



移动扫码阅读

鲍家泽, 马玉银, 蒋建国, 等. 多填料生物滤池处理化工企业低浓度混合废气的实践[J]. 能源环境保护, 2020, 34(5): 35-40.

BAO Jiaze, MA Yuyin, JIANG Jianguo, et al. Treatment of low concentration mixed waste gas in chemical enterprises by multi-media biofilter[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(5): 35-40.

多填料生物滤池处理化工企业低浓度混合废气的实践

鲍家泽¹, 马玉银¹, 蒋建国², 于卫东^{1,3}, 马武生², 于智勇²

(1.扬州市职业大学 资源与环境工程学院, 江苏 扬州 225000; 2.扬州市职业大学 生物与化工工程学院, 江苏 扬州 225000; 3.江苏原木环境科技有限公司, 江苏 扬州 225000)

摘要:为进一步提高化工企业无组织废气处理效果, 采用喷淋+多填料卧式生物滤池工艺处理低浓度混合废气。运行结果表明: 喷淋+多填料卧式生物滤池工艺对 VOCs、NH₃ 和 H₂S 平均去除率分别达到 92.6%、84.3%、88.0%, 多填料卧式生物滤池对 VOCs 平均去除率达到 90.7%; 厂界无组织废气污染物浓度达一级标准, 废气处理成本为 6.32 元/万 m³。

关键词:多填料; 生物滤池; 低浓度; 无组织; 混合废气; VOCs; 运行实践

中图分类号: X51

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2020)05-0035-06

Treatment of low concentration mixed waste gas in chemical enterprises by multi-media biofilter

BAO Jiaze¹, MA Yuyin¹, JIANG Jianguo², YU Weidong^{1,3}, MA Wusheng², YU Zhiyong²

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Yangzhou Institute of Technology, Yangzhou 225000, China;

2. School of Biological and Chemical Engineering, Yangzhou Institute of Technology, Yangzhou 225000, China;

3. Jiangsu YuanMu Environmental Technology Co., Ltd., Yangzhou 225000, China)

Abstract: In order to improve the treatment effect of unorganized waste gas of chemical enterprises, spray + multi-filler horizontal biological filter process was used to treat low-concentration mixed waste gas. The results show that the average removal rate of VOCs, NH₃ and H₂S of this process are 92.6%, 84.3%, and 88.0%, respectively. The average removal rate of VOCs of the multi-filler horizontal biological filter reaches 90.7%. The concentration of unorganized waste gas in the plant boundary satisfies the first level standard. The unit treatment cost of volume waste gas is 6.32 yuan/(10,000 m³).

Key Words: Multi-media; Biofilter; Low concentration; Unorganized; Mixed waste gas; VOCs; Operation practice

0 引言

化工企业因其生产性质的特殊性, 在生产、公辅工程等环节易产生无组织废气排放, 包括 VOCs 废气、臭气等, 影响员工健康和环境空气质量。以 VOCs 为代表的化工企业无组织废气治理, 已成为企业环境保护热点问题, 也是环保部门推进大气环境质量提升的重点抓手。

目前, 化工企业无组织废气处理的工艺方法主要有以吸收^[1]、吸附^[2]、冷凝^[3]、膜法^[4]为代表的回收技术和以生物降解^[5]、燃烧^[6]、等离子^[7]、光催化^[8]、光解^[9]等为代表的销毁技术^[10]。传统的 VOCs 治理技术存在处理效果和稳定性不够理想、投资运行成本高、运行要求高、能耗高、易产生二次污染等现实问题。对于面源分布广、浓度低、成分复杂的无组织废气而言, 生物处理技术以其

收稿日期: 2020-05-25

基金项目: 扬州市科技计划项目-市校合作专项(基于多填料生物处理的 VOCs 废气治理关键技术研究, 项目编号: YZ2018142); 扬州市职业大学“基于地理信息的环境污染评价与治理技术”科技创新团队(编号: KYCXTD201906); 2017 年江苏省高等职业教育高水平骨干专业建设项目(环境工程技术)

第一作者简介: 鲍家泽(1985-), 男, 安徽枞阳人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为工业污染减排与清洁生产。E-mail: baojiaze@yzpc.edu.cn

