

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 04. 001

编者按: 2013年12月, 习近平总书记在中央城镇化工作会议上提出, 要建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”。福建省积极探索海绵城市建设路径, 历经十年形成厦门、福州两批国家级试点城市及龙岩、南平、三明三批国家级示范城市的全域推广模式。厦门市城市规划设计研究院有限公司是福建省住房和城乡建设厅及厦门市海绵办的主要技术支撑单位, 本次开设“厦门海绵建设专栏”, 将厦门及周边海绵城市的建设经验进行总结交流。

## 因地制宜落实年径流总量控制率的思考与实践

王开春, 王连接, 黄黛诗, 王泽阳

(厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

**摘要:** 年径流总量控制率是国家对海绵城市建设效果管控的刚性指标, 但在其管控和落实上未体现区域间的差别。以厦门市为例, 依据海绵城市规划建设的目的和内涵, 结合厦门市所处地域的特征, 针对海绵城市试点期间存在的主要问题, 提出因地制宜地推进海绵城市建设, 明确厦门市海绵城市建设实际需求, 合理确定地块及道路年径流总量控制率, 并进行片区之间的径流统筹平衡。同时, 开展海绵适宜性基础研究, 优化海绵城市设施, 以落实年径流总量控制率。年径流总量控制率在厦门本地的管控实践经验, 可为同类型地区的城市开展海绵城市建设提供借鉴。

**关键词:** 海绵城市; 年径流总量控制率; 径流控制; 统筹平衡

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)04-0001-06

### Thinking and Practice of Implementing Annual Runoff Total Control Rate According to Local Conditions

WANG Kai-chun, WANG Lian-jie, HUANG Dai-shi, WANG Ze-yang

(Xiamen Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

**Abstract:** The annual runoff total control rate serves as a crucial index for the government of the effectiveness of sponge city construction, but it does not reflect the regional differences in control and implement. Taking Xiamen as a case study, this paper proposes a tailored approach to promoting sponge city construction, considering the specific purposes and principles of such initiatives. By taking into account the regional characteristics of Xiamen and addressing key challenges encountered during the pilot phase, the paper suggests advancing sponge city construction in a manner that aligns with local conditions. This includes clarifying the specific requirements for sponge city construction in Xiamen, reasonably determining annual runoff total control rates for both plots and roads, and achieving an overall balance of runoff between different catchment areas. At the same time, the basic research on sponge city suitability and optimizing sponge city facility were carried out to implement annual runoff total control rate. The total annual runoff control rate is locally controlled and practiced in Xiamen, with the aim of playing a guiding role in sponge city construction in similar areas.

通信作者: 王开春 E-mail: xmwkc@163.com

**Key words:** sponge city; annual runoff total control rate; runoff control; overall planning and balance

在吸收低影响开发(LID)、可持续排水系统以及水敏感性城市等市政规划理念基础上,结合水资源保护、水环境整治、雨洪管理等国内技术,我国提出海绵城市建设的创新概念,同时将年径流总量控制率作为刚性管控指标,以评价海绵城市建设效果。然而,年径流总量控制率作为一个全新概念,在第一批及第二批试点城市强制推广期间,为满足刚性指标要求,出现类似完全采用蓄水模块、调蓄池等灰色设施的极端现象,违背了海绵城市建设的初衷,也带来投资浪费、运维复杂等多种问题。为此,为指导各地科学、扎实、有序推进海绵城市建设,2022年住房和城乡建设部印发《关于进一步明确海绵城市建设有关要求的通知》(以下简称《通知》),提出20条海绵城市建设具体要求,其中明确要求海绵城市建设应坚持因地制宜,并结合气候地质条件、场地条件、规划目标和指标、经济技术合理性、公众合理诉求等因素,灵活选取“渗、滞、蓄、净、用、排”等多种措施组合,增强雨水就地消纳和滞蓄能力。

分析了年径流总量控制率在应用中存在的问题,以厦门市为例,通过分析厦门市所处地域的特征,总结厦门市海绵城市建设过程中存在的主要问题,提出因地制宜推进海绵城市建设,落实年径流总量控制率的策略及措施,以期同类型城市的海绵城市建设提供参考。

