

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.007

# 水环境问题导向下的海绵城市系统化案例探讨

陆利杰, 李 亚, 张 亮, 邓仲梅

(深圳市城市规划设计研究院有限公司, 广东 深圳 518028)

**摘 要:** 城中村片区水环境问题突出、形成原因复杂、治理难度大,一直是海绵城市推进的难点区域。以深圳市城中村及旧工业区集中的甲子塘片区为例,以海绵城市系统化的思维统筹片区水环境整治。在梳理片区现状与问题的基础上,开展入河污染源量化分析;然后针对各类污染源特点,确定片区整治目标和策略,进而制定海绵城市系统化实施方案;最后根据片区系统化方案,梳理支撑绩效指标的建设项目,并量化评估方案效果。

**关键词:** 海绵城市; 黑臭水体; 城中村水环境治理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0043-05

## A Case Study on the Systematic Solution of Sponge City Oriented by Water Environment Problems

LU Li-jie, LI Ya, ZHANG Liang, DENG Zhong-mei

(Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518028, China)

**Abstract:** As a difficult area for the promotion of sponge city, the urban village faced severe water environment problems, which has the complex causes and the difficult governance. Taking Jiazitang area as an example, which is concentrated in urban villages and the old industrial area in Shenzhen, the systematic thinking of sponge city was used to coordinate the water environment improvement in the area. On the basis of sorting out the current situation and problems, the quantitative analysis of pollution sources into the river was carried out. According to the characteristics of various pollution sources, the remediation objectives and strategies of the area were determined. The systematic implementation scheme of sponge city is formulated. Based on the systematic plan of the area, the construction projects supporting the performance indicators were sorted out, and the effect of the evaluation plan was quantified.

**Key words:** sponge city; black and odorous water body; water environment treatment of urban village

2016 年深圳市以光明区凤凰城片区为试点区域,申报成为国家海绵城市建设第二批试点城市,开始系统推进海绵城市建设。试点区域包含鹅颈水、东坑水两个完整流域,其中甲子塘片区为鹅颈水流域的子排水分区,为典型的城中村、旧工业区密集区,面临较为突出的水环境问题。为系统解决片区近期突出的水环境问题、厘清海绵措施与绩效指标的关联性、系统梳理和优化试点建设任务,深圳市以

光明区甲子塘片区为例,以系统化思维统筹片区各类海绵城市建设内容,制定以水环境问题为主要导向的海绵城市系统化实施方案。

### 1 现状与问题

甲子塘片区面积为 57.9 hm<sup>2</sup>,位于深圳市光明区海绵城市试点区域鹅颈水流域西侧,为完整的三级排水分区。甲子塘片区地势整体南高北低、地形较为平坦;片区地下水埋深 8~10 m,土壤渗透性能

良好,渗透系数介于  $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ; 片区多年平均年降水量为 1 600 mm, 干湿季分明, 降雨主要集中在汛期, 其中 4 月—10 月降水量占全年降水量的 87.6%; 片区内有两排洪渠, 均排至鹅颈水; 片区西侧排洪渠全长 833 m, 试点前已在末端实施总口截污, 水体黑臭; 排洪渠旱季时仅有少量用户直排污水, 雨季时总口截污处经常发生溢流, 对鹅颈水干流水体水质造成巨大冲击。

甲子塘片区城中村、旧工业区集中, 片区内分布有甲子塘村、甲子塘社区第二工业区等。经调查分析, 片区存在以下问题: ①水体黑臭。甲子塘排洪渠为主要的纳污通道, 污染严重, 水体黑臭。②排水管网合流、混接严重。甲子塘排洪渠入河排水口 97 个, 其中 19 个分流制雨水排口 (FY), 48 个混接雨水排口 (FH), 30 个周边用户污水直排口 (JM)。③新增错接乱排。城中村无序发展导致排水户见到排水管就接驳, 错接乱排现象严重。④城中村排水户雨污合流。甲子塘村 279 栋楼房均建设一套建筑立管, 未实现雨污分流。⑤工业区错接乱排。片区工厂、工业园普遍存在污水直排、错接、漏排现象。⑥排水管道质量差。排水管网内障碍物、沉积淤积等问题较为严重。片区某段长 224 m 的排水管道经 CCTV 检测, 存在缺陷 66 处, 其中结构性缺陷 15 处, 功能性缺陷 51 处。