技术成熟、安全稳定、低能耗、建设运行成本可行、操作要求低、场地环境适应性好、无二次污染等优势,成为近年来企业无组织废气治理的热点,呈现出良好的技术市场前景。

在兼顾工程化应用和企业成本控制需求前提下,采用创新设计的生物处理装置,联合其他必要的预处理工序,实现厂区无组织废气高效、低耗、稳定处理是技术关键。为此,我们以开发设计的多填料生物滤池为核心设备,采用“喷淋+多填料生物滤池”为工艺,开展某医药化工企业厂区无组织废气处理实践,以期为同类型项目提供参考借鉴。

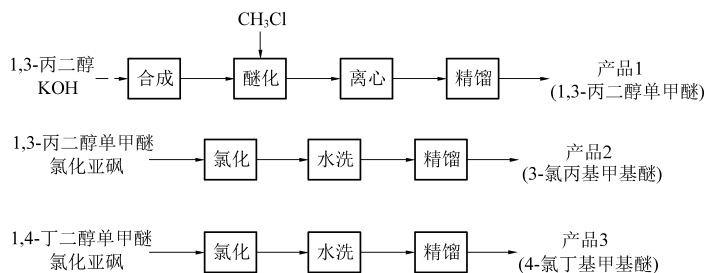


图1 生产工艺流程简图

无组织废气主要包括如下方面:

(1) 反应釜投料口废气: 反应釜投料过程中存在部分物料逸散, 产生挥发性 VOCs 废气。

(2) 离心区废气: 车间离心机为敞开式, 在频繁离心操作过程中, 母液中部分物料逸散产生 VOCs 废气。

(3) 称量区废气: 在车间取样称量操作时会产生一定的无组织 VOCs 废气。

(4) 卸料区废气: 车卸料过程中废气未作收集, 在卸料灌装过程中, 会产生无组织 VOCs 废气。

(5) 真空泵废气: 来源于真空泵尾气循环水箱, 主要成分是易挥发有机物和排空阀内排放出的有机废气。

1 无组织废气产生及源强估算

某化工企业占地面积约 2 万 m^2 , 主要从事 1, 3-丙二醇单甲醚、3-氯丙基甲基醚 (即: 1-氯-3-甲氧基丙烷) 以及 4-氯丁基甲基醚等产品的生产。主要原辅料为 1, 3-丙二醇、 CH_3Cl 、1, 3-丙二醇单甲醚、氯化亚砷、二甲基甲酰胺 DMF, 以及 1, 4-丁二醇单甲醚、氯化亚砷、二甲基甲酰胺 DMF 等。企业建设工程包括生产车间 (醚化生产线、氯化生产线), 以及真空泵机组、污水处理站、循环冷却塔等公辅工程。生产工艺流程见图 1。

(6) 污水处理池臭气: 企业污水处理池为敞开式, 污水处理过程中产生的臭气 (主要成分是 H_2S 、 NH_3 、硫醇、粪臭素等^[11]) 以无组织形式散发。此处以其中的 H_2S 和 NH_3 为主要污染物进行现状分析核算。企业兼氧池、厌氧池、SBR 池、生物滤池面积分别约 15、50、55、20 m^2 , 共 140 m^2 。参考同类污水处理厂各构筑物恶臭污染物无组织排放情况^[12], NH_3 、 H_2S 排放在生化池产生强度分别按 $0.0049 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $0.26 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 计, 核算企业曝气池恶臭污染物无组织产生量情况为 NH_3 0.021 6 t/a、 H_2S 0.001 5 t/a。

对企业各类废气污染物产生情况进行汇总, 见表 1。

表 1 企业无组织废气产生情况汇总

废气源	废气种类	操作时间 $/(\text{h} \cdot \text{a}^{-1})$	污染物 名称	产生情况				总产生 量/ $(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$
				废气量 $/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	速率 $/(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$	产生量 $/(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$	
车间	反应釜投料废气	92.0	VOCs	600	28.34	0.017	0.001 5	/
	离心区废气	340.0	VOCs	1 750	6.28	0.011	0.003 7	/
	称量区废气	90.5	VOCs	800	30.00	0.024	0.002 2	0.042 3
	卸料区废气	211.0	VOCs	2 200	30.00	0.066	0.013 9	/
	真空泵废气	180.0	VOCs	3 930	29.78	0.117	0.021 0	/
污水池	污水处理池臭气	/	NH_3	/	/	/	0.021 6	0.021 6
		/	H_2S	/	/	/	0.001 5	0.001 5

