓄水区”则是利用河道出口和海滨堤坝修建的大型雨洪集蓄设施满足城市供水需求。以居住区的绿色屋顶为集雨面,流经的雨水通过专用管道输送至水库储存则形成了“城市骤雨收集系统”。

2.1.4 美国“渗蓄回灌” 美国是世界上较早开始城市雨洪利用的国家之一。1972年,芝加哥就开始在未进行雨污分流式的下水道的地区强制实施雨洪储留计划,解决了集水面积 971 km^2 地区的水质和水量调控问题。而后,由屋顶蓄水和入渗池(井、草地、透水地面)组成的地表回灌技术得到了大量的应用。弗雷斯诺市将入渗池和回灌井相结合,在地表土下 1.5 m 处铺设末端与入渗池相连的多孔波纹塑料管,使雨洪经土壤过滤自动注入回灌井中^[44],年雨洪利用量占总用水量的20%。

2.2 国内实践

2.2.1 北京奥林匹克公园 奥林匹克公园是国内最大的雨洪利用示范工程。园中应用了透水铺装、渗滤沟渠、集水池、坡形蓄水绿地等多种雨洪处理技术和设施。在收集水量的同时对其进行净化处理,蓄水池水质达到浇灌用水标准,省去繁琐的水质净化步骤^[45]。现今,公园可集蓄 5 a 一遇的暴雨量、平水年下渗、收集雨洪 150 万 m^3 ,地表径流就地下渗、净化、回用的综合利用率达80%以上。

2.2.2 深圳光明小区 深圳的光明住区在全国率先展开基于LID理念的雨洪综合利用工程。首先,小区通过控制径流系数以达到新区开发建设后雨洪外排量小于开发建设前水平,并以规划用地分类及雨洪利用特点为依据划出9类区块,结合水体进行综合设计^[46]。其次,将山区水库、水厂纳入小区的再生水系

统,作水量补充调蓄所用。最后,编制光明新区建设管理法规以保障雨洪利用工程的顺利实施。

2.2.3 天津桥园 桥园原为一城市废弃盐碱地,经生态恢复和绿地建设后已成为具有雨洪蓄留、生物多样性保护、提供游憩服务的多功能生态型公园。改造后的园区建有21个高低不等,有水有旱,种有多样乡土植物的坑塘,可在城市雨季来临之时收集蓄滞雨洪。

2.3 国内外城市雨洪利用研究比较

发达国家的城市雨洪利用已形成一套完整实用的理论和技术体系,并为此颁布相关法律法规作为后盾。不仅考虑了资源的重复利用,还与城市景观生态相结合,创造出了诸如绿色街道、雨水花园以使得雨洪利用技术更具生命力^[47]。国内北京、上海、深圳等地已进行城市雨洪利用示范工程的建设,也取得了一定成果,但与发达国家相比尚有较大差距。首先,未设立法律法规。虽有部分省市的规章政策涉及有关内容,但是在国家层面上缺乏全面性的政策体系加以保障;其次,缺乏制度协调和管理,直接影响到城市排水系统的可持续高效运行。制度问题影响雨洪利用的运行实施,在相关法规确立后,亦无管理部门实施监控;然后,未开展雨洪利用专项规划。编制城市总体规划时未考虑城市雨水利用和城市防洪防涝,涉及面过于狭窄;最后,未采用专项设施。雨洪利用设施未进行规模生产,实践中缺乏独立设计。

3 展望

通过对比分析国内外城市雨洪利用的进展,中国在全面统筹考虑雨洪资源管理、径流污染控制、雨洪模型应用等方面均存在不足。城市雨洪利用研究需先从以下3个方面深入。

一是强化城市雨洪利用的理论研究。现阶段城市雨洪利用的概念多出于经验性,系统性不足,尚未形成完整的概念体系和理论框架。从城市水文学角度综合研究城市雨洪利用理论,建立城市雨洪利用的理论框架,完善其概念及内涵等内容的研究十分迫切。

二是创新城市雨洪利用的研究方法。现有的城市雨洪利用方法多就某理论体系或工程实践进行分析总结后得出,具有普遍性意义。但雨洪作为一种可变化的非连续性水资源,在其利用上有一定的特殊性。例如不同的降水强度和降水时间、空间会导致城市雨洪利用出现季节性和地域性问题。不同的地形地貌和地质水文会直接影响可集蓄回用的雨洪径流量。今后可结合地理信息科学,利用地理信息系统(GIS),暴雨模型等数字化技术,对城市雨洪利用方法的适用性进行可视化模拟研究。

