

生物滤池高径比对其去除恶臭物质和微生物气溶胶特性的影响*

刘建伟^{1,2} 高柳堂^{1,2}

(1.北京建筑大学北京市可持续城市排水系统构建与风险控制工程技术研究中心,北京 100044;

2.北京建筑大学北京应对气候变化研究和人才培养基地,北京 100044)

摘要 为研究生物滤池不同高径比对恶臭物质(H_2S 、 NH_3)和微生物气溶胶(细菌和真菌)的去除率影响,设计了不同高径比(1:1、2:1、4:1、6:1和8:1)的生物滤池,研究其处理效果。结果表明:(1) H_2S 和 NH_3 的去除率均随生物滤池高径比的增大而升高,高径比为8:1时不同气体停留时间下的 H_2S 和 NH_3 去除率均最高。(2)细菌和真菌的去除率也均随高径比的增大而升高,也是高径比为8:1时不同气体停留时间下的细菌和真菌去除率均最高。(3)生物滤池高径比较小时,细菌和真菌的粒径相对较小;而生物滤池高径比较大时,细菌和真菌的粒径相对较大。由此可见,增大生物滤池高径比可以有效提高恶臭物质和微生物气溶胶的去除率,减少小粒径的微生物气溶胶排放,最佳高径比为8:1。

关键词 生物滤池 污水处理 恶臭物质 微生物气溶胶 高径比

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2018.01.004

Effect of height/diameter of the biofilter on the removal characteristics of odorous substances and microbial aerosols LIU Jianwei^{1,2}, GAO Liutang^{1,2}. (1. Beijing Research Center of Sustainable Urban Drainage System and Risk Control, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044; 2. Beijing Climate Change Response Research and Education Center, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044)

Abstract: In order to explore the effect of height/diameter (H/D) of the biofilter on the removal efficiencies of odorous substances (H_2S and NH_3) and microbial aerosols (bacteria and fungi), biofilters with different H/D of 1:1, 2:1, 4:1, 6:1 and 8:1 were designed. Result showed that: (1) removal efficiencies of H_2S and NH_3 increased with the increase of H/D. (2) So did that of bacteria and fungi. The removal efficiencies all reached peak when H/D was 8:1. (3) When H/D was low, the particle sizes of bacteria and fungi were relatively small, but when H/D was high, the result was converse. In conclusion, increase of H/D could increase the removal efficiencies of both odorous substances and microbial aerosols and decrease small particle size microbial aerosols discharged. The best H/D should be 8:1.

Keywords: biofilter; wastewater treatment; odorous substance; microbial aerosol; height/diameter

近年来,城市生活污水普遍得到了有效处理,然而在污水处理过程中,污水中的恶臭物质和粒径较小的微生物气溶胶仍不能得到有效控制^[1]。污水处理厂产生的恶臭物质主要是 H_2S 和 NH_3 。微生物气溶胶中主要是异养细菌和真菌等微生物粒子^[2]。生物法因适用于处理气量大、浓度低的气体,而且具有成本低、处理效率高、基本无二次污染等优点,已被广泛应用,并取得了较好的效果^[3-6]。生物滤池是以生物法为原理的气体处理设施,能截留进气中的微生物粒子和恶臭物质^[7-9]。

目前,关于生物滤池去除恶臭物质和微生物气溶胶具体设计和运行参数的研究非常有限。生物滤

池高径比是重要的设计参数之一。本研究通过建立不同高径比的小试规模生物滤池,研究其对恶臭物质和微生物气溶胶的去除效果,以期为生物滤池装置结构设计优化提供理论支持。

1 试验方法

1.1 工艺流程

生物滤池装置如图1所示,主体为有机玻璃,高径比分别设计成1:1、2:1、4:1、6:1、8:1,但有效容积均为4.7 L,填料为孔隙率97%的海绵,填料比表面积为 $240\text{ m}^2/\text{m}^3$,填料堆积密度为 $0.03\text{ g}/\text{cm}^3$,布气板设置在装置底部。

