

渗滤液回灌对其最终处理的影响中试研究

邓舟¹, 蒋建国¹, 黄中林², 冯向明², 周胜勇², 杨国栋¹

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 深圳下坪固体废弃物填埋场, 深圳 518019)

摘要: 针对 2 座中试规模反应柱, 分别考察渗滤液回灌和不回灌的情况, 研究传统厌氧型生物反应器填埋场渗滤液回灌对其最终处理的影响。结果表明: 回灌对渗滤液中的有机污染物有很好的去除效果, 但对难降解物质以及氮、磷的净化效果不明显。回灌 44 周后, 渗滤液的 BOD₅ 去除率达到 98.5%, 但出流的 BOD₅/COD 值仅为 0.07, BOD₅/TN 和 BOD₅/TP 分别为 0.13 和 11, 远低于厌氧条件下微生物生长适值, 很难通过传统的生物处理方法净化。在设计生物反应器填埋场时, 应该充分考虑到渗滤液经过回灌后组成特性, 选择合适的渗滤液处理方案和填埋、回灌方式, 充分利用垃圾体的净化作用。

关键词: 渗滤液; 回灌; 可生化性; 填埋; 生物反应器

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)06-1240-04

Pilot Scale Research on Impacts of Leachate Recirculation on Its Ultimate Treatment

DENG Zhou¹, JIANG Jian-guo¹, HUANG Zhong-lin², FENG Xiang-ming², ZHOU Sheng-yong², YANG Guo-dong¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Shenzhen Xiaping Sanitary Landfill, Shenzhen 518019, China)

Abstract: Two pilot scale simulated columns, with and without leachate recirculation, were erected to study impacts of leachate recirculation of traditional anaerobic bioreactor landfill on leachate ultimate treatment methods. The results indicate that recirculation can remove organic pollutants visibly, but it isn't effective to inbiodegradable components, nitrogen (N) and phosphorus (P) pollutants. After recirculated for 44 weeks, test column has a BOD₅ removal ratio of 98.5%. BOD₅/COD value of outflow is only 0.07. BOD₅/TN and BOD₅/TP are 0.13 and 11 respectively, which are much lower than the adequate value for anaerobic microorganisms. It's difficult to treat this kind of leachate by traditional biological methods. When a bioreactor landfill is being designed, leachate characteristics after recirculated should be well considered and adequate leachate treatment, landfill and recirculation schemes should be chosen to take full advantage of waste stack decontamination effects.

Key words: leachate; recirculation; biodegradability; landfill; bioreactor

填埋场渗滤液的常见处理方式主要有生物法、物化法和土地法^[1]。近年来, 回灌法处理渗滤液和加速填埋场稳定化进程已经得到广泛关注。实践证明: 回灌渗滤液对渗滤液中的有机污染物有很好的去处效果, 同时增加垃圾体内部湿度, 改善微生物环境, 加快垃圾降解和产气速度^[2]。回灌法处理渗滤液对渗滤液的最终处理方式造成了很大影响。诸多回灌试验的文献中都有一个普遍规律, 即 BOD₅ 去除率要高于 COD 去除率, 出水 BOD₅/COD 值很低, 性质接近老龄填埋场的渗滤液^[3~6]。同时, 实验证明, 厌氧型的生物反应器填埋场对氮、磷等营养物质并没有明显的去除效果, 经过渗滤液的回灌之后, NH₃-N 浓度基本不变, 甚至高于其在非循环型填埋场渗滤液中的浓度^[7,8]。美国 Yolo 填埋场试验范围内渗滤液 BOD₅/COD 值稳定在 0.026~0.05 左右, 而 BOD₅/TN 值稳定在 0.5 以下, 非常难于生

物降解^[9]。难降解物质的累积会使出水 COD 无法达到排放要求, 低碳氮比 (C:N) 和高浓度氨氮 (NH₃-N) 将抑制生物反应使生物处理失效。本试验针对 2 个中试规模反应柱, 分别考察回灌和不回灌条件下出流渗滤液有机污染物衰减和可生化性变化规律, 并对渗滤液中营养元素浓度变化进行对比分析, 为回灌后渗滤液的处理提供依据。

