

· 污染防治技术 ·

厌氧填埋垃圾降解阶段指标体系的建立

张西华, 黄涛, 曹江英, 刘辉

(西南交通大学环境科学与工程学院, 四川 成都 610031)

摘要:以厌氧填埋场中垃圾的降解过程为依托点,从渗滤液的水质特征和填埋气的组成两个方面筛选出判断指标,最后建立判断填埋垃圾降解阶段的指标体系。结果表明, $(BOD_5) / (COD)$ 可以反映出渗滤液的可生化性,从而间接反映出填埋垃圾所处的降解阶段,是判断填埋垃圾降解阶段的重要定量指标。

关键词:生活垃圾;卫生填埋;生物降解;指标体系

中图分类号: X705 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-2009(2007)01-0035-03

The Establishment of the Index System for Decomposition Phase of Anaerobic Landfill

ZHANG Xi-hua, HUANG Tao, CAO Jiang-ying, LU Hui

(School of Environmental Sci and Eng, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Based on the biodegradation processes of domestic garbage in anaerobic landfill, the indexes for judgment are chosen from the leachate characteristics and gases composition of their landfilled garbage. Those indexes establish a system for indicating decomposition phase of landfilled domestic garbage. The results show that $(BOD_5) / (COD)$ indicates biochemical ability of the leachate directly and decay stage of domestic garbage indirectly, so it is an important quantity index for judgment of decomposition phase of the landfilled garbage.

Key words: Domestic garbage; Health landfill; Bio-degradation; Index system

垃圾卫生填埋法,是垃圾最终处置且行之有效的办法之一,具有处理工艺简单、维护费用低等优点。目前,因厌氧填埋操作简单,施工费用低,同时还可以回收甲烷气体,被国内外广泛采用。在厌氧填埋场中,垃圾的降解是一个复杂的过程,同时进行着多种物理、化学和生物反应。其中,微生物对有机物的生物降解起主导作用,包括多种连续的或并行的生化反应途径。因此,研究垃圾降解各阶段的规律及判断指标具有重要的理论意义,同时对于指导填埋场的运行实践有一定的实际应用价值。

1 指标体系的建立依据 - 厌氧填埋场中垃圾的降解过程

根据 Bryant 提出的厌氧消化过程的“三阶段理论”,有机物的厌氧消化过程主要包括产酸和产甲烷两个阶段^[1],而对于不溶性有机物(有机垃圾),一般可认为在上述两阶段之前多一个“液化阶段”^[2-3]。

(1)水解酸化阶段:水解(液化)过程是指纤维素分解菌、脂肪分解菌和蛋白质水解菌等微生物作用,将含氮有机物(如蛋白质、死菌体和其他动植物残渣等)和碳氢类化合物(如淀粉、纤维素、半纤维素、木质素等糖类物质、脂类物质和醇类等)转化为微生物细胞原生质、醇类或糖类、各种有机酸的生化反应。

(2)产酸阶段:酸性发酵过程产氢产乙酸阶段是指醋酸分解菌和产氢菌利用水解(液化)阶段产生的可溶性物质作电子供体,最终生成乙酸或氢气的过程。

(3)产甲烷阶段:厌氧产甲烷阶段是产甲烷菌利用 H_2 、乙酸和甲醇等电子供体进行的厌氧发酵过程。

收稿日期:2006-06-12;修订日期:2006-09-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40302033)

作者简介:张西华(1980—),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要从事固体废弃物处置及资源化研究理论与技术方面工作。

Pohland 和 Harper (1986) 在传统的垃圾厌氧消化“三阶段理论”的基础上, 提出了垃圾降解过程的“五阶段”理论, 他们认为大体上可将垃圾的降解过程分为五个阶段^[4], 即初始调整 (Initial adjustment) 阶段、过渡 (Transition) 阶段、酸化 (Acid) 阶段、甲烷发酵 (Methane fermentation) 阶段和成熟 (Maturation) 阶段。

(1) 初始调整阶段。开始产生 CO_2 , O_2 含量明显降低; 产生大量热, 可使垃圾体温度升高 $10 \sim 15$ 。

(2) 过渡阶段。此阶段垃圾中的硝酸盐和硫酸盐分别被还原为 N_2 和 H_2S , 填埋场内氧化还原电位 (Oxidation Reduction Potential, 简称 ORP) 逐渐降低, 为 $-100 \text{ mV} \sim 100 \text{ mV}$, 渗滤液的 pH 值开始下降。

