

# 镇江海绵城市系统性治理技术的阶段性总结与探索

刘绪为<sup>1</sup>, 穆军伟<sup>2</sup>, 方 帅<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 江苏满江春城市规划设计研究有限责任公司, 江苏 镇江 212000)

**摘 要:** 结合镇江海绵城市建设实践,从全生命周期、空间尺度等维度对海绵城市内涵体系进行了梳理总结。基于海绵城市多目标需求、多空间尺度,探讨了镇江海绵城市系统性治理技术的应用研究情况,提出了源头 LID 绿色设施、过程灰色手段和末端处理技术的工具箱类型和应用思路,为其他城市的海绵城市建设提供参考和借鉴。

**关键词:** 海绵城市; 低影响开发; 过程灰色手段; 末端处理技术; 系统性治理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0007-06

## Stage Summary and Exploration on Systematic Management Technology of Sponge City in Zhenjiang

LIU Xu-wei<sup>1</sup>, MU Jun-wei<sup>2</sup>, FANG Shuai<sup>1</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Jiangsu Manjiangchun Urban Planning and Design Co. Ltd., Zhenjiang 212000, China)

**Abstract:** Based on the practice of Zhenjiang sponge city construction, the connotation system of sponge city was further summarized from multiple aspects of life cycle, spatial scale and so on. According to the multi-objective demand and multi-spatial scale, the application of sponge city systematic management technology in Zhenjiang was discussed. And furthermore, the type and application method of management toolbox were put forward including source LID green infrastructure, process gray method and terminal treatment technology, which could be used as reference and guidance for sponge city construction in other city.

**Key words:** sponge city; low impact development; process gray method; terminal treatment technology; systematic management

随着我国海绵城市建设的开展,海绵城市的理念、内涵、技术手段不断丰富和发展。镇江市地处江苏省西南部,是全国第一批 16 个海绵试点城市之一。经过两年多的海绵城市建设实践,在《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》)基础上,对海绵城市建设技术措施进行了实践与创新。笔者以镇江海绵城市建设为例,对海绵城市系统性治理技术进行阶段性梳理总结和探索研究。

### 1 海绵城市内涵梳理

《指南》中指出:海绵城市应统筹低影响开发雨水系统、城市雨水管渠系统及超标雨水径流排放系统。结合镇江海绵城市实践,将海绵城市内涵体系归纳如图 1 所示。海绵城市作为开放和发展的体系,应具有多维度和多层次。从目标分类维度来看,海绵城市可分为水安全、水环境、水生态、水资源和水文化五个方面;从空间尺度来看,包括项目、地块、汇水区、流域四个尺度;从海绵城市建设全生命周期

角度看,其囊括了规划、设计、建设、运营管理和评估反馈五个阶段。

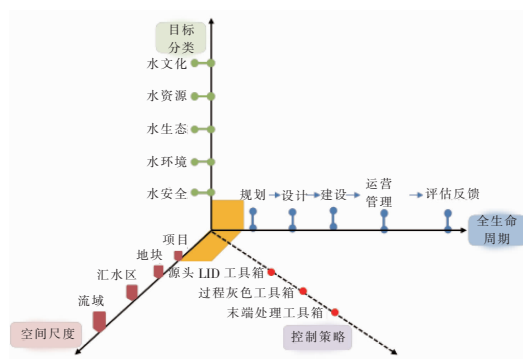


图1 海绵城市内涵体系

Fig.1 Connotation system of sponge city

海绵城市是在系统总结我国雨洪管理领域长期研究和实践经验的基础上,提出以现代雨洪管理为核心的理念、技术和管理体系。经过镇江等海绵城市试点的实践总结,海绵城市概念已不仅仅停留在理论层面,形成了一定的系统规划、设计方法、建设程序和技术手段以及相应的体制机制等内容。正是基于海绵城市多目标需求、多空间尺度,需要建立与梳理相应的海绵城市系统性治理的技术工具箱。

## 2 海绵城市系统性治理技术

基于海绵城市多目标需求,最重要的是系统性的建设思路,所谓系统性,就是包括源头治理、过程控制和末端处理等多个环节,通过三者的共同作用,以实现海绵城市综合目标,因此延伸出源头 LID 绿色设施、过程灰色手段和末端灰绿蓝处理技术。

