

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.04.019

茅洲河流域高密度建成区化粪池系统治理实践

郝鑫瑞^{1,2,3}, 方刚^{1,2}, 唐颖栋^{1,3}, 饶伟⁴, 楼少华^{1,3},
张墨林^{1,2,3}, 宋卓霖^{1,2,3}

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 中电建华东勘测设计研究院<深圳>有限公司, 广东 深圳 518100; 3. 浙江省华东生态环境工程研究院, 浙江 杭州 311122; 4. 深圳市宝安区水务工程事务中心, 广东 深圳 518101)

摘要: 茅洲河流域高密度建成区人口密度大、交通密度大、建筑密集,化粪池存在破损、老化、规模不足及缺乏管养等问题。本工程协同各部门统一行动,对片区内31 447座化粪池进行普查与修复整治。对清掏前、清掏后、整治后三阶段进行核查,实现化粪池信息统计与修复监督,根据高密度建成区环境条件,选择“吸污车”或“一体化粪便处理车”清掏,采用“脱水-压饼-焚烧”方式处理粪渣,对于存在缺陷的化粪池进行修复或翻建,工程完成后交由管养单位统一养护管理。本工程实现了“管理、实施与养护”三阶段的统一开展,并根据高密度建成区的特点制定了相应修复方案,可为后续工程实施提供借鉴。

关键词: 高密度建成区; 化粪池; 管养

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)04-0111-06

Practice of Septic Tank Renovation in High-density Built-up Area of Maozhou River Basin

HAO Xin-rui^{1,2,3}, FANG Gang^{1,2}, TANG Ying-dong^{1,3}, RAO Wei⁴, LOU Shao-hua^{1,3},
ZHANG Mo-lin^{1,2,3}, SONG Zhuo-lin^{1,2,3}

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China; 2. PowerChina Huadong Engineering <Shenzhen> Corporation Limited, Shenzhen 518100, China; 3. Huadong Eco-Environmental Engineering Research Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 311122, China; 4. Water Engineering Service Center of Shenzhen Bao'an District, Shenzhen 518101, China)

Abstract: The high-density built-up area of Maozhou River basin is characterized by high population, traffic and architecture density, which cause some problems to the septic tanks, such as wear-out, aging, inadequate scale and lack of maintenance. This project collaborated different departments for unified management to survey, repair and renovate 31 447 septic tanks within the built-up area. The septic tanks were inspected in three stages before, after cleaning, and after renovation, to accomplish information statistics and repair supervision. There were two cleaning approaches, including by suction-type sewer scavenger or by integrated feces treatment facility, depending on environmental conditions of

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2019B110205005)

通信作者: 唐颖栋 E-mail: tang_yd2@hdec.com

the high-density built-up area. The feces were processed by dehydration, pressing and incineration. The defective septic tanks were repaired or rebuilt. After the completion of the project, the septic tanks were entrusted to the maintenance unit for unified management. The project realized unified management of three stages, including management, implementation, and maintenance. Meanwhile, a renovation plan was formulated in accordance with characteristics of the high-density built-up area, which can provide reference for the implementation of follow-up projects.

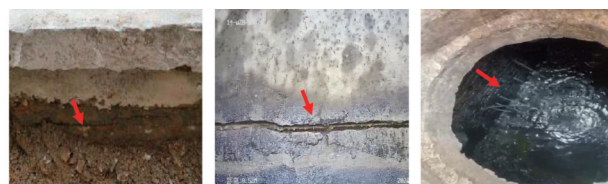
Key words: high-density built-up area; septic tank; management and maintenance

