

两相型生物反应器填埋场系统对 渗滤液水质的稳定化作用研究

刘宏远^{1,2}, 沈东升¹, 朱荫湄¹

(1. 浙江大学环境工程系, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江工业大学市政工程系, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对传统卫生填埋场(R1)、渗滤液直接回流填埋场(R2)和渗滤液污染物浓度高等问题, 采用现场采样及室内分析测试方法, 对两相型生物反应器填埋场系统(R3)进行了研究。结果表明, 两相型生物反应器填埋场系统(R3)中, 由于产酸细菌与产甲烷细菌分别在不同的装置中, 因而解决了酸积累的中间产物抑制问题, 加快了有机物的降解过程, 同时使出水渗滤液的 COD_{Cr} 和 NH₃⁻-N 始终稳定在 12 000 mg · L⁻¹ 和 500 mg · L⁻¹ 以下, 为渗滤液的后续处理工艺提供了方便。

关键词: 两相生物反应器; 填埋场; 渗滤液; 水质

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2004)01-0107-03

Water Quality Stabilization of Two-Phase Bioreactor - Landfill System

LIU Hong-yuan^{1,2}, SHEN Dong-sheng¹, ZHU Yin-mei¹

(1. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310029, China; 2. Department of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, 310014, China)

Abstract: To deal with the high organic pollutant of the traditional landfill (R1) and the leachate-recirculation-landfill system (R2), the two-phase bioreactor-landfill system (R3) was studied through combining site sampling and laboratory analysis. In the two-phase bioreactor-landfill system (R3), acid-producing bacteria and methane-producing bacteria had been found in two reactors separately that resolved the problem of between products retarding action on acid accumulation and quickened the degradation of organic pollutant. The concentration of COD_{Cr} and NH₃⁻-N in leachate were both stably below 12 000 mg · L⁻¹ and 500 mg · L⁻¹ respectively in R3, which made the leachate aftertreatment easily.

Keywords: two-phase bioreactor; landfill; leachate; water quality

卫生填埋法具有成本低廉(是焚烧法的 1/15 ~ 1/8, 是堆肥处置法的 1/5 ~ 1/3)、适用范围广、无二次污染、环保效果显著和处置彻底等优点, 得到世界各国的普遍采用。然而, 卫生填埋场渗滤液被认为是其周边地区地表水及地下水的潜在污染源, 而且填埋场关闭以后, 其渗滤液的产生要持续许多年甚至数十年。由于渗滤液存在着随填埋时间的延长, 水质变化较大的特点, 传统的生物处理技术为主的渗滤液处理工艺存在较大的局限性。目前, 国内外开始利用渗滤液直接循环对渗滤液进行处理, 同时促进填埋垃圾的降解, 但其外排的渗滤液仍然存在着有机物浓度高,

水质变化大的问题^[1-4]。这给渗滤液处理工艺的设计及运行带来了极大的困难。本文主要根据填埋场分区填埋的特性, 在实验室进行了生物反应器填埋场系统的模拟实验。实验中采用两相型生物反应器填埋场系统, 把产酸和产甲烷作用分置于两个反应器内进行, 则可获得物理分离、各自优化、提高垃圾降解速率的综合效果^[5]。填埋场中富含微生物, 渗滤液的回流, 增加了填埋场垃圾的湿度, 提高了微生物的活性; 同时也增加了渗滤液在填埋场中的停留时间, 强化了填埋场垃圾层中微生物对渗滤液中有有机物的水解和发酵作用, 使渗滤液中的有机污染物浓度极大地降低和趋于稳定, 为渗滤液后续处理工艺提供了方便。

收稿日期: 2003-03-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59808012); 浙江省教育厅科研计划项目(20020272)

作者简介: 刘宏远(1971-), 男, 浙江大学博士生, 主要从事市政与环境工程研究。E-mail: lhyzy@sohu.com

1 实验方法与装置

1.1 实验装置

本实验采用3套装置同时运行。第1套为图1中的卫生填埋场(R1),这套装置是对比实验。第2套装置渗滤液直接循环系统(R2)的流程是在图1所示流程中去掉虚框产甲烷生物反应器部分后所组成的工艺。第3套装置(R3)是填埋场与产甲烷反应器组成的生物反应器填埋场系统,装置流程如图1所示。其中卫生填埋场采用圆形塑料桶,直径28.7 cm,高65 cm,产甲烷反应器容积为6.28 L,有效容积5.50 L,内径为10 cm,高80 cm,径高比1:8。

卫生填埋场底部垫一层厚约5 cm的碎石,以便渗滤液顺利排出,各个卫生填埋场垃圾层厚50 cm,填埋垃圾密度控制在 $0.5 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$,上面铺5 cm厚的沙子,预留5 cm作气室。卫生填埋场在室内常温下进行,实验开始时气温为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,后来上升到 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右。产甲烷反应器实验在恒温室内进行,温度控制在 $28 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

