

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.014

深圳市光明新区茅洲河底泥厂全流程除臭工程实践

王维康, 曹岳, 钟颖, 孙艳丽

(深圳市利源水务设计咨询有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 深圳市光明新区茅洲河底泥处理工程是全国第一座永久性、全封闭式的底泥处理厂,底泥处理过程的各环节会产生恶臭气体,臭气污染物排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)的厂界二级标准。针对该底泥处理厂恶臭气体的来源及组成特征,将底泥处理流程划分为八个臭气区域和主除臭、余土库除臭两套系统。主除臭系统(60 000 m³/h)用于收集板框压滤机车间、泥浆周转池、调理池、沉淀池、沉砂池和皮带输送机等地的臭气,采用喷淋洗涤耦合生物除臭工艺;余土库除臭系统(30 000 m³/h)收集余土库内大空间的臭气,采用喷淋洗涤除臭工艺。除臭工艺设计参数参照污水处理厂污泥处理工艺取值,主除臭、余土库除臭系统均采用双层填料喷淋塔,液气比为1.67 L/m³,停留时间分别为2.08 s和2.16 s。生物除臭塔采用炭质混合填料,停留时间18.7 s,空塔气速385 m/h。封闭工程采用低盖、高盖和隔断三种形式。除臭系统稳定运行后,该项目厂界臭气污染物可满足设计标准。

关键词: 河道底泥; 除臭系统; 喷淋洗涤; 生物除臭塔

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0085-06

Practice of Plant-wide Deodorization System in Maozhou River Sediment Treatment Plant in Guangming District, Shenzhen

WANG Wei-kang, CAO Yue, ZHONG Ying, SUN Yan-li

(Shenzhen Liyuan Water Design & Consultation Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Maozhou River sediment treatment plant, which locates in Guangming District, Shenzhen, is the first permanent and full-enclosed sediment treatment plant in China. Odorous gas is inevitably produced at all stages of sediment treatment, and the discharge of odor pollutants shall comply with the second level limit at factory boundary specified in *Emission Standards for Odor Pollutants* (GB 14554—1993). According to the source and composition characteristics of odorous gas from the sediment treatment plant, the treatment process was divided into eight odor zones and two sets of deodorization systems (including the main deodorization system and the residual soil storage deodorization system). The main deodorization system with treatment capacity of 60 000 m³/h is for collecting the odors from the plate and frame press filter workshop, sludge circulation tank, conditioning tank, sedimentation tank, grit chamber and belt conveyor and other structures, and its process is spray washing coupled with biological deodorization. The residual soil storage deodorization system with treatment capacity of 30 000 m³/h collects the odor from the large space of the entire residual soil storage, and the deodorization process is spray washing. The design parameters of the deodorization process referred to the sludge treatment process of wastewater treatment plant. The two deodorization systems both adopt double-layer packing spray tower, the liquid-air ratio is 1.67 L/m³, and their retention times are 2.08 s and 2.16 s, respectively.

The biological deodorization tower is packed with carbonaceous mixed packing media, the retention time is 18.7 s, and the retention gas velocity is 385 m/h. The sealing work consists of low cover, high cover and partition. After the deodorization system runs stably, the concentration of odor pollutants at the factory boundary meets the design standard.

Key words: river sediment; deodorization system; spray washing; biological deodorization tower

深圳市光明新区茅洲河底泥处理工程是全国第一座永久性、全封闭式的底泥处理厂,底泥来源于茅洲河5条一级支流及5条排洪渠,该底泥处理厂占地3 646.8 m²,设计规模为11.24×10⁴ m³/d。黑臭河体底泥中富集有大量的污染物,所产生的臭气污染物多为碳水化合物、脂肪和蛋白质等有机物、微生物呼吸和发酵产物及不完全产物^[1],主要成分与污水污泥所产臭气物质相近,包含硫化氢、氨气和硫醇等。恶臭气体会对人体产生刺激,危害人体健康。如果这些恶臭气体通过接触、呼吸以及水和食物等途径进入人体,将引起呼吸系统、循环系统和消化系统等疾病;底泥厂对外环境逸散的臭气也会引起人们感官和神经不适。

近年来,除臭工程多见于城镇污水处理厂^[2]、污水泵站^[3]和垃圾填埋场^[4],关于底泥处理厂臭气治理工程的案例鲜有报道。以深圳市光明新区茅洲河底泥处理厂除臭工程为例,系统介绍该工程中封闭、收集、处理各环节的设计和调试运行情况。

