



移动扫码阅读

李雪英.生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景[J].能源环境保护,2019,33(4):1-3+10.

LI Xueying. Research status and application prospect of biological treatment of gaseous pollutants[J]. Energy Environmental Protection, 2019, 33(4): 1-3+10.

# 生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景

李雪英

(大理大学 农学与生物科学学院, 云南 大理 671003)

**摘要:**介绍了气态污染物生物净化技术的基本原理,分析了生物法净化技术在挥发性有机物、含硫废气、NO<sub>x</sub>、废气污染物处理方面的应用情况。生物法净化处理技术涉及到气、液、固相传质及生化降解过程,其影响因素多且复杂,相关理论研究及实际应用并不深入,对反应动力学模式、动态负荷、填料特性、废气降解超级菌的选育将是今后研究的重点。

**关键词:**生物处理技术;废气;应用前景

中图分类号:X701 文献标志码:A 文章编号:1006-8759(2019)04-0001-03

## Research status and application prospect of biological treatment of gaseous pollutants

LI Xue-ying

(College of Agriculture and Biological Sciences, Dali University, Dali 671003, China)

**Abstract:** In this paper, basic principle of biological purification technology for gaseous pollutants was introduced. The application of biological purification technology in the treatment of volatile organic compounds (VOCs), sulfur-containing waste gas and NO<sub>x</sub>-containing waste gas was analyzed. Biological technology involves processes such as mass transfer between gas, liquid and solid phases and biochemical degradation. It is affected by many complex impact factors. Its theoretical study and practical application are immature for now. Future research will focus on reaction kinetic models, dynamic load, property of filling materials and breeding of degrading super-bacteria for waste gas.

**Key words:** Biological purification technology; Waste gas; Application prospect

## 0 引言

气态污染物的生物法净化技术是在生物法污水处理技术的基础上发展起来的工业废气净化技术。近年来,该技术受到了环保工作者的广泛关注,成为了当前工业废气净化研究的热点之一。在德国、日本等国已有采用生物法净化有机废气并取得成功的实例,约有近千座生物净化装置投入工业生产<sup>[1]</sup>。国内在运用生物法处理废气的研

究起步较晚,目前仅有同济大学、昆明理工大学等单位进行了尝试。与传统的废气净化方法(如吸收法、吸附法、焚烧法)相比,生物净化具有设备简单、运行费用低、不会引起二次污染等优点<sup>[2-6]</sup>。近年来的研究与实践表明,对低浓度气态污染物进行处理时,常规技术既不经济也不能达到有效的处理效果,而生物净化技术对低浓度工业废气净化处理则是行之有效,且具有明显的技术和经济优势<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2019-02-14

基金项目:云南省教育厅科学研究基金项目(2017ZDX017),大理研究院科学研究基金项目(KYDL201705),大理大学青年教师科研基金项目(KYQN201519)

作者简介:李雪英(1976-),女,云南大理人,硕士,讲师,主要从事微生物大气污染防治的研究。E-mail:lxycy@163.com

## 1 气态污染物生物净化技术原理简介

生物净化气态污染物的过程实质就是利用微生物的生命活动将废气中的有害物质作为其生命活动的能源或养分的特性,经代谢降解转化为简单的无机物,如二氧化碳、水等或细胞组成物质<sup>[7]</sup>。废气中的有害物质首先要经过由气相到液相的传质过程,然后在液相中被微生物降解。废气中的有害物质通过上述过程不断减少,最终得到净化。