三是完善城市雨洪利用的管理制度。有关城市雨洪利用标准及评价指标建立的研究尚属空白。雨洪径流污染控制作为城市雨洪利用的核心内容可直接影响收集回用的水质的使用范围。不同水质的雨洪有不同的利用途径。因此,建立相关评价指标不仅可以为城市雨洪的用途做出规范,还可以为利用的效益评价提供定量依据。

4 参考文献

- [1] PARKINSON J, MARK O. *Urban Stormwater Management in Developing Countries* [M]. London: Iwa Publishing, 2005: 1 - 16.
- [2] BUTLE D, DAVIES J W. *Urban Drainage* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2004: 1 - 17.
- [3] 张洁. 基于雨洪安全的城市绿地量化研究:以北京市的自然条件为例[D]. 北京:北京林业大学, 2013.
ZHANG Jie. *Study on Urban Green Space Quantity in View of Stormwater Safety: Based on The Natural Condition of Beijing City* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [4] BMPs R T. *Stormwater Management Manual for Western Washington* [R]. Washington D C: Washington State Department of Ecology, 2005: 1 - 13.
- [5] BEECHAM S. Water sensitive urban design and the role of computer modelling [C]// *International Conference on Urban Hydrology for the 21st Century*. Kuala Lumpur: WMO/UNESCO, 2002: 21 - 45.
- [6] 张丹明. 美国城市雨洪管理的演变及其对我国的启示[J]. 国际城市规划, 2010, 25(6): 83 - 86.
ZHANG Danming. Evolution of american urban stormwater management and the reference value to China [J]. *Urban Plan Int*, 2010, 25(6): 83 - 86.
- [7] 宋云, 俞孔坚. 构建城市雨洪管理系统的景观规划途径:以威海市为例[J]. 城市问题, 2007(8): 64 - 70.

- SONG Yun, YU Kongjian. The landscape planning approach to construct administration system of city storm water: a case study of Weihai City [J]. *Urban Probl*, 2007(8): 64 – 70.
- [8] 陈玉恒. 雨洪利用是城市解决水问题的必然选择[J]. 南水北调与水利科技, 2002, **23**(5): 21 – 23.
CHEN Yuheng. Rainwater utilization is the inevitable choice to solve the water problem in the city [J]. *South North Water Trans Water Sci & Technol*, 2002, **23**(5): 21 – 23.
- [9] 潘安君, 张书函, 孟庆义, 等. 北京城市雨洪管理初步构想[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(22): 9 – 12.
PAN Anjun, ZHANG Shuhan, MENG Qingyi, et al. Initial concept of stormwater and flood management in Beijing City [J]. *China Water Wastewater*, 2009, **25**(22): 9 – 12.
- [10] 严军, 张菊, 许琳娟, 等. 北方城市雨洪利用的主要问题及对策[C]//智能信息技术应用学会. 国际会议论文第2卷, 武汉: 智能信息技术应用学会, 2010: 279 – 282.
YAN Jun, ZHANG Ju, XU Linjuan, et al. The main problems and measures for northern urban rain-flood utilization [C]// Broadcast Technology and Multimedia Communication. *Proceedings of 2010 International Conference on Broadcast Technology and Multimedia Communication (Volume 2)*, Wuhan, 2010: 279 – 282.
- [11] FAULKNER S. Urbanization impacts on the structure and function of forested wetland [J]. *Urban Ecosyst*, 2004, **7**(2): 89 – 106.
- [12] 李海军. 北京城区水文地质条件分区及老城区雨洪利用示范工程研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
LI Haijun. *Demonstration Research of Flood Control and Hydrogeological Distribution of Beijing Urban Area* [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [13] GILROY K L, McCUEN R H. Spatio-temporal effects of low impact development practices [J]. *J Hydrol*, 2009, **367**(3): 228 – 236.
- [14] FRENI G, MANNINA G, VIVIANI G. Urban Storm-water quality management: centralized versus source control [J]. *J Water Resour Plann Manage*, 2010, **136**(2): 268 – 278.
- [15] 刘家琳. 基于雨洪管理的节约型园林绿地设计研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
LIU Jialin. *Research on Conservation-oriented Landscape Architecture Design based on Stormwater Management* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [16] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [17] 闫轲, 方国华, 黄显峰, 等. 雨洪资源利用进展与利用模式探索[J]. 水利科技与经济, 2011, **17**(3): 58 – 60.
YAN Ke, FANG Guohua, HUANG Xianfeng, et al. A study on the pattern of utilization of rainfall flood resources and the nearly progress [J]. *Water Conserv Sci Technol Econ*, 2011, **17**(3): 58 – 60.
- [18] 周玉文, 邴守启, 赵树旗, 等. 深圳市雨洪利用规划探讨[J]. 给水排水, 2007, **33**(2): 39 – 41.
ZHOU Yuwen, BING Shouqi, ZHAO Shuqi, et al. Discussion on planning of rain and flood water utilization in Shenzhen City [J]. *Water & Wastewater Eng*, 2007, **33**(2): 39 – 41.
- [19] United States Environmental Protection Agency. *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds* [M]. Washington D C: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 2004: 25 – 26.
- [20] United States Environmental Protection Agency. *Reducing Stormwater Costs through LID Strategies and Practices* [M]. Washington D C: Nonpoint Source Control Branch, 2007: 1 – 27.
- [21] CAHILL T H. *Low Impact Development and Sustainable Stormwater Management* [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012: 113 – 127.
- [22] 吴伟, 付喜娥. 绿色基础设施概念及其研究进展综述[J]. 国际城市规划, 2009, **24**(5): 67 – 71.
WU Wei, FU Xi'e. The concept of green infrastructure and review of its research development [J]. *Urban Plan Int*, 2009, **24**(5): 67 – 71.
- [23] 吴海瑾, 翟国方. 我国城市雨洪管理及资源化利用研究[J]. 现代城市研究, 2012(1): 23 – 28.
WU Haijin, ZHAI Guofang. China's urban stormwater management and flood resources use [J]. *Mod Urban Res*, 2012(1): 23 – 28.
- [24] 刘旭. 澳大利亚城市土地开发雨洪管理及设计实例[C]//中国城市科学研究会. 第7届中国城镇水务发展国际研讨会论文集-S13: 城市防洪排涝与雨洪利用, 2012: 1 – 7.
- [25] KAZEMI F, BEECHAM S, GIBBS J. Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian ur-

