

准好氧填埋垃圾渗滤液全循环处理的影响因素研究

曾晓岚, 龙腾锐, 丁文川, 张磊磊
(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘 要: 对准好氧垃圾填埋所产生的垃圾渗滤液进行全循环处理, 考察了水力负荷和回灌次数对渗滤液除污效果的影响。正交试验结果表明, 水力负荷是影响渗滤液中污染物去除效果的关键因素, 回灌次数则为次要因素; 较优的水力负荷和回灌次数分别为 $15.9 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 3 次/d, 此时对渗滤液中 COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率分别为 99.3%、99.7% 和 98.7%。

关键词: 垃圾渗滤液; 准好氧填埋; 全循环处理; 水力负荷; 回灌次数

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)23-0063-04

Study on Influencing Factors of Landfill Leachate Treatment by Quasi-aerobic Full-scale Leachate Recirculation

ZENG Xiao-lan, LONG Teng-rui, DING Wen-chuan, ZHANG Lei-lei

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University,
Chongqing 400045, China)

Abstract: An orthogonal test simulating quasi-aerobic full-scale landfill leachate recirculation was conducted. The factors influencing leachate treatment investigated were the hydraulic load and recirculation frequency. The results show that the hydraulic load is the critical factor in determining the pollutants removal. Hence, the recirculation frequency is the secondary factor. The optimal hydraulic load and recirculation frequency concluded are $15.9 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, and 3 times/d, respectively. The removal percentages of COD, BOD_5 , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ under the conditions are 99.3%, 99.7%, 98.7%, respectively.

Key words: landfill leachate; quasi-aerobic landfill; full-scale recirculation treatment; hydraulic load; recirculation frequency

卫生填埋是目前我国城市垃圾处置的主要方法之一, 而卫生填埋场产生的渗滤液是一种有毒有害的高浓度有机废水, 其初始 COD 浓度达 $10\,000 \sim 50\,000 \text{ mg/L}$, 且可生化性差^[1]。由于传统的生物处理法和物化方法存在渗滤液处理出水水质难以达标且运行费用高的问题^[2], 因此对其处理仍然是目前尚未彻底解决的世界性难题^[3]。

处理垃圾渗滤液的循环式准好氧填埋技术在国外已被广泛采用, 但目前在国内的研究和应用还较少。日本福岡大学的花岗正孝教授对循环式准好氧填埋试验的研究表明: 垃圾中 90% 的有机污染物转

为 CO_2 、 N_2 等气体; 而厌氧填埋中 90% 的有机污染物进入渗滤液中^[4]。我国王琪等人的实验室研究也表明: 采用循环式准好氧填埋技术可以大大降低渗滤液中的有机物浓度, 对 COD 的去除率最高可达 95% 以上, 氨氮浓度可降至 10 mg/L 以下^[5,6]。为避免水质波动对处理设施的影响并充分利用干旱少雨地区蒸发量大的特点, 笔者在已有研究成果的基础上, 提出适用于干旱少雨地区且具有经济、简便、高效的准好氧填埋垃圾渗滤液全循环处理技术, 并通过正交试验研究了水力负荷和回灌次数对处理效果的影响, 以期为准好氧填埋垃圾渗滤液全循环处

