

室内装修三苯气体污染的 生物处理技术研究

吕 阳, 吕炳南, 刘 京, 邹金龙, 孔祥吉, 姜安玺
(哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 在烘烤排风稀释方法的基础上, 通过连接生物处理装置处理室内装修烘烤后排向大气的三苯气体(苯、甲苯、二甲苯)。烘烤排风后的三苯气体经过生物处理, 在气体流量为 600 L/h、循环液体流量为 20 L/h、pH 为 6~7、烘烤温度为 30℃条件下, 入口苯质量浓度为 2.254~46.733 mg/m³ 时, 苯净化效率为 65%~70%; 入口甲苯质量浓度为 0.510~28.254 mg/m³ 时, 甲苯净化效率为 93%左右; 入口二甲苯质量浓度为 4.166~59.008 mg/m³ 时, 二甲苯净化效率为 85%~90%。烘烤温度是 30℃和 35℃的工况比 40℃条件下生物滴滤池处理三苯气体效果要好。从生物反应器中分离出 3 株高效菌, 经过生理生化鉴定和 16SrDNA 测序, 建立了系统发育树, 鉴定出这 3 株菌分别属于 *Pseudomonas. sp.*、*Bacillus. sp.* 和 *Arthrobacter. sp.*, 研究结果表明: 通过生物处理能简便高效地消除烘烤后的室内三苯气体污染, 同时不会产生二次污染。

关键词: 三苯气体; 生物滴滤池; 生物处理; 菌属鉴定

中图分类号: X511

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2007)11-0059-04

Study of biological treatment on indoor air polluted by BTX

LU Yang, LU Bing-nan, LIU Jing, ZOU Jin-long, KONG Xiang-ji, JIANG An-xi

(School of municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: On the basis of bake-out exhaust, biological treatment is applied to dealing with BTX (benzene, toluene and xylene) exhaust outside of indoor air polluted. Under the condition of gas flux of 600 L/h, circulating flood flux of 20 L/h, pH of 6-7 and temperature of 30℃, BTX is treated with biological method before exhausted outdoor. When the concentration of benzene, toluene and xylene are 2.254-46.733 mg/m³, 0.510-28.254 mg/m³ and 4.166-59.008 mg/m³ respectively, the experiments results show that benzene, toluene and xylene purification efficiencies are 49%-73%, 66%-95% and 66%-90%, respectively. The purification efficiencies of BTX in biotrickling filter at temperature of 30℃ and 35℃ are better than that at 40℃. Three optimized bacterias are obtained from the biotrickling filter. They are identified physiologically and biochemically with the aid of sequencing the 16SrDNA and establishing the phylogenetic tree. They are *Pseudomonas. sp.*, *Bacillus. sp.* and *Arthrobacter. sp.*, respectively. This study indicates that not only biotrickling filter can solve indoor air pollution by BTX, but also it will not cause second pollution.

Key words: benzene, toluene and xylene; biotrickling filter; biological treatment; identification of bacteria

由于经济的快速发展, 居民室内的装饰、装修及家具越来越多样化, 越来越多的室内空气污染问题引起了人们的关注。自世界卫生组织 1974 年开始召开“室内空气质量与健康”的国际会议以来, 提出高效的室内污染防治方法已成为国内外研究的热点。生物法处理废气最早应用于脱臭, 近年来逐渐发展成为 VOCs(室温下会变成可吸入气体的有机化学物质)的新型污染控制技术。有关 VOCs 生物处理的报告最早出现在美国, 随后在德国、荷兰、日本、

瑞士、澳大利亚等国都得到了较广泛的应用, 30 多年的实践表明这是现阶段处理低浓度 VOCs 废气的有效方法^[1], 但对于室内装修形成的低浓度挥发性有机化合物的生物处理相关研究, 国内尚未见报道。

烘烤法是将室内温度在一定期间一次性升高, 以促进污染物的挥发, 达到减缓平时污染物发生率的目的, 在欧美和日本已得到普遍关注^[2]。该研究是在烘烤排风稀释法的基础上, 通过连接生物处理装置来处理排向大气的三苯气体^[3]。由于烘烤后的

收稿日期: 2007-07-05; 修回日期: 2007-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(50478026); 北京市重点实验室开放研究资助项目(KF200505)

作者简介: 吕阳(1980-), 男, 博士生; 吕炳南(1940-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事污染控制技术方面的研究, 通讯联系人, 0451-86284590,

