

镇江虹桥港区灰-绿-蓝设施组合构建海绵系统

胡坚¹, 王红武², 赵宝康³, 翟月娇², 戴晓虎², 王燕⁴

(1. 镇江市住房和城乡建设局, 江苏 镇江 212050; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 3. 镇江市给排水管理处, 江苏 镇江 212001; 4. 江苏满江春城市规划设计研究有限责任公司, 江苏 镇江 212001)

摘要: 我国在海绵城市建设过程中缺乏系统性的思考, 仅在源头建设LID设施不能达到建设目标, 应与灰色设施、绿色设施相结合。三种设施组合方式需要结合模型技术进行设计优化, 达到海绵城市建设的多重目标。镇江市作为第一批海绵城市试点, 从2007年开始进行雨洪管理的探索, 建设过程中采用“灰色”、“绿色”和“蓝色”基础设施的组合优化措施是具有代表性的方法之一, 在内涝控制和水环境治理等方面取得了很好的效果。通过镇江市虹桥港试点区的具体工程案例介绍了这一方法, 模拟计算表明采用该方法可达到海绵城市建设目标, 其系统性方案可为其他城市海绵建设提供参考, 可推广至其他高密度城市地区。

关键词: 海绵系统; 雨洪管理; 灰-绿-蓝组合; 径流控制; 面源污染

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)12-0005-04

Sponge System Construction by Coupling Gray, Green and Blue Infrastructure in Hongqiaogang, Zhenjiang City

HU Jian¹, WANG Hong-wu², ZHAO Bao-kang³, ZHAI Yue-jiao², DAI Xiao-hu², WANG Yan⁴

(1. Bureau of Housing and Urban-Rural Construction of Zhenjiang City, Zhenjiang 212050, China; 2. College of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Zhenjiang Water Supply and Drainage Department, Zhenjiang 212001, China; 4. The Institute of Urban Planning and Design of Manjiangchun of Jiangsu, Zhenjiang 212001, China)

Abstract: Due to the lack of systematic thinking in the process of sponge city construction, it can't achieve construction goals only by building LID practices at the source. So we should combine the LID with gray and green facilities in the sponge city construction. Their combination process needs to be designed and optimized with model technology so that multiple objectives of sponge city construction could be achieved. Zhenjiang City, as the first batch of sponge city pilot projects, began to explore stormwater management in 2007. In the construction process, the combination of “gray”, “green” and “blue” infrastructure was adopted. Optimization measures were one of the representative methods. The great results were achieved in the control of waterlogging and urban water environmental treatment. This paper introduced a specific project case, e. g. Hongqiaogang, Zhenjiang City. The goal of sponge city construction

by simulation calculation was achieved. It could provide useful information for other cities, especially the high density cities.

Key words: sponge system; stormwater management; combination of gray, green and blue infrastructure; stormwater runoff control; non-point pollution control

镇江市作为第一批海绵城市建设工作的试点城市,通过近两年的海绵城市建设实践,探索出了具有特色的解决城市内涝、河道黑臭等新思路、新方法,开发出一系列适用于高密度建筑、老城区的海绵城市建设系统技术。其中,因地制宜地采用“灰色”、“绿色”和“蓝色”基础设施的优化组合是具有代表性的方法之一,相应的集成技术目前在国内的实施案例数量有限。通过镇江市虹桥港试点区的工程案例对这一方法进行具体介绍,以期为其他城市海绵建设提供参考。

1 灰色、绿色、蓝色基础设施组合技术

“海绵城市”概念所承载的“弹性”内涵,在借鉴国际倡导的低影响开发理论的基础上,将源头处理的观念进一步扩展为不同等级的雨水调控措施、系统的综合统筹,既涵盖了市政管网等传统工程措施,也涉及湿地、河流、低影响开发措施等绿色基础设施^[1-3]。镇江试点区通过灰-绿-蓝基础设施的组合优化,实现了雨洪管理的多个目标。试点区内共11个汇水区,根据各区的水体水质、径流污染及内涝情况,镇江采取了不同的雨水控制和管理措施。比较有代表性的是虹桥港汇水区,其结合自身特点进行了因地制宜的改造,主要包括绿色源头LID建设、排水管网改造、接纳水体的修复,以及末端绿蓝综合处理设施提升河道水质。在这一汇水区域充分运用海绵城市建设理念,集中展示了灰-绿-蓝设施的优化组合:对既有建筑与小区进行源头改造,提升景观与居住品质的同时兼顾雨水净化、滞蓄等功能,同时对排水管网系统进行改造升级,结合末端处理设施的建设,系统性达到试点区海绵城市的目标。

2 工程案例

2.1 项目简介

虹桥港汇水区总面积为509.19 hm²,区内的主要河道为虹桥港。开发强度高,建筑密度较大,下垫面种类较多,主要为已建居住用地,东南侧部分为山地;地势东高西低,南高北低。