(3) 酸化阶段。对垃圾降解起主要作用的微生物是兼性和专性厌氧细菌, 填埋气的主要成分是 CO_2 , 渗滤液 COD、挥发性脂肪酸 (Volatile Fatty Acid, 简称 VFA) 和金属离子浓度继续上升至中期达到最大值, 此后逐渐下降, 同时 pH 值继续下降至中期达到最低值 (5.0 甚至更低), 此后又慢慢上升。在此期间所产生的渗滤液 COD 极高, $(\text{BOD}_5) / (\text{COD})$ 为 $0.4 \sim 0.6$, 可生化性好, 而且颜色也相当深, 属于初期渗滤液^[5]。

(4) 甲烷发酵阶段。有机物经产甲烷菌分解转化为 CH_4 和 CO_2 , CO_2 溶解于水形成 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 H_2CO_3 等不同形态的碳酸化合物, pH 值则由于重碳酸盐的缓冲系统而维持在 $6 \sim 8$, 同时也给产甲烷菌提供了较好的生存条件, 此时 ORP 为最低值, 约为 $-400 \text{ mV} \sim -300 \text{ mV}$ 。由于有机酸的急速分解, 渗滤液的 COD、 BOD_5 质量浓度会急剧降低, $(\text{BOD}_5) / (\text{COD})$ 也降为约 $0.1 \sim 0.01$, 渗滤液的可生化性变差, 此时产生的渗滤液

为后期渗滤液^[5]。

(5) 成熟阶段。由于大量的营养物质已随渗滤液排出或生物降解, 只有少量的微生物分解垃圾中的难生物降解物质, 填埋气的主要组分依然是 CO_2 和 CH_4 , 但其产率显著降低, 渗滤液中常常含有一定量难以降解的腐殖酸和富里酸。

2 指标体系中判断指标的确定

现建立的指标体系是用于评价成都市长安垃圾卫生填埋场中垃圾所处的降解阶段, 成都市生活垃圾的组成成分见表 1。采用厌氧消化过程的“三阶段理论”, 把垃圾的降解过程分为水解酸化阶段、产酸阶段和产甲烷阶段, 并借鉴填埋场稳定化的研究思路, 指标的选取从渗滤液的水质特征和填埋气的组成两个方面着手。

表 1 成都市生活垃圾组成成分

组分	质量 m/g	质量分数 $w/\%$
厨余及园林树叶	145.593 2	28.00
果皮	27.470 4	5.28
纸类	47.592 1	9.15
织物	14.431 7	2.78
塑料	38.937 4	7.49
玻璃	0.108 3	0.02
金属	0.273 7	0.05
渣土无机物	245.593 2	47.23
	520	100

2.1 渗滤液的水质特征

垃圾渗滤液中不仅含有高浓度的 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$, 还含有大量的重金属如铅、锌、镉、锰、铬等^[6]。其种类和浓度与填埋场所填的垃圾类型、组分、填埋方式和填埋时间密切相关, 传统填埋场渗滤液水质特征见表 2。

表 2 传统填埋场渗滤液水质特征^[7]

污染物质量浓度	过渡期	产酸期	产甲烷期	稳定期
$(\text{BOD}_5) / (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.10 ~ 10.00	1.00 ~ 57.00	0.60 ~ 3.40	0.04 ~ 0.12
$(\text{COD}) / (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.48 ~ 18.00	1.50 ~ 71.00	0.58 ~ 9.76	0.31 ~ 0.90
$(\text{VFA}) / (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.10 ~ 3.00	3.00 ~ 18.80	0.25 ~ 4.00	0.00
$(\text{BOD}_5) / (\text{COD})$	0.23 ~ 0.87	0.40 ~ 0.80	0.17 ~ 0.64	0.02 ~ 0.13
$(\text{NH}_3 - \text{N}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	120 ~ 125	2 ~ 1030	6 ~ 430	6 ~ 430
pH	6.7	4.7 ~ 7.7	6.3 ~ 8.8	7.1 ~ 8.8

VFA 的质量浓度以乙酸计。

在填埋场垃圾降解过程的水解酸化阶段, 渗滤液中 COD 浓度迅速增大, VFA 和金属离子浓度逐渐上升, 同时 pH 值逐渐下降; 在产酸阶段, 渗滤液中 COD、VFA 和金属离子浓度继续上升至中期达到最大值, 此后逐渐下降, 同时 pH 值继续下降至中期达到最低值 (5.0 甚至更低), 此后慢慢上升; 在产甲烷阶段, 渗滤液中 COD、VFA 和金属离子浓度继续下降且下降幅度越来越小, 同时 pH 值继续上升, 最后基本稳定在 6.8~8.0。