近年来,我国城市群飞速发展,大量人口集中在老旧小区及城中村等高密度建成区^[1]。高密度的人口给市政排水系统造成了极大的压力,城中村等高密度建成区由于市政管网系统不完善,往往存在大量城市水体黑臭现象^[2]。化粪池是我国城镇污水初级处理的第一个步骤,主要利用沉淀和厌氧发酵原理对粪尿等排泄物进行处理,再通过过滤沉淀-厌氧发酵-固体分解-达标排放等进一步处理,可将有机氮转化为氨氮,有机磷和固态磷转化为可溶性的磷,杀灭虫卵,控制蚊蝇滋生,有效降低SS、COD和BOD₅^[3]。由于老旧城中村等高密度建成区空间狭窄、巷道密集,同时管理制度不够完善,居民生活习惯难以转变,化粪池破损、渗漏、冒溢等情况时有发生;尽管《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)已经取消化粪池,但是由于城中村等高密度建成区不具备取消化粪池后扩大污水管管径的施工环境和条件^[4],因而对这些地区的化粪池进行清掏、修复、整治并建立完备的养护措施是短期内城中村地区污水系统治理的可行性方案。

1 研究区域现状

宝安区位于深圳市西北部,属于工业大区。据深圳市宝安区2021年统计年鉴,截至2021年,规模以上工业企业4 319家。密集的工业发展也导致了人口的集中分布,宝安区约有208万人居住在面积为27.6 km²的城中村,人口密度高达7.53万人/km²。人口的高度聚集与市政污水系统的不平衡发展存在严重矛盾,污水冒溢、管网堵塞等问题逐渐暴露。该区域内化粪池的核心问题主要有:①结构老化,粪液渗漏。现状化粪池多为砖砌式,水泥砂浆易脱落。此外,因地处工业区,易受到震动等外力影响,导致池体出现破损(见图1),粪水渗漏、污染周围土体,若进入周边雨水管网系统,不仅污染下游河道,还会影响污水处理厂进水水质^[5]。②规模不足。由

于初期规划统筹考虑不足,部分区域化粪池规模过小,沉淀作用较弱,清掏周期短,导致管道堵塞,溢流问题较为突出。研究区域内某中学在校师生3 000余人,仅设置2处化粪池(约70 m³),导致在用水高峰期频繁出现粪水外溢情况。③粪渣处理设施缺乏。现状粪渣处理以压滤后直接填埋为主,粪渣未经无害化处理而排入环境中,对大气、水体、土壤乃至公众卫生健康造成极大的威胁。④管养及监管力度不足。现状宝安区尚未建立对化粪池的统一管养方案,尤其在城中村区域,缺乏统一服务的物业公司对化粪池进行养护,监管力量薄弱,粪渣去向不明,存在非法处置现象。



a. 化粪池外墙存在裂缝 b. 化粪池内部破损 c. 化粪池渗漏

图1 现状化粪池破损情况

Fig.1 Current picture of damaged septic tanks

2 治理方案

2.1 治理思路和技术路线

高密度建成区具有人口众多、建筑密集、交通拥挤和管理难度较大等显著特点,基于此,提出了具体整治思路(见图2)。

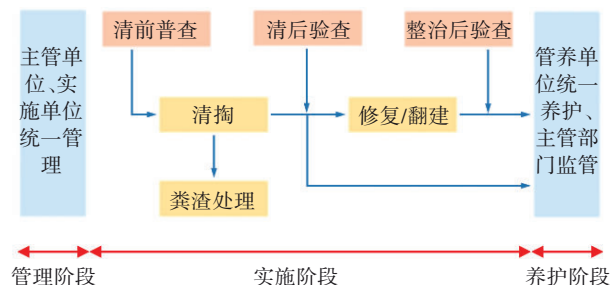


图2 化粪池系统治理工程工作思路

Fig.2 Septic system treatment engineering workflow

① 工程管理阶段

以整个片区为单位,统一开展化粪池管理工作,主管部门、街道和排查、设计、施工单位上下级协同治理,降低协调管理难度,工程进度可得到有效保障。

② 工程实施阶段

a. 开展“三阶段核查”,即“清前普查、清后验查、整治后验查”,实现化粪池信息统计、清掏及修复/翻建全过程监督,建立化粪池信息库;b. 根据高密度建成区道路及人口特点,制定不同清掏修复方案;c. 粪渣焚烧处理,实现资源转化,减少空间占用。