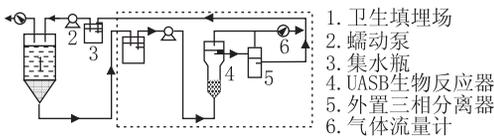


图1 试验装置示意图

Figure1 Diagram of experimental device

1.2 垃圾组成

参考有关生活垃圾组成成分数据,实验垃圾采用人工合成,其组成成分如表1所示。

表1 实验垃圾成分

Table 1 The components of experimental municipal solid wastes

样品成分	厨余	纸类	橡皮塑料	织物	竹木	砖石沙子	金属玻璃
比例/%	58.66	7.66	12.18	3.68	2.81	8.63	6.38

1.3 主要分析项目与方法

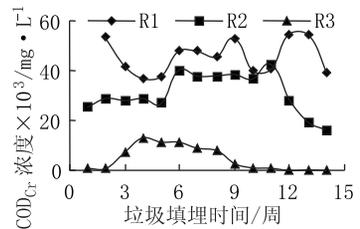
实验过程中,每天记录渗滤液产生量、pH值和气体流量计的读数,并且每周采取渗滤液样品,分析测定渗滤液中 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。其中pH值测定:pHS—3型精密酸度计; COD_{Cr} 浓度测定:重铬酸钾法; $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度测定:纳氏试剂比色法。

2 实验结果及讨论

2.1 COD_{Cr} 的去除

三套反应器系统 COD 的去除情况详见图2。

作为对比实验的传统卫生填埋场(R1)渗滤液 COD_{Cr} 浓度在整个实验阶段一直在 $36\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$



R1 - 对照实验;R2 - 渗滤液回灌型生物反应器填埋场;R3 - 两相分离型生物反应器填埋场系统

图2 COD 的去除

Figure 2 The removal of COD

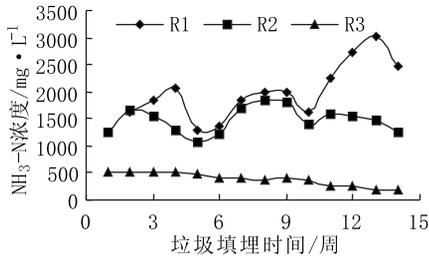
以上,最大值达到 $54\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。渗滤液直接回流型生物反应器填埋场(R2)渗滤液 COD_{Cr} 浓度经历了一个由低到高,再由高到低的过程。实验初期, COD_{Cr} 浓度基本稳定,在 $27\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。到了第5周, COD_{Cr} 开始上升,分别达到 $40\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,然后一直维持在这个高浓度水平,至第10~11周开始下降。两相型生物反应器填埋场(R3)渗滤液 COD_{Cr} 浓度在第5~第8周呈现高峰,但高峰值仅为 $12\ 920 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其余时间均在 $2\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下。到试验结束时,其渗滤液的 COD_{Cr} 浓度已降至 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。

在R1填埋场中,填埋垃圾已发生一定的降解,但主要是大分子物质水解为挥发性脂肪酸等小分子物质进入渗滤液,并没有发生彻底分解,最终因填埋场垃圾的酸化而抑制其进一步降解。在R2填埋场中 COD_{Cr} 的变化规律说明渗滤液直接回流初期并不能促进垃圾的降解,填埋垃圾层微生物对渗滤液中的有机物也仅主要发生水解作用,产酸细菌大量繁殖,使渗滤液中有有机酸产生积累,导致pH值下降,这可能使垃圾层微生物群系的生态平衡遭到破坏。随着渗滤液不断循环和垃圾层微生物的活动,渗滤液pH值逐渐上升,产甲烷细菌有所生长,渗滤液的pH变化规律(见图4)反映了这一特点。在R3填埋场系统中,垃圾渗滤液经过产甲烷生物反应器后再回流到卫生填埋场中,把厌氧生物处理分成两段进行,在填埋场垃圾渗滤液主要发生水解产酸作用,在产甲烷生物反应器中主要发生产甲烷作用,这可以使水解产酸细菌和产甲烷细菌在各自适宜的环境中得到较快的生长繁殖,使垃圾渗滤液水质在最短时间里达到稳定化。

2.2 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除

$\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除的效果如图3所示。在R1填埋场中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度则随着填埋时间的增长有增大的趋势。R2填埋场中渗滤液的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值从低到高,再从

高到低的过程不明显,一般都在 $1\ 300\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 上下波动。在 R1 及 R2 填埋场中,由于高浓度的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 得不到有效的去除,抑制了细菌的生长繁殖。而在 R3 填埋场系统中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 值没有出现峰值,并且有明显的下降,到试验结束时,其渗滤液的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度已降至 $200\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。