1 底泥处理处置流程

深圳市光明新区茅洲河底泥采用机械法处理,处理与处置流程见图1。河道底泥运至厂区后倾倒至泥浆周转池,调制成含水率为90%的泥浆,高含水率泥浆含有大量厌氧微生物,倾倒卸泥时会产生大量高浓度恶臭气体。

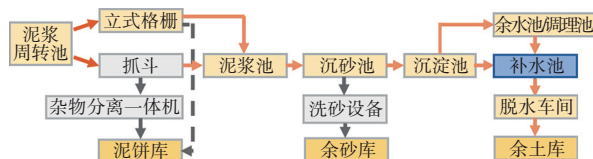


图1 底泥处理与处置流程

Fig.1 Sediment treatment and disposal process

泥浆分别通过立式格栅和抓斗分选垃圾和大粒径砾石后,泵入沉砂池进行初步水力沉淀,此过程筛出的栅渣腐烂后会引起臭气的产生和逸散。

分离的垃圾和砾石、颗粒较大的砂砾经清洗

后,采用皮带机分别输送至泥饼库和余砂库。沉淀后的泥浆溢流至沉淀池进行泥水分离。沉淀池中的杂质沉积造成的厌氧发酵及垃圾的聚集腐烂会产生恶臭。

沉淀池出水溢流至余水池,浓泥浆泵入搅拌机,添加调理药剂后溢流至调理池,利用板框压滤机进行脱水后,成品泥饼经卸料皮带机输送至余土库存放。板框压滤机对泥水的挤压和沉积在滤板上渣滓的腐化会造成臭气的释放。此外,余土库中泥饼囤积会逸散高浓度臭气。

2 臭源产生区域划分

将臭源产生区域划分为8个区域,具体如表1所示。

表1 臭源产生区域的划分

Tab.1 Classification of the emission sources of odorous gas

区 域	主要臭源形态	臭源散发点
泥浆周转池+泥浆池+立式格栅	固+液	完全敞开区域
沉砂池+杂物分离一体机+皮带机+余砂库	固	完全敞开区域
沉淀池	液	完全敞开区域
余水池	液	完全敞开区域
板框压滤机	固+液	臭源部分外露,主要臭源为滤板阵列排水渠,取拉板落料时污泥外露产生臭气
压滤卸料皮带机	固	设备已有密闭,主要臭源为板框机出泥跌落处和观察口
调理池	液	主要臭源为板框机出泥跌落处和观察口
余土库	固	完全敞开区域
注: 由于补水池内的泥浆周转池循环水直接定期排入污水管网,可将补水池看作一个污水检查井,只需加盖并留有通气口,不做其他除臭处理。		

臭源区域恶臭污染物监测结果见表2,可见,不

同处理区所产生的氨和硫化氢浓度存在差异,下游构筑物散发的恶臭气体浓度比上游构筑物低。余土库是底泥处理的终端,臭气浓度波动较大,若处理后的泥饼长期堆积,可通过厌氧发酵产生高浓度臭气。

表2 底泥厂臭源区域恶臭污染物监测结果

Tab.2 Monitoring results of odorous gas in the different areas of the sediment treatment plant

项目	mg·m ⁻³						
	泥浆 周转 池	沉砂 池	沉淀 池	余水 池	板框 压滤 机	压滤卸料 皮带机	余土 库
氨	2.20~	1.53~	0.31~	0.22~	0.45~	0.36~	0.43~
	3.67	3.35	1.60	0.38	2.65	1.87	4.56
硫化 氢	1.73~	2.96~	0.11~	0.08~	0.43~	0.18~	1.09~
	6.67	5.53	0.36	0.29	1.28	0.87	10.24
注: 硫化氢和氨气检测采用便携式 GasAlertMicro 5 泵吸五合一气体检测仪,检测频率为6次/d,连续测5 d。							

3 除臭工程

底泥处理厂臭气污染物排放应执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)厂界二级排放标准^[5],具体指标见表3。