③ 工程养护阶段

化粪池治理完成后,交由专门的管养公司统一负责后续运维管理工作,所在街道部门承担监管角色,管养单位统一,便于进行资源调度,实现有效管养。

化粪池全过程治理技术路线如图3所示。

综合现状问题,对化粪池及粪渣进行全方位、全过程的治理与处理。化粪池全过程治理主要分“排查-清掏-检测-修复或新建-管养”等5个步骤;粪渣经过“清掏-压饼-焚烧发电”,可实现资源化利用。

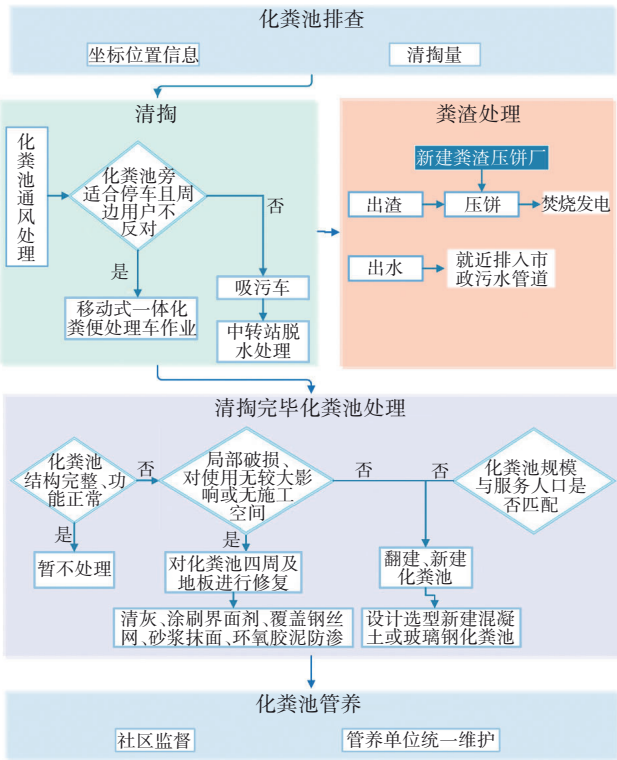


图3 化粪池全过程治理技术路线

Fig.3 Roadmap of treatment in septic tank

2.2 化粪池排查

化粪池排查信息统计样表见表1。

表1 化粪池排查信息统计样表

Tab.1 Septic tank inspection information statistics style sheet

序号	化粪池坐标		化粪池四方联合测量编号	化粪池长度/m	化粪池宽度/m	化粪池深度/m	清掏粪渣厚度/m	清掏粪渣量/m ³	备注(清掏方式)
	X	Y							
1	42 642.297	89 134.830	11-J01-108(工程编号-片区编号-序号)	2.40	2.20	2.90	1.67	8.83	“吸污车+中转站”处理
2	42 616.139	89 128.987	11-J01-149	2.30	3.20	3.0	1.50	11.01	移动式一体化粪渣处理车处理
3									
...									

化粪池排查的目的在于梳理流域内化粪池现状,为后续化粪池的清掏修复及新建提供基础资料。排查工作贯穿整个化粪池治理过程,在清掏工作开始前需要对全域内化粪池信息进行摸排,统计现状化粪池的点位、尺寸、液位等信息,以便确定清掏位置和清掏方量。

清掏工作完成后需再次进行排查,梳理现状化粪池的结构和功能完整性,是否出现裂缝、渗漏等现象。此外,还应复核化粪池服务人口和现状规模是否匹配,为化粪池的修复、翻建和新建提供明确指导。化粪池修复、翻建以及新建完毕后进行第三