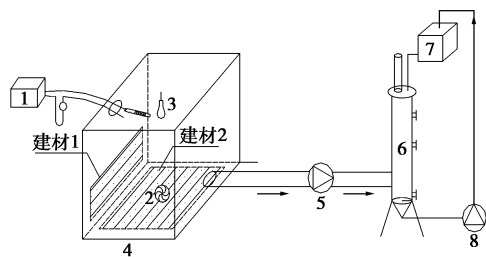
lyyang20022002@yahoo.com.cn。

有毒气体直接排入大气会造成室外环境污染,在楼宇密集区又会形成交叉污染。因此该研究通过在烘烤排风的基础上,连接生物处理装置以达到简便高效地消除室内三苯气体污染,同时不造成污染室外环境的目的。

1 材料与方 法

1.1 试验装置

该研究用试验箱来模拟实际新装修房间烘烤排风试验。生物处理装置为内径 9 cm,高 100 cm 的生物滴滤池,滴滤池内装有填料。该研究选用陶粒作为生物滴滤池的填料,经滤液水箱流下来的营养液以 20 L/h 的流速进入滴滤池,为滴滤池内的微生物提供营养物质。滴滤池下部接有连通器,将流出的营养液收于储液桶,桶内安置循环泵,定时将营养液打回滤液水箱。整个反应过程用流量计调节气体和液体流量,试验装置见图 1。



1—采样泵;2—搅拌扇;3—加热灯泡;4—试验模拟箱;
5—抽气泵;6—生物滤池;7—滤液水箱;8—循环泵

图 1 试验装置图

1.2 培养基

斜面保藏培养基的配制、普通培养基的配制、选择性无机盐培养基的配制参见文献[4]。

1.3 菌株的分离纯化及三苯气体降解率的测定

菌株的富集在含有 50 mL 选择性无机盐培养基

的 250 mL 三角瓶中进行,三苯气体的体积分数为 0.1%。培养条件为 28℃,转速为 200 r/min。在培养过程中,每 4~5 天从培养液中取出 0.5 mL 转入 50 mL 新鲜的同种培养基中。将最终的富集物梯度稀释、涂平板,28℃ 温箱培养 48 h 后分离含有不同污染物选择性无机盐培养基中的单菌。采用好氧振荡试管培养法(试管口径要小,以减少三苯气体的挥发),定时采样测定三苯气体的浓度,降解率=(污染物减少量-污染物挥发量)/(污染物总量-污染物挥发量)×100%。

1.4 16SrDNA 测序及同源性比较

采用 16S rDNA 基因的通用引物 BSF8/20,BSR1451/20^[5]扩增菌株基因组 DNA,取 3 μL 产物以质量分数 1% 琼脂糖凝胶电泳检测。产物回收后,克隆进 T-载体(宝生物),采用 M13 正反向通用引物进行测序。将测序结果用 BLAST 软件与 Genbank 中已登录的 16SrDNA 序列进行同源性比较。根据测序结果,笔者利用 NCBI 提供的 Blastn 工具和 Cluastx、PHyloDraw 等相关软件在 Gene Bank 数据库中找到了同源序列,并建立了系统发育树。

1.5 检测方法

三苯气体采样采用长 150 mm,内径为 3.5~4.0 mm 的活性炭吸附管,用 HP6890 进行气相色谱法分析。仪器运行条件为:HP-5 毛细柱,30 m×0.32 mm×0.25 μm;进样口温度 100℃,FID 温度 260℃,氢气 40 mL/min,空气 450 mL/min,载气氮气,衡压模式,柱前压 41.4 kPa,平均流速 24 cm/s,尾吹氮气气流 45 mL/min;自动进样,进样量 1 μL。样品分析时设定色谱峰保留时间为 10 min,升温程序起始温度 40℃(保持 2 min),然后以 5℃/min 升至 80℃,终温 100℃。外标法定量对系列浓度的三苯气体的 CS₂ 溶液进行加标回收率测定,回收率为 98%。

(上接第 58 页)

(3)使用提升管与未使用相比,整个装置能耗增加,并且随着汽油提升管反应温度的提高,整个装置能耗也会有所增加。

参考文献

[1] Corma A, Melo F V, Sauvanud L, et al. Light cracked naphtha processing: Controlling chemistry for maximum propylene production[J]. Catalysis today, 2005, 107/108(7): 699-706.
[2] 许友好,张久顺,马建国,等.生产清洁汽油组分并增产丙烯的催化裂化工艺[J].石油炼制与化工,2004,35(9):1-4.