## 1 年径流总量控制率应用中存在的问题

我国地域辽阔,不同地区、不同城市的水文地质、气候、人文等条件存在较大差异,《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》)用于指导全国各地的海绵城市建设相对比较宏观,对于具体的海绵城市建设还需要结合地方特点进一步优化和改进。因此不同地区的海绵城市建设不仅在年径流总量控制率目标要求上不一样,其实现的技术路径也应有所不同。

在因地制宜开展海绵城市建设方面,国内已有相关研究,其中孙波等<sup>[1]</sup>针对南方沿海城市特点,构建了完整的海绵体系和防洪排涝体系,用于缓解城市内涝。戴慎志<sup>[2]</sup>针对高地下水位城市的特征和主

要问题,在坚持因地制宜和有效解决问题的原则下,提出高地下水位城市的海绵城市规划建设策略。邱长浩等<sup>[3]</sup>将年径流总量控制率精准表达至地块并形成管控分区图,用于指导海绵城市建设与管理。卓浩等<sup>[4]</sup>确定了市政道路、建筑小区、城市绿地与广场及城市水系中海绵城市的设施布局及侧重方针,为年径流总量控制率目标的落实提供了理论参考。谢鹏贵等<sup>[5]</sup>结合厦门实践经验,提出径流控制指标管控的流程及要点,展示了城市规划建设落实径流控制指标的方法途径。张高嫒等<sup>[6]</sup>针对海绵城市在控规层面推进中存在的主要问题,提出了一套指标分解的思路与技术方法,完成了控规层面年径流总量控制率的确定。

然而,上述研究在年径流总量控制率的管控和落实上并没有体现出不同区域之间的区别,未能充分落实因地制宜的原则。对于北方干旱少雨城市,海绵城市建设目标应侧重于涵养水资源,故在年径流总量控制率的落实上应侧重于采取源头雨水下渗及回收利用等措施。而南方水资源相对丰富,海绵城市建设目标应注重解决水环境及水安全问题,故在年径流总量控制率的落实上应侧重于水环境治理及排水防涝建设,如在源头地块海绵城市设施建设应注重雨水下渗,以削减雨水峰值及降低径流污染。

## 2 厦门市年径流总量控制率

### 2.1 年径流总量控制率目标

厦门市地处福建省东南部、九龙江入海处,由厦门岛、鼓浪屿及内陆沿海地区组成,现状土地面积1 573.16 km<sup>2</sup>,常住人口520万人。厦门地区以低丘陵和平原台地为主,大部分地区坡度小于8%,局部为15%,其中北部区域以红壤为主,中部区域以水稻土为主,南部以赤红壤为主,沿海区域以滨海盐土为主,含水层土壤渗透性差,地下水位较浅。厦门市降雨量充沛,多年平均降雨量为1 335.8 mm,年平均蒸发量为1 209.2 mm,每年7月—10月有台风带来的特大暴雨,降水范围广,持续时间长,暴雨频数高。在海绵城市建设条件上,厦门市的特点是城市开发密度大,不透水面积高,地下水位相

对较高、暴雨历时短且强度高,土壤渗透率低。

根据《指南》中的我国大陆地区年径流总量控制率分区,厦门市位于Ⅳ区,年径流总量控制率目标为 $70\% \leq \alpha \leq 80\%$ 。基于厦门市雨量充沛、排水路短、径流行泄快、开发密度高、面源污染大等特点,确定海绵城市建设目标应重点解决水安全和水环境问题,其对应的措施应以“渗”“排”和“净”为主<sup>[5]</sup>。综合考虑《指南》要求及本地条件,合理确定厦门市年径流总量控制率为70%,其对应的设计降雨量为26.8 mm。

## 2.2 面临的主要问题

海绵城市试点期间,厦门市在推进海绵城市建设方面取得了较大的成果,但由于海绵城市建设仍处于前期探索阶段,试点期间仍存在以下问题未能解决:

### ① 管控指标分解不够合理

厦门市采用经验分析法统计各类建设用地新改扩建项目可达到的年径流总量控制率,取平均值作为各类建设项目指标的推荐值,采用面积加权平均法计算各管控单元年径流总量控制率,最终得出片区的年径流总量控制率<sup>[5]</sup>。然而这种方法导致同一类型的建设用地即使海绵城市建设条件差异大,其年径流总量控制率指标仍相同,造成海绵城市建设条件较差的用地需要花费较大的代价才能满足指标要求,而海绵建设条件较好的用地又没法充分发挥好自身海绵城市建设效益。

