

净化低浓度大风量恶臭气体的生物滴滤池中生物膜研究*

张甜甜^{1,2} 李建军¹ 岑英华¹ 孙国萍^{1**}

(广东省微生物研究所广东省菌种保藏与应用重点实验室 广州 510070)

(广东工业大学环境科学与工程学院 广州 510090)

摘要 采用内装塑料片、塑料丝、海绵块的中空鱼网状塑料球为填料的生物滴滤池,对某垃圾压缩站产生的低浓度大风量的含氨臭气进行了近1年的连续脱臭试验。研究了有关的净化效果与生物膜特性。在进口氨气浓度 $0.8\text{ mg/m}^3 \sim 1.5\text{ mg/m}^3$,风量 $8000\text{ m}^3/\text{h}$,停留时间 2.5 s ,氨气去除率为90%以上,达到国家一级排放水平。系统添加营养液时净化效果从75%提高到90%。3种填料的生物膜量、脱氢酶活性及硝化活性速率的排列顺序是:塑料片>塑料丝>海绵,并从工艺及填料方面探讨进一步提高净化效果的技术措施。

关键词 生物滴滤池,氨气,生物膜特性,填料

中图分类号:X512 文献标识码:A 文章编号:0253-2654(2007)06-1052-05

Study on the Biofilm Characteristics in Biotricking Filter Treating Odour Gas with Large Flow and Low Concentration*

ZHANG Tian-Tian^{1,2} LI Jian-Jun¹ CEN Ying-Hua¹ SUN Guo-Ping^{1**}

(Guangdong Institute of Microbiology, Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, Guangzhou 510070)

(Faculty of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090)

Abstract A biotricking filter which was packed with plastic striplike material, elasticity threadlike material and sponges was designed to remove odour from garbage compressing station. The air flow was increased to $8000\text{ m}^3/\text{h}$ to obtain EBRTs of 2.5 s . NH_3 elimination capacities were observed. The liquid medium recirculated resulted in an increase of the elimination capacity from $\eta = 75\%$ to $\eta = 90\%$. The biomass and microorganism activity on the filling materials were tested, the results shown that microorganism quantity and activity decreased in the order of plastic striplike material > elasticity threadlike material > sponges. Finally how to improve the treatment efficiency from the aspects of technics and types of film carriers were discussed.

Key words Biotricking filter, Ammonia, Biofilm pattern, Film carriers

生物滴滤池(Biotricking Filter)具有操作简便、处理成本低、无二次污染等特点,用于处理大风量、质量浓度低于 0.5 g/m^3 的气体时效果较好,成为近年来废气生物处理技术的研究热点^[1]。在欧美、日本等国家该技术被广泛地应用到实际工程中^[2],国内也有应用生物法治理污水处理厂臭气的报道^[3],而生物法处理垃圾压缩站低浓度大风量臭气的应用尚少。

随着经济的发展、城区面积的扩大以及居民生活水平的提高,广州市垃圾产生量呈逐年增加之势。

调查显示,生活垃圾成分中的57%是有机物(主要是餐厨垃圾),其中氮、氯、硫3种元素含量较高分别为1.13%,0.32%,0.11%。餐厨垃圾多油脂、高脂肪、高蛋白,蛋白质在微生物作用下,发生脱氨等反应,生成氨气及硫化氢,所以难闻气味的主要来源是蛋白质。

垃圾臭气成分主要是 NH_3 、 H_2S 、甲硫醇、三甲胺等,经长期对 NH_3 和 H_2S 浓度的检测表明, NH_3 浓度较高,高于国家恶臭污染物排放标准,而 H_2S 排放

* 广东省科技计划项目资助(No. 2005A30401002)广州市科技项目资助(No. 2004Z3-E0471)

** 通讯作者 Tel: 020-87684471, E-mail: ebitech@gd.ac.cn

收稿日期:2006-08-17,修回日期:2007-06-22

浓度则低于国标,故 NH_3 为主要的致臭物质之一,本文报道以城市垃圾压缩站为臭源,采用生物滴滤池对臭气进行净化,考察营养物的添加对 NH_3 去除效能的影响,并从生物膜的微观特性方面比较3种不同填料的挂膜特性,从工艺及填料方面探讨进一步提高净化效果的措施,以为同类生物除臭工程应用提供理论依据和实际指导。