[3] 戴宝华,施俊林,许友好,等.增产丙烯和生产清洁汽油组分技术的工业试验[J].现代化工,2006,26(7):665-669.
[4] Wang Longyan, Yang Bolun, Wang Guoliang. New FCC process minimizes gasoline olefin, increase propylene[J]. Oil Gas J, 2003, 101(6): 52-58.
[5] 李春义,杨朝合,山红红,等.两段提升管催化裂解多产丙烯研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(1):118-122.
[6] 李春义,杨朝合,山红红,等.两段提升管催化裂化生产丙烯工艺[J].石油化工,2006,35(8):749-753.
[7] 白跃华,高金森,李盛昌.催化裂化汽油辅助提升管降烯烃技术的工业应用[J].石油炼制与化工,2004,35(10):17-21.
[8] 高金森,徐春明,卢春喜.滨州石化催化裂化汽油辅助提升管改质降烯烃技术工业化[J].炼油技术与工程,2005,35(6):8-10. ■

2 结果与讨论

该试验结合烘烤排风及生物处理的实际情况来确定生物处理阶段的运行参数。根据换气次数对挥发性有机化合物去除量的影响研究表明:换气次数越大,排除量越高。但一味的增大换气次数既耗能又影响气体在生物处理装置的停留时间。本文根据前期试验确定进气流量为 600 L/h、液体流量为 20 L/h。

2.1 温度对净化效率的影响

试验温度分为 30、35℃ 和 40℃,不同温度下生物滴滤池处理三苯气体的净化效率分别见图 2、图 3 和图 4。

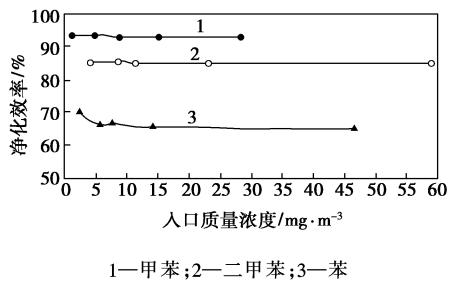


图 2 30℃ 时生物滴滤池处理 VOCs 气体净化效率

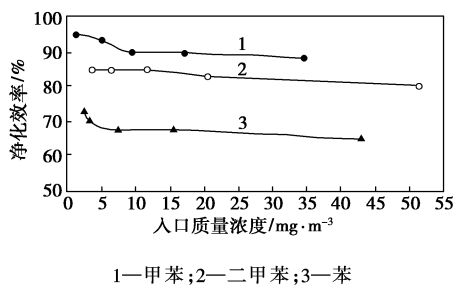


图 3 35℃ 时生物滴滤池处理 VOCs 气体净化效率

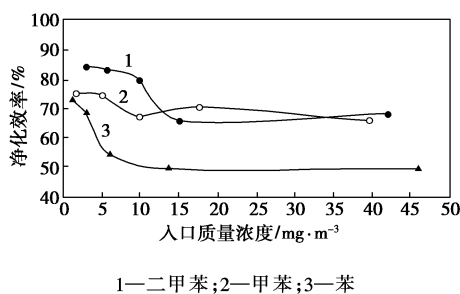


图 4 40℃ 时生物滴滤池处理 VOCs 气体净化效率

由图 2、图 3 和图 4 可见,在烘烤温度 30℃ 时,苯的净化效率为 65% ~ 70%,甲苯的净化效率为 93% 左右,二甲苯的净化效率为 85% 左右。在烘烤温度 35℃ 时,苯的净化效率是 65% ~ 73%,甲苯的净化效率为 88% ~ 95%,二甲苯的净化效率为 80% ~ 85%。而当烘烤温度为 40℃ 时,苯的净化效

率为 49% ~ 73%,甲苯的净化效率为 66% ~ 75%,二甲苯的净化效率为 66% ~ 84%。烘烤温度为 40℃ 的条件下,在排风阶段生物滴滤池处理三苯气体的净化效率低于烘烤温度为 30℃ 和 35℃ 的条件。分析原因是在好氧条件下,微生物酶系统酶促反应的最佳温度范围在 30℃ 左右,在这个温度范围内,微生物的生理活动旺盛^[6],也有研究表明,35℃ 是好氧微生物降解 VOCs 的最佳温度^[7]。

