

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.24.003

# 关于老旧城区海绵城市系统化方案编制的探讨

肖朝红<sup>1</sup>, 周丹<sup>1</sup>, 王泽阳<sup>2</sup>, 常胜昆<sup>1</sup>, 聂超<sup>1</sup>, 杨硕<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100044; 2. 厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

**摘要:** 老旧城区在发展过程中面临水环境恶化、内涝频发、水生态退化、水资源短缺等一系列问题,海绵城市建设是老旧城区转变发展方式、解决涉水“城市病”的有效途径。为系统解决城市水问题,实现综合治理,保障海绵城市实施效果,有必要编制海绵城市建设系统化方案。以厦门马銮湾试点区系统化方案编制为例,从现状情况梳理、主要问题分析、问题成因定量化解析、水环境方案、水安全方案、水生态方案、水资源方案、工程综合统筹等方面对系统化方案编制要点进行探讨。

**关键词:** 海绵城市; 老旧城区; 系统化方案

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)24-0016-05

## Discussion on the Systematic Plan of Sponge City in Old Urban Areas

XIAO Chao-hong<sup>1</sup>, ZHOU Dan<sup>1</sup>, WANG Ze-yang<sup>2</sup>, CHANG Sheng-kun<sup>1</sup>, NIE Chao<sup>1</sup>, YANG Shuo<sup>1</sup>

(1. Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. Xiamen Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

**Abstract:** The old urban areas are confronted with numerous challenges such as water environment deterioration, frequent waterlogging, water ecological degradation and water shortage as they undergo transformations over time. To address these issues, the construction of the sponge city can serve as an effective approach to drive an environmentally friendly development mode of old urban areas, thereby offering solution for the “urban disease” associated with water. It is crucial to develop a systematic plan for the sponge city construction, which will contribute to urban water treatment, comprehensive management, and the implementation of the sponge city construction. Taking the Maluan bay pilot area in Xiamen as an example, this paper aims to explore key elements of a systematic plan, including the current situation sorting, the main problem analysis, the quantitative analysis of the major causes, the water environment improvement plan, the water safety improvement plan, the water ecology protection plan, the water resource guarantee plan, and comprehensive project coordination.

**Key words:** sponge city; old urban areas; systematic plan

海绵城市是一种全新的城市发展理念,是城市发展转型的重要机遇,是系统解决城市涉水问题的有效措施<sup>[1]</sup>。如何针对老旧城区存在的问题提出系统的海绵城市建设方案,解决城市痼疾、完善城市

基础设施体系,是海绵城市建设过程中需要重视的问题。

目前国内已有学者<sup>[2-4]</sup>开展了海绵城市系统化方案编制研究探索,但对水体黑臭严重、内涝问题

突出的老旧城区海绵城市系统化方案编制方法的探讨较少,且缺乏具体方案编制实例。为此,结合厦门市海绵城市建设经验,对老旧城区海绵城市建设系统方案编制进行初步探索和研究。

### 1 老旧城区海绵系统化方案编制目的

老旧城区建设年代较早、开发强度高、发展模式粗放,城区内水体黑臭、内涝积水、生态退化、水资源短缺等问题非常突出。在海绵城市建设过程中,应统筹考虑水环境、水安全、水生态、水资源方面的问题,进行综合治理,系统解决城市涉水问题。

传统的规划设计方法往往存在重项目本身而轻整体效果、关注本专业而忽视与其他专业的衔接、规划与设计脱节、项目碎片化等方面的问题。因此,有必要编制海绵城市建设系统化方案,衔接规划与设计,实现规划的细化落实和设计的综合统筹,将项目有机结合在一起,防止系统的碎片化或项目的过度工程化<sup>[2]</sup>。通过编制系统化方案,梳理老旧城区目前存在的问题,提出针对性的解决方案,并将所有工程综合统筹,制定完善的源头减排-过程控制-系统治理工程体系,以指导后期的设计施工,确保海绵城市建设效果。

### 2 老旧城区海绵系统化方案编制思路

老旧城区系统化方案编制应以解决实际问题为导向,结合具体涉水问题及水环境、水安全、水生态、水资源等多方面目标,制定系统化治理方案,统筹各项工程体系,具体编制思路如下:

① 摸清本底,量化问题成因。对区域内气候气象、土壤与地下水、土地利用情况、河道水系、排水系统等现状进行详细调研,在此基础上,识别片区存在的主要问题,如水体黑臭、内涝积水、水生态退化、水资源短缺等,并结合模型对问题成因进行定量分析,明确问题成因。

② 明确目标,细化分项指标。根据海绵城市建设要求、上位规划要求以及片区实际情况,提出总体目标,并从水环境、水安全、水生态、水资源等方面提出具体建设指标。

③ 制定方案,进行工程综合统筹。从控源截污、内源治理、生态修复、活水保质等方面制定水环境改善方案。从流域区域洪涝统筹体系构建(包括山洪防治、雨水调蓄设施等)、城市排水防涝工程体系构建(包括内河综合整治、行泄通道建设、雨水管

道建设、源头径流控制等)及局部内涝点整治等方面制定水安全提升方案。从径流总量控制、自然本底保护、生态岸线建设、水生态恢复等方面制定水生态保护方案。从雨水资源利用、污水再生利用等方面制定水资源保障方案。同时进行多目标体系下的工程综合统筹,制定源头减排-过程控制-系统治理综合工程体系。

④ 确立制度,提出非工程保障体系。为保证海绵城市建设理念在规划建设各环节的真正落实,并在项目实施后保证效果,提出非工程保障措施,包括制度保障体系、监测考核体系、技术支撑体系、资金保障体系等,综合推进区域海绵城市建设。

## 3 工程实践

### 3.1 项目概况

厦门市是第一批国家海绵城市建设试点城市,马銮湾试点区地处海沧新老城区交界区域,面积20.5 km<sup>2</sup>。现状建设用地面积8.63 km<sup>2</sup>,主要用地类型为城中村和工业用地,其中城中村3.11 km<sup>2</sup>,占36.04%;工业用地1.99 km<sup>2</sup>,占23.06%。区域内上层填土渗透性良好,下层黏土、淤泥的渗透性较差。试点区地下潜水位较高,大部分地区地下水埋深为0.5~5.5 m,对海绵城市设施建设影响较大。试点区属亚热带海洋性季风气候,多年平均降雨量1427.9 mm,降雨主要集中在3月—9月。根据厦门市近30年降雨数据,绘制年径流总量控制率与设计降雨量关系曲线,如图1所示。

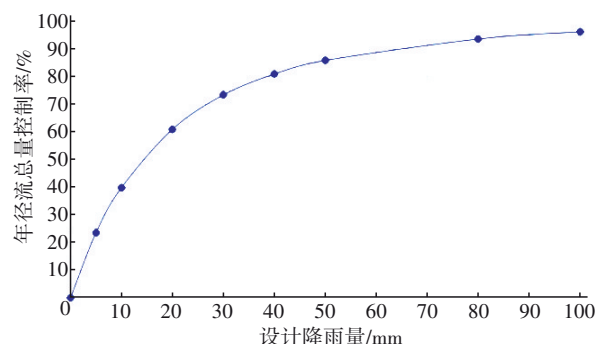


图1 厦门市年径流总量控制率与设计降雨量的关系

Fig.1 Relationship between total annual runoff control rate and design rainfall in Xiamen

### 3.2 主要问题识别

#### 3.2.1 水环境问题

马銮湾试点区内整体水环境质量较差,大部分河道为劣V类水质,其中新阳主排洪渠为住房和城

乡建设部挂牌督办的黑臭水体。2015年10月新阳主排洪渠水质监测结果显示,河道水体COD为40.82 mg/L、氨氮为21.4 mg/L、总磷为1.64 mg/L,水体黑臭特征明显。

新阳主排洪渠水体黑臭成因主要有5个方面:①合流制污水直排,流域范围内城中村排水体制以合流制为主,且人口密度较大,排水管网不完善,造成大量生活污水直排进入河道,是流域内主要污染源,污染负荷占比达到34.35%;②面源污染,流域内城中村垃圾堆积、工厂企业地面硬化比例较大等带来的面源污染加剧了河道水质恶化,污染负荷占比为31.49%;③分流制管道混错接,流域内工业企业众多,工厂生活污水混接、错接导致的污水排放对河道水质造成了严重影响,污染负荷占比为31.27%;④合流制溢流污染,城中村等合流制区域雨天溢流污染严重,造成河道水质恶化,污染负荷占比为2.79%;⑤内源污染,河道底泥沉积的污染物在物理、化学和生物作用下会重新释放进入水体,致使水体水质恶化,污染负荷占比0.10%。

