

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.24.006

# 深圳前海河流域黑臭水体系统化治理方案探索

汤 钟, 孙 静, 张 亮, 俞 露, 李 亚, 吴 丹  
(深圳市城市规划设计研究院有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘 要:** 高密度建成区黑臭水体治理受限于空间不足,治理难度大且难以长制久清。以深圳市南山区前海河黑臭水体水环境治理方案为例,以系统化思维对水环境治理进行整体考虑。在对流域污染物来源进行深入分析的基础上,建立了现状污染物定量分析方法;根据污染物的量化分析,建立“控源截污、内源治理、生态修复、活水提质”的治理技术路线;在治理过程中,同步落实海绵城市等理念;采取驳岸生态提升、排水口景观处理等措施,完善河道生态系统。对方案实施效果进行的模型评估表明,各项指标均可达到既定目标。该工程方案可为其他类似地区的水环境治理提供经验参考。

**关键词:** 海绵城市; 水环境; 黑臭水体; 前海河; 模型评估

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)24-0028-06

## Exploration of Systematic Control Scheme of Black and Smelly Water Body in Houhai River Basin of Shenzhen City

TANG Zhong, SUN Jing, ZHANG Liang, YU Lu, LI Ya, WU Dan  
(Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** The treatment of black and smelly water in high-density built-up area is limited by space, and it is difficult to control and maintain the effect for a long period of time. Taking the water environment treatment scheme of Houhai River in Nanshan District of Shenzhen as an example, this paper considers the treatment of water environment as a whole with systematic thinking. On the basis of in-depth analysis of the sources of pollutants in the basin, the quantitative analysis method of current pollutants in the present situation was established, and a technical route of “pollution control and interception, endogenous treatment, ecological restoration and raising quality of living water” was established according to the quantitative analysis of pollutants. In the process of treatment, the concept of sponge city should be implemented simultaneously; the river ecosystem should be improved by revetment ecological promotion, drainage outlet landscape treatment and so on. The implementation effect evaluated by model showed that all indicators could reach the design goal. The purpose of this paper could provide reference for water environment treatment schemes in other similar areas.

**Key words:** sponge city; water environment; black and smelly water body; Houhai River; model evaluation

城市河道治理尤其是高密度建成区的黑臭水体治理是一个世界性难题。如欧洲多瑙河和泰晤士河的治理都有着几十年甚至上百年的跨度<sup>[1]</sup>。高密度开发建设会对水环境治理造成改造空间不足、黑

臭成因复杂、亲水空间匮乏、面源污染严重等问题,导致治理难度大且难以长制久清<sup>[2]</sup>。

2017年深圳出台了《深圳市全面推行河长制实施方案》,方案建立了市、区、街道三级河长组织体

系,以及流域统筹协调机制、河长定期巡查制度等五大机制,从制度层面强化河道管理。

2018 年深圳市水污染治理指挥部办公室发布《深圳市全面消除黑臭水体攻坚战实施方案》,要求:2018 年底前,全市 159 个黑臭水体消除比例高于 90%,实现河岸无垃圾、无违法排污口、河面无大面积漂浮物,水体无翻泥现象;2019 年底前,全面消除黑臭水体,实现长制久清。

南山区前海河作为挂牌督办的重度黑臭水体,在其治理过程中结合前海河流域的各个排水分区特点及需求,针对性地布置水体环境质量提升建设任务<sup>[3]</sup>。项目很好地解决了高密度建成区黑臭水体综合治理的诸多问题,其规划建设过程有诸多值得借鉴和推广的经验<sup>[4]</sup>。

## 1 前海河流域概况及问题分析

### 1.1 流域概况

前海河流域位于南山区东南部,大南山以东,滨海大道以南区域,总面积为 12.8 km<sup>2</sup>,其中建设用地上 12.62 km<sup>2</sup>,包含南河、北河两个子流域。用地规划以居住、公共服务、商业办公类型为主,其中前海中心区作为深圳中心的重要组成部分、金融副中心、深圳市西南门户、南山综合服务中心,其主导发展总部经济、商务金融业、文化产业等区域性现代服务业,兼有居住及配套的综合功能区。