### ② 海绵设施布局有待加强

在海绵城市设施布局方面,厦门市多数建设项目反复单独或者组合使用下凹式绿地、雨水花园、透水铺装、蓄水池等设施,尽管能够实现年径流总量控制率目标,但由于缺少深入思考和规划,导致建成的海绵城市建设项目为满足指标要求而大量采用蓄水模块、调蓄池等灰色设施,致使建成的海绵城市建设项目不仅投资高、运维复杂,而且其设施布局千篇一律地采用灰色设施,缺少绿色海绵设施的多样性。

### ③ 海绵设施有待优化

厦门市现有的海绵城市建设设计图集参照国家标准图集编制,没有根据本地的气候和特点进行技术优化,导致图集中仍存在渗管、渗井、蓄水池等北方地区常用的海绵设施结构,在引导建设单位选用适宜的海绵设施方面存在不足。部分海绵城市

设施结构过于复杂,如雨水花园下设砾石层及渗管,不适于厦门市高地下水位、土壤渗透性强的区域。

## 3 年径流总量控制率指标优化

在建设过程中因地制宜地制定海绵城市建设策略,落实年径流总量控制率,引导海绵城市设施的建设尤其重要。海绵试点结束后,厦门市根据试点经验进行了总结反思,并发布《厦门市海绵城市建设工作方案》,明确海绵城市建设应以解决城市内涝、水体污染为抓手,已建城区结合城市更新,新城片区结合开发时序,合理实施低影响开发设施建设,落实年径流总量控制率。

### 3.1 合理确定地块年径流总量控制率

#### ① 发布海绵城市管控指标豁免清单

厦门市在国内率先针对机场、加油加气站,面积 $<2 \text{ hm}^2$ 且绿地率 $<10\%$ 的仓储、堆场、物流类工程地块,以及绿地率 $<10\%$ 的工业、商业、商务类地块等低影响开发建设条件不佳的项目,由自然资源与规划局在规划设计条件审批文件中明确“海绵城市建设根据项目特点因地制宜落实,不作具体指标要求”,在工程建设管控环节取消对项目年径流指标控制率的强制性要求,由建设单位根据项目特点因地制宜地落实海绵城市建设理念即可。但仍强制要求人行道及非机动车道采用透水材料以及环保型雨水口过滤雨水,步行街及地块内人车分流区域的道路路缘石采用平缘石,其周边绿地下沉3~5 cm。

#### ② 优化地块年径流总量控制率指标

不同的用地类型,其海绵城市建设有着显著的差异。如城市道路和广场等不透水下垫面难以消纳和下渗雨水,易产生大量径流;城市建筑因屋面和排水管网系统可延缓径流产生的时间,因此较之于道路、广场等其他城市不透水下垫面产生径流更慢;绿地和水系作为海绵体,有一定的消纳、传输和蓄积径流雨水的功能。因此,需要根据不同的相用地类型给定不同的年径流总量控制率,作为基础型管控指标,引导不同的用地类型采取适宜的海绵城市技术。在此基础上,针对同一用地类型,由于自身绿地率、建筑密度条件也不同,其海绵城市建设的难度不一致,因此厦门市针对不同建设条件的同用地类型,结合基础性指标及建设条件,经科学测



算,给定不同的年径流总量控制率指标,并通过控制图则落实到每个地块及道路项目上,实现年径流总量控制率指标的因地制宜的原则。

### 3.2 片区径流统筹平衡

#### 3.2.1 地块间指标平衡

厦门市根据每个地块自身的海绵城市建设条件,因地制宜地给出不同的年径流总量控制率指标,在控制性详细规划中进行明确,通过调整不同地块之间年径流总量控制率指标,实现指标的差异化,进行地块之间的互补平衡,以充分利用海绵城市建设本地条件好的地块指标,来减轻海绵城市建设本地条件差的地块负担,共同承担完成片区年径流总量控制率要求。