1 材料与方法

1.1 装置和材料

本试验由 2 个平行的中试规模反应柱和相应的集水池组成, 反应柱结构和垃圾组成如文献[2]所述。

收稿日期: 2005-04-20; 修订日期: 2005-06-02

基金项目: 深圳科技局项目(2002)

作者简介: 邓舟(1981~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为固体废物处理处置技术, E-mail: dengzhou2002@tsinghua.org.cn

1.2 试验方法

在试验柱装填垃圾完毕后,经过 16 周的初步稳定过程,即对 2 个反应柱分别回灌 0.8m^3 渗滤液(回灌柱)和 0.1m^3 清水(控制柱),分别模拟采用渗滤液回灌的传统厌氧型生物反应器填埋场和降水条件下的普通卫生填埋作业方式。

回灌每周进行 1 次,对回灌和出流的渗滤液分别采样分析,记录反应器温度、填埋气体产生量等指标。对渗滤液的分析指标包括 COD, BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$, TN, 总磷(TP),均按照废水的国家标准分析方法进行分析。

2 结果与分析

2.1 渗滤液可生化性变化

回灌柱和控制柱出流渗滤液及回灌柱的回灌渗滤液 BOD_5 值及 BOD_5/COD 值如图 1 所示。在一般生物处理中, BOD_5/COD 值低于 0.2 时,说明废水中含有大量难降解的有机物,这种废水可否采用生物处理法需要视微生物驯化情况而定。

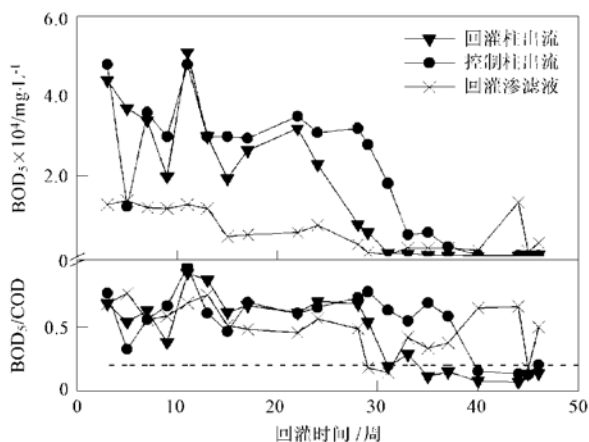


图 1 反应柱 BOD_5 浓度与 BOD_5/COD 值

Fig. 1 BOD_5 concentrations and BOD_5/COD values from simulated reactors

由图 1 可以看出,在回灌进行的最初阶段,无论是回灌渗滤液的回灌柱还是模拟降雨的控制柱,出流渗滤液的有机物浓度和可降解有机物的比例都很高。虽然回灌加大了渗滤液产生量,造成了有机污染物的冲击负荷,但这只是在对新鲜垃圾回灌的初期才会出现。在回灌 20 周以后,垃圾体中的厌氧微生物环境逐渐改善,微生物活性增大,出流渗滤液的浓度开始迅速下降。而控制柱的出水 BOD_5 直到第 30 周才开始下降,说明回灌有利于厌氧微生物的增长。回灌柱 BOD_5 在 30 周后稳定在较低值,浓度低于回

灌渗滤液的浓度。这时垃圾的水解已经成为微生物活动的限制性因素,回灌渗滤液中的有机物被微生物利用作为碳源,回灌对渗滤液的处理作用得到体现。在第 30 周后,回灌渗滤液的累积 BOD_5 去除率为 87.3%,在第 44 周时竟然达到了 98.5%。这一阶段垃圾体形成了稳定的产甲烷环境,回灌效果稳定,是对最终渗滤液处理造成长期影响的阶段。