汇水区内雨水由管网收集排入虹桥港,综合径流系数为0.45~0.55,最终汇入金山湖。汇水区内

居住小区包括九里山庄、香山华庭、华润新村、松盛花苑、东吴路86号、桃花坞十区等,后两个小区属于老旧小区,区内铺装破损严重,存在雨污混接现象,并在降雨时有局部积水。虹桥港汇水区为合流制、分流制共存的排水体制,雨水及合流溢流水排入金山湖,污水进入污水处理厂。经统计,汇水区内雨污水收集管道1932根,有一座规模为6 m³/s的排河泵站。接纳水体为虹桥港,虹桥港干河总长为2.47 km,集水面积为4.4 km²。据调查,虹桥港源头水质基本属于劣V类水,中上游为劣V类~V类水,中游经治理后其水质及下游至金山湖入口水质均较好。

2.2 系统方案分析

① 防涝能力

构建排水管网与河道一维排水系统,并与二维地表进行耦合,形成双排水模型。利用30年一遇K.C.雨型进行内涝模拟,河道下游边界条件采用虹桥港城市排水控制水位(5.1 m 黄海高程系)。结果表明,模拟内涝积水点和历史积水点位置基本一致,内涝面积为14.91 hm²。其中积水深度为0.15~0.3、0.3~0.6和>0.6 m的地块面积分别为7.37、6.61和0.93 hm²,内涝总量为5.27×10⁴ m³,最大积水深度为1.2 m(位于边检站)。

虹桥港汇水区内涝风险见表1。当重现期为2年一遇时,虹桥港汇水区即出现高风险内涝区域。

表1 虹桥港汇水内涝风险

Tab.1 Waterlogging risk of Hongqiaogang area

项 目	高风险内涝	中风险内涝	低风险内涝
1年一遇	未出现	出现	出现
2年一遇	出现	出现	出现
3年一遇	出现	出现	出现
5年一遇	出现	出现	出现
10年一遇	出现	出现	出现

② 径流污染控制能力

采用PCSWMM模型模拟降雨-径流过程。经模拟,通过下垫面污染物累积及湿沉降产生的面源污染物总量为732.3 t/a,而入河径流污染物负荷量为557.2 t/a,通过源头自然下渗及合流制转输,可实现23.9%的径流污染物控制率。

③ 径流总量控制能力

根据 PCSWMM 模型模拟全年降雨结果可知,虹桥港汇水区全年降雨量为 $620.49 \times 10^4 \text{ m}^3$,现状通过自然下渗控制径流量为 $210.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,年均蒸发量为 $60.05 \times 10^4 \text{ m}^3$,年均合流制转输量为 $15.1 \times 10^4 \text{ m}^3$,现状径流总量控制率为 46.09%。

④ 管渠排水能力

虹桥港汇水区雨水及合流制管道总长约 18.8 km,根据模型,不同重现期下管道超载比例、检查井溢流量及溢流个数见表 2。可见,虹桥港汇水区现状 3 年一遇降雨情况下,管道超载比例接近一半,管网排水能力较低。

表 2 虹桥港汇水区现状管道、检查井

Tab. 2 Pipeline and inspection well in Hongqiaogang area

项 目	管道超载长度比例/%	检查井溢流量/ m^3	检查井溢流个数/个
1 年一遇	24.1	2 313	25
2 年一遇	40.7	11 885	79
3 年一遇	48.6	23 127	118
5 年一遇	53.2	43 824	155
10 年一遇	55.3	69 958	209

2.3 系统工程方案

① 绿色源头 LID 工程

海绵城市建设过程中的城区海绵化改造属于源头控制,是城市面源污染控制和雨洪管理的首道防线^[4]。虹桥港汇水区内建筑较为密集,兼有新建小区与老旧小区。针对老旧小区主要进行重改造,进行全面海绵化改造,充分运用海绵城市建设理念,并结合建筑改造提升景观与居住品质以及排水能力,同时兼顾雨水净化、滞留等功能。对于新建小区,主要新增雨水回用设施,以提高小区雨水回用率为主。项目中还有部分学校等公共建筑。

虹桥港汇水区源头 LID 减排项目见图 1。可见,汇水区内 LID 项目较为分散,覆盖范围广,对虹桥港水质改善起到一定的作用。汇水区内绿色源头 LID 项目 23 个,既包括居民小区和公共建筑,也涵盖重改造和轻改造工程,总调蓄量为 $13\ 884 \text{ m}^3$ 。在降雨超过 2 年一遇的强度下,镇江市新建海绵工程没有出现内涝,有些多年积水区在连续降雨情况下同样实现了小雨不积水。分析表明,LID 的蓄滞功能发挥了重要作用,特别是在老城区管网标准偏低的情况下,通过源头削减能明显改善内涝防治效果^[5]。



图 1 虹桥港汇水区源头 LID 减排项目

Fig. 1 Source LID practices in Hongqiaogang area

② 过程灰色管网修复工程

虹桥港汇水区灰色工程分布在地势较低的积水区,新建管道及调蓄池主要发挥调蓄作用,以削减面源污染和解决内涝问题。管网修复工程主要是老山路敷设 $3.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的调蓄管涵,小米山路敷设 DN2 800 的调蓄管道,东吴路边检站建设调蓄池,焦山路敷设 DN400 ~ DN1 200 的管道,宗泽路上坡敷设 DN1 600 ~ DN1 800 的管道,下坡改为 $3.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的双暗涵。过程灰色控制措施布置见图 2。