2 无组织废气处理工艺

2.1 无组织废气处理工艺流程

对车间无组织 VOCs 废气,设计相应尺寸的集气罩对车间无组织废气进行收集,集气罩在不影响生产运行的前提下,尽可能靠近污染源或工位。对污水池臭气设置盖罩密封(含收集管道)。考虑留有余量,总废气量约 11 000 m³/h,其中车间 10 000 m³/h、污水池 1 000 m³/h,废气平均浓度为 VOCs 0.534 mg/m³、NH₃0.224 mg/m³、H₂S 0.012 mg/m³。两

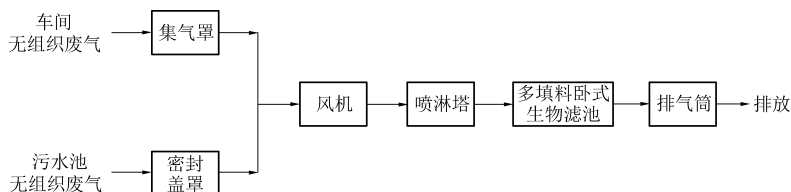


图 2 无组织废气处理工艺流程

2.2 多填料卧式生物滤池

多填料卧式生物滤池^[13]的结构见图 3,整体尺寸为长×宽×高=10 m×3.5 m×3 m,装置由四个反应室串联而成,单室尺寸为长×宽×高=2.3 m×3.5 m×3 m,填料层高度 1.8 m。其工作过程如下:在 1#室,废气从池上端进入,经喷淋水喷淋,部分有机物得到去除,经填料接触发生生物分解反应;经 1#室处理后的气体经底端出口进入 2#室,先与 2#室填料下方的蓄水池中的水接触去除部分有机

物,再通过管道经风机抽送形成混合废气,进入喷淋塔(尺寸:Φ×H=1.3 m×4.2 m)进行预处理,去除大部分 NH₃及部分其他生物臭气成分,喷淋水量 0.008 m³/s,喷淋水循环使用,考虑到水质、损耗及喷淋吸收效率,每 2 个月补充新鲜水,定期排放出少量循环水(约 3 t/a),纳入污水进入企业污水处理站。混合废气经预处理后进入多填料卧式生物滤池处理大幅度去除有机物 VOCs 和 H₂S。处理工艺流程见图 2。

物,再进入填料,在水力喷淋和填料附着的生物膜作用下,气体污染物浓度逐渐降低并得到较大程度削减。经 2#室处理后的废气从 2#室上端出口进入 3#室,在 3#室经喷淋水吸收、填料附着生物膜降解以及填料自身吸附后,被 3#室底部蓄水池中水进一步吸收,进而进入 4#室经填料附着生物膜、喷淋水、填料吸附共同作用,继续去除 VOCs 有机物,最后通过 4#室上端出气口接入管道后经高空排气筒排放。