第一作者:刘建伟,男,1979年生,博士,副教授,主要从事污水处理和生物除臭技术研究。

* 国家自然科学基金资助项目(No.50908009);北京市科技计划课题(No.D151100005115002);北京建筑大学教师队伍建设—教师教学促进—双培计划虚拟教学团队建设(市级)(2017年)项目(No.BJXM2017-014210-00001);北京建筑大学科研基金资助项目(No.00331615020)。

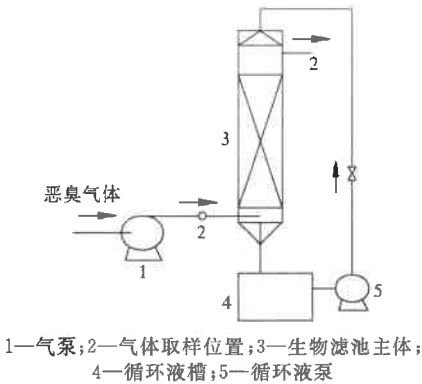


图 1 生物滤池装置示意图
 Fig.1 Schematic diagram of the biofilter

含恶臭物质和微生物气溶胶的恶臭气体来源于某污水处理厂。进气 H_2S 、 NH_3 质量浓度分别为 $3.62\sim 3.81$ 、 $8.12\sim 8.30\text{ mg/m}^3$ ，细菌、真菌浓度分别为 $13\,700\sim 13\,820$ 、 $7\,060\sim 7\,120\text{ cfu/m}^3$ 。试验过程中，恶臭气体由装置底部进入，由下而上与含水率为 60% 的填料 (pH 约为 7) 接触， H_2S 、 NH_3 等恶臭物质被填料上附着的微生物分解，微生物气溶胶则被填料截留。装置上部安装循环液喷洒装置，为填料上微生物生长提供所需营养，并使填料保持一定的酸碱度和含水率。

1.2 分析方法

H_2S 采用《水质 硫化物的测定 亚甲基蓝分光光度法》(GB/T 16489—1996) 进行测定。 NH_3 采用《环境空气和废气 氨的测定 纳氏试剂分光光度法》(HJ 533—2009) 进行测定。微生物气溶胶用 Andersen FA-1 型生物粒子采样器进行采集，测定微生物气溶胶的粒径分布并计算浓度。气溶胶粒径级别和采样器条件如表 1 所示。采样器标准采样流量为 28.3 L/min ，捕获率为 85%~89%。

表 1 气溶胶粒径级别及采样条件
 Table 1 Aerosol granularity levels and sampling conditions

粒径级别	气溶胶粒径范围/ μm	采样器	
		孔径/mm	空气流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	≥ 7.00	1.18	1.08
2	$4.70\sim 7.00$	0.91	1.79
3	$3.30\sim 4.70$	0.71	2.97
4	$2.10\sim 3.30$	0.53	5.28
5	$1.10\sim 2.10$	0.34	12.77
6	$0.65\sim 1.10$	0.25	23.29

细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基在 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温箱中培养 1 d；真菌用孟加拉红培养基在 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 下培养 5 d。培养结束后分别计数，微生物浓度用式(1)计算。

$$c = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6}{Q \times T} \times 1\,000 \quad (1)$$

式中： c 为微生物浓度， cfu/m^3 ； N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 分别为粒径级别 1~6 的菌落数， cfu ； Q 为采样器标准采样流量， L/min ； T 为采样时间， min 。

2 结果与讨论

2.1 不同高径比生物滤池对 H_2S 和 NH_3 去除率的影响

由图 2 可见， H_2S 和 NH_3 的去除率均随高径比的增大而升高，高径比为 8:1 时不同气体停留时间下的 H_2S 和 NH_3 去除率均最高。高径比对 H_2S 和 NH_3 的去除率影响还与气体停留时间有关。随气体停留时间的延长，不同高径比的 H_2S 去除率差距变化较稳定，而 NH_3 去除率差距变化较大。总体而言， H_2S 和 NH_3 的去除率均随气体停留时间的延长而升高。