## 2 污染源量化分析

甲子塘排洪渠现状污染源主要包括内源污染、外源污染等。其中, 排洪渠实施垃圾清理及定期清淤, 内源污染可忽略不计; 外源污染主要包括雨污混接排水口和沿岸用户污水直排口排放的点源污染, 以及分流制雨水排水口、雨污混接排口的面源污染。

针对点源污染, 监测排洪渠总口截污处旱季日均污水量约  $4\,320 \text{ m}^3/\text{d}$ , 通过污水水质监测并计算获得入河点源污染物总量。针对由雨水排水口、雨污混接排口排放的面源污染, 采用 SWMM 模型连续模拟估算获得污染物总量; 针对由部分沿河截流式溢流排水口排放的面源污染, 采用 SWMM 模型连续模拟计算溢流频次, 估算污染负荷。

根据旱季污水监测水质, 并参考韩龙<sup>[1]</sup>、常永第等<sup>[2]</sup>深圳市城中村及工业区面源污染的监测数据, 计算得出甲子塘片区排洪渠年均入河污染物负荷, 具体见表 1。由表 1 可知, 甲子塘片区点源污染比重较大, 同时应加强片区面源污染削减。

表 1 甲子塘排洪渠年均入河污染物负荷估算

Tab. 1 Estimation of annual average pollutant load of Jiazitang flood discharge channel

污染物种类	点源		面源		总量/t
	污染量/t	占比/%	污染量/t	占比/%	
SS	318.1	80.1	78.8	19.9	396.9
COD	251.2	88.8	31.7	11.2	282.9
氨氮	23.7	58.5	16.8	41.5	40.5

## 3 整治目标与策略

### 3.1 片区海绵城市建设目标

甲子塘片区城中村及工业区约占片区面积的 68.7%, 现状建设程度较高, 水环境问题突出。片区海绵城市建设以水环境问题为导向, 同时兼顾试点区域整体指标, 结合实际情况, 综合确定海绵城市近期建设目标与指标 (见表 2)。其中, 水环境目标在水环境质量标准的基础上, 根据片区污染物来源, 选取旱季直排污水控制、雨季溢流污水控制、面源污染控制为支撑性指标。根据片区实际情况, 参考《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018) 及美国合流制污染控制经验, 选取年均溢流污染物总量削减率 (以 SS 计) 作为雨季溢流污水控制指标。

表 2 甲子塘片区海绵城市建设目标与指标

Tab. 2 Goals and indicators of sponge city construction in Jiazitang area

建设指标		现状	目标
年径流总量控制率/%		43	50
水环境质量标准		排洪渠水体黑臭	消除黑臭水体
支撑性指标	旱季直排污水控制	污水量 $4\,320 \text{ m}^3/\text{d}$	旱天污水无直排
	雨季溢流污水控制	现状污水直排、漏排	年均溢流污染物总量削减率 (以 SS 计) $\geq 80\%$
	面源污染控制	SS 排放负荷 $78.8 \text{ t/a}$	削减率 $\geq 50\%$ (以 SS 计)
雨水管渠设计标准		1~3 年一遇	5 年一遇
天然水域面积保持程度		现状水域面积 $0.9 \text{ hm}^2$	100% ( $0.9 \text{ hm}^2$ )

### 3.2 海绵城市系统化方案策略

甲子塘片区海绵城市系统化方案策略 (见图 1) 围绕水环境问题与目标制定, 在梳理水环境问题的基础上, 量化分析水环境问题产生的原因, 确定各类污染源控制目标; 然后针对片区各类污染源产生的特点, 制定相应的技术措施; 最后根据技术措施, 制定支撑技术措施和建设目标工程项目。