理技术的后续研究和工程应用提供依据。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示。

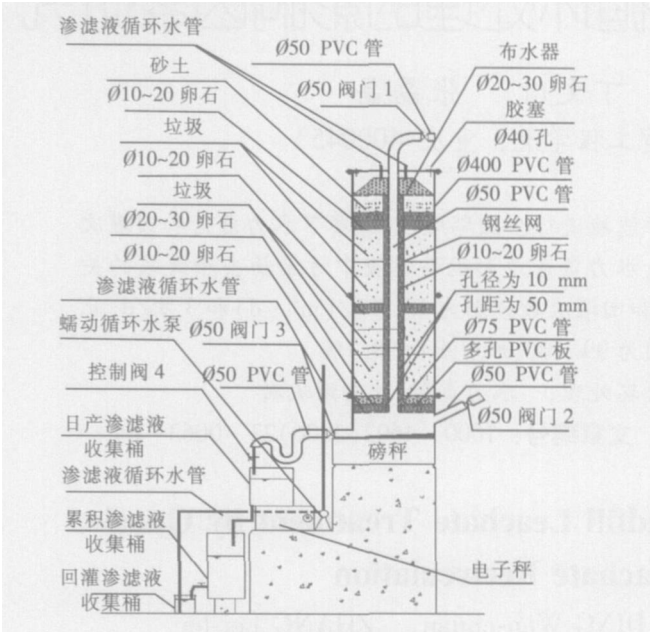


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental setup

模拟试验装置为 4 个 PVC 柱,外径为 400 mm,柱高为 1 600 mm。阀门 1 和柱顶的 4 个 Ø40 mm 孔全开,阀门 2 半开。为避免环境温度等外界条件的影响,试验在 15 的室温下进行,不模拟降雨过程。

1.2 垃圾组成

试验垃圾取自重庆市沙坪坝区杨公桥和陈家湾垃圾中转站,拣去纤维、橡塑、砖石、金属块、玻璃等杂物后,将其粒径破碎至 50 mm。为增加垃圾的无机成分和透气性,在各垃圾柱中加入石渣和煤灰,并在厌氧区中加入 3 kg 的厌氧活性污泥,在好氧区加入 4.3 kg 的好氧活性污泥。上述添加物与垃圾混合均匀后分成 4 层并分批称重、装填、压实。试验垃圾的组成和特性分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 试验垃圾样品组成成分

Tab 1 Composition of solid waste sample %

样品成分	厨余	树叶	纸张	塑料	金属	石渣	煤灰
比例	47.7	1.2	1.6	0.2	0.1	27.9	21.3

表 2 试验垃圾特性

Tab 2 Characteristics of solid waste sample

项目	密度 / (kg · m ⁻³)	装填 质量 /kg	含水 率 / %	厌氧垃圾 柱 BDM / (mg · g ⁻¹)	准好氧垃圾 柱 BDM / (mg · g ⁻¹)
数值	731.3	68.9	59.8	274.6	236.6

1.3 试验方法

在试验过程中,于每日上午首次回灌前测定各柱渗滤液的体积和质量,将其倒入各柱累积渗滤液收集桶(该桶储存相应垃圾柱产生的所有渗滤液)中,并与原有渗滤液混合均匀,从中取一定体积的渗滤液进行回灌,若渗滤液量不足则加自来水补充。取样频率为 1 次 / 周,测定项目为 COD、BOD₅、氨氮,以考察各柱对渗滤液的处理效果。

各指标的测定方法如表 3 所示。

表 3 指标测定方法

Tab 3 Testing indexes and methods

测定指标	测定方法	测定仪器
COD	重铬酸钾比色法	HACH2010分光光度计
BOD ₅	五日培养法	YS5100 BOD测定仪
氨氮	纳氏试剂比色法	721分光光度计

2 试验方案

2.1 因素的选择

影响准好氧填埋垃圾渗滤液全循环处理效果的因素有渗滤液收集管管径、收集管的布置密度、垃圾体压实密度、水力负荷、有机负荷、回灌次数等,其中水力负荷、有机负荷和回灌次数是影响渗滤液回灌处理效果的主要技术参数^[7,8]。由于试验期间回灌所用渗滤液全部为垃圾体自身产生且不外排,因此在水力负荷一定的情况下,有机负荷会随试验的进行而降低,很难对其进行定量研究。考虑到水力负荷、回灌次数在实际应用中可以简便、灵活地操作控制,且具有较高的工程应用价值,故选择水力负荷、回灌次数为正交试验的考察因素。

2.2 水平的选择

唐家富等人的研究表明,随着水力负荷的增加,对 COD 和 BOD₅ 的去除率均呈下降趋势;回灌次数以 6 次 / d 时的去除效果最好,但增加回灌次数对 COD 和 BOD₅ 去除率的提高无明显作用,回灌次数可视操作方便来调整^[9]。在相同水力负荷下,通过对不同回灌次数的研究,Chugh 发现回灌次数过多不利于垃圾的降解^[10]。在国内外研究中,回灌时间采用较多的是 8 h 或 16 h,即 3 次 / d 或 3 次 / 2 d。经分析选定水力负荷为 600 mL / d [5.3 L / (m² · d)]、1 800 mL / d [15.9 L / (m² · d)];回灌次数为 1 次 / 2 d、3 次 / d。因素水平选择见表 4。