在地块的径流组织中,除在地块内部布设海绵设施的常规做法外,还利用地块周边绿化如道路退线绿化、公园绿地等,共同承担径流总量控制,通过做好地块内部排水路径设计及地块与道路、绿地之间的高程衔接,将地块内的雨水引入周边绿地进行控制。而对于道路的径流组织,宽度适宜的侧分带除采用下凹式绿地(生物滞留带)净化路面初期雨水外,还可在道路红线外的退线绿化内设置生物滞留设施,通过在人行道设置局部漫流通道、线性排水沟等,将机动车道路面雨水引入生物滞留设施进行滞蓄、消纳。通过与地块周边绿地的互补平衡,共同完成片区年径流总量控制率。

地块间海绵城市指标平衡流程见图1。

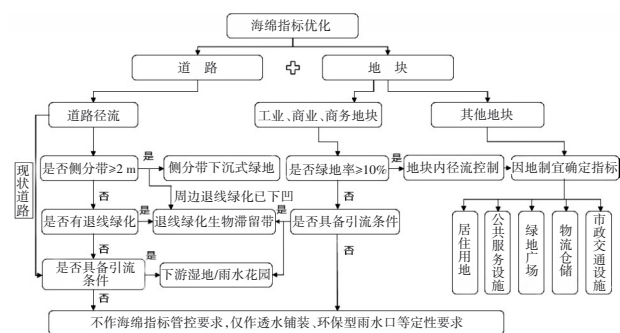


图1 地块间海绵城市指标平衡流程

Fig.1 Flow chart of sponge city index balance between plots

#### 3.2.2 片区间统筹平衡

在地块指标分解完成后,如片区指标仍无法满足要求,则在径流组织的末端设置湿地。通过分析不同片区的末端湿地建设条件,对于可以在流域低洼地带或排水管道末端设置湿塘、湿地的片区,适

当提高片区年径流总量控制率指标,利用末端湿地提供的流域滞涝空间,完成年径流总量控制率目标,同时也可以利用湿地内植被的净化功能,进一步削减流域面源污染,提高下游水系水环境质量,保障良性的水生态系统。片区径流统筹平衡流程见图2。

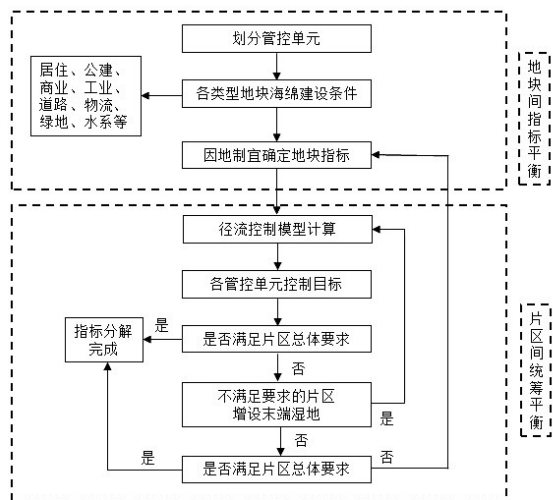


图2 片区径流统筹平衡流程

Fig.2 Flow chart of catchment runoff overall balance

### 4 海绵城市建设技术适宜性

“渗、滞、蓄、净、用、排”是海绵城市建设的六字方针<sup>[1]</sup>,其中“渗”主要用于减少雨水地面径流、净化初期雨水径流污染;“滞”主要用于延迟雨水径流峰值出现的时间;“蓄”主要通过将雨水留存在本地,降低峰值流量,以回收利用雨水;“净”主要利用设施减少雨水径流污染、改善城市水环境;“用”在于合理利用雨水资源;“排”则利用城市排水系统以减轻城市内涝。在分析海绵城市建设技术适宜性时,应根据每座城市水系统所需解决的关键问题,选取“渗、滞、蓄、净、用、排”等不同的海绵城市工程措施。厦门市地下水位和硬化地面率均较高,其海绵城市建设目标的重点是解决水环境与水安全问题,其海绵城市的构建应以“渗”“净”和“排”为主要策略。

厦门市针对城市道路海绵城市建设,尽量选择具有高透水性能的铺设材料,以提高雨水的渗透效果;加强道路两旁下沉式绿化带的透水能力和水质处理功能,以减轻路面雨水的径流量;做好道路边缘开口和溢流设施的设计,确保排水能力达标,从而有效缓解管道系统的排水压力。针对建筑与小

