

黑臭水体治理中多技术综合运用案例分析

蒋欣源, 司马勤, 聂俊英

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 通过分析安徽省池州市赵圩黑臭水体, 提出多技术综合运用的技术方案, 采用“外源减排、内源清淤、水质净化、生态恢复”为主体技术路线, 系统运用控源截污、海绵化改造、底泥清淤、增强水动力、生态修复等技术措施治理赵圩黑臭水体, 通过定量计算验证整治后基本消除了外源污染物对水质的影响, 工程投入运行后赵圩已基本消除水体黑臭, 水生态恢复, 实现长治久清的目标。

关键词: 黑臭水体; 海绵城市; 生态修复

中图分类号: TV8

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)01-0125-04

0 引言

城市黑臭水体是指城市建成区内, 呈现令人不悦的颜色和(或)散发令人不适气味的水体的统称。城市黑臭水体不仅给群众带来了极差的感官体验, 也是直接影响群众生产生活的突出水环境问题<sup>[1]</sup>。城市黑臭水体问题成因复杂, 主要包括过度向水体中排放污染物、水体动力不足、底泥长期沉积腐败等因素<sup>[2-3]</sup>。城市黑臭水体的治理需要采取系统性措施, 源头减排、过程控制与末端治理相结合的模式, 将黑臭水体治理与海绵城市建设相结合, 实现黑臭水体消除与水质的长效保持。

安徽省池州市是国家首批海绵城市建设试点城市之一, 黑臭水体整治工程是池州市海绵城市建设清溪河流域水环境综合整治 PPP 项目的重要构成。赵圩位于池州市老城区西部, 2016 年水体严重黑臭, 通过对赵圩雨水排水系统的综合分析, 结合排水系统内海绵城市建设, 并通过多技术综合运用以及海绵设施的合理运维, 目前已经实现了对赵圩水体长治久清的目标。

1 项目概况

1.1 项目背景

池州市海绵城市建设清溪河流域水环境综合整治 PPP 项目包含海绵城市改造、黑臭水体整治、清溪污水厂尾水湿地建设、部分区域景观亮化、监测平台建设等内容, 其中黑臭水体整治工程主要针对赵

圩等 7 个黑臭水体。赵圩水体整治工程作为项目子项之一, 主要包括外源污染控制、内源污染治理、岸线整治、水质净化、监测系统建设等内容。

1.2 水体概况

赵圩位于池州市西部, 正常蓄水位 11.0 m, 水体面积约 9.6 hm<sup>2</sup>, 流域汇水面积约 0.77 km<sup>2</sup>。项目实施前水体设有一座排涝闸(1 孔 2.5 × 2.0 m 钢筋混凝土箱涵式结构), 无抽排功能, 外河高水位情况下需通过临时机组抽排。

1.3 水质检测

项目实施前, 对赵圩水质进行了取样检测, 通过分析判定赵圩水体属于劣 V 类、重度黑臭。赵圩治理前水质见表 1。

| 表 1 赵圩治理前水质检测结果 |        |       |      | 单位: mg/L |
|-----------------|--------|-------|------|----------|
| 指标              | 化学需氧量  | 总氮    | 氨氮   | 总磷       |
| 平均值             | 157.44 | 25.56 | 3.19 | 0.59     |
| 最大值             | 296.10 | 26.92 | 3.29 | 0.83     |

2 问题分析

根据现场调研, 赵圩水体重度黑臭的主要原因包括外源污染、内源污染、水动力不足等多个因素。

2.1 外源污染分析

赵圩水体受到的外源污染主要来源于三个方面: 市政污水污染、初期雨水污染和农业面源污染。

(1) 市政污水污染: 赵圩沿岸共有 12 处排口, 其中有污水排口 5 处; 雨水排口中有 2 处晴天有污水排出。经调查发现, 由于区域污水管网建设滞后, 赵圩片区部分污水管路无出路, 市政污水需通过直接排入水体或混接入雨水排口排入水体, 造成严重污