前海河位于前海填海区,曾为人工排洪河。南北走向,分为南河、北河相对独立的两部分,主要功能是排洪,兼具景观。

南河长为 2.27 km,河宽为 20~50 m,在东滨路交汇处连通东滨路南侧箱涵雨水,沿途收纳工业七路、工业八路、渔村路支涵雨水,最终排入深圳湾,流域面积为 4.63 km<sup>2</sup>。

北河长为 1.68 km,河宽为 15~40 m,承接海德三道、创业路、登良路、东滨路北侧雨水涵来水,沿规划支六路进入前海内湖,最终排入深圳湾,流域面积为 3.62 km<sup>2</sup>。

### 1.2 水环境问题成因分析

#### ① 截污箱涵系统

截污箱涵系统基本可以确保旱季污水不直接入河,但是暴雨期的雨水、河沙与污水一同流入水质净化厂,由于未配备相应的末端初小雨处理设施造成水质净化厂超负荷运行,影响出水效果,同时溢流污水进入河道,对河道水质造成不利影响。

#### ② 沿河排污

随着深圳湾污水截排二期工程等项目的运行,前海河污水收集系统基本完善,但流域周边区域雨污混接不彻底,部分生活污水排入河道,雨季也存在污水溢流风险。

#### ③ 内源污染释放

内源污染主要为河道有机污染的淤泥,底泥组成以有机污染物为主,富含贝壳、螺类残骸、动植物残骸等。

#### ④ 潮水顶托

雨季时截污箱涵溢流部分污水进入水体,而此时由于潮汐作用的影响水体无法充分交换,海水每天两次进出前海南河。涨潮时,最上游处水深较浅(约 1 m),基本无异味;退潮时,潮水将河道内污染物带出,上游河床露出水面,有较严重的异味。

### 1.3 水环境量化分析

#### ① 污染来源剖析

前海河外源污染主要包括:经分流制雨污混接排水口排放的点源污染;经分流制雨水排水口、分流制雨污混接排水口、截流式溢流排水口排放的面源污染<sup>[5]</sup>。前海河旱季污水量见表 1。

表 1 前海河旱季污水量

Tab. 1 Sewage quantity of Houhai River in dry season

| 项 目  | 整治前<br>(2016 年) | 现状<br>(2018 年) |
|--|-----------------|----------------|
| 旱季进入河道的漏排污水量/<br>(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> ) | 0.21            | 0              |
| 旱季进入箱涵的污水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )       | 1.12            | 1.08           |
| 旱季污水截流率/%  | 84.20           | 100            |

#### ② 污染计算方法确定

针对分流制雨污混接排水口的点源污染,有监测数据时,利用水量、水质监测数据直接计算;无监测数据时,根据单位用地用水指标折算污水量,结合深圳污水水质相关研究结果进行估算。

针对由分流制雨水排水口及分流制雨污混接排水口排放的面源污染,采用 SWMM 模型连续模拟全年降雨工况、不同下垫面及污染累计冲刷情况,根据模拟结果进行估算。

针对由截流式溢流排水口排放的面源污染,采用 SWMM 模型连续模拟全年降雨工况、不同下垫面产汇流过程及污染累计冲刷情况,根据模拟结果计算溢流频次并进行估算。

#### ③ 污染计算

经模型模拟,雨季溢流污染 COD 总量为187.36 t/a,现状污染物 COD 总量削减率为47.8%;混排口截流之后的雨天 COD 溢流量约27.95 t;直排雨水口和溢流口的雨天面源污染 COD 约151.53 t。

## 2 治理目标及技术路线

根据后海河水环境问题及特征,结合河道景观提升、周边用地情况和水质提升目标,在海绵城市建设理念指导下,通过控源截污、内源治理、生态修复、活水提质四个方面,落实从流域-岸线-河床的全流程、全方位措施,进一步实现水质提升目标<sup>[6]</sup>。

### 2.1 后海河水水质提升目标

- ① 旱季直排污水控制比例:100%。
- ② 面源污染控制(以SS计): $\geq 60\%$ 。
- ③ 年平均入河污染物总量削减率(以SS计): $\geq 70\%$ 。
- ④ 水质目标:地表水准Ⅳ类(TN、粪大肠菌群、水温指标除外)。