## 2 生物法在不同气态污染物处理方面的应用

### 2.1 挥发性有机化合物(VOCs)

挥发性有机化合物(VOCs, Volatile Organic Compounds)是指在常温下饱和蒸气压大于 70 Pa,常压下沸点在 260 °C 以内的有机化合物<sup>[8]</sup>。主要包括碳氢化合物、氨气、苯及其衍生物、酚及其衍生物、醛类、醇类、酮类和脂肪酸等<sup>[9]</sup>。生物法处理有机废气在德国、美国、荷兰和日本等国已得到广泛的应用,技术已十分成熟。Braintech GmbH, Bayer AG, Roth, Bioteg, HHAS, Monsanto, Comprimo B V 等公司提供的成套装置已经成功地运用到处理酿酒厂、食品厂和化工厂等产生的有机废气,这些装置对 VOCs 的去除率在 50 %~99 % 之间<sup>[10]</sup>。Daekeun Kim 等<sup>[11]</sup>研究利用微生物去除甲苯,去除率达到 99 %。Estela Pagans 等<sup>[12]</sup>研究了生物滤池同时去除 NH<sub>3</sub> 和挥发性有机物的效率,当 NH<sub>3</sub> 的负荷在 846~67 100 mg/m<sup>3</sup> 时,其平均去除率为 94.7 %,而当 VOCs 的负荷在 0.55~28.8 g/m<sup>3</sup> 时,其最大去除率为 82 %。汪群慧<sup>[13]</sup>等采用装有 ZX02 型特制生物滤塔对某药厂青霉素生产车间产生的含醋酸丁酯、正丁醇和苯乙酸等复杂组分的混合有机废气进行动态连续处理,当该药厂有机废气正常排放时,生物滴滤塔能有效去除混合废气中 VOCs,特别是当醋酸丁酯、正丁醇和苯乙酸的最大进气质量浓度分别低于 20 000 mg/m<sup>3</sup>、24 000 mg/m<sup>3</sup> 和 370 mg/m<sup>3</sup> 时,其去除率分别大于 95 %、92 % 和接近 100 %。韩洪彬<sup>[14]</sup>报道在某抗生素制药企业采用生物法治理水解池和污泥脱水系统产生的臭气,去除率达到 80 % 以上,排放浓度低于国家排放标准。在处理难溶性废气时,孙佩石等<sup>[15]</sup>人提出了“吸附-生物膜”理论。

### 2.2 含硫废气

意大利斯尼亚公司采用生物滤塔净化 CS<sub>2</sub>、

H<sub>2</sub>S 废气, H<sub>2</sub>S 去除率达到 85 % 以上, CS<sub>2</sub> 去除率达到 87 % 以上<sup>[16]</sup>。王洁等<sup>[17]</sup>采用生物膜填料塔净化 CS<sub>2</sub> 废气, CS<sub>2</sub> 去除率可达到 70 % 以上。孙佩石等<sup>[18]</sup>采用生物膜填料塔处理工业废气中的 SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和 NO<sub>x</sub>, 结果表明, SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和 NO<sub>x</sub> 3 种废气的生化去除量可达 90~150 mg/(L·h), 去除率分别达到了 93 %、98 % 和 96 %。殷峻等<sup>[19]</sup>采用泥炭生物滤塔处理低浓度 H<sub>2</sub>S, 当进气浓度为 3~70 mg/m<sup>3</sup> 时, 去除率达到 99 % 以上。

### 2.3 氮氧化物(NO<sub>x</sub>)

氮氧化物(NO<sub>x</sub>)作为主要的空气污染物是诱发光化学烟雾和酸雨的主要原因之一。全球每年排入大气的 NO<sub>x</sub> 达 3 000 万吨, 而且还在持续增长。因此, 对 NO<sub>x</sub> 的治理研究已成为环保领域的研究热点之一<sup>[20]</sup>。目前, 对 NO<sub>x</sub> 的净化处理的方向主要有两种: 一是生物还原作用, 即反硝化脱氮; 二是生物氧化作用, 也就是硝化作用。