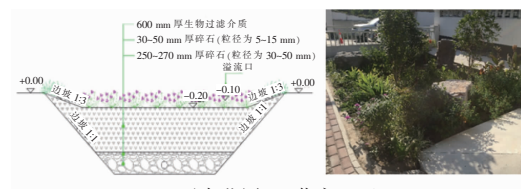
### 2.1 源头LID 绿色设施

LID 是通过分散、多样、小规模源头技术措施使区域开发建设后的水文状态尽量接近于开发建设前<sup>[1]</sup>。结合老旧小区改造,镇江海绵城市试点区进行了源头 LID 改造工程。通过对已完成施工的 60 多个改造小区分析,其源头 LID 改造工程包括生态化排水工程、景观工程和节能减排改造工程;在镇江高密度老城区源头 LID 改造中采用的技术措施主要有生物滞留设施、透水铺装和绿地贴。

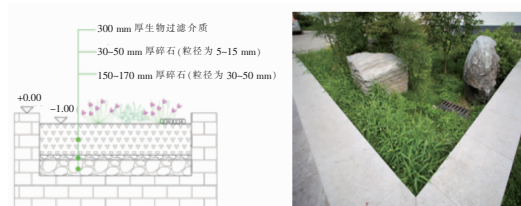
#### 2.1.1 生物滞留设施

镇江海绵城市运用的生物滞留设施包括雨水花园、雨水花坛和生态树池,主要特点如下:①蓄水层高度为 200 ~ 300 mm,换土层厚度为 300 mm/600 mm,砾石层厚度为 300 mm。②换土层主要采用的是镇江研发的由砂、椰糠、黏土配比而成的特殊生物

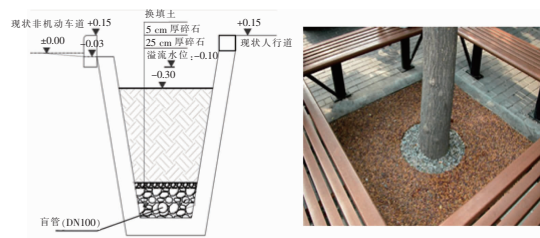
过滤介质,其下渗速率可达 150 mm/h,且能满足植物的良好生长要求。③砾石层按照碎石大小级配细分为两层,上层是厚度为 30 ~ 50 mm、粒径为 5 ~ 15 mm 的细碎石层,下层是厚度为 250 ~ 270 mm、粒径为 30 ~ 50 mm 的粗碎石层。④生物滞留设施采取溢流和底部盲管的双排水系统,在不同情况下发挥各自相应功能。生物滞留设施结构见图 2。



a. 雨水花园(三茅宫二区)



b. 雨水花坛(花山湾新村五区)



c. 生态树池

图2 生物滞留设施结构

Fig.2 Structure of bioretention facility

#### 2.1.2 透水铺装

透水铺装镇江源头 LID 工程中主要用于小区、道路、广场等公共区域的硬质地面改造,其中特别指出的是,镇江市在老城区海绵城市改造中借鉴结构透水铺装,根据镇江的实际情况创新地提出并应用缝隙式透水铺装<sup>[2]</sup>。

透水铺装特点如下:①透水铺装(材料透水)主要用于学校、公共广场、城市道路人行道等对景观和结构强度要求较高的区域;而缝隙式透水铺装主要应用于宅前以及无机动车驶入的小区内宅前道、人行道,满足下渗和结构强度要求。②缝隙式透水铺装的面层为 10 cm 厚的普通混凝土砖,砖之间缝隙为 8 mm,采用粒径为 2 ~ 8 mm 的碎石填缝;找平层为粒径 5 ~ 8 mm 的碎石,厚度为 5 cm;基层由不同