次排查,保障区域内所有化粪池设置合理、功能正常。

2.3 化粪池清掏及粪渣处理

2.3.1 清掏方式的选择

化粪池清掏采用传统吸污车清掏和移动式一体化粪便处理车清掏两种方式。传统吸污车主要利用真空压力差来完成污水的抽排工作,常见的容量有3、5、7、8 m³等。移动式一体化粪便处理车工作流程可分3个阶段:首先进行固废分离,将垃圾分离出来;然后添加药剂对粪污进行净化、絮凝;最后进行固液分离,污水直接排入污水管网,留下粪渣加

以利用。化粪池内污物最终被分为垃圾、污水及粪渣三类。相较于传统吸污车,一体化粪便处理车具有以下优点:①就地处理,操作方便;②从根本上消除了传统清掏车在运输过程中的“跑、冒、滴、漏”和偷排现象,避免了二次污染,节省了大量市政排污管网的清理维护费用,同时维护了城市公共卫生安全;③处理过程无异味、低噪声、不扰民;④处理效率高、成本低,粪渣脱水率达75%以上,处理效率约20~30 m³/h,相当于5 t吸粪车往返运输5~6次,消耗的水、电及净化原料费用约2元/m³。相较于传统运输方式,人工和油耗成本大幅降低。

治理区域化粪池既有位于宽阔路面、厂区、学校小区便于清掏的位置,也有较多位于城中村等高密度建成区,存在道路狭窄、交通拥挤等不便条件。对于不同位置的化粪池分别采取不同的清掏方法:①若空间宽阔、方便停车且周边住户不反对原位粪渣处置,则采用移动式一体化粪便处理车清掏处理。②若化粪池旁巷道狭窄,或不方便停车施工,或周边住户反对原位粪渣处置,则采用吸污车抽取水污混合物,运送至中转厂(站)后添加药剂絮凝,采用压滤机进行脱水处理。

2.3.2 清掏步骤

根据排查信息确定需要清掏的化粪池,与相关单位做好入场协调工作。在施工开始前对化粪池进行开孔通风处理,同时监测有毒气体含量,确保达标后再进行施工。施工中,对于沉积物、干硬固结物,可人工采用井外用工具搅拌捣碎;对于砖块、混凝土块等障碍物采取人工清掏,应重点关注有限空间作业,确保人员安全;清掏出来的粪渣含水率约为90%,需通过移动式一体化粪便处理车或中转厂(站)进行脱水处理,当粪渣含水率≤45%时才可运往压饼厂处理;对于运渣车进入困难的巷道,需要人工二次倒运粪渣。

2.3.3 粪渣处理

所有粪渣经初步脱水后(含水率≤45%)送往压饼厂进行压饼处理。为解决粪渣出路问题,宝安区新建了一座临时粪渣压饼厂,主要处理流程见图4。

粪渣运输至压饼厂进入粪渣仓,接着进入滚动筛滤掉石子等杂物,经提升粪渣斗转运进入搅拌仓,粪渣在搅拌仓内首先添加凝固剂等药剂以增加粪渣黏性,然后在搅拌仓持续烘干,待湿度满足要

求后经由传输带送至压饼机进行压饼,处理后的粪饼含水率≤20%,粪饼块可用于有机肥料或焚烧发电^[6]。

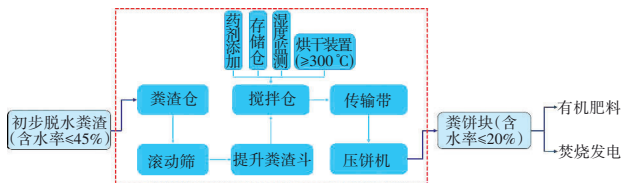


图4 粪渣压饼厂压饼流程

Fig.4 Dung slag compression plant workflow

考虑到粪渣用于制作有机肥料周期较长,对场地需求较大,而本工程时间紧,场地空间有限,因此主要采用焚烧发电方式处理粪渣。粪渣焚烧发电需满足以下要求:①压饼尺寸必须满足发电厂规格要求,才能在燃烧炉上充分燃烧,尺寸过小的粪饼将会从燃烧炉的格栅孔内漏下,无法充分燃烧。②粪饼含水率需达到60%及以下方可燃烧,含水率越低越易于燃烧。③若粪渣的重金属超标,将不得用于发电燃烧。④发电厂燃烧发电后压饼燃烧残值将会影响后续处理难度,宜尽量充分燃烧。