回灌柱出水 BOD_5/COD 值下降时间略迟于 BOD_5 ,在 27 周后开始下降,到 31 周时下降到了临界值 0.2 以下,第 44 周时下降到 0.07,可生化性很低。控制柱 BOD_5/COD 值 35 周后才开始下降,并在第 40 周后下降到 0.2 左右,此后稳定在略低于 0.2,比回灌柱的值要高些。在卫生填埋场中,渗滤液的 BOD_5/COD 值有明显的变化规律,小于 5a 的“年轻”填埋场渗滤液 BOD_5/COD 值较高,可生化性较强,5~10a 的“中年”填埋场 BOD_5/COD 值为 0.1~0.5,可生化性一般,而大于 10a 的“老龄”填埋场 BOD_5/COD 值小于 0.1,可生化性较差,适于采用物化或者土地处理方式^[10]。回灌使填埋场渗滤液更快的呈现出“老龄”性状,可生化性较不回灌条件更低。在大部分的易降解物质被垃圾体中的微生物吸收利用后,难降解的有机物则穿透垃圾体仍旧回到最终渗滤液处理系统中,渗滤液的难降解组分比例增加,给后续的生物处理带来较大难度,物化处理可能成为更好的选择。

2.2 营养物质浓度变化

废水在好氧处理时,一般 $\text{BOD}:\text{N}:\text{P}$ 为 100:5:1 时适合微生物增长,氮和磷不足会造成 BOD 去除率下降,并促进丝状菌增长。厌氧条件下微生物增长较慢,对营养元素的需求亦减小,适宜的 $\text{BOD}:\text{N}:\text{P}$ 为 100:2:0.3。过高的氮和磷污染物不仅难于通过生物法去除,而且还可能抑制微生物的活性,导致生物处理失效。高 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度是渗滤液、尤其是“老龄”渗滤液的特征之一,也是渗滤液处理的难点。

反应柱出流与回灌渗滤液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5/TN 、TP、 BOD_5/TP 变化如图 2 和图 3 所示。

回灌初始阶段,回灌柱的出流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有 2 个主要来源:①回灌渗滤液携带,②垃圾中蛋白质等含氮物质降解产生。同时,回灌柱中微生物的增长要消耗一定的含氮物质。由图 2 可以看出,初始阶段回灌对渗滤液的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 并没有去除效果,回灌柱出流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度要略高于回灌渗滤液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度,与控制柱 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化情况比较类似。而当 17 周后反应柱的微生物浓度逐渐增大时,微生物对氮营

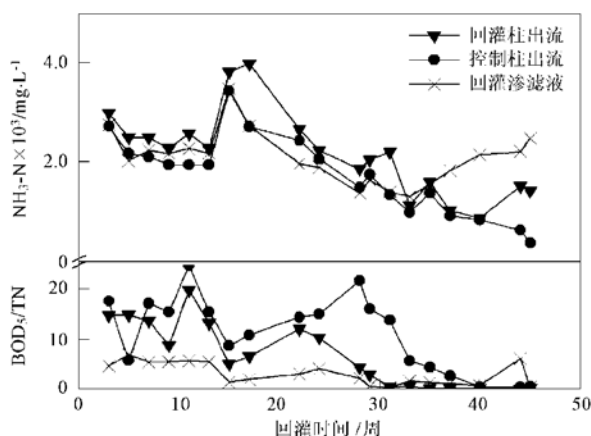


图2 反应柱 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度与 BOD_5/TN 值

Fig. 2 $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations and BOD_5/TN values from simulated reactors