- ban environment [J]. *Landscape Urban Plan*, 2011, **101**(2): 139 – 148.
- [26] FERGUSON B C, FRANTZESKAKI N, BROWN R R. A Strategic program for transitioning to a Water Sensitive City [J]. *Landscape Urban Plan*, 2013, **117**(4): 32 – 45.
- [27] 马克·路易斯, 克里斯·宾利. 新西兰低影响雨水体系设计[J]. 谭佩文, 译. 中国园林, 2013, **29**(1): 23 – 29.
LEWIS M, BENTLEY C, TAN Peiwen. Low impact stormwater design in New Zealand [J]. *Chin Landsc Arch*, 2013, **29**(1): 23 – 29.
- [28] 桑万琛. 基于城市安全的杭州市雨洪控制发展研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
SANG Wanchen. *The Research of Rainwater Management With Urban Planning Based on Urban Security in Hangzhou* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [29] von ROON M. Water localization and reclamation: Steps towards low impact urban design and development [J]. *J Environ Manage*, 2007, **83**(4): 437 – 447.
- [30] 赵冬泉, 邢薇, 佟庆远, 等. 基于数字排水技术的城市雨洪控制方案设计与评估[J]. 中国给水排水, 2010, **26**(16): 74 – 77.
ZHAO Dongquan, XING Wei, TONG Qinyuan, *et al.* Design and evaluation of urban stormwater management project based on digital water drainage system [J]. *China Water Wastewater*, 2010, **26**(16): 74 – 77.
- [31] 俞孔坚, 陈义勇, 王春连, 等. 垦殖后洲滩湿地生态恢复的景观设计途径: 以长江新济洲滩为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(10): 1255 – 1261.
YU Kongjian, CHEN Yiyong, WANG Chunlian, *et al.* Ecological restoration of a reclaimed island landscape in the Yangtze River [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2011, **20**(10): 1255 – 1261.
- [32] 赵晶, 李迪华. 城市化背景下的雨洪管理途径: 基于低影响发展的视角[J]. 城市问题, 2011(9): 95 – 101.
ZHAO Jing, LI Dihua. On the stormwater management ways in the context of urbanization from the point of view of low impact development [J]. *Urban Probl*, 2011(9): 95 – 101.
- [33] 李宏, 梁献超, 刘艳阳. 城市雨水利用中的景观营造[J]. 城市问题, 2009(7): 44 – 47.
LI Hong, LIANG Xianchao, LIU Yanyang. Landscape ways of rainwater utilization [J]. *Urban Probl*, 2009(7): 44 – 47.
- [34] 高元. 城市中的雨洪资源景观设计[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.
GAO Yuan. *The Rain Flood Resources Landscape Design in Urban Landscape* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014.
- [35] 姬锐锐. 城市雨洪生态化控制体系研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
JI Ruirui. *Urban Ecological Rain Flood Control System Research* [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [36] 车伍, 张伟, 李俊奇, 等. 中国城市雨洪控制利用模式研究[J]. 中国给水排水, 2010, **26**(16): 51 – 57.
CHE Wu, ZHANG Wei, LI Junqi, *et al.* Study on patterns of urban stormwater management in China [J]. *China Water Wastewater*, 2010, **26**(16): 51 – 57.
- [37] 宫永伟, 李俊奇, 师洪洪, 等. 城市雨洪管理新技术中的几个关键问题讨论[J]. 中国给水排水, 2012, **28**(22): 50 – 53.
GONG Yongwei, LI Junqi, SHI Honghong, *et al.* Discussion on several key question about urban stormwater management techniques [J]. *China Water Wastewater*, 2012, **28**(22): 50 – 53.
- [38] 董蕾, 车伍, 李海燕, 等. 我国部分城市的雨水利用规划现状及存在问题[J]. 中国给水排水, 2007, **23**(22): 1 – 5.
DONG Lei, CHE Wu, LI Haiyan, *et al.* Present status and problems of rainwater utilization plan in some Chinese cities [J]. *China Water Wastewater*, 2007, **23**(22): 1 – 5.
- [39] 周正楠, 邹涛, 曲蕾. 滨水城市空间规划与雨洪管理研究初探: 以荷兰城市阿尔梅勒为例[J]. 天津大学学报: 社会科学版, 2013, **15**(6): 525 – 530.
ZHOU Zhengnan, ZOU Tao, QU Lei. Research on spatial planning and stormwater management of waterfront city: a case study on Dutch City of Almere [J]. *J Tianjin Univ Soc Sci*, 2013, **15**(6): 525 – 530.
- [40] 李中锋, 李丹颖, 王志强. 德国的水资源管理与技术创新[J]. 中国水利, 2009(23): 62 – 64.
LI Zhongfeng, LI Danying, WANG Zhiqiang. Water resources management and technology innovation in Germany [J]. *China Water Resours*, 2009(23): 62 – 64.