2.4 化粪池修复

破损化粪池修复方案见图5。现状化粪池仅局部砂浆破损且破损范围较小、对结构使用无较大影响,或无施工空间时采用修复处理。修复的主要流程:首先在内壁涂盖界面灰,接着采用防水砂浆挂网抹灰,最后用涂抹环氧胶泥保障防渗。修复时化粪池内壁四周墙体及底板均需进行预处理,采用人工施工作业。涂刷界面前应清除基底上的浮灰,修补找平基底面,界面剂应涂刷严密,一般两遍为宜,不得露底;钢丝网采用12 mm×12 mm×1 mm的镀锌碰焊网,挂网应展平,并进行固定,保证钢丝网不变形起拱;用1:2.5防水砂浆外加3%防水粉抹面,厚度20 mm;最外层防渗采用5 mm厚环氧胶泥。

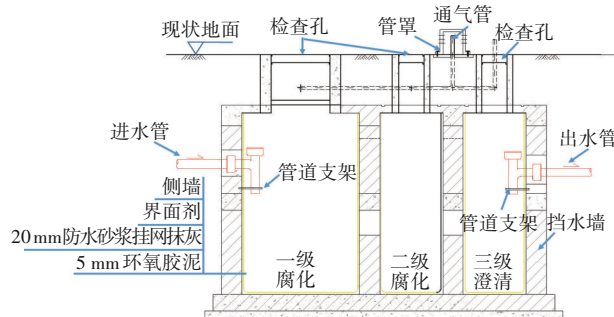


图5 破损化粪池修复方案

Fig.5 Remediation of damaged septic tanks

2.5 化粪池翻建新建

当现状化粪池无法满足服务总人口要求或者存在难以修复的变形、开裂、渗漏或垮塌,对使用存在较大影响甚至已丧失化粪池使用功能时,应于原位或者合适的位置新建化粪池。新建化粪池的容积(V)按照下式计算:

$$V = V_w + V_n \tag{1}$$

$$V_w = \frac{m_f \cdot b_f \cdot q_w \cdot t_w}{24 \times 1\,000} \tag{2}$$

$$V_n = \frac{m_f \cdot b_f \cdot q_n \cdot t_n (1 - b_x) \cdot M_s \times 1.2}{(1 - b_n) \times 1\,000} \tag{3}$$

式中: V_w 为化粪池污水部分容积, m^3 ; V_n 为化粪池污泥部分容积, m^3 ; q_w 为每人每日计算污水量,取 $200\text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$; t_w 为污水在池中的停留时间,采用 12 h ; q_n 为每人每日计算污泥量, $\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$; t_n 为污泥清掏周期,选取6个月; b_x 为新鲜污泥的含水率,一般取95%; b_n 为发酵浓缩后的污泥含水率,一般取90%; M_s 为污泥发酵后的体积缩减系数,一般取0.8; 1.2为清掏后遗留的20%的容积系数; m_f 为化粪池服务总人数; b_f 为化粪池实际使用人数占总人数的百分数; 其中 q_w 、 q_n 和 b_f 均按照《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)选取。

根据现场实际情况,可选用钢筋混凝土化粪池或玻璃钢结构化粪池。综合考虑有无地下水、可否过汽车、有无覆土、是否为粪便污水单独排入进行合理选型,新建化粪池参照国家标准图集《玻璃钢结构化粪池选用与埋设》(14SS706)或《钢筋混凝土化粪池》(22SS702)。