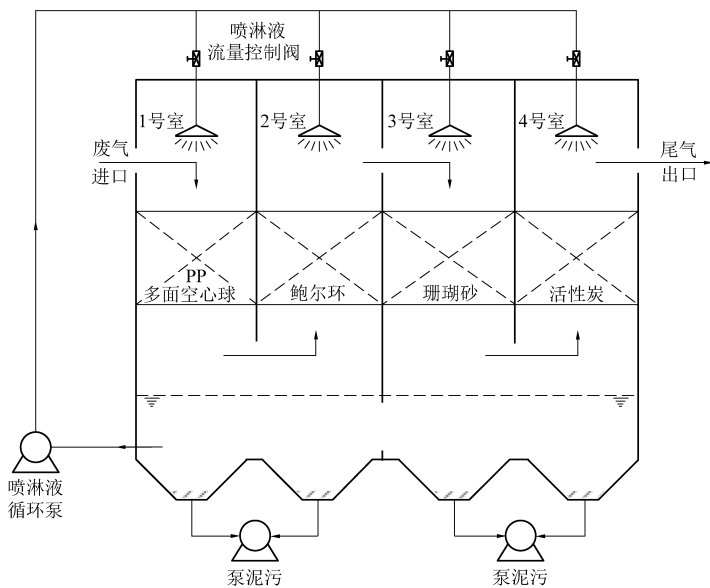


图 3 多填料卧式生物滤池结构

在填料方面,1#室、2#室采用 PP 多面空心球、鲍尔环等填料,便于生物膜生长;3#室、4#室采用

珊瑚砂、活性炭等填料,起着载体作用的同时还可利用自身的吸附作用去除低浓度 VOCs(特别是

VOCs 中疏水性成分), 进一步提高装置净化效果。在微生物菌种方面, 从野外枯枝落叶中采集并接种驯化白腐真菌 (*Exophiala*) 等适应低浓度、高浓度以及高酸度环境条件的优势菌属, 以及从污水处理厂生化曝气池采集并接种驯化假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、短杆菌属 (*Brevibacterium*) 等适应低浓度废气的优势菌属, 1#室、2#室微生物菌种以前者为主, 3#室、4#室微生物菌种以后者为主, 各室复合菌种具有较好的耐受性, 同时废气浓度低、多填料卧式生物滤池独特的结构及工序设计, 生物膜动态更新, 正常情况下可不用补充菌种。在喷淋水方面, 4#室、3#室与 2#室、1#室蓄水池连通, 以便 2#室、1#室蓄水池吸收的有机物补充给 4#室、3#室喷淋水, 避免 3#、4#室填料微生物有机负荷不足; 喷淋水按 1 月/次做少量补充和外排, 以弥补损耗、稀释水质, 外排的废水 (约 5 t/a) 进入企业污水处理站。

装置具有如下方面的结构优势: (1) 气体在装置中错流、“推流”运行, 浓度不断降低, 反应动力学条件好、VOCs 废气净化效率高, 装置紧凑。(2) 独特的可调节的喷淋设计实现“喷淋水吸收有机物”、“吸收的有机物为生物膜微生物提供营养”以及“调节喷淋强度优化运行条件 (例如缩短挂膜时间、生物膜更新)”的三重效果, 使装置“快启、快运”, 最大程度地吸收、分解有机物。(3) 较小的填料层高度使得氧气、喷淋水、有机物全层充足供应。(4) 多填料设置, 既适应高浓度气体也适应低浓度气体, 抗冲击负荷能力强, 同时, 气体性质兼容性好, 以“蓄水池水吸收+喷淋吸收+生物膜净化”机制去除了 VOCs 废气中易溶于水的成分, 以“生物膜净化+水力喷淋+珊瑚砂、活性炭填料吸附”机制去除了疏水污染物。

3 实践运行效果

3.1 运行效果

为考察工艺运行效果, 对废气进口、喷淋塔出口 (多填料卧式生物滤池进口)、排气筒出口污染物浓度进行持续监测, 监测方法如下:

VOCs: PGM-7380 型 ppb 级 VOCs 便携式测定仪 (美国华瑞科学仪器公司);

NH₃: 环境空气氨的测定 次氯酸钠-水杨酸分光光度法 (HJ 534—2009), 检出限为 0.004 mg/m³;

H₂S: 空气质量硫化氢、甲硫醇、甲硫醚和二硫化硫的测定采用气相色谱法 (GB/T 14678—93),

检出限为 $0.2 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ mg/m³。

监测结果如图 4 所示。

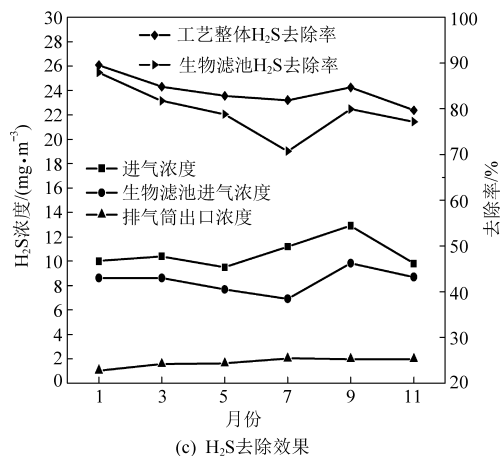
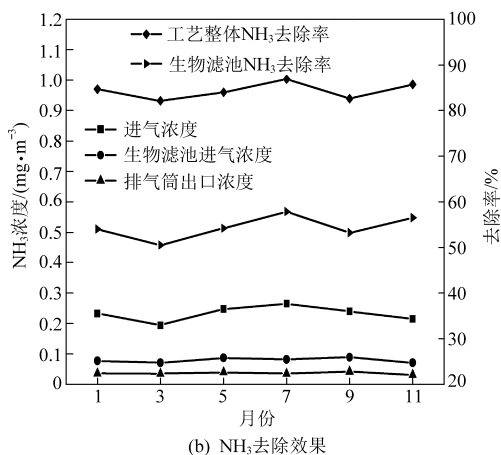
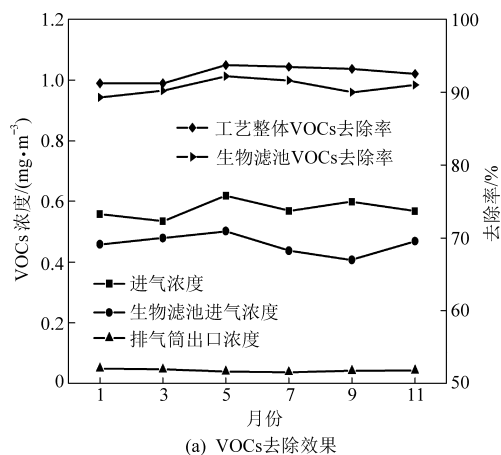