2.2 入口气体浓度对净化效率的影响

由文献[8]知,哈尔滨地区苯质量浓度范围在 0 (nd,未检出,下同) ~ 2.356 mg/m³,甲苯质量浓度范围在 0 ~ 3.054 mg/m³,二甲苯质量浓度在 0 ~ 8.723 mg/m³,该试验苯、甲苯、二甲苯经 30℃ 烘烤后最高浓度分别为 46.733、28.254、59.008 mg/m³,高出哈尔滨地区室内三苯气体实际浓度 7 倍以上,本文选择排风阶段不同浓度梯度的实测点作图,表征不同进气浓度下生物滴滤池净化效率。生物滴滤池净化效率与入口气体浓度的关系见图 5。

由图 5 可知,当入口苯质量浓度在 2.254 ~ 46.733 mg/m³ 时,净化效率为 65% ~ 70%。入口甲苯质量浓度为 0.510 ~ 28.254 mg/m³ 时,净化效率基本稳定在 93%。入口二甲苯浓度在 4.166 ~ 59.008 mg/m³ 时,净化效率为 85% ~ 90%。从空气净化的角度,可认为均达到理想效果。

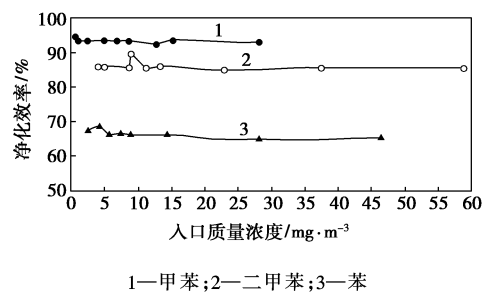


图 5 净化效率与入口气体浓度的关系

2.3 菌株的系统发育分析

分别在含苯、甲苯、二甲苯体积分数 0.1% 的培养液中于 0 h 和 72 h 取样,测定苯、甲苯、二甲苯浓度并计算其降解率,得到 3 株高效降解菌,其中菌株 L1、L4、L3 的苯、甲苯、二甲苯降解率分别为 89%、90% 和 85%。经 16SrDNA 测序及同源性比较,菌 L1 与多株 *Pseudomonas. sp*16SrDNA 的相似性水平达 99%,菌 L4 与多株 *Bacillus. sp*16SrDNA 的相似性水平达 94%,菌 L3 与多株 *Arthrobacter. sp*16SrDNA 的相似性水平达 98%。结合菌株的形态学和生理学特性,可基本确定分离的菌株 L1 为 *Pseu-*

domonas. sp, 菌株 L4 为 *Bacillus. sp*, 菌株 L3 为 *Arthrobacter. sp*。将获得的菌株与源性最高的细菌进行系统发育分析, 得到系统进化发育树的结构(如图 6 所示)。

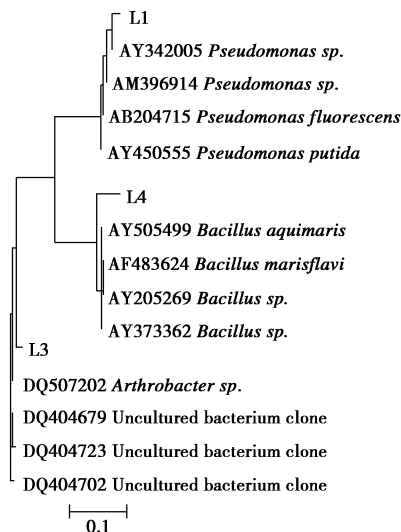


图 6 3 株细菌同相近序列采用 NJ 法构建的系统进化树

3 结论

(1) 气体流量为 600 L/h、液体流量为 20 L/h, 在烘烤温度 30℃ 时, 苯的净化效率是 65% ~ 70%, 甲苯的净化效率为 93% 左右, 二甲苯的净化效率为 85% 左右。在烘烤温度为 35℃ 时, 苯的净化效率为 65% ~ 73%, 甲苯的净化效率为 88% ~ 95%, 二甲苯的净化效率为 80% ~ 85%。而当烘烤温度为 40℃ 时, 苯的净化效率为 49% ~ 73%, 甲苯的净化效率是 66% ~ 75%, 二甲苯的净化效率是 66% ~ 84%。可见, 不同烘烤温度下, 在排风阶段生物滴滤池处理 VOCs 气体的净化效率不同, 烘烤温度是 30℃ 和 35℃ 的工况比烘烤温度是 40℃ 的工况生物滴滤池净化效果更好。