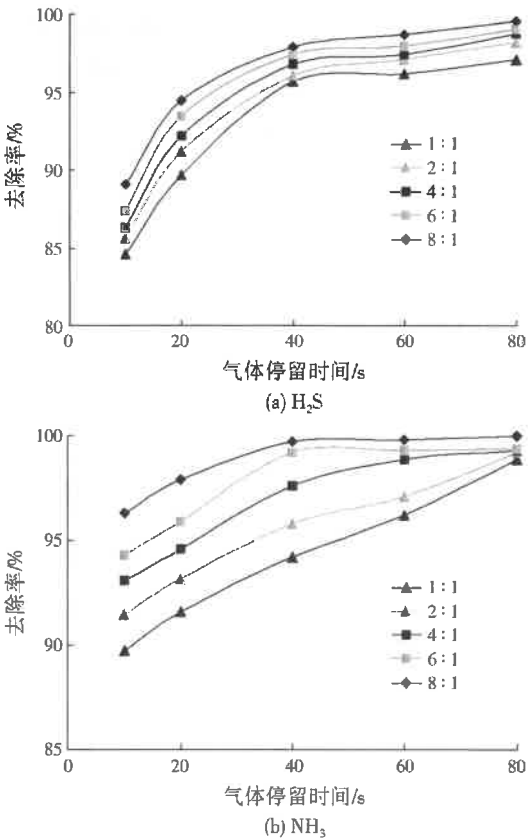


图 2 高径比对 H_2S 和 NH_3 去除率的影响
 Fig.2 The effect of height/diameter of the biofilter on removal efficiencies of H_2S and NH_3

高径比对 H_2S 和 NH_3 去除率的影响主要是由于高径比越大， H_2S 和 NH_3 溶解越充分，传质效率越高，因此去除率越高。

2.2 不同高径比生物滤池对细菌和真菌去除率的影响

由图 3 可见，细菌和真菌的去除率也均随高径

比的增大而升高,也是高径比为 8 : 1 时不同气体停留时间下的细菌和真菌去除率均最高。但气体停留时间对细菌和真菌去除率的影响与 H_2S 和 NH_3 不同。细菌和真菌去除率均随气体停留时间的延长而降低。因此,高径比选择 8 : 1,而气体停留时间建议选择 40 s。此时, H_2S 和 NH_3 的去除率分别为 97.9%、99.7%,细菌和真菌的去除率分别为 69.6%、79.1%。

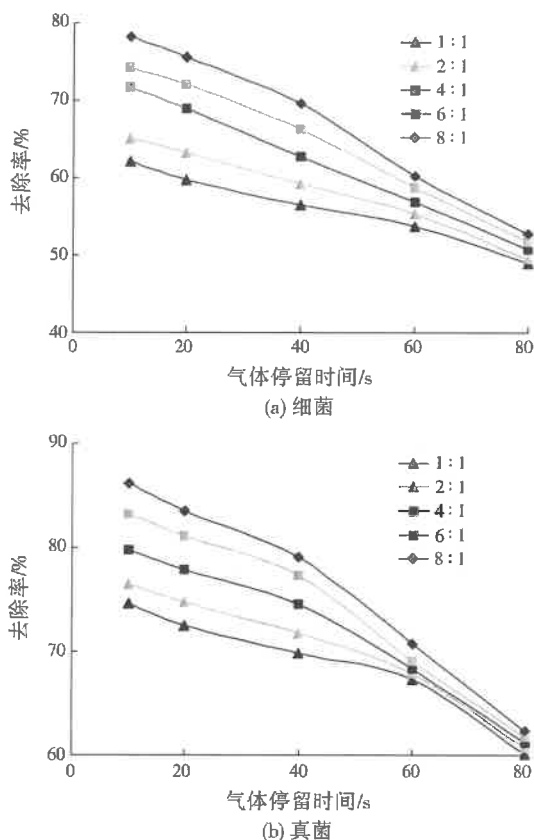


图3 高径比对细菌和真菌去除率的影响
Fig.3 The effect of height/diameter of the biofilter on removal efficiencies of bacteria and fungi

细菌和真菌去除率是微生物气溶胶经过填料时的截留效应和逸散效应共同作用的结果。气体停留时间较短时,填料的截留效应越明显;而当气体停留时间较长时,逸散效应更明显。因此,细菌和真菌去除率均随气体停留时间的延长而降低。