表3 臭气污染物排放标准

Tab.3 Emission standards for odor pollutants

项目	氨/ (mg· m ⁻³)	三甲 胺/ (mg· m ⁻³)	硫化 氢/ (mg· m ⁻³)	甲硫 醇/ (mg· m ⁻³)	甲硫 醚/ (mg· m ⁻³)	二甲 二硫/ (mg· m ⁻³)	二硫 化碳/ (mg· m ⁻³)	苯乙 烯/ (mg· m ⁻³)	臭气 浓度
标准 值	1.5	0.08	0.06	0.007	0.07	0.06	3.0	5.0	20

除臭工程可借鉴城镇污水处理厂除臭系统的设计方法,主要包括封闭工程、臭气收集管道系统和除臭系统与处理工艺等。

3.1 风量计算和系统划分

除臭风量由除臭区域空间体积乘以换气次数确定,空间体积根据臭源周边的土建结构组成的密闭空间计算,换气次数由空间内臭气污染物浓度、负压要求和人员进出频繁程度决定。经计算,底泥厂除臭风量为90 000 m³/h(见表4)。其中,主除臭系统(60 000 m³/h)负责板框压滤机车间、泥浆周转池、调理池、沉淀池、沉砂池和皮带输送机的臭气控制及处理,余土库除臭系统(30 000 m³/h)负责余土库内大空间的臭气控制及处理。

表4 除臭风量计算

Tab.4 Calculation of the deodorizing air volumes

项目	除臭区域	除臭空 间/m ³	设计参数	风量/ (m ³ ·h ⁻¹)
主除臭 系统	泥浆周转池	4 180	换气次数6次/h ^①	25 080
	沉砂池	2 580	换气次数5次/h	12 900
	沉淀池	3 750	换气次数2次/h	7 500
	余水池+调节 缓冲池	120	换气次数2次/h	240
	调理池	250	换气次数3次/h	750
	压滤卸料区	1 790	换气次数3次/h	5 370
	板框压滤机	890	换气次数3次/h	2 670
	漏风系数		10%	
	总设计风量			59 961
	取值风量			60 000
余土库 除臭系 统	余土库	3 400	换气次数8次/h ^②	27 200
	漏风系数		10%	
	总设计风量			29 920
	取值风量			30 000
合计				90 000
注: ①泥浆周转池内为高浓度泥水混合物,需有工作人员频繁进行冲洗清掏,是除臭区域的重点,换气次数取6次/h;②余土库中的泥饼囤积也会逸散高浓度臭气,换气次数取8次/h。				

3.2 封闭工程

封闭工程是指将臭气控制在密闭空间内,使其与外界隔离,同时通过收集系统使空间内形成微负压状态,确保臭气不外逸。封闭形式可分为低盖、高盖和隔断3种(见图2),低盖适用于地面以下的池体;高盖适用于地面以上的构筑物和设备;隔断墙可用于周边有土建墙体的臭源。

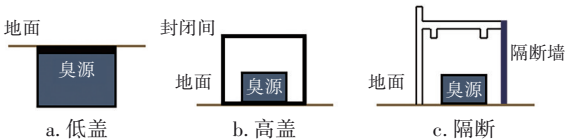


图2 封闭形式

Fig.2 Enclosed types

本工程各除臭区域的封闭样式如表5所示。在泥浆周转池和余土库的大门处设置风幕机,通过形成风墙抑制臭气外泄。因为风幕机风源需为新鲜空气,所以其吸风、出风口均设于厂房外,风速为21 m/s。

本工程封闭材料均选用轻型骨架覆面形式,骨架为不锈钢构件,覆面盖板通常为钢化玻璃钢和PC

板。需在封闭骨架与地面、墙面的缝隙处做密封处理,防止臭气外逸。结合设备运行需要,需在封闭上设检修口、观察口等。当有大型零件需取出时,可在封闭的顶端、侧端做活动面板。设计时应尽量将电气设备(如电控柜、电机等)置于封闭外,防止被腐蚀性气体损坏。

表 5 各除臭区域的封闭样式

Tab.5 Enclosed types in each deodorizing zone

除臭区域	封闭样式
泥浆周转池	隔断+风幕机
沉砂池	隔断
沉淀池	隔断
余水池+调节缓冲池	低盖
调理池	低盖
压滤卸料区	隔断+高盖
板框压滤机	高盖
余土库	风幕机