图4 工艺系统对废气不同成分去除效果监测

由图 4 的监测结果可知, 工艺系统对混合低浓度废气中 VOCs、NH₃ 和 H₂S 去除率分别为 91.2%~93.7% (平均 92.6%)、82.1%~86.9% (平均 84.3%)、85.8%~89.6% (平均 88.0%), 运行稳定。其中, 多填料卧式生物滤池对 VOCs 的去除率为 89.3%~92.2% (平均 90.7%), 效果优良; 同时对 H₂S 的去除率为 81.8%~86.5% (平均 84.6%)、对

NH₃ 的去除率为 50.5%~57.8% (平均 54.4%), 说明多填料卧式生物滤池对于化工企业恶臭治理也具有较好的适应性。

在实现混合废气污染减排的同时, 聚焦环境质量改善情况, 对企业厂区空气质量进行监测, 表 2 为工艺运行前后企业厂界无组织废气污染物浓度(最大值)。由表 2 可知, “喷淋+多填料卧式生物滤池” 工艺系统运行后, 厂区空气质量显著改善, 厂界 VOCs、NH₃、H₂S 浓度大幅度下降, 达到一级标准。

表 2 企业厂界废气污染物浓度(最大值)

厂界	mg · m ⁻³		
	VOCs	NH ₃	H ₂ S
实施前	0.141 0	0.065 0	0.002 4
实施后	0.011 4	0.014 0	0.000 6
一级标准*	2	1	0.03

*注: (1) VOCs 参考 DB 12/524—2014《工业企业挥发性有机物排放控制标准》;

(2) NH₃ 和 H₂S 参考 GB 14554—93《恶臭污染物排放标准》。

3.2 运行费用

运行费用主要是电费、填料更新及处置费。

(1) 电费

主要是机泵电费、生物膜污泥处理电费。

机泵电费: 风机功率 3 kW, 循环水泵 90 W; 污泥泵 2 台计 1.5 kW, 平均 15 天运行一次, 一次运行 0.25 h, 折算平均每天运行 0.017 h, 系统每小时运行电耗约 3.63 kW · h。

生物膜污泥压滤处理费: 新增电耗按每小时 0.1 kW · h。

因此, 工艺系统每小时电耗 = 3.63 + 0.1 = 3.73 kW · h, 按 0.65 元/(kW · h) 计, 则系统每小时运行电费 = 3.73 kW · h × 0.65 元/(kW · h) = 2.42 元。

(2) 填料更新及处置费

多填料生物过滤池填料寿命长、不易出现堵塞与故障、损耗小, 保守起见, 此处平均更换周期按 3.5 年计, 结合填料装填量, 活性炭、珊瑚砂、鲍尔环、PP 多面空心球更新处置费用约 6.2 万元、4.5 万元、1.5 万元、0.8 万元, 平均到每小时的填料更换及处置费用为 5.16 元。

综上, 工艺系统每小时运行费用 = 2.42 + 5.16 = 7.58 元, 每小时处理废气量为 12 000 m³/h, 折算单位体积废气处理费用 = 7.58 元/(12 000 m³/h)