1 试验装置与实验方法

1.1 试验装置示意图与工艺参数

生物滴滤池位于广州市某垃圾压缩站,臭气收集后先经喷淋塔增湿再进入生物滴滤池(图1),该一体式反应器尺寸 $2.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 3\text{m}$,填料层高度 1.5m ,容积 5.6m^3 ,采取气液逆流方式运行,气体流量 $8000\text{ m}^3/\text{h}$,空床停留时间 2.5s ,循环水量 $1.5\text{ m}^3/\text{h}$,填料为内装塑料片、塑料丝、小海绵块的中空鱼网状塑料球,2种规格 $\Phi 100$ 和 $\Phi 150$ 的球体投放比例为 $2:1$,孔隙率均 $\geq 97\%$,比表面积分别为装塑料片 $500\text{ m}^2/\text{m}^3$,塑料丝 $700\text{ m}^2/\text{m}^3$,海绵块 $300\text{ m}^2/\text{m}^3$,采取散堆形式投放,顶部设置采样口。挂膜初期每星期更换2次人工配制的营养液(C:N:P按 $100:5:1$ 的比例),并直接通入臭气进行循环液挂膜驯化。

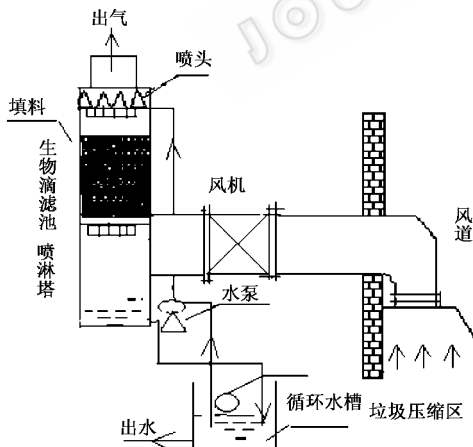


图1 生物滴滤池装置示意图

1.2 分析方法

NH_3 浓度:水杨酸分光光度法,pH值:BECKMAN < 720型pH计,气流量:ZRQF型智能风速计,液流量:水表。生物膜形态和结构特征用扫描电镜观察,生物膜脱落及生物膜厚度测定按文献[1]填料附着生物量测定参考文献[4],表示为g生

物量/g填料(干重),生物膜活性测定用脱氢酶活性与硝化活性速率表示,测定方法按文献[5],硝化细菌计数采用MPN法,细菌计数采用平板菌落计数法。

2 结果与讨论

2.1 添加营养液时滴滤池系统对 NH_3 的去除效能

在系统稳定运行后,喷淋层和填料层均采用一次水进行喷淋,在2个月内对反应器的进出气体及喷淋水进行8次检测,得到反应器对 NH_3 的去除效果见图2(A)。在 NH_3 进气浓度 $0.4\text{mg}/\text{m}^3 \sim 1.2\text{mg}/\text{m}^3$ 范围时,出气浓度 $0.12\text{mg}/\text{m}^3 \sim 0.3\text{mg}/\text{m}^3$,总的平均去除率为 78% 。生物滴滤池基本工艺参数不变的情况下,在一次水中加入营养盐后循环喷淋pH调至 $6.0 \sim 7.0$,气温 $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$,生物处理的去除率有所改善,系统的长期监测数据显示图2(B), NH_3 平均进气浓度在 $0.8\text{mg}/\text{m}^3 \sim 1.5\text{mg}/\text{m}^3$ 时,反应器稳定后的出气浓度小于 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$,去除率基本维持在 90% 以上。分析不同运行方式去除率存在差异的原因,生物反应器首先要确保微生物生存的基本条件,如环境中充足的营养物质、适当的温度等,微生物的生长繁殖不仅需要足够的有机基质,而且要有一定比例的C、N、P、S以及微量元素等营养成分,臭气可为微生物提供某些营养,但本试验处理的对象为低浓度的臭气,不能满足微生物生存的需要,故生物滴滤池补充营养液十分重要,只有在填料上形成活性较多的生物膜时,臭气的去除率才能提高。长期的营养缺乏必定影响微生物的生长