区海绵城市建设,应着重于各类型海绵设施布局的优化,使小区建筑、道路径流优先汇入海绵设施,屋顶坡度较小的建筑可采用绿色屋顶。在绿地与广场海绵城市建设方面,公园绿地海绵设施布局应以入渗和减排为主,调蓄和净化为辅,广场用地的海绵设施布局应以入渗为主,调蓄为辅,充分发挥海绵设施生态效益。而针对河湖水系海绵城市建设,保护好现有的河流水体、湖泊、湿地等生态资源,并处理好上游城市雨水管道系统和下游水系的衔接关系,同时在水系周边绿地设置人工湿地等对雨水径流进行过滤和净化,以达到减少污染物的目的。

## 5 海绵城市设施技术优化

为提升优化海绵城市技术,厦门不断吸收融合最新的海绵城市理念,开展了一系列的海绵城市基础性研究,作为海绵城市技术优化的理论依据,并将其落实到海绵城市技术规范及导则中,以引导厦门市海绵城市技术提升。

### 5.1 海绵城市基础研究

厦门市开展了海绵城市地质影响及适宜性研究,详细调查分析全域土壤地质对海绵城市设施布局的影响,划分海绵城市适宜性分区。海绵城市基础研究及应用见图3。

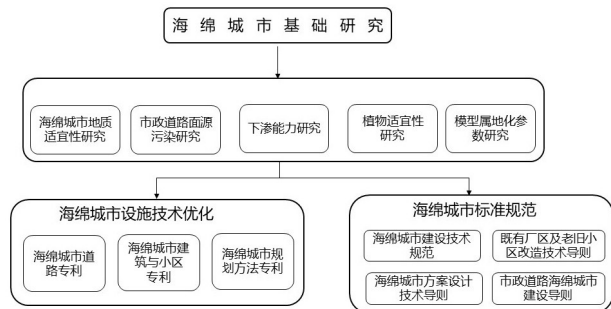


图3 厦门市海绵城市基础研究及应用

Fig.3 Basic research and application of sponge city in Xiamen

调查典型区域的海绵城市下渗能力,分析其土壤渗透性及地下水位等相关参数,用于优化生物滞留设施底部结构。对市政道路路面源污染进行调查,揭示厦门市市政道路路面源污染时间和空间分布规律,用于指导海绵城市市政道路雨水径流控制及污染削减措施。针对海绵城市设施的特点,研究本土植物用于海绵城市的适宜性,以及植物对雨水径流污染物的削减及吸附作用,以供设计单位参考。

海绵模型属地化参数根据海绵城市监控平台数据,利用模型软件率定出适用于厦门市海绵城市模型专用参数。通过开展海绵城市基础性研究,为海绵城市技术优化提供扎实的理论依据,并将相关要求落实到海绵城市标准规范中。

## 5.2 海绵城市设施技术优化

### 5.2.1 优化绿色雨水设施

针对海绵设施最常用的绿色雨水设施如下凹式绿地、雨水花园等,对于其底部复杂的设施结构,厦门市在上述基础研究理论的指导下,明确在换填土满足规范下渗时间要求的前提下,可取消底部砾石层及渗管设置,让雨水自然入渗,补充地下水。针对下凹式绿地的复杂下凹曲面施工工艺,厦门市提出下沉式绿地概念,将曲面改为整体下沉形式,取消横向放坡,调蓄深度3~5 cm。针对道路路基侵占下凹绿地底部空间的情况,在确保安全的前提下,提出垂直式路基的做法以增大下凹绿地底部植物生长空间。