粒径的两层碎石组成,总厚度为 50 cm,雨水径流主要通过缝隙进行下渗。

透水铺装结构形式见图 3。

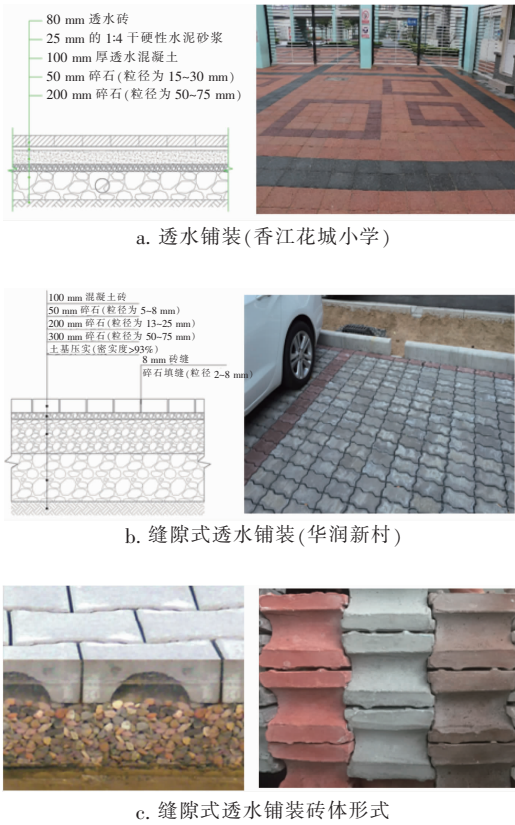


图 3 透水铺装结构

Fig. 3 Structure of permeable pavement

2.1.3 绿地贴

镇江市推广运用轻型屋顶绿化毯(简称“绿地贴”)进行绿色屋顶改造,其主要特点如下:①主要植物类型为佛甲草和锦竹草,基质厚度约 2~3 cm。②绿地贴净质量为 15~20 kg/m<sup>2</sup>,保水质量约为 25~35 kg/m<sup>2</sup>,对屋顶结构要求低、形式灵活、后期维护方便。绿地贴结构形式见图 4。

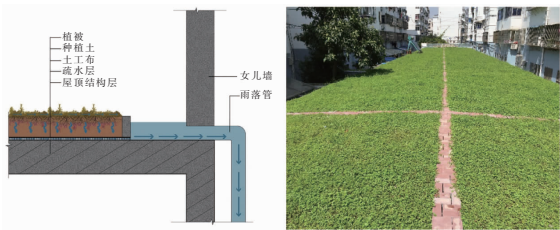


图 4 绿地贴结构

Fig. 4 Structure of green proof

2.2 过程灰色手段

从已有的研究和实践经验看,仅靠源头 LID 并不能完全满足海绵城市建设多目标的要求。在全面解决城市雨洪管理方面,源头 LID 绿色设施与过程灰色管网等应相互配合并相得益彰。特别是在高密度的老城区,在源头充分建设 LID 绿色设施的情况下,仍需将城市管渠排放、内涝设施调蓄等过程灰色设施作为其重要技术手段,以实现综合控制目标。镇江海绵城市建设中采用的过程灰色手段如表 1 所示。

表 1 镇江采用的过程灰色手段

Tab. 1 Process gray method in Zhenjiang

项目	类别	含义	适用条件	优点	缺点	镇江案例
点状调蓄池	调蓄池	用以储存雨水的蓄水池	适用于地上或地下空间充足区域	削减洪峰流量,减少初期雨水径流污染和溢流污染	建设费用高;需后期维护管理;雨水净化能力有限	边检站调蓄池工程
深隧	调蓄管涵	埋深在地下空间(一般指地面以下超过 20 m 深度的空间)的大型、特大型排水隧道	适用于发展成熟建筑密集、不便于地面和浅层地下施工、水文地质条件有利的老城区和中心城区	洪涝控制、污染控制及调蓄多种功能;对地面、地下轨道交通及现状管线影响较小;不占用城市地面和浅层地下空间	大型隧道设计施工周期较长、工程量较大;管理、运行和维护复杂	镇江 CSO 综合治理工程
浅隧	调蓄管涵	浅隧一般埋深为 10~20 m	城市浅层空间较为充裕的区域	兼顾洪涝控制、污染控制及调蓄多种功能	占用城市浅层地下空间;可能与地铁线路交叉影响	虹桥港工程、黎明河工程

2.2.1 点状调蓄池

边检站调蓄池工程结合所在片区积水点情况,建设了 2 200 m<sup>3</sup> 点状调蓄池和配套管道系统,可有效实现小雨截流、超标雨水调蓄、内涝点消除等要

求。此外该调蓄池结合地形特点,设计为功能与景观相结合的多功能雨水调蓄池(见图 5),其负二层为雨水调蓄空间,负一层为地下停车库,顶层为优美的屋顶花园,实现工艺达标、环境提升的多重效果。