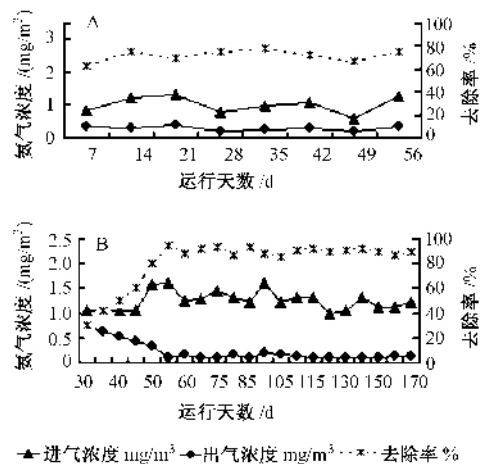


图2 未添加营养液时(A)和添加营养液时(B)氨气进出口浓度及去除率

繁殖,导致生物量减少,生物活性降低,影响基质的去除率。

2.2 生物膜活性评价及填料的对比分析

2.2.1 生物膜脱氢酶活性分析

生物膜中活性微生物的含量决定了单位质量生物膜所具有的对污染物氧化降解和利用合成的能力,从而影响废气的处理效果。由于有机物在生物体内的氧化是通过脱氢酶来进行的,脱氢酶的活性与水中营养物质的降解速率成正比,可用来评价各种填料上生物膜活性的高低。以系统是否添加营养液对比,分别测定3种填料的生物量及脱氢酶活性,并进行填料间的对比分析(图3)。研究结果显示生物滴滤池内添加营养液时,塑料片的生物量与脱氢酶活性均最高分别达到0.32g/g 填料干重和6.1 TF/g 生物量·h,塑料丝的生物量与脱氢酶活性分别为0.23g/g 填料干重和4.1 TF/g 生物量·h,海绵的生物量与脱氢酶活性均为3种填料最低值分别为0.08g/g 填料干重和2.3 TF/g 生物量·h,与未添加营养液时的生物量与脱氢酶活性比较,塑料片分别提高0.16g/g 填料干重和1.8 TF/g 生物量·h,塑料丝分别提高0.11g/g 填料干重和1.1 TF/g 生物量·h,海绵分别提高0.047g/g 填料干重和0.5 TF/g 生物量·h。可见在添加营养的条件下塑料片的生物量及脱氢酶值提高幅度最大,海绵最小。分析原因,塑料片填料表面积较大,有效生物膜发育良好,对微生物有较好的成膜性;塑料丝填料在本试验中挂膜效果较塑料片稍差,在大风量的气体剪切作用下,其表面的生物膜易脱落,填料表面吸附效果不佳,海绵的比表面积较小,易截留固体颗粒物,其表面可附着的生物量较少,且持水能力较强,可能增加系统的压降,其内部也可能因长

期持水而发生厌氧。塑料片为最佳填料。

同时,由系统对氨气的去除率测定结果,未添加营养液时出气浓度范围 $0.12\text{mg}/\text{m}^3 \sim 0.3\text{mg}/\text{m}^3$,总的平均去除率为78%,添加营养液后出气浓度小于 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$,总去除率基本维持在90%以上,表明营养为主要限制因素。

2.2.2 生物膜硝化活性分析

NH_3 的去除主要是通过硝化细菌作用转化为硝酸盐来去除的。通过开展3种填料硝化速率的对比试验,来比较不同填料的挂膜效果及考察反应器添加营养液后硝化速率与 NH_3 的去除效果之间的关系。实验结果如表1所示,初始培养液氨氮含量 100mg ,亚硝酸盐氮 75mg 。

以添加营养液时的最佳及最差填料数据来分析,在测定亚硝化速率时,随着氨氮的消耗,第10天后,塑料片亚硝化速率为 $26\text{mg}/\text{g}$ 生物量·d,亚硝酸盐的生成量达最大 70mg ,此时硝酸盐生成量 27mg 。海绵的氨氮硝化速率为 $18\text{mg}/\text{g}$ 生物量·d,亚硝酸盐生成量为 49mg ,此时硝酸盐生成量 16mg ,说明3种填料上都同时存在氨氧化细菌和硝化细菌,底物中氮的转移分2步,首先是氨氮在氨氧化细菌的作用下转化为亚硝酸盐氮,亚硝酸盐氮又进一步被硝化细菌作用转化为最终产物硝酸盐氮;在测定硝化速率时,硝酸盐氮生成量也随底物亚硝酸盐氮的消耗而渐渐增加。10天后,塑料片的硝化速率为 $21\text{mg}/\text{g}$ 生物量·d,硝酸盐生成量为 68mg ,海绵的硝化速率为 $13\text{mg}/\text{g}$ 生物量·d,硝酸盐生成量为 40mg 。根据生物滴滤池中氨氮、无机碳源、氧气和一定的pH值等条件,可推测出反应器中存在硝化作用,且各填料添加营养液后的亚硝化速率、硝化速率及产物均有不同程度的提高,具体数值见表1。系统对氨气的去除率测定结果,未添加营养液时出气浓度范围 $0.12\text{mg}/\text{m}^3 \sim 0.3\text{mg}/\text{m}^3$,总的平均去除率为78%。添加营养液后出气浓度小于 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$,总去除率基本维持在90%以上。得出系统对氨气的去除率提高主要靠增加营养的添加促使填料上的硝化菌的硝化活性增强来实现。