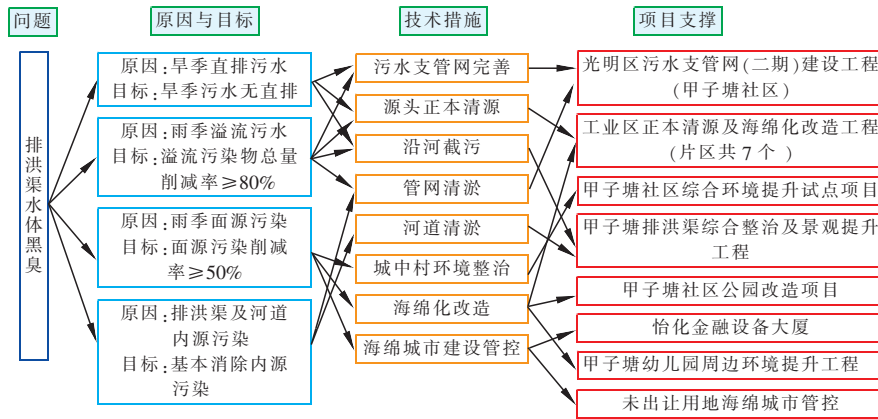


图1 甲子塘片区海绵城市系统化方案策略

Fig. 1 Sponge city systematic strategy in Jiazitang area

海绵城市系统化方案技术具体措施:①源头地块及道路海绵化改造,削减面源污染、控制径流总量;②建设项目海绵城市管控,控制径流总量、削减面源污染;③工业区正本清源,同步开展海绵化改造,减少混接污水、控制面源污染与径流总量;④城中村雨污分流与接驳完善,控制混接污水;⑤城中村环境综合整治,控制面源污染;⑥片区市政污水支管网完善,减少混接污水;⑦河道综合整治,截流旱季点源、控制雨季面源。

## 4 海绵城市系统化方案

### 4.1 整体思路

片区排水管网混接、错接严重,海绵城市建设首先进行排水管网梳理整治,开展控源截污。针对不同类别的排水口及上游管网,有针对性地制定整治思路,具体如图2所示。

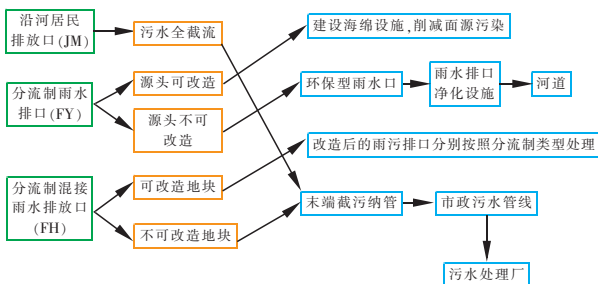


图2 甲子塘片区排水控源截污思路

Fig. 2 Ideas for drainage control and sewage interception in Jiazitang area

### 4.2 城中村排水管网整治

城中村排水管网整治具有巷道狭窄、地下管线复杂、开挖难的特点,传统的城中村治污采用“雨污混合、绕村截污”方式,往往导致污水大量溢流进入

排洪渠,水体黑臭现状无法实现长制久清。为彻底解决片区城中村雨季污水溢流问题,需加大沟通协调力度,采用“截污纳管、进村入户”的城中村排水管网整治思路。

城中村建筑以栋为单位,对排水户建筑立管进行雨污分流、对建筑出户管进行接驳完善。建筑雨水污水共用一条排水立管的,有条件时增设一套建筑雨水立管,原雨水污水混流立管改为污水立管;原雨污混流立管增设通气管,作为建筑污水立管;改造接驳至污水井或化粪池的雨水立管,接驳至雨水井。

开展市政排水管网接驳完善工程,对存在堵塞、漏损的排水管网进行整改,并开展排水管网接驳,优化完善城中村排水系统。加强排水管网管养维护,按照建成一段移交一段的原则,由排水管网运营单位接收管养,并加强日常养护。

### 4.3 工业区正本清源及海绵化改造

根据梳理统计,甲子塘片区包括旧工业区7个,面积13.3 hm<sup>2</sup>;新工业区1个,面积1.5 hm<sup>2</sup>。旧工业区雨污混接比较严重,需纳入正本清源改造范围,并同步适当开展海绵化改造;新工业区已建立较为完善的雨污分流排水体制,并且近期无改造提升需求,暂不开展正本清源及海绵化改造。

工业区正本清源主要包括建筑立管改造和排水管网接驳完善。其中,对混流或合流建筑排水立管进行改造,增设建筑屋面雨水立管,原立管作为污水立管;对厂区排水管网进行接驳完善,分流雨污水排水体系。工业区海绵化改造结合正本清源同步开展,原则上不单独对工业区进行海绵化改造。工业区海绵化改造影响因素较多且复杂,包括业主意愿、