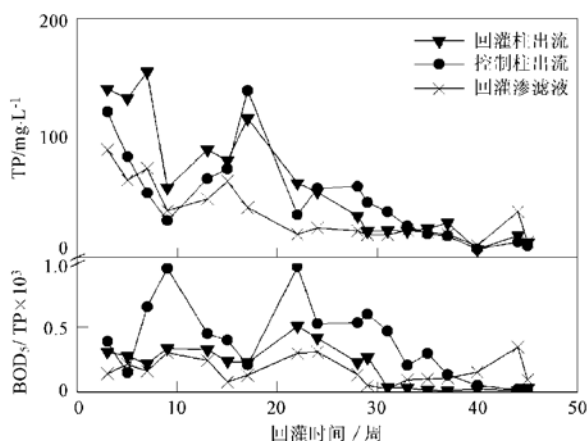


图3 反应柱 TP 浓度与 BOD_5/TP 值

Fig. 3 TP concentrations and BOD_5/TP values from simulated reactors

养的需求增加,同时易降解的含氮有机物逐渐消耗,出流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 主要来自于回灌渗滤液中,反应柱出流浓度开始逐渐降低。垃圾分解所产生 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的速率在 33 周后低于微生物生长所需要的氮营养速率,出流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低于回灌渗滤液的浓度,在 38 周后两者的浓度差距逐渐稳定,回灌柱出流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化规律与回灌渗滤液相同,浓度值相差 800~1 000 mg/L。控制柱 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在第 37 周后稳定在 1 000 mg/L 以下,并且保持下降趋势,浓度要明显低于回灌柱。

同时,伴随着易降解有机物的消耗,在回灌后期,控制柱与回灌柱的 BOD_5/TN 值开始迅速下降,出流呈现出低碳氮比的“老龄”渗滤液特性。相比控制柱,回灌柱的 BOD_5/TN 值下降更早更快,最终稳

定后的值要更低,在第 44 周时甚至达到 0.13,远远低于厌氧条件下 50 的适值,也低于控制柱的 0.44 和回灌渗滤液的 6.2。如此高的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 比例需要添加大量的碳源才能保证反硝化反应的进行,这使得回灌后的渗滤液氮污染物更难通过生物处理去除。

与氮不同,磷不能形成氧化物或还原体向大气排放,在废水中只能以固体形态和溶解形态互相循环转化。因为微生物对磷的需求较低,一般的生物处理难以有理想的去除效果,物化法中常采用铝盐和石灰混凝除磷。从图 3 可知,磷的浓度类似于氮污染物的变化规律,氮和磷在微生物增长过程中的利用规律是相近的。在初始阶段,回灌柱和控制柱出流均有很高的磷浓度,随着垃圾降解和微生物增长,磷浓度逐渐下降,控制柱磷的浓度稳定在 10 mg/L 左右,而回灌柱则受到回灌渗滤液变化的影响,浓度有所波动但稳定低于回灌渗滤液。好氧条件下 BOD_5/TP 的适值为 100,厌氧条件下为 330 左右。随着回灌的进行,控制柱和回灌柱的 BOD_5/TP 值均下降稳定到适值以下,第 44 周时控制柱为 20,回灌柱为 11,磷的浓度均远大于后续生物处理的微生物增长需求。我国污水综合排放标准(GB8978-1996)规定,一级排放标准磷浓度为 0.1 mg/L,三级排放标准为 0.3 mg/L,要达到排放标准需要有很高的去除率。因回灌后 BOD_5/TP 值很低,要达到理想的去除率需要补充大量碳源,物化法除磷的优势会更加明显。

3 讨论

从以上试验结果可以看出,回灌出流渗滤液具有可生化性很低、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和磷浓度高的特性,而且这些特点比“老龄”填埋场渗滤液更突出,这种渗滤液更难由生物法处理。如果大量渗滤液进行回灌,则渗滤液无法通过常规方式处理的问题将十分突出,对生物反应器填埋场的发展非常不利。

为解决这个问题,可以改变最终渗滤液处理方式,在水处理设计时更多的引入物化法。渗滤液处理中常见的物化法主要有:吸附法、化学沉淀法、膜分离法、化学氧化法、氨吹脱法和渗滤液蒸发等。物化法相对生物法成本较高,不适合大量渗滤液的处理,但对可生化性低的渗滤液有较好的处理效果。在分区良好的填埋场中,可以分离原渗滤液和经过回灌后的渗滤液,应用不同的方式处理这 2 种性质相差很大的物质。

从回灌方式和改进填埋场结构也能提高渗滤液处理性能。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的生物去除一般是通过硝化-反

