

试验研究

利用生物滤池对填埋场甲烷减排的研究

胡小龙¹, 陈英², 廖燕^{2,3*}

(1. 绍兴市越城区环境卫生管理处; 2. 浙江工商大学

3. 浙江省固体废物处理与资源化重点实验室)

摘要: 填埋场是一个巨大的人为甲烷释放源,它对全球的温室效应的贡献非常巨大。生物滤池是一种非常具有潜力的大气甲烷减排的方法,它能经济有效地对小型填埋场和封场后的填埋场进行甲烷减排。本文论述了生物滤床的甲烷氧化过程,同时还论述了影响生物滤床甲烷氧化性能的因素,通过对比研究各大因素对生物滤床甲烷氧化性能的影响选出甲烷氧化性能最佳的生物滤床。

关键词: 生物滤床; 甲烷减排; 滤床结构; 影响因素

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2012)06-0021-03

MITIGATION OF METHANE FROM LANDFILL BY BIO-FILTRATION

HU Xiao-long¹, CHEN Ying², Liao Yan³

(1. Shaoxing Environmental Sanitation Administrative, Shaoxing 312000; 2. Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Recycling, Hangzhou 310018)

Abstract: Landfill is a great source for human methane release, which have great contribution to globe warming. Bio-filtration is a promising option for the control of emissions to atmosphere of the methane contained in biogas issued from the smaller and/or older landfills. A detailed review of the methane bio-filtration literature is presented. The process of bio-filtration methane oxidation and the influence factors are described, so that an optimal bio-filtration for methane oxidation can be obtained.

Keywords: Bio-filtration; Mitigation of methane; Configuration of bio-filtration; influence factors

1 引言

填埋气由填埋场内有机垃圾厌氧降解产生,其中甲烷占填埋气的比重最大,约50-65%^[1]。全球每年从填埋场释放的甲烷量可达500-800 Mt当量CO₂,而我国垃圾填埋场的甲烷排放量将达到3.599×10⁸当量CO₂,占全国甲烷排放的31%。

研究结果显示,甲烷在近200年内呈加速上升态势,若没有温室气体减排措施,预计2030年大气中甲烷将达2.34μL·L⁻¹,而且甲烷吸收红外辐射的能力是CO₂的20-30倍,甲烷对温室效应的贡献率达50%^[2,3]。因此,设法减少填埋气的排放已经成为各地区乃至全球关注的研究热点。

目前,有关于填埋场甲烷减排的技术措施有很多,例如:火炬燃烧、管道收集利用和生物氧化等^[4],对于一些小型填埋场和封场后的填埋场来

收稿日期:2012-08-22

作者简介:胡小龙(1972-),男,高工,毕业于华中工学院,主要从事技术推广。

说,因其规模较小且封场后甲烷浓度较低等原因,使得传统甲烷减排措施并不能适用于该类型的填埋场,但是通过在填埋场中安装生物滤池来进行甲烷减排的方法可以很好地解决这个问题。生物滤池是通过微生物降解甲烷的方式来实现填埋场甲烷的减排,该方法产生的副产物对环境的污染较小,且它在普通大气压和温度下进行,与传统方法相比具有操作简单、费用低廉的优点[5]。因此,本文就近年来国内外在生物滤池甲烷氧化过程、生物滤池的构造和影响生物滤池甲烷氧化的因素方面进行了综述。

2 生物滤池结构对甲烷氧化的影响

生物滤池是一个三相生物反应器,其包括固相(滤床)、液相(生物膜)、气相(气体污染物)。微生物与甲烷在定植于生物滤床中的生物膜接触,并将其降解。生物滤床系统包含封闭式和开放式两种,封闭系统易于调控,可使其处于最佳氧化状态;开放系统容易出现温度、含水率难以控制以及过滤床底层 O_2 传递受阻等问题。生物滤池的性能由进气负荷(IL)、去除能力(EC)和转换系数(X)来表征(表1)。对于封闭生物滤床系统而言,控制上述性能参数于一个稳定的水平较开放系统容易,且转换系数可达90%以上^[6]。而开放性生物滤床系统通常设有覆盖层,污染气体从底部向上通过滤床,而氧气则由表层扩散入滤床中,该系统的操作参数(温度、含水率等)难以控制,且氧气能否扩散入滤床底部也将对甲烷氧化产生巨大影响^[7,8]。因此,增加通风设备、适当减少甲烷进气负荷等措施将大大增加生物滤床的甲烷氧化性能^[9]。

表1 生物滤床性能表征参数

名称	计算公式
表面进气负荷 IL(g m ⁻² d ⁻¹)	
容积进气负荷 IL(g m ⁻³ d ⁻¹)	
转换系数 X(%)	
去除能力 EC(g m ⁻² d ⁻¹)	