正本清源工作范围、项目投资等。经与正本清源实施单位充分对接,工业区海绵化改造在技术可行的前提下,遵循“应做尽做”的原则,主要采取以下技术措施:①雨水口改造时,建设为环保型雨水口。②结合建筑排水立管改造,断接雨水立管至周边绿地。③厂区非机动车道及停车场恢复时,采用透水铺装等形式。④厂区绿地恢复时,建设为下凹式绿地,并有效衔接汇水区域与排水管道。

#### 4.4 排洪渠综合整治

片区包括两条排洪渠,其中东侧排洪渠已实施景观化改造,沿岸无合流、混流排口接入,因此只对西侧排洪渠进行整治。具体整治内容包括:①对排洪渠总口截污处及其他淤泥沉积较厚处开展清淤,清理河道内源污染。②为应对沿岸居民私接乱排、上游雨污混接,在甲子塘大道以南河岸两侧各敷设截污管,截流沿岸管网污水。③河道较宽处的驳岸改造为多孔连锁砖驳岸、河道底部设置挡水坝并增设净水植物,增强河道生态景观功能。

沿河截污管在近期截流混接污水、用户直排污水,随着片区正本清源的开展,远期沿河截污管用于截流初期雨水。西侧排洪渠现状宽度为5~8 m,沿河截污时需减小对河道断面的占用,以保证河道排洪能力。针对不同类别的沿河排水口,制定如图3所示的截污形式。其中,沿岸居民直排污水管管径一般小于200 mm,直接接入截污管中。市政混接雨水管雨水排口设置挡水堰板,部分封堵混流管,实现大小管式截流。针对市政混接排水渠,为防止截流井过多占用河道断面影响排洪,截流井在排水渠接口处开孔,实现中小流量截流,大雨工况下越流。

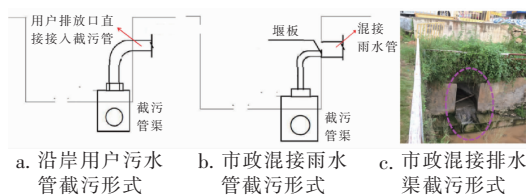


图3 排洪渠沿河截污形式示意

Fig. 3 Schematic diagram of the sewage interception type along the river

为有效控制沿河混接污水溢流,片区综合采用源头正本清源、污水管网接驳完善、沿河截污等措施。源头开展工业区正本清源、城中村雨污分流,减少混接入雨水管的污水量;沿康茂路、甲子塘大道开展污水管网接驳完善工程,将城中村、旧工业区中混

接污水就近接入污水管网中,减少康茂路东侧入河混流污水;加强宣传教育、环保执法,对沿河用户直排、偷排污水发现一处治理一处。在沿河截污、正本清源实施后,排洪渠旱季直排污水、雨季溢流污水得到有效控制的情况下,排洪渠总口截污逐步取消。

#### 4.5 面源污染控制

片区主要采用源头海绵化改造、城中村环境提升、沿河截污等方式削减面源污染。其中,源头海绵化改造主要为与旧工业区正本清源同步实施的工业区海绵化改造、社区公园海绵化改造等,与城中村环境提升共同削减源头面源污染;在末端建设沿河截污系统,控制雨季入河面源污染。

① 对近期存在提升改造需求的两处社区公园开展海绵化改造。社区公园改造过程中,严格按照海绵城市建设要求,将公园停车场、园路建设为透水铺装路面;在公园绿地内建设植草沟、下沉式绿地、雨水花园等海绵设施,将公园广场及周边市政道路雨水引入公园内的海绵设施进行净化,削减公园及周边道路面源污染。

② 为有效控制城中村面源污染,开展城中村环境提升工程。针对片区城中村人流量大、地面污染较重、绿色空间有限的特点,采用加强环卫管理、强化雨水口截污等措施。加强城中村地面环卫清扫,及时清理地面垃圾,防止降雨时地面污染物随雨水径流入河;统一建设垃圾桶及转运站,完善城中村垃圾收集转运。城中村雨水口改造时,采用环保型雨水口,新建雨水口全面采用环保型雨水口,现状雨水口增设截污挂篮,削减面源污染。