3.3 臭气收集管道系统

本工程风管采用 PP 圆形管材,具有防锈蚀、耐磨损、阻力小、质量轻、可焊性、高空安装操作方便等优点。干管风速取 $6 \sim 14 \text{ m/s}$,支管取 $2 \sim 8 \text{ m/s}$ [6]。吸风口应尽量靠近臭源,因臭气密度一般大于空气密度,故臭气收集点应设置在房间内较低且方便人员操作阀门的位置。应在每个吸风口及支路未段设调节阀,使各支管流量达到设计值。

收集管道系统的组成和设计参数如表 6 所示。

表 6 收集管道系统组成和设计参数

Tab.6 Forms and design parameters of odor collecting pipe

项目	材质	参数	备注
管道	PP	DN300/DN400/DN600/ DN1 000/DN1 300	管径的设计采用 假定流速法
弯头		曲率半径:1.5	
三通		汇流夹角:45°	
渐扩管		渐扩角:30°	
风阀	不锈钢		与管道法兰连接
软接	硅胶布		管道经过结构伸 缩缝时设置
冷凝水排 放管	PVC	DN40	排放口设置在管 路最低点

3.4 除臭系统与处理工艺

底泥厂除臭系统工艺流程见图 3。主除臭系统由 1 座圆形喷淋塔和 2 座生物除臭塔组成(配套喷淋和加药系统)。余土库除臭采用一座方形喷淋洗

涤塔。由于余土库灰尘大、存泥时间长,臭味较大,宜单独设置处理系统。但当存泥量较小或除臭处理系统维护检修时,也可通过开闭风量调节阀,将余土库的臭气引入主除臭系统。

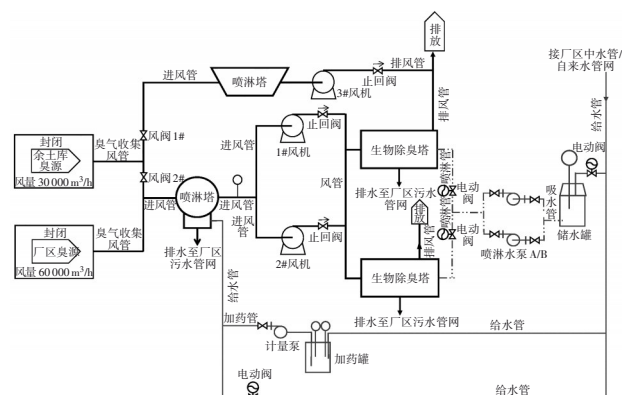


图 3 除臭系统工艺流程

Fig.3 Process flow chart of the deodorization system

3.4.1 喷淋洗涤塔

两座喷淋洗涤塔材质均为聚丙烯(PP),圆形喷淋塔尺寸为 $\varnothing 4.2 \text{ m} \times 6.8 \text{ m}$,停留时间为 2.08 s ;方形喷淋塔尺寸为 $6 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 2.8 \text{ m}$,停留时间 2.16 s 。液气比均为 1.67 L/m^3 。塔内设置喷淋管路、填料支撑架、PP 多面球填料、循环喷淋水箱。填料分为两层,每层填料上方均布有喷淋管路。洗涤塔配套循环喷淋泵(2 台)和给排水管。厂区自来水由管道接入洗涤塔底部的循环水箱和加药罐,由自控系统根据系统 pH 控制。

3.4.2 生物除臭塔

生物除臭塔采用两级串联处理系统 [2],即臭气先由上至下经过一级系统,再反向穿过二级系统,最后由塔顶排出。在塔内上层装有喷头,间歇地向填料喷淋自来水和营养液。喷淋液经生物吸收后,多余的液体进入水封水渠后排入泥浆池。臭气经湿润、多孔和附有微生物的填料滤层,气液转化和微生物吸收后分解为 CO_2 、 H_2O 、 H_2SO_4 、 HNO_3 等。

本工程设两座生物除臭塔,塔体尺寸分别为 $7 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$ 、 $8 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$ 。生物塔设计停留时间为 18.7 s ;空塔气速 385 m/h ;设计硫化氢处理负荷为 $3.85 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。生物塔采用炭质混合填料,无需细菌接种且可提供微生物生长必需的碳源。喷淋间隙和喷淋水量可控制填料含湿量,当填料含湿量为 $43.6\% \sim 63.4\%$ 时,硫化氢去除率可达 90% 以上。本工程总喷淋量按液气比 0.067 L/m^3 设计,