### 3.2.2 水安全问题

马銮湾试点区共有7处内涝点,全部位于城中村,内涝问题给附近居民的出行造成了极大影响。内涝成因主要是随着城市发展,下垫面硬化程度逐年提高,降雨径流量加大;城市排水管网建设标准偏低,试点区69.22%的雨水管网排水能力小于1年一遇;局部地势低洼,雨水无法及时排出。

### 3.2.3 水生态问题

试点区水生态问题主要包括硬化岸线比例大、马銮湾海域生态系统退化等。新阳主排洪渠硬化岸线比例较大,水生态平衡被破坏,水体自净能力降低。试点区北部的马銮湾海域大部分被侵占,成为水产养殖基地,海域生态系统退化严重,水质恶化。

### 3.2.4 水资源问题

试点区水资源匮乏,且区域内有大量工业企业,工业用水量较大。试点区未进行雨水资源利用,无非常规水资源利用的管理制度,也未配套建设非常规水源利用设施。

## 3.3 建设目标与技术路线

### 3.3.1 建设目标与指标

马銮湾试点区海绵城市试点建设的主要目标

包括:解决新阳主排洪渠水体黑臭问题、消除城中村内涝积水点、恢复健康的水生态系统、实现水资源集约利用。为解决新阳主排洪渠水体黑臭问题,提升试点区水环境质量,提出地表水环境质量、年径流污染削减率(以SS计)、直排口消除比例、合流制溢流污染年均溢流频次4项指标要求;为解决城中村内涝积水问题,保障区域防洪排涝安全,提出防洪标准、防洪堤达标率、城市内涝防治标准3项指标要求;为解决生态退化问题,恢复区域健康的水生态系统,提出年径流总量控制率、生态岸线率与水面率指标要求;同时,为实现水资源集约利用,提出雨水资源利用率指标要求。各指标具体情况见表1。

表1 马銮湾试点区海绵城市建设主要分项指标

Tab.1 Main sub-item indicators for sponge city construction in Maluan bay pilot area

指标分类	指标名称	指标要求
水生态	年径流总量控制率/%	≥70(设计降雨量为26.8 mm)
	生态岸线率/%	60(适宜改造的“三面光”岸线基本得到改造,河道水系生态功能恢复)
	水面率/%	9(不低于指标的现状值)
水环境	地表水环境质量	100%消除黑臭水体,区域内河道水质优于海绵城市建设前
	年径流污染削减率(以SS计)/%	>45
	直排口消除比例/%	100
	合流制溢流污染年均溢流频次	比现状减少90%以上
水安全	防洪标准	50年一遇
	防洪堤达标率/%	100
	城市内涝防治标准	50年一遇
水资源	雨水资源利用率/%	3
显示度	连片示范效应	实现“小雨不积水,大雨不内涝,水体不黑臭,热岛有缓解”;达到连片示范效应

### 3.3.2 技术路线

马銮湾试点区建成区工业企业及城中村密集,海绵城市建设以问题为导向,重点解决新阳主排洪渠黑臭水体与城中村内涝问题。首先,对试点区域进行深度调研,明确主要问题,并对问题成因进行定量分析;其次,结合实际需求及上位规划要求确定海绵城市建设总体目标及分项指标;再次,结合