2.2 填埋气的组成

在填埋场垃圾降解过程的水解酸化阶段, 填埋气中 N₂ 大大减少, O₂ 迅速减少直至消失, CO₂ 迅速增加, 同时 H₂ 开始出现并逐渐增加至最大含量; 在产酸阶段, 填埋气中 N₂ 继续减少直至消失, H₂ 亦开始减少直至消失, CO₂ 继续增加至最大含量 (>80%), 然后稍有减少, 同时 CH₄ 开始出现并逐渐增加; 在产甲烷阶段, 填埋气中 CH₄ 含量继续增加最后基本稳定在 55% 左右, CO₂ 含量则继续降低最后基本稳定在 45% 左右。

通过以上的分析所确定的判断指标和相应的监测方法见表 3。

表 3 判断指标及相应的监测方法

判断指标	监测方法
pH 值	玻璃电极法
COD	重铬酸钾法 (COD)
BOD ₅	稀释接种法
(BOD ₅) / (COD)	
VFA (Volatile Fatty Acid)	滴定法
ORP (Oxidation Reduction Potential)	现场测定
CO ₂ 、CH ₄ 、O ₂ 、N ₂ 、H ₂	气相色谱法

3 厌氧填埋场中垃圾降解阶段指标体系的建立

3.1 指标体系的建立方法

根据对厌氧填埋场中垃圾降解过程的分析 and 所选取的判断指标, 为了建立一个相对准确的指标体系, 采用定性分析和定量分析相结合的方法建立厌氧填埋场中垃圾降解阶段的指标体系。

定性分析主要是分析垃圾降解各阶段的典型特征以及各阶段分界线处的特征, 定量分析则主要是找出所选判断指标在垃圾降解各阶段的典型值, 进而通过多个指标的同步变化来确定垃圾降解所处的降解阶段。

3.2 判断厌氧填埋场中垃圾降解阶段的指标体系

3.2.1 水解酸化阶段的指标体系

判断厌氧填埋场中垃圾处于水解酸化阶段的指标体系见表 4。

表 4 填埋垃圾水解酸化阶段的指标体系

定性判断	定量判断
填埋气中 N ₂ 大大减少, O ₂ 迅速减少直至消失, CO ₂ 迅速增加, 同时 H ₂ 开始出现并逐渐增加至最大含量	ORP 值为 -100mV ~ 100mV
渗滤液中 COD 质量浓度迅速增加, VFA 质量浓度逐渐上升, 同时 pH 值逐渐下降	(COD) = 0.48 g/L ~ 18.00 g/L (BOD ₅) = 0.10 g/L ~ 10.00 g/L

3.2.2 产酸阶段的指标体系

判断厌氧填埋场中垃圾处于产酸阶段的指标体系见表 5。

表 5 填埋垃圾产酸阶段的指标体系

定性判断	定量判断
填埋气中 H ₂ 含量达到最大值, 标志着垃圾降解已进入产酸阶段	(BOD ₅) / (COD) = 0.4 ~ 0.6
填埋气中 N ₂ 继续减少直至消失, H ₂ 亦开始减少直至消失, CO ₂ 继续增加至最大含量 (>80%), 然后稍有减少, 同时 CH ₄ 开始出现并逐渐增加	(VFA) = 3.00 g/L ~ 18.80 g/L
渗滤液中 COD、VFA 质量浓度继续上升至中期达到最大值, 此后逐渐下降, 同时 pH 值继续下降至中期达到最低值 (5.0 甚至更低), 此后慢慢上升	pH 值为 4.7 ~ 7.7

3.2.3 产甲烷阶段的指标体系

判断厌氧填埋场中垃圾处于产甲烷阶段的指标体系见表 6。

4 结论

(1) 通过垃圾渗滤液的水质特征和填埋气的组成来判断填埋垃圾所处的降解阶段;

(2) (BOD₅) / (COD) 可以反映出渗滤液的可生化性, 从而间接反映出填埋垃圾所的降解阶段, 是判断填埋垃圾降解阶段的重要定量指标。

(下转第 59 页)