2.2.3 生物膜的厚度及形态结构特征观察

扫描Tijhuis^[6]利用显微测定技术研究生物膜中氧的分布,证实了好氧生物膜的活性厚度一般在 $50\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ 范围。本实验用填料生物膜典型厚度的观察结果显示,塑料片填料 $80\mu\text{m}$,塑料丝填料 $120\mu\text{m}$,海绵填料 $140\mu\text{m}$ 。

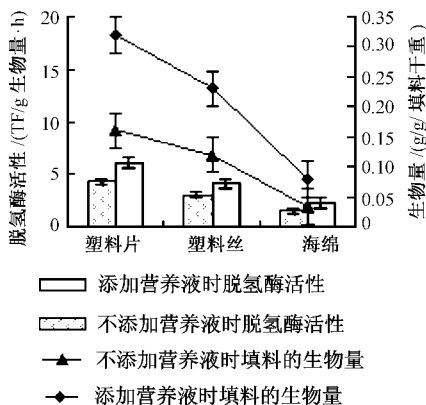


图3 三种填料的生物量及脱氢酶活性对比

40 μm ~ 100 μm ,且在添加营养后生物膜厚度均增加10% ~ 20%,塑料片填料为:95 μm ~ 145 μm ,塑料丝填料为:60 μm ~ 122 μm ,而系统对氨气的去除率测定结果,未添加营养液时出气浓度范围0.12 mg/m^3 ~ 0.3 mg/m^3 ,总的平均去除率为78%,添加营养液后出气浓度小于0.15 mg/m^3 ,总去除率基本维持在90%以上。

表1 三种填料上硝化细菌对底物的硝化速率及生成物对比

	填料					
	塑料丝		塑料片		海绵	
	-	+	-	+	-	+
亚硝化速率(mg/g 生物量 $\cdot\text{d}$)	16	20	21	26	12	18
亚硝酸盐生成量(mg)	55	63	61	70	41	49
硝酸盐生成量(mg)	21	23	23	27	10	16
硝化速率(mg/g 生物量 $\cdot\text{d}$)	10	15	16	21	8	13
硝酸盐生成量(mg)	57	63	63	68	35	40

注:+ 添加营养 - 未添加营养

电镜图显示片状填料表面起伏层叠,凸凹伸展;表面有丝状菌分布,呈束状缠绕,可见在气液逆流工艺及运行条件(气液比,营养等)下,塑料片和塑料丝生物膜的厚度处于膜活性厚度较高范围内。塑料片与塑料丝只有表面可附着生长,多孔海绵除表面外还有内部孔隙可供微生物生长,多孔海绵的生物膜厚度无法较准确的测定出来,但从海绵内部扫描电镜图观察到孔内生物膜分布不均匀,海绵内部空隙较大,对比来看,海绵内部的细胞数明显少于片状上的细胞数。生物膜颜色为浅褐色至褐色,见图4。故在选择填料时要慎重。

2.2.4 生物膜的生物量计数:在生物滴滤池内,发挥关键除臭作用的是微生物形成的生物膜。在同一运行环境下生物滴滤池内未添加营养时,塑料片填料的细菌总数为 2.8×10^6 个/g生物量,亚硝化细菌

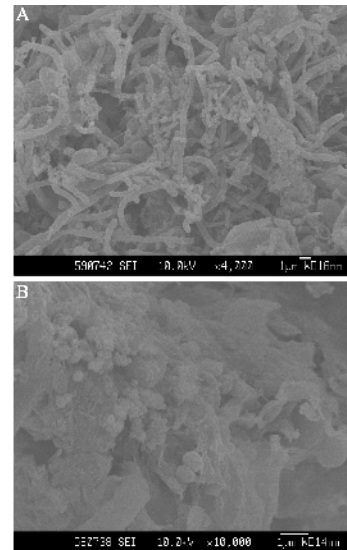


图4 塑料片(A)及海绵块内部(B)生物膜的扫描电镜图($\times 4000$)