2.6 养护与监管

化粪池的养护和监管是保障其功能正常发挥的最重要环节,合理的养护和监管方式也可以延长化粪池的服役时间。有效管养的关键在于制度的合理高效执行和技术的精确指导。在制度方面,本工程采取监管和养护分离的方式,由社区行使监管责任,对发现问题的化粪池及时向管养单位反馈,管养单位对辖区内化粪池建立台账,对于收到反馈的化粪池及时整治,整治完成后由社区确定,流程闭合。此外,应根据化粪池的尺寸,建立合理的清掏时间,进行统一清掏,一般为6~12个月。在技术层面,应定期检测化粪池的出水水质,根据水质分析化粪池结构的完整性,发现破损化粪池可采用修复或翻建方案进行整治。此外,还应建立完备

的粪渣处理生产线,实现粪渣的合理处置。

3 实施情况

茅洲河片区化粪池整治主要集中在燕罗、松岗、新桥和沙井等4个街道,根据工程需要,将4个街道划分为7个片区同步治理,如图6所示。

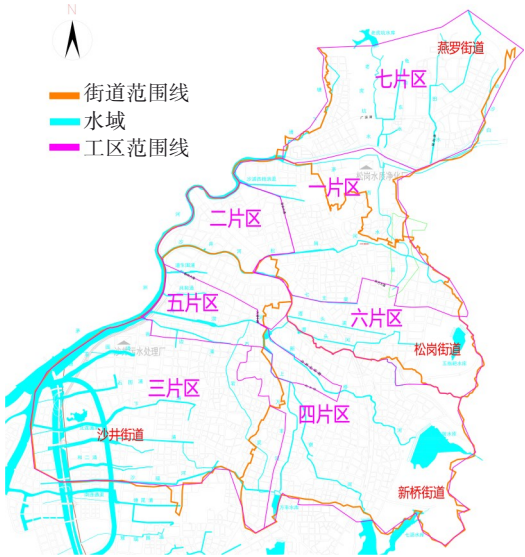


图6 茅洲河流域化粪池治理工程分区

Fig.6 Project zoning of septic tank restoration and treatment in Maozhou River basin

7个片区化粪池清掏情况见表2。

表2 7个片区化粪池清掏情况

Tab.2 Cleaning summary of septic tanks in project area

项目	清掏数量/座	清掏总量/ m^3	清掏粪液量/ m^3	清掏粪渣量/ m^3
一片区	6 661	64 433.28	23 834.11	40 599.17
二片区	2 590	42 087.78	15 597.33	26 490.45
三片区	5 816	72 441.95	26 801.04	45 640.91
四片区	5 689	82 558.78	30 539.03	52 019.75
五片区	2 794	31 750.72	11 302.82	20 447.90
六片区	3 835	47 910.51	17 280.07	30 630.44
七片区	4 062	54 588.13	20 113.17	34 474.96
合计	31 447	395 771.15	145 467.57	250 303.58

化粪池原液含水率为81%,移动式一体化粪便处理车处理后含水率约为53.8%,根据《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2017)对残渣使用质量法检测烧失量,压饼后现场多次试验取得烧失量分别为75.57%、70.44%、63.36%,均值为69.79%,满足焚烧发电要求,故将压缩后的粪饼运往深圳老虎坑发电厂进行焚烧发电。

7个片区化粪池治理修复情况见表3。本工程的开展极大程度解决了茅洲河流域宝安片区高密度建成区化粪池功能缺陷的问题,缓解了化粪池的处理压力。化粪池清掏整治完毕后,按照片区及社区建立起完整的化粪池台账,交由宝安区排水管养单位统一维护管养,定期进行清掏并监管。