(2) 在 30℃ 烘烤温度条件下, 当入口苯质量浓度在 2.254 ~ 46.733 mg/m³ 时, 净化效率为 65% ~ 70%。入口甲苯质量浓度在 0.510 ~ 28.254 mg/m³, 净化效率基本稳定为 93%。入口二甲苯质量浓度为 4.166 ~ 59.008 mg/m³ 时, 净化效率为 85% ~ 90%。

(3) 分离得到 3 株高效降解菌, 其对苯、甲苯、二甲苯降解率分别为 89%、90% 和 85%。经 16SrDNA 测序及源性比较, 可基本确定菌株 L1 为 *Pseudomonas. sp*, 菌株 L4 为 *Bacillus. sp*, 菌株 L3 为 *Arthrobacter. sp*。

为了提高生物处理装置对室内装修三苯气体的去除效果, 高效降解菌的复配试验和生物强化技术将是今后的研究重点。

参考文献

- [1] 王丽燕, 王爱杰, 任南琪. 有机废气 (VOCs) 生物处理研究现状与发展趋势[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(6): 732 - 735.
- [2] 吕阳, 刘京, 吕炳南. 关于室内装修有害气体烘焙排风稀释技术数值研究[J]. 环境保护科学, 2006, 32(5): 8 - 11.
- [3] Li J, Liu J, Lu Y. Improve of IAQ by a new bake-out method based on chamber tests[C]// Tsinghua University, the 10th international Conference on Indoor Air Quality and climate. Beijing: Tsinghua University, 2005: 3075 - 3079.
- [4] 马放, 任南琪, 杨基先. 污染控制微生物学实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002.
- [5] Anderson I C, Pot H M, Homstead J, et al. A comparison of NO and N₂O production by the autotrophic nitrifier *Nitrosomonas europaea* and the heterotrophic nitrifier *Alcaligenes faecalis* [J]. Appl Environ Microbiol, 1993, 59(11): 3525 - 3533.
- [6] Buchanan R E, Gibbons N E. Bergey's manual of determinative bacteriology[M]. 8th Edition. Baltimore: The Williams & Wilkins Company, 1974.
- [7] 都基峻, 季学李, 羌宁. 生物滴滤净化 VOCs 进展[J]. 环境保护科学, 2004, 30(5): 1 - 3.
- [8] 王琨. 室内空气污染物检测与预测及其控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004. ■

耐醇塑胶漆树脂 DEGALAN[®] VP M 710

成膜基料与助剂部门 (Evonik Degussa GmbH 之特种丙烯酸事业部的下属部门) 于 2007 年 10 月 4 日宣布, 用于耐醇塑胶漆的甲基丙烯酸树脂新产品 DEGALAN[®] VP M 710 开始投放市场。

丙烯酸树脂以其出色的抗 UV 光、抗皂化、不褪色和光泽持久, 以及耐化学品性在许多领域得到广泛应用。通过选用适当的甲基丙烯酸共聚单体, 可以使丙烯酸树脂涂料系统非常经久耐用, 特别在户外尤其如此。塑胶件由于使用功能的原因 (保护底材) 及提高视觉效果的原因 (装饰底材) 等, 需要对其进行涂装。

日用品如家用电器、手机、DVD 机及玩具等的塑胶表面在

使用中经常受到洗涤剂、手汗和机械压力等的影响。而且, 塑胶件通常由深色的模压料组成, 也经常使用回收料。因此通过涂料可以使这些挤出件受到保护并在外观上更具吸引力。

传统洗涤剂含较高酒精而使未涂装的塑胶易开裂, 而 DEGALAN[®] VP M 710 以其特殊的性质可以避免这样的事情发生: 以此为基料的涂料具有优异的抗传统洗涤剂及耐化学品性。此外, 基于 DEGALAN[®] VP M 710 的涂料在 ABS, PS, HIPS, PVC 等各种基材上有良好的附着力, 这种新树脂还有良好的铝粉排列效果和出色的颜料湿润性以保证涂料的高光泽。最后, 它还能保证涂料拥有卓越的耐候性能和耐机械冲击性能。(周雯怡)