- [41] 孙静. 德国汉诺威康斯伯格城区一期工程雨洪利用与生态设计[J]. 城市环境设计, 2007(3): 93 - 96.
SUN Jing. Stormwater utilization and ecology design: the first phase of the Hannover Kronsberg Project in Germany [J]. *Urban Space Des*, 2007(3): 93 - 96.
- [42] 许翼. 城市透水面集水效应现场试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
XU Yi. *A Field Experimental Study for Rainwater Harvesting on the Urban Permeable Surfaces* [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [43] 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.
WU Huan. Summary of rainwater utilization management system in foreign cities [J]. *Munic Eng Technol*, 2010, 28(5): 106 - 107.
- [44] 刘宝山. 城市小区雨水利用的研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
LIU Baoshan. *Research of Rainwater Utilization in Urban Community* [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [45] 周嵘. 奥林匹克公园中心区雨洪利用系统水质净化效果研究[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 119 - 121.
ZHOU Rong. The effect of water quality purify to rainwater and flood utilization system in the central area of Beijing Olympic Garden [J]. *South North Water Trans Water Sci Technol*, 2010, 8(1): 119 - 121.
- [46] 胡爱兵, 任心欣, 俞绍武, 等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水, 2010, 26(20): 69 - 72.
HU Aibing, REN Xinxin, YU Shaowu, *et al.* Exploration for creating low-impact development stormwater management demonstration area in Shenzhen [J]. *China Water Wastewater*, 2010, 26(20): 69 - 72.
- [47] 丁跃元. 德国的雨水利用技术[J]. 北京水利, 2002(6): 38 - 40.
DING Yueyuan. Rainwater utilization in Germany [J]. *Beijing Water Resour*, 2002(6): 38 - 40.