### 2.2 水环境提升技术路线

后海河处于高密度建成区,且为雨源型河流,无上游来水补给,治理难度较大,因此在科学梳理流域污染源的基础上,提出如图1所示的技术路线<sup>[7]</sup>。

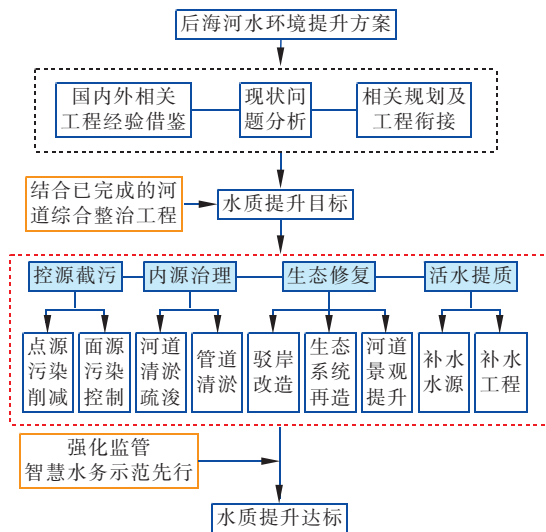


图1 水环境提升技术路线

Fig.1 Technical route of water environment improvement

## 3 后海河黑臭水体综合治理方案

### 3.1 控源截污

后海河在开展黑臭治理过程中,已经基本解决了河道排口治理和管网的完善工作。因此,为进一步提升后海河水环境质量,源头减排是核心,是重

点。其中控源截污主要包括点源和面源两大部分,具体见表2。

表2 控源截污方案

Tab.2 Source control and pollution interception schemes

| 项目     | 技术方案     | 备注                       |
|--------|----------|--------------------------|
| 点源污染控制 | 入河排污口处理  | 已实施完成,接入截污箱涵,旱季无直排污水     |
|        | 截污系统完善   | 对复核不满足要求的污水管道和厂站进行升级     |
|        | 小区正本清源工程 | 2018年完成全部正本清源改造          |
|        | 城中村雨污分流  | 改“雨污混合、绕村截污”为“截污纳管、进村入户” |
|        | 初期雨水处理设施 | 点源污染彻底治理后实施              |
| 面源污染控制 | 源头海绵改造   | 因地制宜,分类改造                |
|        | 雨水口改造    | 面源污染严重区域                 |
|        | 垃圾清理     | 面源污染严重区域                 |
|        | 末端净化     | 旋流分离装置等                  |
|        | 管道清淤     | 定期清淤                     |

#### ① 点源污染

分阶段进行点源污染治理,第一阶段为2016年前后海北河存在部分污水直排口及部分雨污混流排口。此阶段主要开展沿河截污工程,先后实施雨污分流、截污管网、截污箱涵等建设以及河道清淤整治。完成16个河道排水口截污建设,实现后海河旱季无直排污水。通过截污箱涵末端的一级强化临时污水处理站处理达标后排入深圳湾。

随着深圳湾截排二期工程的运行,临时污水处理设施处理的旱季污水+初期雨水已经大量减少。随着源头的进一步改造,正本清源工作的彻底完成,截污箱涵将调整为初期雨水箱涵(见图2),目前末端的临时强化处理设施建议改造为永久生态型初期雨水处理设施。

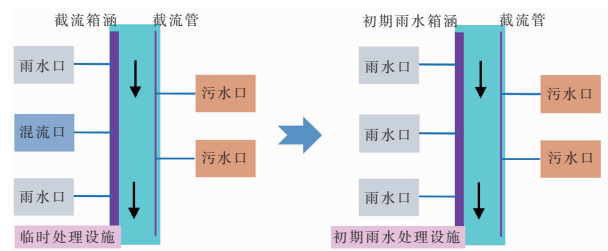


图2 初期雨水箱涵示意

Fig.2 Schematic diagram of initial rainwater culvert

#### ② 面源污染

常见的城市面源污染控制措施主要有源头海绵



化改造,即通过改变现有下垫面对初期降雨进行截流。除了常规绿色设施外,海绵改造中还可通过更换环保型雨水算子,对地面垃圾、树叶等较大杂物进行拦截,使其不进入管网系统以减少面源污染。