#### 2.3.1 反硝化脱氮

利用脱氮菌在低氧或缺氧的条件下, 将 NO<sub>x</sub> 还原为 N<sub>2</sub>。据报道<sup>[21]</sup>, 爱德荷国家工程实验室(Idaho National Engineering Laboratory)的研究人员利用脱氮菌还原烟道气中 NO<sub>x</sub>, 将 NO<sub>x</sub> 浓度为 100~400 mg/m<sup>3</sup> 的烟气通过一个生长绿脓假单胞脱氮菌(Pseudomonas denitrificans)塔, 烟气在塔中停留时间约为 1 min, 测得当 NO<sub>x</sub> 进口浓度为 335 mg/m<sup>3</sup> 时, NO<sub>x</sub> 的去除率达到 99 %。张华等<sup>[22]</sup>用矿化垃圾作生物滤床填料, 并添加反硝化菌培养液, 处理 NO<sub>x</sub> 与氮气的混合气体, 当气体在滤床中的停留时间为 3.8 min 时, NO<sub>x</sub> 的去除率达 90 %, 停留时间延长至 7.5 min 时, NO<sub>x</sub> 的去除率达 96 %。蒋文举等<sup>[23]</sup>利用活性污泥中的反硝化细菌处理 NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>、NO 的去除率分别达到 99 %, 90 %。樊凌雯<sup>[24]</sup>用脱氮硫杆菌对 NO<sub>x</sub> 进行处理, 使排入大气中的 NO<sub>x</sub> 含量由原来的 2~5 mg/m<sup>3</sup> 降到 0.5 mg/m<sup>3</sup> 以下, 处理后的硝酸尾气中 NO<sub>x</sub> 浓度远低于国家排放标准。

#### 2.3.2 硝化作用

利用微生物将 NO<sub>x</sub> 转化为硝酸盐的过程称为硝化作用。戴维斯加州大学首先提出硝化处理 NO 的生物滤器的研究。Davidova 等<sup>[25]</sup>用含有硝化细菌的污泥作生物滤床填料, 喷淋液采用 NH<sub>4</sub>Cl 和 Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 无机矿物质缓冲液, 当进气 NO 浓度为 107 mg/m<sup>3</sup> 时, NO 的去除率达 70 %。Chou

等<sup>[26]</sup>用炉渣作填料的生物滴滤塔处理 NO, 当 NO 进气浓度为 1 195 ~ 1 658 mg/m<sup>3</sup>、滞留时间为 118 s 时, NO 去除率为 80 %。Okuno 等<sup>[27]</sup>将含硝化细菌的土壤装填到滤塔中, 对 NO 进行处理, 进气 NO 浓度为 2.1 mg/m<sup>3</sup>、滞留 2 min 时, NO 去除率为 60 % 左右。陈建孟等<sup>[28]</sup>采用亚硝酸盐为唯一氮源, 不添加有机碳源, 在 3 种不同孔径 8、18、24 孔/cm<sup>2</sup>的多孔碳表面培养自养型亚硝酸盐硝化菌。试验结果表明, 当进口负荷 NH<sub>3</sub> 在 200 ~ 800 mg/(L · min) 的范围内, 24 孔/cm<sup>2</sup>的多孔碳过滤器的硝化速率最大, 达到 94 % ~ 98 %。

### 3 前景与展望

随着我国经济的不断发展以及工业化进程的不断加快, 生产生活过程中不可避免的会产生有毒有害气体, 运用现有的传统废气净化技术不仅成本高、处理效率低, 而且还会造成二次污染。生物法净化处理技术以其处理效率高、运行成本低、操作简单、对环境友好且无二次污染等特点越来越受到人们关注。在德国和荷兰生物净化处理工业废气的应用已有三十多年的历史<sup>[29]</sup>。在国内, 生物法净化处理技术处理废气尚未得到广泛应用。生物法净化处理工业废气主要是在生物反应器中进行, 涉及到气、液、固相传质及生化降解过程, 其影响因素多且复杂, 相关理论研究及实际应用均不够深入, 许多问题还需进一步研究解决。例如对生物废气净化处理技术的反应动力学模式、动态负荷、填料特性、废气降解超级菌的选育等将是今后研究的重点<sup>[30]</sup>。随着生物净化处理技术在气态污染物处理研究的不断深入, 相信在不久的将来, 生物净化处理技术在工业废气的净化处理方面就能取代传统的处理技术而得到广泛的应用, 前景十分广阔。

### 参考文献

[1] 李大梅, 赵李李. 生物法处理挥发性有机废气的研究概况[J]. 江西化工, 2018(3): 37-39.