注: C(CH₄)为甲烷浓度(gm⁻³),Q为气体体积流量(m³d⁻¹),S为生物滤床横截面积(m₂),V为生物滤床体积(m³)。

3 影响生物滤床甲烷氧化效能的因素

3.1 滤床组分对生物滤床甲烷氧化的影响

滤床是供生物膜形成附着场所,它应能为微

生物提供足够的空间,且应具有一定的持水能力、细菌学和机械特性,此外滤床材料还必须具有价格低廉的特性。目前,土壤、堆肥物以及合成材料等作为滤床材料的可行性研究已在一些实验室内进行,有关填埋场覆盖土甲烷氧化性能的研究最多,其次是农用土壤、森林土壤、稻田土壤、泥炭沼泽等^[10,11],其中直接从填埋场覆盖土表层所得土壤的甲烷氧化能力最好,最高可达435gm⁻²d⁻¹,其甲烷转化效率可达80%^[12]。以合成材料和惰性材料作为生物滤床材料的研究较天然材料少,Nikiema研究了规模为0.018m³的无机材料生物滤床的甲烷氧化能力,实验结果表明,在气流量为6m³d⁻¹、甲烷浓度为7000-7500ppmv时,生物滤床的甲烷氧化能力高达700gm⁻²d⁻¹^[13]。

3.2 营养物质对生物滤床甲烷氧化的影响

铜、氮和磷是生物滤床甲烷氧化的决定性因素,是微生物生长所必需的营养物质。当铜浓度高于1μmol L⁻¹时,它会抑制溶解性甲烷单加氧酶的活性,但在浓度为1-5μmol L⁻¹时却可以提高颗粒性甲烷单加氧酶的活性^[14]。微生物所需的这些物质一部分来自于滤床本身,另外一部分则需要人为添加。因此,将生物滤床的铜浓度调节至一个适当的值可以为微生物创造一个营养丰富的环境,从而提高生物滤床的甲烷氧化能力。

含氮化合物也是微生物生存的重要因素,它主要以无机氮的形式(氨氮、硝氮和亚硝态氮)被微生物利用。目前氮素对甲烷氧化的影响研究很多,但研究结果却大不相同。Hettiaratchi等人^[15]以25gN/kg soil的量向土壤中添加氨氮和硝氮,结果土壤的甲烷氧化率上升到了100%,而Chiemchaisri等人^[16]的研究结果发现,向土壤中添加30mg N/kg soil以上时,土壤的甲烷氧化效果受到了抑制,且氨氮对甲烷氧化过程的抑制作用会随着氨氮浓度的增加而增大,但在一定甲烷浓度下,甲烷浓度增加可以减少氨氮对甲烷氧化的抑制。目前,硝氮对甲烷氧化的影响一直存在争议,可以得出的唯一结论就是当硝氮含量在0.14-0.75g/L时可促进甲烷氧化,大于0.75g/L则产生抑制作用。亚硝态氮对甲烷氧化有抑制作用。

磷也是微生物生长所需的一种重要元素,但是有关与磷元素对生物滤床甲烷氧化能力影响的研究较少,且只有Kightley等人^[17]的研究认为添加磷元素会促进滤床的甲烷氧化能力,而其他研究均得不到该结论。

3.3 运行条件对生物滤床甲烷氧化能力的影响

3.3.1 温度对生物滤床甲烷氧化能力的影响

甲烷氧化过程是一个放热过程,理论上氧化1mol甲烷会产生800kJ的热量,其中一部分能量用于甲烷氧化过程的合成反应,另外一部分则转移至滤床材料和混合气体中。温度对甲烷氧化生物滤床的影响较大,当温度从30℃下降至20℃时,生物滤床的甲烷转化率下降了50%,当温度降为-5至10℃时,转化率下降了80%;温度过高也会使生物滤床甲烷氧化能力因其含水率下降而降低^[18]。因此,对于开放式生物滤床来说,温度将成为其甲烷生物氧化的决定性因素。

3.3.2 pH对生物滤床甲烷氧化能力的影响

从工程应用角度来说,pH对生物滤床甲烷氧化的影响较小,因为甲烷氧化过程并不会产生可改变滤床pH的中间产物及最终产物。然而,pH的突然改变将对甲烷氧化菌产生巨大的抑制性,有研究发现当土壤pH改变两个数量级(6.8至4.7或6.8至9.0)时,甲烷氧化菌将受到永久性抑制;当pH改变一个数量级(6.8至5.9或6.8至7.7)时,则会有部分甲烷氧化菌受到抑制^[19]。因此,这些研究结果就将生物滤床的运行pH限制到了一个更小的范围(5.9-7.7)。