前海片区无旧工业区,针对前海片区的面源污染控制主要从旧村的正本清源改造、源头项目增加环保型雨水口、透水铺装等海绵设施进行构建。其中,海绵化改造主要采用绿色及灰色相结合方式,实现面源污染的全面控制。

针对前海河流域项目特点,将前海片区划分为已符合海绵区域、无条件改造区域、现状改造区域、在建区域、未建区域。划分思路与原则如下<sup>[8]</sup>: a. 已符合海绵区域。已落实海绵或绿化要求的近期建成区域,建议现状保留,不进行改造。 b. 无条件改造区域(含现状道路)。问题不突出、本底条件差、改造成本过大的区域,建议现状保留,不进行改造。 c. 现状改造区域。未落实海绵要求、存在海绵设施无效、景观效果差、本底条件较好的区域,建议进行改造提升,解决现状问题、提升景观效果,同步落实部分海绵设施;旧村可结合雨污混接、合流区域的正本清源改造,同步落实海绵城市设施。 d. 在建区域。已取得施工许可证的开工在建项目,视项目具体条件以变更设计形式落实部分海绵城市建设要求。 e. 未建区域。针对规划新建但尚未开工的项目,全面落实海绵城市建设管控要求。

### 3.2 内源治理

#### ① 河道清淤

为进一步提升前海河水质,减少底泥污染,同时恢复行洪断面,提高防洪能力,并且降低清淤对周边环境的影响。

经现场踏勘,前海河现阶段已消除河道内源污染,暂不需要对河道进行底泥清淤。但是河道底泥污染内源释放是河道水质恶化的重要原因之一,河道清淤办法治标不治本,几年之后河道底泥又会重新淤积。针对底泥污染释放造成的内源污染仍是当前待解决的关键问题之一,建议优先采用原位覆盖和原位生化处理技术。

#### ② 管网清淤

前海河截污箱涵已实施管道清淤及涵管修复工程,仍需进一步对流域内已建雨污水管网进行定期养护、清淤、评估,对出现问题的管段予以及时维修和更换处理。养护频率见表 3。

表 3 养护频率

Tab. 3 Maintenance frequency 次·a<sup>-1</sup>

| 项 目     | 管渠划分 |    |     |     | 检查井 | 雨水口 |
|---------|------|----|-----|-----|-----|-----|
|         | 小型   | 中型 | 大型  | 特大型 |     |     |
| 雨水、合流管渠 | 2    | 1  | 0.5 | 0.3 | 4   | 4   |
| 污水管渠    | 1    | 1  | 0.3 | 0.2 | 4   | —   |

### 3.3 生态修复

#### ① 驳岸生态提升

以后海南河生态提升为例。后海南河现状基本为初级生态岸线,建议保留现状,结合箱涵局部设置亲水平台,提升坡岸景观植物层次,淡水河口物种过渡至滨海红树林公园。入海口河段临近红树林海湾,沿海滩涂适宜浅海鱼类及贝类的生长与养殖,具有丰富的滩涂资源,保护水体交换充裕片区,修复水体交换不足片区。原来咸淡水交汇充裕片区,应以保育为主,减少硬质建设;原来水体交换不足区域,应重视生态保护,最大限度地保护红树林生长条件。

#### ② 排污口/溢流口生态处理

若现状排污口/溢流口为敞开垂直水面的形式,可在河道上方设置延伸步行平台,掩盖排放口结构,提升景观效果(见图 3)。

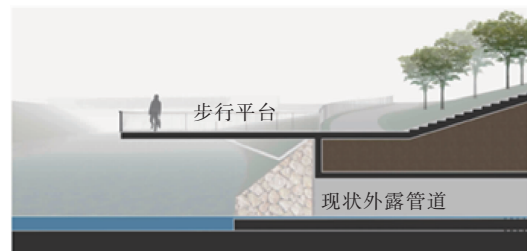


图 3 排污口/溢流口为敞开面垂直水面的形式

Fig. 3 Sewage outlet, overflow outlet in the form of open surface vertical to the water surface