收稿日期: 2021-04-30

作者简介: 蒋欣源(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政排水设计工作。

染。如图1所示,可清晰观察到生活污水污染。



图1 赵圩旱季雨水排口实景图

(2)初期雨水污染:赵圩流域汇水面积约 $0.77\text{ km}^2$ ,汇水范围内主要是居民区。通过片区绿化、硬化地面、屋面及水体面积统计,核算得出赵圩片区综合径流系数为 $0.54$ 。现状赵圩流域汇水范围降雨时雨水通过管网直接排入水体,对水体水质造成不利影响。

(3)农业面源污染:赵圩岸线被大面积农业种植侵占,如图2所示。施肥、灌溉、农药喷洒等农业面源污染严重影响赵圩水体水质,且明显增加氮磷污染物,雨天通过地面径流进入赵圩水体。



图2 岸线农业面源污染

## 2.2 内源污染分析

赵圩内源污染是湖内水体底泥污染和水体中各种漂浮物、悬浮物、岸边垃圾、未清理的水生植物或水华藻类等产生的腐败物所造成的污染。赵圩水体受外源污染长期影响,水体有机物含量过高,容易形成缺氧甚至厌氧环境,兼性厌氧微生物分解复杂有机物,产生的小分子有机物质可以作为电子受体,参与硫酸盐和铁(锰)等氧化物的还原反应,沉积物中的Fe、Mn等物质与还原态的硫结合,在挥发性有机物等作用下上浮进入上覆水中,形成大量黑臭物质<sup>[4]</sup>。

## 2.3 水动力不足分析

赵圩水体无活水水源,补水主要依靠降雨及周边生活污水汇流,水体缺少流动,自净能力差,造成水质的进一步恶化。

## 3 技术方案

城市黑臭水体成因复杂,其长效治理必须采取系统性的技术方案,综合运用多方面技术。本次赵圩黑臭水体治理工程采用“外源减排、内源清淤、水质净化、生态恢复,统筹考虑防洪排涝”的基本技术路线,其中外源减排和内源清淤是基础与前提,水质净化是阶段性手段,生态恢复是长效保障措施。

### 3.1 外源污染控制方案

对于三个不同方面的外源污染,分别采取有针对性的技术方案。

#### 3.1.1 市政污水污染控制技术方案

为解决赵圩片区市政污水无出路的问题,配合赵圩片区沿江路建设工程新建污水管网及污水泵站,并对现状雨污水混接点进行雨污分流改造,将区域污水输送至污水处理厂处理。

在确保区域污水出路的前提下,对赵圩沿岸的污水排口和冒溢点进行封堵,将污水改排进入同期海绵城市建设过程总完善的市政污水系统,以阻止污水直排进入赵圩水体。

#### 3.1.2 初期雨水污染控制技术方案

区域初期雨水污染主要通过源头海绵城市改造及末端调蓄两方面措施进行控制。

为控制初期雨水污染,对赵圩流域源头区域进行海绵城市改造,主要通过在各地块内设置雨水花园、植草沟、透水铺装等海绵设施,提高片区径流控制总量,降低径流污染。改造后片区年径流总量整体控制率达到 $75\%$ ,通过海绵化改造源头削减 $40\%$ 污染物(TSS计),区域海绵城市改造情况如图3所示。

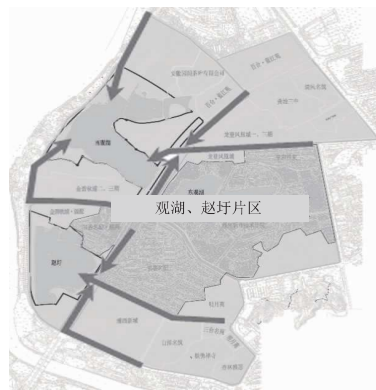


图3 赵圩片区海绵改造示意图

#### 3.1.3 农业面源污染控制技术方案

为长期有效控制农业面源污染,在工程建设过程中对红线内所有农业种植进行整治和清除,工程完工后加强维护和管理,避免岸线再次出现农业种植。

### 3.2 内源污染控制方案

根据测量结果可知,赵圩底部最大淤泥厚度为1.44 m,平均厚度为0.76 m,清淤方量约为7.5万 $\text{m}^3$ 。工程清淤采用干式施工,清出淤泥沥干后外运至指定地点进行处置。