3.3.3 滤床含水率对生物滤床甲烷氧化能力的影响

滤床含水率是决定生物滤床的另一个重要因素,含水率过高,氧气和甲烷在滤床中的传输受到限制,从而使得滤床的甲烷氧化速率下降。根据现有的研究结果可知,土壤类材料的最佳含水率在13%-30%之间^[20];而堆肥物和生物降解残渣的最佳含水率在25%-50%^[21]。在上述含水率范围内,含水率越高滤床的甲烷氧化能力越强。

4 展望

填埋场甲烷的排放是全球温室效应的重要因素,老填埋场因其甲烷排放通量小而无法进行填埋气收集或火炬燃烧技术,但其长期排放依然会对温室效应产生巨大贡献,因此,生物滤池技术在老填埋场减排方面具有巨大前景。目前国内外对利用生物滤池进行填埋场甲烷减排的研究主要集中在生物滤池的设计指导、运行参数的优化方面,但对一些环境参数的影响机理及甲烷氧化微生物生态学方面的研究较少,对滤池甲烷氧化效能的提升和生物滤池的工程应用缺少研究。因此,生物滤池甲烷减排效能的提升及其工程应用条件的探究,必将为以后老填埋场和中小型填埋场甲烷减排提供新的出路。

参看文献

- [1] U. EPA, State of Knowledge, 2006.
- [2] I.P.o.C. Change, Climate Change 2007, 2007.
- [3] M. Albanna, M. Warith, L. Fernandes. Kinetics of biological methane oxidation in the presence of non-methane organic compounds in landfill bio-covers[J]. Waste Manag, 2010, 30 :219-227.
- [4] 岳波,林晔,黄泽春,黄启飞,王琪,张维,刘学建. 垃圾填埋场的甲烷减排及覆盖层甲烷氧化研究进展 [J]. 生态环境学报, 2010,8: 2010-2016.
- [5] O. SPP. Exhaust gas purification [J]. Rehm HJ, Reed G Biotechnology, 1986.
- [6] J. Nikiema, L. Bibeau, J. Lavoie, R. Brzezinski, J. Vigneux, M. Heitz. Biofiltration of methane: An experimental study [J]. Chemical Engineering Journal, 2005, 113: 111-117.
- [7] J. Gebert, A. Groenroeft. Passive landfill gas emission - Influence of atmospheric pressure and implications for the operation of methane-oxidising biofilters[J]. Waste Manag, 2006, 26: 245-251.
- [8] J. Gebert, A. Groenroeft. Performance of a passively vented field-scale biofilter for the microbial oxidation of landfill methane [J]. Waste Manag, 2006, 26: 399-407.
- [9] H. Qiang, Z. Qiang, C. Nazim, M. Danny. Biofilter: a promising tool for mitigating methane emission from manure storage [J]. Journal of Arid Land, 2011, 3: 61-70.
- [10] D.F.C. Helene A. Hilger, Morton A. Barlaz. Methane oxidation and microbial exopolymer production in landfill cover soil [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32: 457-467.
- [11] K. Irina K. Methane oxidation in boreal peat soils treated with various nitrogen compounds[J]. Plant and Soil, 2002, 242: 157-162.
- [12] S. Park, K.W. Brown, J.C. Thomas. The effect of various environmental and design parameters on methane oxidation in a model biofilter [J]. Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 2002,20: 434-444.
- [13] B.L. Nikiema J, Lavoie J, Brzezinski R, Vigneux J, Heitz M Bio-gas. A real problem: Biofiltration, a promising solution [A]. Proceedings of the USC-CSC-TRG Conference on Biofiltration [C]. Los Angeles: The Reynolds Group, 2004. 73-80.
- [14] R.S. Hanson, T.E. Hanson. Methanotrophic bacteria[J]. Microbiological reviews, 1996,60: 439-471.
- [15] J.P.A. Hettiaratchi. Methane biofiltration a cost-effective approach to eliminate fugitive methane emissions [J]. Rilem Publications, Bagneux, 2010.
- [16] V.C. Chiemchaisri W, Wu, JS. Biological activities of methane oxidation in tropical landfill [J]. J Solid Waste Technol Manag, 2001,27: 129-136.
- [17] D.B.N. David Kightley. Michael cooper, Capacity for methane oxidation in landfill cover soils measured in laboratory scale soil microcosms [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995,61: 592-601.
- [18] D.V.A. Mor S, Ravindra K, Dahiya RP, Chandra A, Van Cleemput O. Induction of enhanced methane oxidation in compost: temperature and moisture responses[J]. Waste Manag, 2006, 26: 381-388.
- [19] H.F. Arif MAS, Verstraete W. Agricultural factors affecting methane oxidation in arable soil[J]. Biol Fertil Soil, 1996, 21: 95-102.
- [20] B.K. Park S, Thomas JC. The effect of various environmental and design parameters on methane oxidation in a model biofilter[J]. Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 2002, 20: 434-444.
- [21] L.P. Humer M. Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills[J]. Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 1999,17: 443-452.