表 4 因素水平表

Tab 4 The table of factor and level

水平	因素	
	水力负荷 / (mL · d ⁻¹)	回灌次数 / (次 · d ⁻¹)
1	600	0.5
2	1 800	3

2.3 正交表的选择

根据选用正交表必须遵循的两个原则:试验确定的水平数和选用正交表的水平数要完全一致;一

般要求正交表至少有一个空列,即因素的个数要小于或等于正交表的列数。因此,选择 L₄ (2³)正交试验表安排试验。

3 试验结果与分析

以 COD、BOD₅ 和氨氮为考核指标,分别计算各试验对累积渗滤液中 COD、BOD₅ 和氨氮的去除率,将每项指标的优秀值定为满分,对其他试验所得的指标值则视其与该优秀值的差异按比例打分。正交试验计算结果见表 5。

表 5 正交试验计算结果

Tab 5 The table of orthogonal test arrangement

试验方案	因素			考核指标			综合得分
	水力负荷 / (mL · d ⁻¹)	回灌次数 / (次 · d ⁻¹)	空列	COD	BOD ₅	氨氮	
1	1	1	1	9.45 (93.8%)	9.91 (98.8%)	4.50 (44.4%)	23.86
2	1	2	2	9.67 (96.0%)	9.87 (98.4%)	4.66 (45.9%)	24.2
3	2	1	2	9.72 (96.5%)	9.97 (99.4%)	9.03 (89.1%)	28.72
4	2	2	1	10 (99.3%)	10 (99.7%)	10 (98.7%)	30
K ₁	48.06	52.58	53.86				
K ₂	58.72	54.20	52.92				
ΔK	10.66	1.62	0.94				
Q _j	2 878.901	2 851.148	2 850.713				
S _i ²	28 408.9	0.656 1	0.220 9				

注:考核指标中括号内数值为相应指标的去除率。

3.1 直观分析

由表 5可知,水力负荷和回灌次数均以第二水平为佳,其中水力负荷为关键因素,回灌次数为次要因素。故试验确定最佳水力负荷为 1 800 mL/d,最佳回灌次数为 3次/d。

3.2 方差分析

采用方差分析可检验试验误差的大小,为考察因素的作用是否显著提供一个判断标准。对试验结果的方差分析见表 6。

表 6 方差分析表

Tab 6 The table of variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方差	F值	F _{0.1} (1, 1)
水力负荷	28 408.9	1	28 408.9	128.605 3	39.9
回灌频率	0.656 1	1	0.656 1	2.979 22	
误差	0.220 9	1	0.220 9		
总和	29.285 9	3			

在方差分析过程中,对自由度 $f_e \leq 5$ 时, F 检验的显著性水平可由约定的 $\alpha = 0.05$ 提高到 $\alpha = 0.1^{[11]}$ 。从表 6可知,水力负荷的 F 值为 128.605 3,

远远大于 $F_{0.1} (1, 1)$ 的值,表明水力负荷的影响较显著。从填埋场的实际操作条件、渗滤液对垃圾体的冲刷作用以及渗滤液在垃圾体内的停留时间等角度考虑,在相同水力负荷条件下适当加大回灌次数,可减轻回灌负荷对垃圾体的冲刷,有利于微生物的生长繁殖,同时也延长了回灌渗滤液在垃圾体内的停留时间,故较优的水力负荷为 1 800 mL/d,回灌次数为 3次/d。这与直观分析结果基本一致。

4 结论及建议

以水力负荷、回灌次数为考察因素进行的正交试验表明,水力负荷是影响渗滤液中污染物去除的关键因素,回灌次数是次要因素;最优水力负荷和回灌次数分别为 1 800 mL/d [15.9 L/(m² · d)]、3次/d。正交试验结果还表明,较大的水力负荷和回灌次数有利于渗滤液的降解,这为全循环式准好氧回灌处理垃圾渗滤液的最佳水力负荷和回灌次数的进一步优选提供了研究方向。

参考文献:

[1] 赵由才,龙燕,张华. 生活垃圾卫生填埋技术 [M].