### 3.3 防洪排涝与水动力提升方案

鉴于赵圩外河白洋河水质良好,可利用赵圩排涝泵站进行水体补水。白洋河常水位13.79 m,赵圩蓄水常水位11.0 m,设计控制水位11.3 m,最低运行水位10.3 m。排涝泵站与水体治理设施同步建成,排涝泵站设有连通箱涵,箱涵底标高7.8 m。根据内外水位差,在白洋河水位高于赵圩水位且高于7.8 m时,赵圩水体可开启连通箱涵进行重力补水;白洋河水位超过10.3 m,但低于或等于赵圩水位时,可启动排涝泵站,将赵圩水位抽低至10.3 m,再关闭泵组、开启连通箱涵进行补水。

### 3.4 水质净化技术方案

为进一步改善水体水质、增强水体应对旱流污染及初期雨水污染的能力,在赵圩沿岸建设一座综合处理设施,平面布置如图4所示。



图4 综合处理设施示意图

综合处理设施包含截流井、调节塘、提升泵井及潜流人工湿地。各部分功能如下。

(1)截流井:设置于赵圩沿岸最大雨水排口前端,井内设置水力拍门及溢流堰,将旱流污水及初期雨水截流至调节塘,避免对赵圩水体造成直接污染。

(2)调节塘:通过在原赵圩水体内设置挡水墙,结合岸线合围形成调节塘,调蓄量约4 800 $\text{m}^3$ (对应服务范围内8 mm降雨)。调节塘分为前置塘及主塘,平面布置如图5所示。采用卵石坝将前置塘与主塘分隔,以避免市政雨水管中的垃圾随水流进入主塘,便于调节塘的维护和清理。于北侧挡水墙设置电动闸门,可根据运行工况需要进行开闭。

(3)提升泵井:在调节塘西南侧设置提升泵井,



图5 调节塘平面布置图

开启后可将调节塘内的通过沉淀预处理的水提升进入潜流人工湿地进行处理。

(4)潜流人工湿地:结合现状岸线地形设置潜流人工湿地,湿地设计最大处理量为3 500 $\text{m}^3/\text{d}$ ,处理后重力流补给水体,平面布置如图6所示。填料厚度60 cm,种植土厚度30 cm。湿地植物采用美人蕉、翠芦利、蓼衣草等本地化植物,既有较强的去污能力,又具有一定的观赏性,目前已经形成郊野公园。



图6 潜流人工湿地平面布置图

综合处理设施运行工况:旱季时,截流井将旱流污水截入调节塘前置塘,后提升污水管网,调节塘主塘电动闸门保持开启,利用轴流泵井将赵圩湖水经由调节塘抽入人工潜流湿地进行循环净化处理,推动水体→调节塘→潜流人工湿地→水体的内部水循环,增强水动力;降雨预告发布时,关闭电动闸门,利用轴流泵井将调节塘抽空,为上游降雨预留调蓄空间;降雨发生时,调节塘前置塘中污水与少量初期雨水进入污水系统,调节塘前置塘随着雨量增加水位上升,通过溢流堰进入调节塘主塘进行调节,主塘到达设计水位后,前置塘中雨水超越进入水体,雨水中污染物含量已经明显减少;降雨结束后利用轴流泵井将调节塘主塘内调蓄的雨水抽入人工潜流湿地进行处理。

综合处理设施综合运用多技术,通过截污、初期雨水调蓄、沉淀、人工湿地实现了旱流污染防治、初期雨水调蓄及处理、水动力提升、景观亮化等多种功能。

### 3.5 生态恢复技术方案

在前述工程措施实施完成的基础上,于水体岸线进行统一生态化治理,通过在浅水区种植沉水、浮叶与挺水植物,白洋河补水引入本土动物与微生物,推动水体生态逐步恢复,提高自净能力,保障水体的长效治理。