#### 4.6 建设项目海绵城市管控

对于片区在建项目及未出让用地,严格落实海绵城市建设管控要求,将海绵城市建设指标纳入项目审批过程。对于近期居民无诉求、问题不突出的区域或项目,近期保留现状,远期随项目提升改造逐步落实海绵城市建设要求。

### 5 绩效支撑与评价

#### 5.1 海绵城市绩效项目支撑

根据前述海绵城市系统化整治方案,梳理片区近期建设项目共7项,其中包含试点区域已申报试点项目3项,试点前已建成符合海绵要求的项目2项,其他对片区海绵城市建设绩效有帮助的项目2项。经梳理,片区海绵城市建设目标与支撑项目对应关系如图4所示,建设项目平面布置如图5所示。

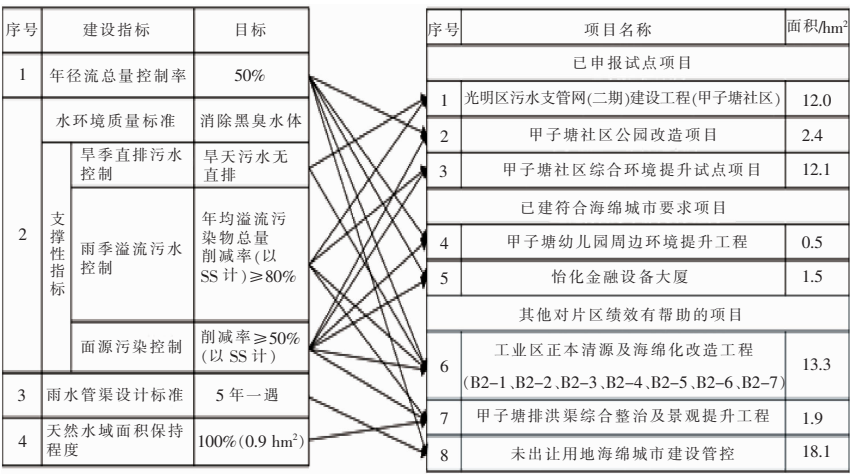


图 4 甲子塘片区海绵城市绩效指标与支撑项目对应关系

Fig. 4 Correspondence between performance indicators and supporting projects for sponge city in Jiazitang area



图 5 甲子塘片区海绵城市建设项目分布

Fig. 5 Distribution of sponge city construction projects in Jiazitang area

5.2 方案效果评价

方案实施后,排洪渠内源污染及旱季入河污染基本消除,污染量可忽略不计;雨季点源污染物主要为沿河混接排口溢流污水,雨季面源污染主要为雨水排口排放的雨水及混接排口排放的混合雨水。经 SWMM 模拟分析,方案实施后片区面源污染(以SS计)削减率达 62.8%,年均溢流污染物总量削减率(以SS计)达 89.7%,可实现消除水体黑臭和其他海绵城市建设目标。

6 结论与建议

① 海绵城市系统化方案应量化识别造成现状

问题的主要原因,有针对性地制定绩效指标与整治策略,并梳理形成近期绩效指标支撑项目。

② 城中村及旧工业区的排水整治是一项长期工程,应加强后期运维管养,对新增雨污水错接、漏排等问题应及时整治,尽量做到发现一处治理一处。

③ 城中村面源污染治理难度较大,排洪渠沿河截污系统远期应予以保留,作为片区初期雨水截流控制系统的一部分。对于片区新改扩建项目,严格落实海绵城市建设管控,将海绵城市建设要求和管控指标纳入项目建设管控。

参考文献:

[1] 韩龙,余麟. 深圳市建成区地表污染物累积特征研究[J]. 广东化工,2016,43(2):90-91.  
HAN Long, YU Lin. Research on accumulation characteristic of the build-up of urban surface pollutants in Shenzhen[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(2):90-91 (in Chinese).  
[2] 常永第,张金松,刘旭辉,等. 深圳市雨水利用技术规范探讨[J]. 给水排水,2009,35(10):121-127.  
CHANG Yongdi, ZHANG Jinsong, LIU Xuhui, et al. Discussion on rainwater utilization technique specification in Shenzhen City[J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(10):121-127 (in Chinese).

作者简介:陆利杰(1987-),男,河南杞县人,硕士,工程师,主要从事海绵城市规划设计工作。

E-mail:787433030@qq.com

收稿日期:2019-04-17

修回日期:2019-04-25

(编辑:丁彩娟)