若排污口/溢流口为敞开面平行水面的形式,步道位于排污口溢流面上,建议提高步道标高,内植地被,与周边绿坡融合(见图 4)。

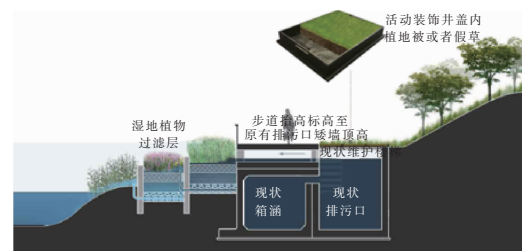


图 4 排污口/溢流口为敞开面平行水面的形式

Fig. 4 Sewage outlet, overflow outlet in the form of open surface parallel to the water surface

对视觉影响最严重的地方为裸露的混凝土溢流面,可以增加小型雨水湿地处理设施将排污口的旱季少量污水进行净化处理;用活动装饰盖板,内植地被或假草等对溢流面进行遮挡,并与周边绿坡融合;新做步道结构板,架空于现有排污口结构之上,两侧 1 : 15 放坡与现有步道衔接(见图 5)。

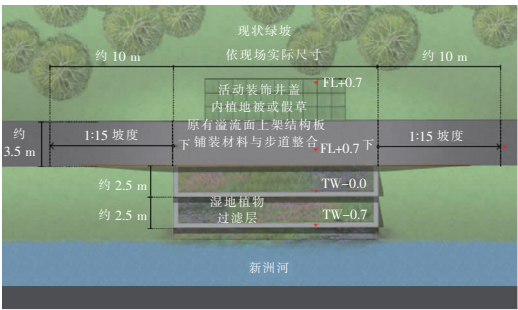


图 5 排污口/溢流口改造平面

Fig. 5 Reconstruction plane of sewage outlet,overflow outlet

3.4 活水提质

后海河属于雨源型人工河道,主要功能为防洪及景观。旱季无雨水流入,河口闸门处于关闭状态,

河道内主要是通过潮汐作用进入的海水;汛期,河口闸门开启泄洪,流域内雨水通过排水系统排入河道,最终排入深圳湾。

通过对后海河进行补水,可避免河道断流和露底,实现稀释入河污染物、激活水动力、恢复水生态、营造水景观等作用。后海河为人工开凿的雨源型河流,无原始基流量。采用流域面积流量最大利用法、蒙大拿法、景观需水法三种方法,分别预测需水量<sup>[9]</sup>,并取预测水量的最大值作为后海河补水需水量,结果见表 4。为满足生态及景观需水要求,规划利用了深圳湾海水和人才公园内湖水为河道补水,并利用潮汐作用将河道内泥沙带入深圳湾,保持河道清洁。后海河取水点共有两处,分别为深圳湾取水点和人才公园内湖取水点。

经过补水水源分析,现阶段南山再生水供水用途以市政杂用为主,无富余水量用于后海河补水。故规划近期保留深圳湾海水补水通道用于后海河补水。远期随着南山再生水厂提标改造后,再生水厂尾水可考虑作为后海河补水水源。

表 4 后海河补水量计算

Tab. 4 Calculation of replenishment capacity of Houhai River

| 项 目  | 流域面积流量最大利用法  | 蒙大拿法                         | 景观需水法                          |
|------|--------------|------------------------------|--------------------------------|
| 计算要点 | 按河道流域面积计算补水量 | 将 10% 的年径流量作为保护水生生物栖息地的生态基流量 | 根据河道断面,考虑景观水面水深 1.0 m、换水周期 7 d |
| 分配水量 | 2.5          | 0.5                          | 2.0                            |

4 模拟结果

采用 SWMM 模型建立后海河流域水质模型,评

估方案的达标情况。输入典型年降雨、不同下垫面水文水力参数等,模型计算指标可达性见表 5。

表 5 指标可达性分析

Tab. 5 Accessibility analysis of indicators

| 项 目                  | 目标值              | 实施完成后            | 达标分析                              |
|----------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|
| 旱季直排污水控制比例           | 100              | 100              | 达标,结合正本清源及后海河截污管网实现旱季污水全截流        |
| 面源污染控制(以 SS 计)       | ≥60              | 62.4             | 达标,结合全面海绵化建设及截污管网实现面源污染的截流        |
| 年均入河污染物总量削减率(以 SS 计) | ≥70              | 77.84            | 达标,结合正本清源、海绵化建设及后海河截污管网实现旱季污水全截流  |
| 水质目标                 | 准Ⅳ类 <sup>1</sup> | 准Ⅳ类 <sup>1</sup> | 达标,结合对污染物的全面截污,再辅以活水提质工程实现各水质指标达标 |