考虑到生物塔进气端臭气浓度较高且需防止由于出气湿度太大引起管道内积水,故生物塔采用分段喷淋运行,一级和二级阶段分别按总喷淋量的 65% 和 35% 配水。

4 调试运行与检测

除臭系统的调试目的是监测工艺设备开机、关

机、连续运行等各种工况下的使用情况并确定系统达到最佳运行条件。调试阶段分为单体设备调试、轻度负荷运行条件下的系统联动调试(即额定进气污染物浓度的 70% 状态下运行调试)以及额定度负荷运行条件下的系统联动调试。具体调试方案和内容见表 7。

表 7 系统调试方案及内容

Tab.7 System commissioning scheme and content

调试阶段	运行条件	设备/系统	内容
单体设备调试	不带负荷运行	风机	风机电机运转方向是否正常;机体是否有异常震动及噪声;轴承内油位是否正常、减震底座功能是否正常、设备参数是否正常
		生物除臭塔水泵	水泵电机运转方向是否正常、泵体是否有异常震动及噪声、设备参数是否正常
		生物除臭塔加药泵	加药泵电机运转方向是否正常、泵体是否有异常震动及噪声、设备参数是否正常
		生物除臭塔喷淋阀门	常闭型电磁阀在通电时是否顺利打开、断电后是否顺利关闭、是否有异常噪声及严重发热
		自控程序	自控程序灌入
设备系统联动调试	轻度负荷运行	收集管道系统	检查管道连接处是否有漏气;调节各风阀开启度;使各吸风口吸风量按设计值运行
		封闭系统	检查门、窗二次封闭密闭性;检查门窗开启关闭是否顺畅
		喷淋洗涤塔进水系统	检查水箱水位、进水系统及塔体排水系统是否正常
		喷淋洗涤塔喷淋系统	检查水泵进出口管路及塔体喷淋管路手动阀门是否全开;水泵进出口及喷淋管路在系统运行时是否正常、有无漏水及震动等异常现象
		自控程序	各设备之间的联动及风机水泵的自动交替运行是否正常
		生物除臭塔排水系统	检查有无障碍物影响排水管路
	额定度负荷运行	收集管道系统	使用风速计测试风管各节点的风速,测算各抽风口风量;根据各封闭的污染物浓度调整各抽风管路支管的启闭程度;调整风机运行频率确定最优经济与除臭效果运行频率
		封闭系统	使用便携式 ppm 级硫化氢检测仪测试各个封闭间的污染物浓度;检测各封闭间负压值
		生物除臭塔塔体	检查塔体内喷头喷淋状态是否正常;通过调整水泵出口阀门及观测流量计优化喷淋系统的功能;通过调整自控程序内的喷淋时间及喷淋量达到设计填料湿度;根据臭气进气浓度投加生物菌剂

调试合格且稳定运行后,在除臭排放口下风向厂界处取样,检测排放气体,结果见表 8。

表 8 臭气污染物检测结果

Tab.8 Test results of exhaust odor pollutants

项 目	检测结果	评价标准	检出限
氨/(mg·m ⁻³)	0.082	≤1.5	0.25
三甲胺/(mg·m ⁻³)	<2×10 ⁻³	≤0.08	2×10 ⁻³
硫化氢/(mg·m ⁻³)	<0.01	≤0.06	0.01
甲硫醇/(mg·m ⁻³)	<2×10 ⁻⁴	≤0.007	2×10 ⁻⁴
甲硫醚/(mg·m ⁻³)	<2×10 ⁻⁴	≤0.07	2×10 ⁻⁴
二甲二硫/(mg·m ⁻³)	<2×10 ⁻⁴	≤0.06	2×10 ⁻⁴
二硫化碳/(mg·m ⁻³)	<2×10 ⁻⁴	≤3.0	2×10 ⁻⁴
苯乙烯/(mg·m ⁻³)	<0.01	≤5.0	0.01
臭气浓度	<10	≤20	10

由表 8 可见,在《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)内规定的 9 类恶臭污染物厂界标准值中,氨的检测结果显示达到了新扩建项目的二级标准,其余指标均达到新扩建项目的一级标准,达到环保验收标准。

由运行数据可见,该除臭工程设计合理,运行稳定。

5 运行成本

本项目除臭系统的运行成本主要由电费、水费和药剂费组成。经核算,该系统日运行费用 1 976 元,年运行费用 713 520 元,单位运行成本为 0. 017 元/m³。