数目为 6.5×10^5 个/g生物量,硝化细菌数目为 2.1×10^5 个/g生物量,最差的海绵填料细菌总数为 1×10^3 个/g生物量,亚硝化细菌数目为 6.3×10^2 个/g生物量,硝化细菌数目为 3.2×10^2 个/g生物量。随着营养液的添加,3种填料上的细菌总数,硝化及亚硝化细菌数都有不同程度的提高,具体数据见表2。同时,反应器对氨气的去除率随着营养盐的添加而提高,未添加营养液时出气浓度范围0.12 mg/m^3 ~ 0.3 mg/m^3 ,添加营养液后出气浓度小于0.15 mg/m^3 ,总的去除率由78%提高到90%以上。

实验结果成因分析如下:臭气成分以氨气为主,在生物膜的驯化及培养过程中,降解含氮物质的硝化细菌渐渐成为了优势种群,并且营养液的添加对生物量及生物膜活性均有影响,由于硝化细菌的增殖速率较慢,生物量增加幅度不及生物膜活性的增加幅度大,故反应器对氨气去除效果的提高更程度上来自于营养添加后生物膜活性的提高。

表2 生物滴滤池内微生物的数量计数

填料	细菌					
	总细菌(个/g生物量)		亚硝化细菌(个/g生物量)		硝化细菌(个/g生物量)	
	-	+	-	+	-	+
塑料丝	1×10^5	9.9×10^6	3×10^4	4.5×10^5	1.6×10^4	2.1×10^5
塑料片	2.8×10^6	3.6×10^7	6.5×10^5	9.2×10^6	2.1×10^5	3.6×10^6
海绵	1×10^3	1.3×10^4	6.3×10^2	7.8×10^3	3.2×10^2	4.9×10^3

注:+ 表示添加营养,- 表示未添加营养

3 结论及展望

(1) 经过近一年的试运行,该一体式生物滴滤池对氨气的去除效果比较稳定,反应器在 2.5s 停留时间,具有较高的除臭效率,在进口氨气浓度 $0.8 \text{ mg/m}^3 \sim 1.5 \text{ mg/m}^3$ 时,添加营养液循环喷淋时氨气去除率达 90% 以上,出口氨气在 0.15 mg/m^3 以下,达到《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93) 一级水平。

(2) 营养为净化效果的主要限制因素。

(3) 最佳填料为内芯填充塑料片的球体填料。

(4) 影响净化效果的其它关键因素还有菌种的投加及气体停留时间。进一步提高反应器净化效果可从这两方面进行,如在挂膜时,针对垃圾压缩站排放的臭气主要成份氨气,三甲胺,硫化氢及甲硫醇类物质^[7]按一定比例投加硝化细菌,硫氧化细菌会得到更好的去除效果,从本所的实验研究^[7]及工业应

用的成功实例^[3]可得到证实。适当减少风量增加气体与微生物接触反应的时间,可提高净化效果。同时,对填料进行适当的表面处理如化学氧化,低温等离子转型处理,使其表面带上正电荷,可提高挂膜速率。此外,以固定化生物颗粒作填料是脱臭填料开发过程中的一个最新动态。

参考文献

- [1] 徐晓军, 宫磊, 杨虹. 恶臭气体生物净化理论与技术. 北京: 化学工业出版社, 2004, pp.3~10.
 - [2] Shareefdeen Z, A Singh (Eds.), *Biotechnology for Odor and Air Pollution Control*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2005.
 - [3] 李建军, 梁燕珍, 陈桐生, 等. 微生物学通报, 2004, 1(5): 89~92.
 - [4] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理. 北京: 中国轻工工业出版社, 1998, pp.45~51.
 - [5] 马放, 任南琪, 杨基先. 污染控制微生物学实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002, pp.96~100.
 - [6] Tjihuis L. *Biotechnology and bioengineering*, 1994, 44(5): 595~608.
 - [7] 方向平, 罗永华, 邓穗儿, 等. 城市环境与城市生态, 2003, 16(1): 34~36.
- © 中国科学院微生物研究所期刊联合编辑部 <http://journals.im.ac.cn>