问题成因系统制定水环境改善方案、水安全提升方案、水生态保护方案及水资源保障方案;最后,建立海绵城市工程体系,落实海绵城市设施布局。具体的技术路线见图2。

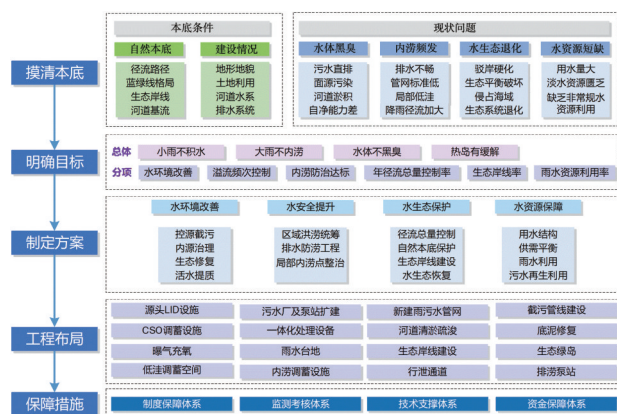


图2 海绵城市建设技术路线

Fig.2 Technical route for sponge city construction

### 3.4 系统治理方案

#### 3.4.1 水环境改善方案

马銮湾试点区水环境核心问题是新阳主排洪渠水体黑臭。针对新阳主排洪渠污染成因,一方面通过控源截污减少入河污染,做到晴天污水不入河,雨天污水少溢流,使流域污染负荷(SS)从5 063.1 t/a削减至1 062.0 t/a。另一方面远期通过再生水补水,近期通过生态修复、河道循环补水提升水环境容量,使水环境容量(SS)从2 511.5 t/a提升至2 661.8 t/a,达到整体平衡要求。

水环境治理优先完善排水体系,实施污水系统提质增效,保证污水有去处,提升污水处理效能。规划新建1座再生水厂和1座污水泵站;扩建1座污水厂和3座污水泵站;新建污水管4.4 km;70多公里管网全面检测与修复;管网清淤31.1 km;存在雨污混错接问题的工业企业开展雨污混错接改造。

开展控源截污、内源治理、生态修复、活水保质工程,截流河道沿线污水,将直排污水( $2.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )全部截进污水管网,消除污水直排口;对适宜改造的源头地块(105个)进行海绵改造,削减面源污染;在合流制村庄旁新建总规模为14 000  $\text{m}^3$ 的CSO调蓄池,控制合流制溢流污染;开展河道全线底泥清淤,控制内源污染;实施生态修复,通过河道曝气、新建雨水台地和绿岛、生态岸线改造、水生动植物投放等恢复健康的水生态;新建规模为10 000  $\text{m}^3/\text{d}$ 的一体化设备,进行循环补水。

#### 3.4.2 水安全提升方案

① 流域区域洪涝统筹体系构建。对上游山区水库进行扩容改造,构建环湾北溪、环湾西溪、环湾南溪和新阳主排洪渠综合调蓄水体,预留足够的调蓄空间。

② 城市排水防涝工程体系构建。保留雨水行泄通道,预留临时超标雨水排放通道,同时扩容改造惠佐路、新景西三路、震阳路等道路雨水管道,提升管道排水能力。在源头减排方面,共布置源头海绵化改造项目105个,涉及工业、公建、建筑小区、道路等各类地块。

③ 局部内涝点改造。对7个内涝点排水系统进行改造,规划新建雨水管0.83 km,改造雨水管1.64 km,新建排涝泵站1处。

#### 3.4.3 水生态保护方案

① 径流总量控制。建成区共布置源头海绵化改造项目105个,其中建筑小区7个、公建10个、工业企业47个、道路37个、公园绿地4个;非建成区按海绵城市建设指标进行管控。

② 自然本底保护。以量化的模拟分析作支撑,确定试点区的汇流路径,并制定各级汇流路径保护方案;落实蓝绿线管控要求,保护生态空间。

③ 生态岸线建设。将新阳主排洪渠上游708 m硬化驳岸改造为生态驳岸,对马銮湾内湾河道进行生态护坡建设。

④ 水生态恢复。清退马銮湾内湾水产养殖,开展清淤疏浚,清淤量为 $1 999.16 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,沿内湾两岸建设净化湿地110  $\text{hm}^2$ ,种植净水型水生植物、投放水生动物,对自然生态本底进行修复,重建水生生态系统。

#### 3.4.4 水资源保障方案

马銮湾试点区年降雨总量为 $2 771.55 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,若要满足雨水资源利用率要求,则雨水利用量为 $83.15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。综合考虑地块的雨水利用需求、绿地面积、场地布局、业主意愿等因素,选择42个地块进行雨水资源利用,其中工业厂区31个,公建设施8个,建筑小区3个。在对地块进行设计时,应结合年径流总量控制率要求,合理设置蓄水池和雨水桶,实现雨水资源利用。