= 6.32 元/万 m³。李倩^[14]报道的生物技术联合处理有机堆肥行业废气费用为 6.47 元/万 m³, 杨瑞洪^[15]报道的生物过滤工艺处理污水厂臭气费用为 14 元/万 m³。本工艺系统运行成本低, 工程化应用适应性好。

4 结论与展望

兼顾工程化应用和企业成本控制需求, 实现高效、低耗、稳定处理是化工企业无组织废气生物处理技术关键。

开发的多填料卧式生物滤池采用“卧式四室串联”、“可调节的独立喷淋”、“多填料”等结构设计, 使气体以错流、“推流”运行, 反应动力学条件好, 发挥了“喷淋”与“生物净化”双重效果, 净化效率高, 既适应高浓度气体也适应低浓度气体, 抗冲击负荷能力强、对气体成分亲疏水性质兼容性好。

以医药化工企业为例, 进行无组织废气来源分析及排放量估算, 采用“喷淋+多填料卧式生物滤池”工艺处理经收集后的低浓度混合废气。运行结果表明, 工艺系统对 VOCs、NH₃ 和 H₂S 平均去除率达 92.6%、84.3%、88.0%, 运行稳定。多填料卧式生物滤池对 VOCs 的平均去除率达 90.7%, 效果优良; 厂界无组织废气污染物浓度达一级标准, 工艺运行有效地改善了厂区空气质量。单位体积废气处理费用为 6.32 元/万 m³, 运行成本低廉、技术经济优势突出, 工程化应用前景好。

多填料生物滤池组合工艺处理化工企业低浓度混合废气, 破解了传统处理技术面临的现实问题, 实现技术、经济、环境效益的有效统一。后续应深入开展填料开发、微生物筛选及挂膜优化、有机物分解机制及微生物营养源精准调配等方面的研究, 进一步提升复杂成分废气的处理能力。

参考文献

- [1] 王语林, 袁亮, 刘发强, 等. 吸收法处理挥发性有机物研究进展 [J]. 环境工程, 2020, 38 (1): 21-27.
- [2] 石莉, 黄维秋, 胡志伦, 等. 油气冷凝和吸附集成回收工艺的研究 [J]. 石油学报 (石油加工), 2014, 30 (1): 87-93.
- [3] 冯健飞, 张杏锋, 高波. 罐区油气挥发性有机物治理技术研究进展 [J]. 能源环境保护, 2019, 33 (3): 10-14.
- [4] 宗传欣, 丁晓斌, 南江普, 等. 膜法 VOCs 气体分离技术研究进展 [J]. 膜科学与技术, 2020, 40 (1): 284-293.

- [5] 杨竹慧. 生物滴滤法净化恶臭及 VOCs 的应用研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2018: 11-15.
- [6] 张瑞波, 杨玉敏. 燃烧法处理石化企业 VOCs 试验研究 [J]. 能源环境保护, 2020, 34 (2): 53-56.
- [7] 姚水良, 章旭明, 陆豪. 低温等离子体净化挥发性有机物关键技术 [J]. 高压电技术, 2020, 46 (1): 342-350.
- [8] 鲍家泽. 能带结构和湿度与室内空气甲苯光催化降解中间产物及健康风险研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010: 3-9.
- [9] 王锦华, 杨军, 徐海波. 紫外光解处理石化污水臭气中 VOCs 的应用研究 [J]. 环境工程, 2019, 37 (7): 148-152.
- [10] 孟凡飞, 王海波, 刘志禹, 等. 工业挥发性有机物处理技术分析与展望 [J]. 化工环保, 2019, 39 (4): 387-395.
- [11] 肖作义, 杨泽茹, 郑春丽, 等. 生物滤池法去除城市污水处理厂臭气运行实践 [J]. 应用化工, 2019, 48 (3): 537-540.
- [12] 王喜红. 城市污水处理厂恶臭影响及对策分析 [J]. 黑龙江环境通报, 2011, 35 (3): 82-84.
- [13] 于卫东, 唐智洋, 于书尧. 一种多填料卧式废气生物过滤池 [P]. 中国专利: CN206139003U, 2017-05-03.
- [14] 李倩. 有机堆肥行业废气治理工艺研究 [J]. 节能与环保, 2019, 4: 88-89.
- [15] 杨瑞洪, 付乐. 生物过滤工艺在污水处理厂除臭工程中的应用 [J]. 工业安全与环保, 2015, 41 (9): 9-12.