注: <sup>1</sup>TN、粪大肠菌群、水温指标除外。

5 结语

高密度开发建设会对水环境治理造成改造空间不足、黑臭成因复杂、亲水空间匮乏、面源污染严重等问题,导致高密度建成区黑臭水体治理难度大且难以长制久清。以深圳市后海河为例,初步探索了

高密度建成区黑臭水体综合治理的路径和思路,在使用模型进行模拟分析、与海绵城市建设相结合等方面进行了尝试,为提升后海河流域乃至南山区的水生态环境质量提供参考。下一步还将在如何进行精细化、地下化、集约化设计等方面做进一步探索。

## 参考文献:

- [1] 刘贤辉,陈小刚,李珊珊,等. 城市黑臭河道治理协同海绵城市建设探究[J]. 环境与发展,2018,30(10): 57-58.  
Liu Xianhui, Chen Xiaogang, Li Shanshan, *et al.* Study on the construction of collaborative sponge city in urban black and stinky river management[J]. Inner Mongolia Environmental Sciences, 2018, 30(10): 57-58 (in Chinese).
- [2] 盛倩,陈惠珍,黄志心,等. 城市黑臭水体水质提升技术及应用[J]. 中国给水排水,2019,35(20):72-77.  
Sheng Qian, Chen Huizhen, Huang Zhixin, *et al.* Water quality improvement technology and application of urban black and smelly water body[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 72-77 (in Chinese).
- [3] 李晓,宋桂杰,邓佑锋,等. 深圳市典型黑臭水体治理效果分析[J]. 中国给水排水,2018,34(14):101-104.  
Li Xiao, Song Guijie, Deng Youfeng, *et al.* Analysis on the treatment effect of typical black and smelly water body in Shenzhen[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(14): 101-104 (in Chinese).
- [4] 汤伟真,吴亚男,任心欣. 海绵城市专项审查要点与方法研究[J]. 中国给水排水,2018,34(17):123-127.  
Tang Weizhen, Wu Yanan, Ren Xinxin. Outlines and methods of special review in sponge city construction[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(17): 123-127 (in Chinese).
- [5] 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. Thoughts on systematic programming of sponge city[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 1-7 (in Chinese).
- [6] 唐建国,王家卓,马洪涛. 完善城市排水系统,巩固和提升黑臭水体整治成效[J]. 给水排水,2018,44(1): 1-7.  
Tang Jianguo, Wang Jiazhao, Ma Hongtao. Improve the urban drainage system, consolidate and improve the effectiveness of black and smelly water treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(1): 1-7 (in Chinese).
- [7] 孙巍,张文胜. 武汉市黄孝河合流制溢流污染控制系统设计[J]. 给水排水,2019,45(12):9-12.  
Sun Wei, Zhang Wensheng. Design of pollution control system for CSOs of Huangxiao River in Wuhan[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(12): 9-12 (in Chinese).
- [8] 吴连丰. 基于监测分析的海绵城市建设效果评价[J]. 给水排水,2019,45(12):65-69.  
Wu Lianfeng. Effectiveness evaluation of sponge city construction based on monitoring analysis[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(12): 65-69 (in Chinese).
- [9] 黄伟,汪丽,王阿华,等. 水质控制与提升措施用于麻园河黑臭水体综合整治[J]. 中国给水排水,2019,35(22):83-86,90.  
Huang Wei, Wang Li, Wang Ahua, *et al.* Application of water quality control and improvement measures in the comprehensive regulation of black and odorous water body in Mayuan River[J]. China Water & wastewater, 2019, 35(22): 83-86, 90 (in Chinese).



作者简介:汤钟(1991-),男,安徽舒城人,硕士,工程师,主要从事市政基础设施规划与设计研究工作。

E-mail: tangz@upr.cn

收稿日期:2019-08-15