图 2 虹桥港汇水区过程控制措施布置

Fig. 2 Process control measures layout in Hongqiaogang area

③ 末端处理工程

城市生态水系统主要由泉、溪、河、湖、库、渠及滨水绿地组成,水系与城市滨水绿地系统相结合,共同承担防洪排涝、水体净化、改善城市环境和提高生物多样性等功能。虹桥港汇水区的末端处理措施是在其水系的源头布置综合处理设施,包括一级强化和人工湿地系统,在解决排涝的同时解决初期雨水径流污染问题。晴天时灰-绿-蓝生态处理设施可对汇水区河道内水体进行循环净化处理,实现河道内水质提升。灰-绿-蓝处理设施布置如图 3 所

示,一级强化处理设施及重力流湿地布置在虹桥港源头,可以为虹桥港水质提供保障。河道内建生态浮岛以净化水质。同时以虹桥港面源污染削减及河道水质改善工程的建设为契机,在水质提升的基础

上,结合滨水景观的建设,打造“水清”“岸绿”“开放”的生态型滨水景观区,营造绿色生态、公众互动的滨水活力空间,为附近居民提供休闲及健身的多功能绿色场所,创建虹桥港汇水区的滨水生态廊道。

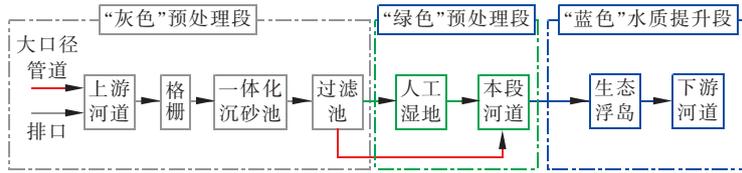


图3 灰-绿-蓝处理设施布置

Fig. 3 Layout of gray, green and blue infrastructure

3 结语

虹桥港汇水区通过实施源头 LID 改造工程、过程管网改造工程、末端处理工程,内涝控制能力、径流总量控制率、面源污染控制率、非常规水源利用率、常规雨水管渠排水能力均显著提升。镇江市的海绵城市建设目标是面源削减不低于 60%,城市内涝治理达到 30 年一遇标准;远期,随着城市更新改造,旧城区采用 LID 改造面积不低于 80%,面源污染削减率 > 70%。灰色、绿色和蓝色设施结合应用已成为项目的特色和创新之处,建立“源头-过程-末端-水体”工程体系,并通过模拟计算,优化建成区海绵城市建设的布局,在高密度城市利用有限空间中实现海绵城市的建设目标。

参考文献:

- [1] 朱晓娟,赵江,朱富坤.《镇江市城市排水规划》的探索和创新[J]. 中国给水排水,2014,30(22):42-45.
Zhu Xiaojuan, Zhao Jiang, Zhu Fukun. Exploration and innovation of *Zhenjiang Urban Drainage Planning* [J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30 (22): 42 - 45 (in Chinese).
- [2] 胡坚,赵宝康,刘小梅,等.镇江市主城区排水能力与内涝风险评估[J]. 中国给水排水,2015,31(1):100-103,108.
Hu Jian, Zhao Baokang, Liu Xiaomei, et al. Assessment of drainage capacity and waterlogging risk in central zone of Zhenjiang City [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31 (1): 100 - 103, 108 (in Chinese).
- [3] 杨冬冬,曹磊,赵新.灰绿基础设施耦合的“海绵系统”示范基地构建——天津大学阅读体验舱景观规划设计[J]. 中国园林,2017,33(9):61-66.
Yang Dongdong, Cao Lei, Zhao Xin. Research on sponge system construction by coupling green and grey infrastruc-

ture—Landscape planning and design of reading cabin in Tianjin University campus [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2017, 33 (9): 61 - 66 (in Chinese).

- [4] 王廷廷,魏继红.基于海绵城市理念的既有居住小区绿化改造策略研究[J]. 生态经济,2016,32(7):220-223.
Wang Jianting, Wei Jihong. Research on the greening strategy of the existed residential communities based on the concept of sponge cities [J]. *Ecological Economy*, 2016, 32 (7): 220 - 223 (in Chinese).
- [5] 赵江,王皓正,叶向强.海绵城市建设背景下老旧小区内涝防治探索——以江苏省镇江市江二小区为例[J]. 建设科技,2016,(15):32-35.
Zhao Jiang, Wang Haozheng, Ye Xiangqiang. Exploration of the urban waterlogging control of old district in the context of sponge city construction —A case study of Jianger District in Zhenjiang, Jiangsu Province [J]. *Construction Science and Technology*, 2016, (15): 32 - 35 (in Chinese).



作者简介:胡坚(1967-),男,江苏丹阳人,博士,研究员级高级工程师,研究方向为城市水资源管理、雨洪控制利用。

E-mail: huj917@163.com

收稿日期:2017-12-26