## 4 效果预期

赵圩进行黑臭水体治理前,水质平均 COD 为 157.44 mg/L,湖体蓄水量约为 235 200 m<sup>3</sup>,存在超标 COD 污染负荷约 29 974 kg;市政污水污染负荷约 583.2 kgCOD/d;初期雨水污染负荷约 149.8 kgCOD/次降雨;农业面源污染负荷约 17.7 kgCOD/d;湖体本底有机质污染约 5 590 kg。

工程建成后,在多种技术手段的综合作用下,处理效果预期如下:本底 COD 污染在建设调试期内予以去除;将市政污水截流进入城市污水管网,市政污水污染相应消除;对流域范围内地块进行海绵改造,海绵改造完成后将削减雨水污染 40%,进入赵圩的雨水量为 710 mm,则改造完成后进入赵圩的年雨水污染负荷约为 89.9 kgCOD/d;对水体周边农业种植予以清除,同时优化管理,农业面源污染相应消除;底泥清淤完成后,湖体本底有机质污染相应消除;综合处理设施建成后,系统处理负荷能达到 181.7 kg-COD/d 以上。

综合入流污染总量及系统处理负荷,预计赵圩水体能够有效应对污染变化,实现水体的长治久清。

## 5 实际效果

2018年4月赵圩黑臭水体治理工程完工并投入运行。根据运营单位连续监测结果显示,对照地表水 IV 类水标准,赵圩水体溶解氧、氨氮、总磷指标达标率达到 95%,水体黑臭已得到全面消除。赵圩进行黑臭水体治理工程前与黑臭水体治理后的现场对比图如图 7、图 8 所示。



图 7 黑臭水体治理工程实施前项目现场图



图 8 黑臭水体治理工程实施后项目现场图

## 6 技术经济分析

赵圩黑臭水体整治工程概算总投资 1 928.84 万元,其中第一部分工程费 1 618.07 万元。各种工程技术类型的投资及占比如表 2 所示。

表 2 赵圩工程概算分配表

| 序号 | 工程技术类型 | 工程费用 / 万元 | 费用占比  |
|----|--------|-----------|-------|
| 1  | 岸线整治   | 214.26    | 13.3% |
| 2  | 综合处理设施 | 631.04    | 39.0% |
| 3  | 底泥清淤   | 675.00    | 41.7% |
| 4  | 生态恢复   | 97.77     | 6.0%  |
| 5  | 合计     | 1 618.07  | 100%  |

由表 2 可知,综合处理设施建设及底泥清淤占工程投资的比例较高。主要原因在于赵圩水体约 20 年没有做底泥清淤,淤泥量大。综合处理包括截污、初期雨水调节与处理,是水体长效保持的关键。

## 7 结 语

通过分析赵圩水体黑臭的成因,提出“外源减排、内源清淤、水质净化、生态恢复”的治理方案。采用多技术综合运用的工程措施,有效消除赵圩水体的黑臭现象,水质日益改善,生态逐步恢复,水质已经基本满足地表水 IV 类水标准。

为进一步巩固水体治理的成效,应着重建立水质监测系统,并将流域管网养护及检查与城市水体水质紧密联系,注重水体周边植物收割及岸线维护,定期维护调节塘、潜流人工湿地等调蓄及处理设施,实现水体的长治久清。

### 参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部.城市黑臭水体整治工作指南[Z].北京:住房和城乡建设部,2015.
- [2] 朱品文.全国多半城市存在黑臭水体[J].生态经济,2016,32(5):10-13.
- [3] 梁培瑜,王烜,马芳冰.水动力条件对水体富营养化的影响[J].湖泊科学,2013,25(4):455-462.
- [4] 孙淑云,古小治,张启超,等.水草腐烂引发的黑臭水体应急处置技术研究[J].湖泊科学,2016,28(3):485-493.
- [5] HJ 2005—2010,人工湿地污水处理工程技术规范[S].