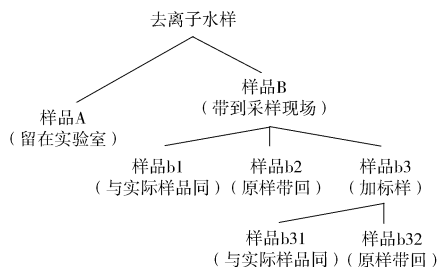


图 2 空白样和加标样质量控制技术

过程引起的误差;比较 b1 样和 b2 样的分析结果,可以确定采样容器污染或者样品采集过程中其他操作引起的误差;比较 b2 样和 b32 样的分析结果,可以确定样品不稳定和污染引起的误差;比较 b31 样和 b32 样的分析结果,可以确定采样容器污染或者样品采集过程中其他操作引起的误差。

除了用去离子水样加标的方式,还可用实际环境样品加标的方式进行质量控制工作。

2.6 样品的运输、固定和保存

样品的处理和保存技术可参考 ISO 5667 - 3 样品保存和处理导则。样品采集后要选择正确的保存剂处理,同时要在现场测量和记录样品温度和 pH 值、溶解性气体(如溶解氧)、悬浮物等物理参数,如果无法现场测量,也要在采样后尽可能短的

时间内测量。

要确保样品按照正确的方式送回实验室分析。一般要求样品瓶密封、避光、避热,以免样品由于气体交换、化学反应和微生物新陈代谢等作用发生性质上的变化。不能立即分析的样品要使其保持稳定,ISO 5667 - 3 建议短期内分析的样品需要在 4 条件下保存,长期的可在 - 20 冷冻保存。由于在冷冻过程中有可能造成样品浓度分布不均匀,因而在使用样品前必须确保其解冻完全。也可以通过加入化学保存剂的方法保存样品,但要确定保存剂的加入不会对分析测试产生干扰或影响分析结果。采取的保存方法要详细记录在采样报告中。

2.7 质量控制数据的分析

质量控制数据的分析采用休哈特 (Shewhart) 质量控制图,详细内容参见 ISO 8258。

2.8 采样标识和记录

ISO 5667 - 14 强调对采样全过程要有详细的记录,包括采样点位的描述、天气情况及其他一些可能改变的特殊情况。当为了某种特定目的而采样时,应记录详细的相关信息与采取的采样和样品保存技术,此外还要对采集的样品规范标识。

本栏目责任编辑 姚朝英

(上接第 37 页)

表 6 填埋垃圾产甲烷阶段指标体系

定性判断	定量判断
填埋气中 H ₂ 含量下降至很低时,标志着垃圾降解已进入产甲烷阶段	pH 值为 6 ~ 8
填埋气中 CH ₄ 含量继续增加最后基本稳定在 55% 左右, CO ₂ 含量则继续降低最后基本稳定在 45% 左右	ORP 为最低值, 为 - 400 mV ~ - 300 mV
渗滤液中 COD、VFA 质量浓度继续下降,且下降幅度越来越小,同时 pH 值继续上升最后基本稳定为 6.8 ~ 8.0	(BOD ₅) / (COD) = 0.1 ~ 0.01

5 存在的问题

在厌氧填埋场中垃圾降解过程方面存在的主要问题是: 和国外相比,缺乏对填埋场中垃圾降解机理方面的研究,而把研究的重点放在垃圾渗滤液的处理工艺方面; 在填埋垃圾降解各阶段的定量研究方面,缺乏较系统、完整的研究,对影响填埋垃圾降解各个因素(尤其是温度)的研究较少。建

议加强这些方面的研究。

[参考文献]

- [1] PA YLOSTATHIS S G, MISRA G, PRYTUL A M. Anaerobic processes[J]. Water Environment Res, 1995, 67 (4): 459 - 470.
- [2] 顾夏声,黄铭荣,王占生,等. 水处理工程[M]. 北京:清华大学出版社,1985.
- [3] 半振明,高忠爱,祁梦兰,等. 固体废物的处理与处置[M]. 北京:高等教育出版社,1996.
- [4] PARKER A. Practical waste management[M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1983.
- [5] 邹莲花. 城市生活垃圾填埋场渗滤液水质影响因素分析及水质预测[J]. 给水排水,1997,23(7): 57 - 60.
- [6] 童庆,李晔,樊鑫,等. 多元线性回归 pH 滴定同时测定垃圾渗滤液中重金属浓度[J]. 环境监测管理与技术,2005,17(6): 27 - 29.
- [7] RENHART D R, TOWNSEND T G. Landfill bioreactor design and operation[M]. Florida: CRC Press, 1997. 117 - 118.

本栏目责任编辑 李文峻