- 北京:化学工业出版社,2004
- [2] 于晓华,李国建,何品晶,等. 生物反应器填埋技术及其应用[J]. 环境保护,2003,2:24-26
- [3] 张晖,Huang C P. Fenton法处理卫生填埋渗滤液——从模型放大到中试的问题初探[J]. 重庆环境科学,2002,24(1):26-28
- [4] 花坞正孝. 废弃物最终処分场动向技术上问题点[J]. 废弃物学会志,1993,4(1):3-9
- [5] 王琪,董路,李姐,等. 垃圾填埋场渗滤液回流技术的研究[J]. 环境科学研究,2000,13(3):1-5
- [6] 何品晶,邵立明. 城市垃圾 BDM 测定方法的特性及应用[J]. 环境卫生工程,1994,2(2):27-30
- [7] 卢成洪,徐迪民. 回灌法处理城市垃圾填埋场渗滤液[J]. 上海环境科学,1997,16(1):38-40
- [8] 何厚波,徐迪民. 垃圾堆体高度对渗滤液回灌处理的影响[J]. 中国给水排水,2003,19(1):9-12
- [9] 唐家富,李国建. 垃圾填埋场渗滤液回灌处理的影响因素研究[J]. 环境卫生工程,1997,16(1):14-20
- [10] Chugh S, Clarke W. Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation[J]. Waste Manage Res,1998,16(6):564-573
- [11] 四川环境科学学会. 环境监测常用数理统计方法[M]. 成都:四川科技出版社,1983
- E-mail:water_zhll@163.com
收稿日期:2006-07-25

(上接第 62 页)

3 结论

投加 10% 的 CSG-1 阳离子表面活性剂可使污泥的 CST 从 71 s 降至 62 s 左右,从而改善活性污泥的过滤性能;但 CSG-1 和 CSG-2 均使污泥的过滤速率变慢,两者相比,经 CSG-2 调理后,污泥的过滤性能更差。

投加 CSG-1 和 CSG-2 均使过滤后活性污泥滤饼的含水率显著降低,投加 10% 的 CSG-1 可使污泥含水率从 83.55% 降至 78% 左右,而投加 10% 的 CSG-2 可使污泥含水率从 83.78% 降至 74% 左右,效果略优于 CSG-1。

与 CSG-2 相比,CSG-1 能显著改善活性污泥的沉降性能,当其投量为 10% 时效果最佳。

阳离子表面活性剂依靠静电引力和范德华力而被吸附在活性污泥表面,CSG-1 和 CSG-2 由于疏水链长度的不同,导致其在污泥上的吸附量不同,从而改变了污泥特性,并引起 EPS 在污泥表面和溶液中的分布发生变化,使活性污泥的脱水性能得到改善。

参考文献:

- [1] 彭晓峰,陶涛,陈剑波,等. 国际污泥研究现状初探[J]. 自然杂志,2002,24(4):191-194

- [2] 李笃中,何品晶. 污泥性质、胶羽结构与处置[J]. 科技导报,2004,(9):26-30
- [3] Huang C, Pan J R, Fu C G, et al. Effects of surfactant addition on dewatering of alum sludges[J]. J Environ Eng, 2002,128(12):1121-1127.
- [4] 王秀奇,秦淑媛,高天慧,等. 基础生物化学实验[M]. 北京:高等教育出版社,1999
- [5] 朱敬平,李笃中. 污泥处置(II):污泥之前处理[J]. 国立台湾大学台大工程学报,2001,(82):49-76
- [6] Jin Bo, Willem Britt Marie, Lant Paul. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge[J]. Chem Eng J, 2004,98(1-2):115-126
- [7] 陈银广,杨海真,吴桂标,等. 表面活性剂改进活性污泥的脱水性能及其作用机理[J]. 环境科学,2000,21(5):97-100
- [8] Garia M T, Campos E, Sánchez-Leal J, et al. Structure-activity relationships for sorption of alkyl trimethyl ammonium compounds on activated sludge[J]. Tenside Surf Det, 2004,41(5):235-239

电话:(021)54748019

E-mail:wmcai@sjtu.edu.cn

收稿日期:2006-06-23