2.3 不同高径比生物滤池对出气中微生物气溶胶粒径分布的影响

在气体停留时间为 40 s 的情况下,出气中细菌和真菌粒径分布如图 4 所示。生物滤池高径比较小时,细菌的粒径较小,主要分布于粒径 $0.65 \sim 3.30 \mu\text{m}$ 的第 4 至 6 级。生物滤池高径比较大时,细菌的粒径较大,主要分布于粒径 $\geq 3.30 \mu\text{m}$ 的第 1 至 3 级。

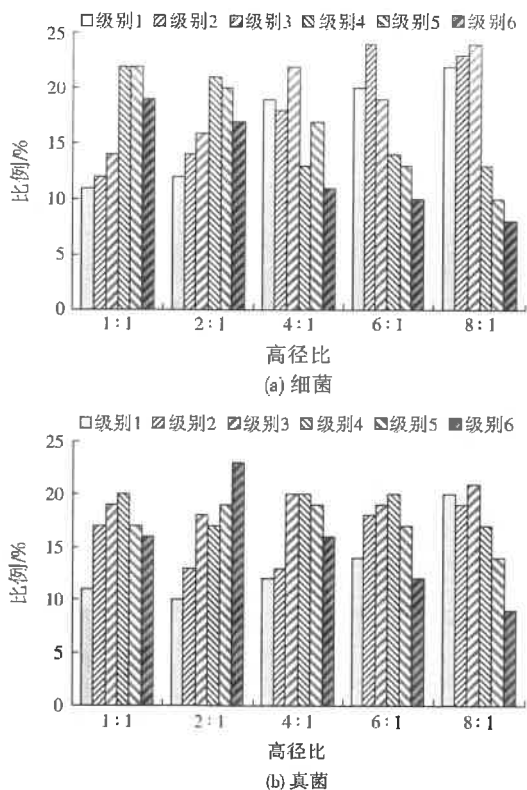


图4 高径比对微生物气溶胶粒径分布的影响
Fig.4 The effect of height/diameter of the biofilter on microbial aerosol granularity distribution

真菌与细菌的粒径分布情况类似,生物滤池高径比较小时,真菌的粒径相对较小;而生物滤池高径比较大时,真菌的粒径相对较大。

不同粒径的微生物气溶胶迁移和转化能力以及对人体健康的危害都具有一定差异。韩云平等^{[10]3810}研究发现,粒径较大的微生物气溶胶易沉积,而粒径较小的则能远距离迁移;当微生物气溶胶粒径为 $2.10 \sim 4.70 \mu\text{m}$ 时,可进入人的气管和支气管,当粒径为 $0.65 \sim 2.10 \mu\text{m}$ 时,则可在气管或肺泡中积累。邱雄辉等^[11]研究发现,细菌和真菌气溶胶其粒径分布范围通常易在人的支气管中积累。何炎圻等^[12]发现,污水处理厂微生物气溶胶中的优势微生物中可能含有致病微生物。韩云平等^{[10]3810}发现,污水处理厂气溶胶中细菌主要是变形菌门(*Proteobacteria*)和拟杆菌门(*Bacteroides*)。变形菌门包括很多病原菌,如大肠杆菌(*Escherichia coli*)、霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)等。

由此可见,增大生物滤池高径比可以有效减少小粒径的微生物气溶胶排放,降低对人体的危害。综合考虑,高径比为 8 : 1 的生物滤池对恶臭物质和微生物气溶胶去除效果以及对微生物气溶胶粒径分布都比较理想。

3 结 论

(1) H_2S 和 NH_3 的去除率均随生物滤池高径比的增大而升高,高径比为 8:1 时不同气体停留时间下的 H_2S 和 NH_3 去除率均最高。

(2) 细菌和真菌的去除率也均随高径比的增大而升高,也是高径比为 8:1 时不同气体停留时间下的细菌和真菌去除率均最高。

(3) 生物滤池高径比为 8:1、气体停留时间为 40 s 时, H_2S 和 NH_3 的去除率分别为 97.9%、99.7%,细菌和真菌的去除率分别为 69.6%、79.1%。

(4) 生物滤池高径比较小时,细菌和真菌的粒径相对较小;而生物滤池高径比较大时,细菌和真菌的粒径相对较大。

参考文献:

- [1] 刘建伟,徐艳萍,黄力华,等.城市污水处理厂恶臭和微生物气溶胶逸散研究[J].环境与健康杂志,2014,31(11):1017-1018.
- [2] O'HARA R E, RUBIN R. Reducing bioaerosol dispersion from wastewater treatment and its land application: a review and analysis[J]. Journal of Environmental Health, 2005, 68(2): 24-29.
- [3] KENNES C, VEIGA M C. Bioreactors for waste gas treatment [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [4] RAMIREZ LOPEZ E M, CORONA HERNANDEZ J, AVELLAR GONZALEZ J, et al. Biofiltration of methanol in an organic biofilter using peanut shells as medium[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(1): 87-91.
- [5] EASTER C, QUIGLEY C, BURROWES P, et al. Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems[J]. Chemical Engineering Journal, 2005, 113(2/3): 93-104.
- [6] 刘建伟,马文林,赵玉柱,等.两段式生物滤池处理城市污水处理厂恶臭气体中试研究[J].环境工程学报,2011,5(8):1825-1830.
- [7] CHMIELOWIEC KORZENIOWSKA A, TYMCZYNA L, SKORSKA C, et al. Efficacy of a novel biofilter in hatchery sanitation: I. Removal of airborne bacteria, dust and endotoxin[J]. Annals of Agricultural and Environmental Medicine, 2007, 14(1): 141-150.
- [8] KUMMER V, THIEL W R. Bioaerosols - sources and control measures[J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2008, 211(3/4): 299-307.
- [9] SCHLEGELMILCH M, HEROLD T, STREESE J, et al. The potential to reduce emissions of airborne microorganisms by means of biological waste gas treatment systems[J]. Waste Management, 2005, 25(9): 955-964.
- [10] 韩云平,李琳,刘俊新,等.污水处理厂生物气溶胶中微生物种

群及化学成分特征研究[R].北京:中国科学院生态环境研究中心,2014.

- [11] 邱耀辉,李彦鹏,牛铁军,等.城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性[J].环境科学,2012,33(7):2191-2196.
- [12] 何炎析,李能树,刘慧,等.污水处理厂微生物生态分布初探[J].环境监测管理与技术,2016,28(1):64-66.

编辑:陈锡超 (收稿日期:2017-04-13)

(上接第 14 页)

- [8] LAPARA T M, NAKATSU C H, PANTEA L M, et al. Stability of the bacterial communities supported by a seven-stage biological process treating pharmaceutical wastewater as revealed by PCR-DGGE[J]. Water Research, 2002, 36(3): 638-646.
- [9] 宋志伟,程晓霞,乔艳云,等.接种污泥对好氧颗粒污泥稳定性的影响[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(3):873-878.
- [10] MIURA Y, HIRAIWA M N, ITONAGA T, et al. Bacterial community structures in MBRs treating municipal wastewater: relationship between community stability and reactor performance[J]. Water Research, 2007, 41(3): 627-637.
- [11] 于凤庆,孙宝盛,陈谊,等.MBR 活性污泥培养驯化过程中生物多样性研究[J].环境科学学报,2012,32(9):2084-2090.
- [12] YU Z, GARCIA R, SCHANBACHER R, et al. Evaluations of different hypervariable regions of archaeal 16S rRNA genes in profiling of methanogens by archaea-specific PCR and denaturing gradient gel electrophoresis[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74(3): 889-893.
- [13] FERNANDEZ A S, HASHSHAM S A, DOLLHOPF S L, et al. Flexible community structure correlates with stable community function in methanogenic bioreactor communities perturbed by glucose[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(9): 4058-4067.
- [14] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [15] GERARD M, WAAL E C, VITTERLINDEN A G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction amplified genes encoding for 16S rRNA[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1993, 59(3): 695-700.
- [16] MUYZER G, BRINKHOFF T, NUBEL U, et al. Molecular microbial ecology manual [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [17] 孙宝盛,张斌,吴卿,等.应用 PCR-DGGE 技术解析 MBR 中微生物群落多样性[J].天津大学学报,2008,41(3):356-361.
- [18] 杨培,王淑莹,顾升波,等.中试 SBR 长期运行中粘性膨胀现象及原因分析[J].环境科学学报,2010,30(7):1384-1389.

编辑:陈锡超 (收稿日期:2017-08-17)