表3 片区化粪池治理修复情况

Tab.3 Summary of septic tank repair in project area

项目	新建数量/座	增加容积/m ³	修复数量/座	修复容积/m ³	修复面积/m ²
一片区	146	578	27	169	1 031
二片区	71	1 008	61	1 632	2 726
三片区	118	1 582	15	262	450
四片区	19	219	6	43	112
五片区	155	1 012	0	0	0
六片区	21	293	1 558	18 254	53 296
七片区	142	2 023	630	7 881	29 460
合计	672	6 715	2 297	28 241	87 075

4 结论与展望

① 高密度建成区化粪池治理工作是系统工程,应从管理、施工到后续养护全方位统一管理,根据环境条件针对性地设置化粪池清掏、修复、粪渣处理方案,降低施工对环境及居民的干扰。

② 化粪池的管养直接影响化粪池的运行情况,管养过程应严格执行定期巡视、清掏、检修、维护等保障化粪池功能的必要措施。

③ 化粪池与排水管网应形成一体化管养方案,进行系统养护,实现上下游联动监管,精准追踪污水去向,实现污水系统的高效管养。

④ 化粪池全过程治理仍然道阻且长。现状关于粪渣的处理方式仍过于粗放,粪渣作为高密度生物质材料,具有非常广阔的应用潜景,后续应着重开展粪渣商业化应用技术的开发,考虑粪渣发电、生物质肥等。

参考文献:

- [1] 全德,高静,龚咏喜. 城中村对深圳市职住空间融合的影响——基于手机信令数据的研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2020,56(6):1091-1101.
- TONG De, GAO Jing, GONG Yongxi. Impact of urban village on job-housing balance in Shenzhen: a study using mobile phone signaling data[J]. Acta Scientiarum

Naturalium Universitatis Pekinensis, 2020, 56(6): 1091-1101(in Chinese).

- [2] 余忻,王棋,龚道孝,等. 高密度城中村的黑臭水体污染源截污策略[J]. 中国给水排水, 2022, 38(12): 83-87.

YU Xin, WANG Qi, GONG Daoxiao, *et al.* Pollutant source control strategy of black and odorous water body in the high-density urban villages [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(12): 83-87(in Chinese).

- [3] 魏亮亮,李健菊,陈颜,等. 公共建筑、化粪池设置及管道传输对城市生活污水水质参数的影响分析[J]. 给水排水,2020,46(S2):155-166.

WEI Liangliang, LI Jianju, CHEN Yan, *et al.* Effect of public construction, septic tank and pipeline transmission on the water quality of urban sewage [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(S2): 155-166(in Chinese).

- [4] 宋嘉美,宁克明,高祯,等. 深圳市建筑小区取消化粪池可行性研究[J]. 广东化工,2021,48(14):184-186.

SONG Jiamei, NING Keming, GAO Zhen, *et al.* Feasibility study on canceling septic tank in building district of Shenzhen City [J]. Guangdong Chemical Industry, 2021,48(14):184-186(in Chinese).

- [5] 方刚,唐颖栋,楼少华,等. 茅洲河流域水质净化厂污水系统提质增效实践[J]. 中国给水排水,2022,38(20):96-101.

FANG Gang, TANG Yingdong, LOU Shaohua, *et al.* Practice of improving quality and efficiency of the sewage system of a WWTP in Maozhou River basin [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(20): 96-101(in Chinese).

- [6] 唐颖栋,包晗,曾学云,等. 流域水环境综合整治中“泥”的治理策略研究[J]. 中国给水排水,2022,38(20):36-40.

TANG Yingdong, BAO Han, ZENG Xueyun, *et al.* Study on the “sludge” treatment strategy for the comprehensive improvement of water environment in river basin [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(20):36-40(in Chinese).

作者简介:郝鑫瑞(1994—),男,河北邢台人,硕士,工程师,主要研究方向为城市水环境治理。

E-mail:1181354549@qq.com

收稿日期:2023-04-24

修回日期:2023-06-19

(编辑:衣春敏)