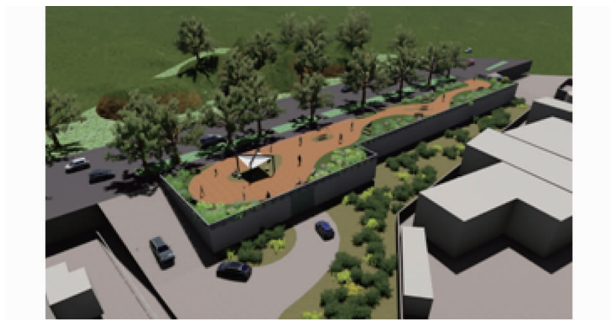


图5 边检站调蓄池效果

Fig. 5 Storage tank in Bianjianzhan

### 2.2.2 调蓄管涵

镇江试点区具有以老城区为主、建筑密度高、地下管线错综复杂的特点,因地制宜地选择调蓄管涵技术,补充完善城市现状管网系统,实现多重目标。

#### ① 浅隧技术

虹桥港项目采用 DN2 800 ( $L=915\text{ m}$ ) 浅层大口径雨水管道,解决片区初期雨水径流污染和小米山路积水点问题,同时可实现雨水调蓄量  $5\,600\text{ m}^3$ 。

黎明河项目新建 DN2 000 ~ DN3 000 浅层大口径雨水管道,在小雨、大雨两种模式下分别实现初期雨水处理、黄山北路天桥积水点消除等目标。

#### ② 深隧技术

镇江市规划建设 DN4 000 深隧 6.2 km,埋深约 20 ~ 30 m,衔接浅层排水管道系统,实现五个连片老城区的溢流污染控制,服务面积达  $8.75\text{ km}^2$ 。深隧所用管材见图 6。



图6 深隧管材(DN4 000)

Fig. 6 Tubing material of deep tunnel (DN4 000)

### 2.2.3 检查井及排口升级技术

镇江海绵城市在河道排口检查井处灵活运用了 Hydro、Suntree 等排口处理装置,实现对雨水径流中颗粒物、悬浮物的进一步拦截去除。排口及检查井升级改造工具箱还包括 Contech(USA)、水力自洁式滚刷、水力平板细格栅、水力颗粒分离器等技术手

段,在实际工作中可灵活选择应用。

### 2.2.4 其他过程灰色技术

在现状管道及检查井修复方面,可采取整体非开挖修复技术以及局部非开挖修复技术。在管道及调蓄设施冲洗方面,可选择虹吸自冲洗、微型/大型拦蓄冲洗门、门式自冲洗和真空冲洗等技术,对管道及调蓄设施进行后期维护管养,实现管道及调蓄设施的正常运行,以及延长其使用寿命。

综上,过程灰色控制的思路即为在对现状排水管网系统进行修复和维护的基础上,进一步利用点状调蓄池、平行管、浅隧和深隧等技术措施,对现状排水系统进行补充,完善和提升城市整体排水骨架系统,衔接源头 LID 和末端处理设施。

### 2.3 末端处理技术

镇江末端处理设施包括人工湿地、生态浮岛、水滨喷淋过滤系统等绿色工法,以及多级生物滤池、自循环高密度悬浮污泥滤沉技术等灰色工法。

#### 2.3.1 人工湿地

采用“自循环高密度悬浮污泥滤沉 + 人工湿地”灰绿综合技术措施,对虹桥港独立汇水区雨水径流进行一级强化和生态化处理,最终实现虹桥港河道 IV 类水质目标。其中人工湿地设计规模为  $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,占地为  $4\,300\text{ m}^2$ ,采用两级垂直潜流人工湿地,平均表面负荷可达  $0.7\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

#### 2.3.2 生态浮岛

采用生态浮岛绿色工法(见图 7),对虹桥港下游河道进行净化处理。设计 8 座生态浮岛,容积负荷为  $0.4\text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,平面面积为  $370\text{ m}^2$ 。



图7 生态浮岛

Fig. 7 Biological floating island

### 2.3.3 水滨喷淋过滤系统

采用水滨喷淋过滤系统(见图 8)促进河水内循环。该系统单面宽为 3.7 m,长为 550 m,平均处理负荷约  $0.06\text{ kgCOD}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,通过过滤和底层菌藻共生体净化水质,同时具有景观美化效果。