[2] 王家德, 陈建孟, 唐翔宇. 有机废气的生物处理概述[J]. 上海环境科学, 1998, 17(4): 21-24.

[3] Corsi R, Sees L. Biofiltration of BTEX: media, substrate loading effects[J]. Environmental Progress, 1995, 14(3): 151-159.

[4] Sorial G A, Smith F L. Evaluation of trickle bed air biofilter performance for BTEX removal[J]. J. Environ. Eng., ASCE, 1997, 123(6): 530-540.

[5] Hartmans D S, Tramper J. Dichloromethane removal from wast

gases with atrickle bed bioreactor[J]. Bio. Process Eng., 1996, 1(6): 83-92.

[6] Diks R M M, Ottengraf S P P. Verification studies of a simplified model for the removal of dichloromethane from waste gases using biological trickling filter[J]. Bio. Process Eng., 1991, 6(3): 93-99.

[7] 吴昊. 低浓度 VOCs 废气的生物滴滤法处理研究[D]. 延边大学, 2018.

[8] 李国文, 胡洪营, 郝吉明, 等. 生物过滤塔、生物滴滤塔降解苯和甲苯的性能比较[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 122-126.

[9] 郭海侠. 工业有机废气治理措施前后 VOCs 成份特征变化的实测研究[D]. 华南理工大学, 2013.

[10] Ottengraf S P P, Oever A H C V D. Kinetics of organic compound removal from waste gases with a biological filter[J]. Biotech Bioeng, 1983, 25(12): 3089-3102.

[11] Kim D, Cai Z, Sorial G A. Behavior of trickle-bed air biofilter for toluene removal: effect of non-use periods[J]. Environmental Progress, 2005, 24(2): 155-161.

[12] Estela Pagans, Xavier Font, Antoni Sánchez. Coupling composting and biofiltration for ammonia and volatile organic compound removal[J]. Biosystems Engineering, 2007, 97(4): 491-500.

[13] 汪群慧, 田书磊, 张兰河, 等. 生物滴滤塔处理青霉素车间 VOCs 中试研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(12): 2089-2093.

[14] 韩洪彬. 生物法处理污水厂废气工艺应用实例[J]. 环境科学与管理, 2005, 30(3): 82-86.

[15] 孙佩石. 生化法净化低浓度挥发性有机废气的动力学模式研究[J]. 上海环境科学, 1997, 16(8): 13-14.

[16] 刘荷想, 刘月梅. 意大利斯尼亚公司的 H<sub>2</sub>S、CS<sub>2</sub> 废气治理技术[J]. 人造纤维, 2000(1): 29-31.

[17] 王洁, 孙佩石. 生物膜填料塔净化 CS<sub>2</sub> 废气的初探[J]. 贵州环保科技, 2004(3): 1-4.

[18] 孙佩石, 王洁, 吴献花, 等. 生物法净化几种气态污染物的研究[J]. 中国工程科学, 2007, 9(1): 74-77.

[19] 殷峻, 方士, 陈英旭, 等. 泥炭生物滤塔处理低浓度 H<sub>2</sub>S 气体的试验研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 39-42.

[20] 李晓东, 杨卓如. 国外氮氧化物气体治理的研究进展. 环境工程, 1996, 14(2): 34-39.

[21] G. Samdam. Microbes nosh on NO in fluegas. Chemical Engineering, 1993, 100(10): 25-26.

[22] 张华, 赵由才. 生物法处理氮氧化物废气的原理与技术研究进展[J]. 山东建筑工程学院学报, 2005, 20(3): 55-58.

[23] 蒋文举, 毕列锋, 李旭东. 生物法废气脱硝研究[J]. 环境科学, 1999, (3): 34-37.

[24] 樊凌雯, 冯安吉, 张肇铭. 应用生物技术净化硝酸尾气小试. 应用与环境生物学报, 1999, 5(S1): 61-63.

[25] Davidova Y B, Schreder E D, Chang D P Y. Biofiltration of nitric oxide[A]. Proceedings of the 90th Annual Meeting and Exhibition of A & WMA [C]. Canada: Toronto, Ontario, 1997, (6): 558-563.