具体运行成本见表 9。

表9 运行成本
Tab.9 Operating cost

项目	消耗量	单价	日费用/ (元·d ⁻¹)	年费用/ (元·a ⁻¹)	备注
电	1 930 kW·h/d	0.8 元/(kW·h)	1 544	555 840	运行总功率 108.5 kW; 风机(90 kW)夜间降频工作, 耗电系数 0.8; 生物塔喷淋泵(11 kW)日工作 2 h; 喷淋塔循环泵(7.5 kW)日工作 24 h
水	100.5 m ³ /d	3.3 元/m ³	332	121 180	生物除臭塔补水约 100 m ³ /d; 喷淋塔补水 0.5 m ³ /d
药剂	0.05 t/d	2 000 元/t	100	36 500	混合制剂
合计			1 976	713 520	系统的人工费、日常检修费和其他费用暂不考虑
注: 生物除臭塔设定间歇性喷淋, 喷淋泵流量 60 m ³ /h, 喷淋次数为 2 次/h, 喷淋时长为 2 min/次。					

6 结论

① 底泥处理与处置全流程存在潜在臭源, 臭气区域应根据底泥处理单元的工作方式、运行操作等进行划分。除臭系统划分及处理工艺选择, 应根据臭气区域划分和臭气污染物浓度等因素确定。

② 底泥处理厂可借鉴城镇污水厂除臭系统的设计方法和参数。除臭工程包括封闭工程、臭气收集管道系统和除臭系统与处理工艺等。除臭风量可按除臭区域封闭空间的换气次数计算确定。

③ 除臭系统调试分为单体设备调试、轻度负荷运行条件下的系统联动调试及额定度负荷运行条件下的系统联动调试。应进行臭气实时跟踪与监测, 根据不同阶段臭气组成及处理效果调整运行工艺参数。

参考文献:

- [1] 邱赞, 尹基宇. 城市污水处理厂臭气治理措施分析[J]. 资源节约与环保, 2019(4): 125-126.
QIU Yun, YIN Jiyu. Analysis of odor control strategies in urban sewage treatment plant [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2019(4): 125-126(in Chinese).
- [2] 刘建伟, 陈雪威, 张波, 等. 城市污水厂污泥脱水间除臭工程设计和运行[J]. 中国给水排水, 2019, 35(8): 91-95.
LIU Jianwei, CHEN Xuewei, ZHANG Bo, et al. Deodorization engineering design and operation of sludge dewatering room in urban sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(8): 91-95(in Chinese).
- [3] 陈益清, 尹娟, 孟建国, 等. 深圳市某污水泵站生物除臭工程设计与运行[J]. 中国给水排水, 2013, 29(18): 103-106.

CHEN Yiqing, YIN Juan, MENG Jianguo, et al. Design and operation of biological deodorization engineering in a sewage pumping station in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18): 103-106(in Chinese).

- [4] 刘建伟, 岳鹏, 张波, 等. 生活垃圾综合处理厂除臭工艺选择与工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2): 53-58.

LIU Jianwei, YUE Peng, ZHANG Bo, et al. Deodorization process selection and project design of a municipal solid waste comprehensive treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 53-58(in Chinese).

- [5] 郭静, 梁娟, 匡颖, 等. 污水处理厂恶臭污染状况分析与评价[J]. 中国给水排水, 2002, 18(2): 41-42.

GUO Jing, LIANG Juan, KUANG Ying, et al. Analysis and appraisal on offensive odor situation occurring in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2002, 18(2): 41-42(in Chinese).

- [6] 龚文瑾, 尹兴蕾, 高伟, 等. 污水污泥处理中臭气收集系统设计总结[J]. 中国给水排水, 2016, 32(18): 45-48.

GONG Wenjin, YIN Xinglei, GAO Wei, et al. Design of odor collection system in wastewater and sludge treatment [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 45-48(in Chinese).

作者简介:王维康(1983-), 男, 江苏连云港人, 硕士, 高级工程师, 从事城市污水处理与回用、海绵城市建设、城市排水系统、黑臭水体治理及恶臭气体治理工程设计、研究和技术管理工作。

E-mail:37561411@qq.com

收稿日期:2021-11-10

修回日期:2022-07-24

(编辑:孔红春)