道路侧分带海绵城市设施布置见图4。

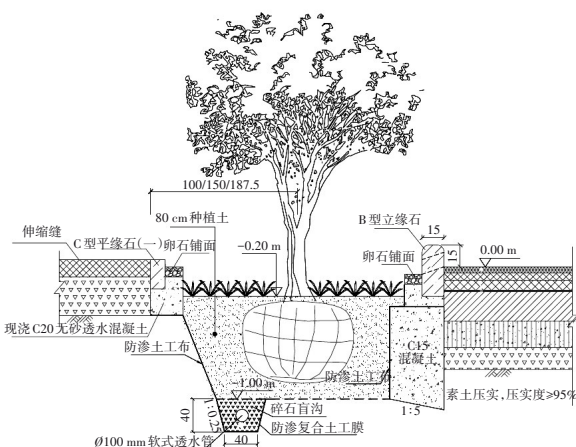


图4 道路侧分带海绵城市设施布置

Fig.4 Layout of sponge city facilities in road side zoning

### 5.2.2 慎用灰色雨水设施

厦门市海绵城市标准图集中灰色雨水设施主要有雨水回用池、多孔纤维棉等,由于多数建设单位仅为满足径流总量控制率而采用灰色设施,并未配套设计净化及雨水回用系统,后期运维管理中无法实现雨水回用。厦门市要求项目建设单位应明确是否具备雨水回用需求,在非必要情况下减少灰色设施的使用,业主非自愿条件下禁止使用灰色设施。

### 5.2.3 做好雨水径流组织

雨水径流组织关系到项目设计的成败,厦门市要求设计单位重视细化竖向标高,包括道路、硬化场地、普通绿地、下沉式绿地或雨水花园的标高信息,核查径流组织的合理性,并绘制各个海绵设施汇水范围线,校核调蓄容积与汇水量的匹配性,并要求出具雨水径流组织正常、溢流、超标三个工况图,用于核实海绵城市在小雨、大雨、超标雨水下的运行状况。

## 6 结论与建议

年径流总量控制率是海绵城市建设刚性管控指标,贯穿海绵城市建设的各个环节,如何因地制宜地实现年径流总量控制率目标是海绵城市建设一直以来的难题。以厦门为例,旨在探讨厦门市如何根据本地实际情况因地制宜推进海绵城市建设,落实年径流总量控制率的要求,通过在规划层面合理分解并确定年径流总量控制率指标,进行海绵城市建设技术适宜性分析,优化海绵城市设施技术,可为同类型地区的海绵城市建设提供参考。

### 参考文献:

- [1] 孙波,谢水波,刘慧. 南方沿海城市海绵城市建设系统策略探索[J]. 水利规划与设计, 2019(11): 24-27, 53.  
SUN Bo, XIE Shuibao, LIU Hui. Exploration of sponge city construction system strategy in southern coastal cities [J]. Water Resources Planning and Design, 2019 (11): 24-27, 53 (in Chinese).
- [2] 戴慎志. 高地下水位城市的海绵城市规划建设策略研究[J]. 城市规划, 2017, 41(2): 57-59.  
DAI Shen zhi. Study on sponge city planning and construction strategy of high groundwater level city [J]. City Planning Review, 2017, 41(2): 57-59 (in Chinese).
- [3] 邱长浩,付浩. 管理视角下海绵城市年径流总量控制率[J]. 净水技术, 2023, 42(7): 144-152.  
QIU Changhao, FU Hao. Volume capture ratio of annual rainfall in the view of management for sponge city [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(7): 144-152 (in Chinese).
- [4] 卓浩,李元松,张静波,等. 基于径流总量控制目标区划的海绵城市研究[J]. 公路, 2018, 63(12): 193-197.  
ZHUO Hao, LI Yuansong, ZHANG Jingbo, et al. Study of the spongy city based on the zoning of the total annual runoff as the control target [J]. Highway, 2018, 63(12): 193-197 (in Chinese).
- [5] 谢鹏贵,吴连丰,黄黛诗. 厦门市海绵城市建设径流控制指标的探索与实践[J]. 给水排水, 2019, 45(8): 36-41.  
XIE Penggui, WU Lianfeng, HUANG Daishi. Exploration and practice of target index of runoff control in sponge city construction of Xiamen City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(8): 36-41 (in Chinese).
- [6] 张高嫒,高斌,王新亮. 海绵城市年径流总量控制率在控规中的深化与落实[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 1-5.  
ZHANG Gaoyuan, GAO Bin, WANG Xinliang. Deepening and implementing of capture ratio of annual rainfall runoff volume of sponge city in regulatory detailed planning [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6): 1-5 (in Chinese).

作者简介:王开春(1970—),男,福建莆田人,硕士,教授级高级工程师,主要研究方向为海绵城市及生态修复规划。

E-mail: xmwkc@163.com

收稿日期: 2023-12-06

修回日期: 2023-12-19

(编辑: 丁彩娟)