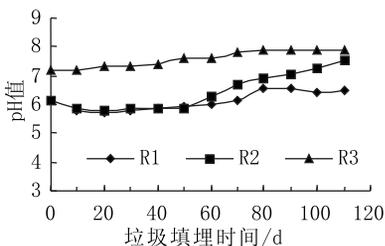
R1 - 对照实验; R2 - 渗滤液回流型生物反应器填埋场; R3 - 两相分离型生物反应器填埋场系统

图 3 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除

Figure 3 The removal of $\text{NH}_3 - \text{N}$

2.3 渗滤液 pH 的变化

由图 4 可以看出,各个反应器填埋场渗滤液出水水质 pH 值的变化状况进一步证实了以上的推测。在填埋前期,由于有机物的水解产酸,渗滤液中有有机酸大量积累,导致 pH 值下降, R1 及 R2 填埋场渗滤液 pH 值都为 6.0 左右。而 R3 两相型生物反应器系统的渗滤液 pH 值始终在 7.0 以上,实验结束时已接近 8.0 左右。在对 R3 系统中填埋场渗滤液 pH 检测时发现,经 20 d 后, pH 值开始上升,到第 60 d, pH 值为 7,而回流型生物反应器填埋场渗滤液经 50 d 后 pH 值才开始上升,比两相型生物反应器填埋场系统中填埋场的渗滤液 pH 迟一个月左右到达 pH7。对照填埋场渗滤液 pH 值上升更慢,直到结束时仍为酸性。这主要是由于填埋场的渗滤液中含有大量有机酸(VFA),酸的积累抑制了水解反应的进一步进行。在 R2 填埋场中,渗滤液的直接回流对产物的抑制作用应该没有直接的改观。但在 R3 填埋场系统中,渗滤液经过产甲



R1 - 对照实验; R2 - 渗滤液回流型生物反应器填埋场; R3 - 两相型生物反应器填埋场系统

图 4 渗滤液 pH 的变化

Figure 4 Changes of pH of leachate

烷生物反应器处理后,渗滤液 pH 值已变为中性或偏碱性,当它再回流到卫生填埋场中时,减少了酸性 pH 值对垃圾层中中性微生物(产甲烷细菌)的抑制,有利于垃圾层中微生物种群综合协调的代谢,加速了垃圾的稳定化过程和渗滤液中有机物的进一步降解。

2.4 产甲烷反应器的特性

有关产甲烷反应器的特性研究已有专门的文章加以论述,在此不再赘述,详见参考文献[6]。

3 结论

(1) 与传统卫生填埋场(R1)及渗滤液直接循环的填埋场(R2)相比,两相型生物反应器填埋场系统(R3)对有机物的去除具有更高的效率,系统出水 COD_C 始终稳定在 $12\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 稳定在 $500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,没有出现在 R1 及 R2 中的幅度较大的波动情况。在实验结束时, R3 系统中 COD_C 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的浓度已分别降至 $110\ \text{mg} \cdot \text{L}$ 和 $200\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,为渗滤液的后续处理提供了极大的方便。

(2) 两相型生物反应器填埋场系统(R3)出水 pH 始终在 7.0 以上,其系统内部的循环消除了酸积累的中间产物的抑制问题,加快了有机物水解的限速反应,加速了垃圾的稳定化过程和渗滤液中有机物的进一步降解。

(3) 采用两相型生物反应器填埋场系统,把产酸和产甲烷作用分置于两个反应器内进行,则可获得物理分离、各自优化、提高垃圾降解速率的综合效果。填埋场中富含微生物,渗滤液的回流,增加了填埋场垃圾的湿度,提高了微生物的活性;同时也增加了渗滤液在填埋场中的停留时间,强化了填埋场垃圾层微生物对渗滤液中有机物的水解和发酵作用。

参考文献:

- [1] China E S K, et al. Stability of organic matter in landfill leachates[J]. *Water Res*, 1997, 11(1): 225 - 232.
- [2] Chynoweth D P, Owens J, O'Keefe, et al. Sequential batch anaerobic composting of the organic fraction of municipal solid waste[J]. *Water Science and Technology*, 1992, 25(7): 327 - 339.
- [3] 胡敏云,陈云敏. 垃圾填埋场渗滤液回灌调蓄池的容量设计方法[J]. *环境工程*. 2000, 18(6): 53 - 55.
- [4] 胡勤海,金明亮,方士,等. 吹脱-SBR-吸附混凝法处理垃圾填埋场渗滤液[J]. *环境污染与防治*. 2000, 22(3): 21 - 29.
- [5] 郑平,冯孝善,等. 废物生物处理理论和技术[M]. 杭州:浙江教育出版社. 1997.
- [6] 何若,沈东升. 生物反应器填埋场处理渗滤液的试验研究[J]. *环境科学*, 2001, 22(6): 763 - 767.