在污水再生利用方面,目前在建的马銮湾再生水厂设计出水水质为准Ⅳ类水质标准,污水厂尾水将全部用于新阳主排洪渠流域和马銮湾内湾生态

补水、景观环境用水、绿化浇灌用水等。

### 3.5 工程体系

马銮湾试点区采用源头减排、过程控制、系统治理工程措施,综合统筹水环境、水安全、水生态、水资源四大工程体系,共实施127个项目,海绵总投资45.99亿元。其中源头减排项目105个,项目类型包括建筑小区、企事业单位、工业企业、道路与广场、公园绿地等;过程控制项目12个,项目类型包括新建泵站和管网、沿河截污工程、管网清淤工程、调蓄池建设工程等;系统治理项目10个,项目类型包括河道清淤、生态修复、生态补水等。

### 3.6 实施效果

在水环境方面,新阳主排洪渠于2017年12月顺利消除黑臭,且近几年各项检测指标均合格,污染物浓度逐渐下降,部分断面已达到地表水Ⅳ类水质标准,水体生态系统逐渐成熟,生物多样性增强,水环境质量有效提升(见表2)。

表2 新阳主排洪渠整治前后水质检测数据对比

Tab.2 Comparison of water quality inspection data before and after the renovation of Xinyang main flood drainage canal

水质指标	整治前	整治后		
	2017年 4月	2018年 4月	2019年 4月	2020年 4月
溶解氧/(mg·L <sup>-1</sup> )	2.20	5.20	5.44	4.37
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	19.73	1.25	3.22	1.38
氧化还原电位/mV	-306.5	96.7	146.7	118.4
透明度/cm	20	60	87	55

在水安全方面,马銮湾试点区所有内涝点均已消除,基本达到50年一遇内涝防治标准,实现小雨不积水、大雨不内涝的要求。在水生态方面,经模型模拟,试点区整体年径流总量控制率为71.2%,满足试点要求,通过生态岸线、绿岛和雨水台地建设,河道水生态得到较好恢复。在水资源方面,地块内蓄水池和雨水桶收集的雨水按照就近原则,优先用于厂区或建筑小区内的园林绿地灌溉、道路洒水、景观用水等,水资源利用率达到3%。

## 4 结语

在编制老旧城区海绵城市建设系统化方案时,应以老旧城区存在的实际问题为着手点,详细分析

区域现状情况,识别主要问题,结合模型量化分析问题成因,并针对性地从水环境、水安全、水生态、水资源等方面提出解决方案,最后进行多目标体系下的工程综合统筹,制定完善的源头减排-过程控制-系统治理综合工程体系。

### 参考文献:

- [1] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 给水排水, 2015, 41(3): 1-7.  
QIU Baoxing. The connotation, approach and prospect of sponge city (LID) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(3): 1-7(in Chinese).
- [2] 马洪涛. 关于海绵城市系统化方案编制的思考[J]. 给水排水, 2018, 44(4): 1-7.  
MA Hongtao. Reflections on the systematic programming of sponge city [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 1-7(in Chinese).
- [3] 周丹, 马洪涛, 常胜昆, 等. 基于问题导向的老城区海绵城市建设系统化方案编制探讨[J]. 给水排水, 2019, 45(7): 32-38.  
ZHOU Dan, MA Hongtao, CHANG Shengkun, et al. Discussion on the systematic plan of sponge city construction in old urban areas based on problem orientation [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(7): 32-38(in Chinese).
- [4] 黄黛诗, 吴连丰, 李运杰, 等. 新城海绵城市建设系统化方案探索——以厦门翔安南部新城为例[J]. 给水排水, 2019, 45(11): 51-56.  
HUANG Daishi, WU Lianfeng, LI Yunjie, et al. Exploration on the systematic plan of sponge city construction in new urban areas: a case study of the south new area in Xiang'an, Xiamen [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45 (11): 51-56 (in Chinese).

作者简介:肖朝红(1989—),女,湖北武汉人,硕士,高级工程师,从事黑臭水体整治、污水系统提质增效、海绵城市建设相关的规划、设计和咨询工作。

E-mail:747162236@qq.com

收稿日期:2020-06-12

修回日期:2022-02-11

(编辑:丁彩娟)