图8 水滨喷淋过滤系统

Fig. 8 Spray water filtration system

### 2.3.4 多级生物滤池

在镇江江滨汇水区总排口西南角绿地范围内建设有海绵公园多级生物滤池(见图9),其设计规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地为 $2\,500 \text{ m}^2$ ,表面水力负荷可达 $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,是江滨片区海绵建设综合达标的末端处理工程之一。

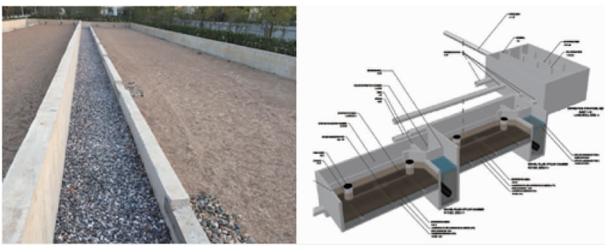


图9 多级生物滤池

Fig. 9 Waterfall treatment system

### 2.3.5 自循环高密度悬浮污泥滤沉技术

镇江虹桥港项目中采用自循环高密度悬浮污泥

滤沉技术(见图10)作为人工湿地的一级强化技术,通过保持混凝区高污泥浓度,增加污水中脱稳胶体的聚集机会,形成高密度絮凝体,加快絮体沉淀速度,实现污染物与水的快速分离,对COD、SS、TP等污染物有很好的去除作用。

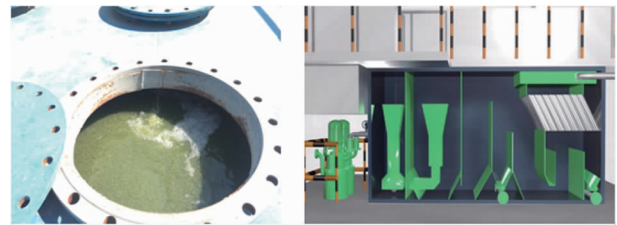


图10 自循环高密度悬浮污泥滤沉技术

Fig. 10 Schematic diagram of self-circulation high density suspended sludge filtration

### 2.3.6 其他末端处理技术

末端生物处理技术还包括砾间、螺旋反应系统(Helix Flow Reactor)、BIOPLUS/BFBR/FCR、强化耦合生物膜反应器等。笔者对末端灰-绿-蓝处理技术进行了对比分析,详见表2。结果表明,末端绿色生态技术负荷较低,占地面积较大,但处理成本较低、生态效果较好,可实现良好的治理、生态及景观效果,是师法自然的重要手段。但镇江老城区治理工程中,在占地有限的情况下,单纯采用绿色生态技术不能完全解决问题,通过灰绿工法相结合的方式,实现高效去除污染物、降低成本和自然生态的综合性效果。

表2 镇江末端处理技术

Tab. 2 Terminal treatment technology in Zhenjiang

项 目	负荷	特点	备注
人工湿地	$0.1 \sim 1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	对SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP的去除率可达50%~80%、20%~75%、35%~80%	虹桥港工程、CSO综合治理工程
生态浮岛	$0.4 \text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$	—	虹桥港河水内循环工程
水滨喷淋过滤系统	$0.02 \sim 0.06 \text{ kgCOD}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	COD、TP、SS去除率可达60%、75%、90%	虹桥港河水内循环工程
多级生物滤池	$5 \sim 20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	SS去除率为60%	海绵公园项目
自循环高密度悬浮污泥滤沉技术	—	COD、TP、SS去除率可达50%、85%、85%(需加药)	虹桥港工程、CSO综合治理工程
磁絮凝技术	$> 20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	出水SS为5.0 mg/L、TP<0.05 mg/L(需加药)	中试
纤维高效滤池	$50 \sim 1\,000 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	SS去除率为60%,需要反冲洗,清洗水量为2%	中试

## 3 结论与建议

① 对海绵城市的内涵体系进行了梳理归纳,从目标层次分为水安全、水环境、水生态、水资源和水文化五个方面;从全生命周期角度包含规划、设

计、建设、运营管理和评估反馈五个阶段;从空间尺度分为项目、地块、汇水区、流域四个尺度。

② 对于老城区海绵城市源头LID改造可采用生物滞留设施、缝隙式透水铺装、绿地贴等技术设

(下转第21页)