硝化反应进行的. 在厌氧型填埋场中, 垃圾体内部都是严格厌氧条件, 很难进行硝化反应, 所以也无法通过硝化-反硝化反应去除 $\text{NH}_3\text{-N}$. 通过改变填埋结构或者预处理渗滤液, 在垃圾体或渗滤液中引入硝化单元, 可以完成硝化-反硝化的反应过程, 或通过厌氧氨氧化反应, 将氮污染物转化为无害的氮气. 周北海等人的研究结果表明, 在填埋单元中引入好氧区域, 发现半好氧填埋的渗滤液中有机物浓度降低最快, 特别是 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量大大低于厌氧填埋, 有利于渗滤液的处理^[8]. Turgut 等人的研究结果表明, 采用合理的结构改进和回灌方法, 生物反应器填埋场能达到 95% 的氮转化率^[11]. 郭辉东等人尝试在回灌前对渗滤液进行好氧预处理, 可显著加速填埋垃圾中含氮物质的水解过程^[12].

4 结论

在传统的厌氧型生物反应器填埋场中, 渗滤液通过回灌, 有机污染物浓度显著降低, 稳定后的累积 BOD_5 去除率达到 87.3%. 但在易降解的有机污染物被大量除去以后, 保留在渗滤液中的难降解组分、氮和磷的比例相对较高, 渗滤液呈现可生化性差、氮磷含量过高的特点, 对渗滤液的最终处理造成很大影响. 在回灌到 44 周时, BOD_5/COD 值仅为 0.07, BOD_5/TN 和 BOD_5/TP 分别为 0.13 和 11, 远低于厌氧条件下微生物生长适值 50 和 330. 在回灌量较大时, 渗滤液的可处理性应该得到足够的重视. 常规的生物处理方式在处理这种“残余”渗滤液时存在比较大的困难, 物化法更适合这类渗滤液的处理. 而实验室研究证明, 改进回灌方式和填埋场结构也能提高渗滤液的处理性能. 传统的厌氧型生物反应器填埋场在应用之前, 要充分考虑渗滤液的处理问题, 通

过中试或者现场规模试验研究更为优良的填埋结构, 充分利用垃圾体的净化作用.

参考文献:

- [1] 胡和平, 黄少斌. 垃圾填埋场渗滤液特性及处理方法[J]. 环境卫生工程, 2004, 12(3): 132~135.
- [2] 邓舟, 蒋建国, 杨国栋, 等. 渗滤液回灌量对其特性及填埋场稳定化的影响[J]. 环境科学, 2006, 27(1): 184~188.
- [3] Pohland E G. Leachate recycle as landfill management option [J]. Journal of Environmental Engineering, 1980, 106(6): 1057~1069.
- [4] Debra R R, Basel A. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics [J]. Waste Management & Research, 1996, 14(4): 337~346.
- [5] 欧阳峰, 李启彬, 刘丹. 生物反应器填埋场渗滤液回灌影响特性研究[J]. 环境科学研究, 2003, 16(5): 52~54.
- [6] Delia T S, Osman Ni A. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors [J]. Process Biochemistry, 2004, 39(12): 2157~2165.
- [7] Demirel G N, Speece R E. Anaerobic biotransformation of four 3-carbon compounds in UASB reactors[J]. Wat. Res., 1998, 32(3): 747~759.
- [8] 周北海, 王琪, 董路, 等. 垃圾填埋场构造对渗滤液成分的影响研究[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 6~8.
- [9] Dahl K, Byars M. A beneficial investment in trash controlled landfill bioreactor project[R]. California, USA: Yolo County, Planning & Public Works Department, Division of Integrated Waste Management, 2000.
- [10] 沈耀良, 王宝贞. 垃圾填埋场渗滤液的水质特征及其变化规律分析[J]. 污染防治技术, 1999, 12(1): 10~13.
- [11] Turgut T O, Frederick G P. In situ nitrogen management in controlled bioreactor landfills[J]. Wat. Res., 1998, 32(5): 1383~1392.
- [12] 郭辉东, 何晶晶. 渗滤液回灌的氨氮和凯氏氮变化规律[J]. 中国给水排水, 2004, 20(1): 18~21.