

好氧 / 缺氧消化降解污泥特征分析

张艳萍¹ 彭永臻²

(1. 北京工商大学化学与环境工程学院, 北京 100048 2. 北京工业大学环境与能源学院, 北京 100022)

摘要 为考察好氧 / 缺氧消化过程中污泥降解的特征, 利用 2 个反应器进行对比试验, 研究好氧 / 缺氧和好氧消化 2 个过程中 VS 的去除, pH 和碱度变化, 消化上清液中 COD 和氮元素变化等情况。试验结果表明: 好氧 / 缺氧消化能够满足污泥稳定的要求, 在常温条件下, 消化 16 d VS 去除率即可达到 38.2%, 同时比好氧消化节约曝气能耗。好氧 / 缺氧消化对污泥中总氮的去除率高于传统的好氧消化, 达到了 36.4%, 而且能够降低消化污泥上清液中的氨氮和硝态氮浓度。

关键词 污泥 好氧 / 缺氧消化 挥发性固体 (VS) 降解

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2009)04-0673-04

Degradation characters of aerobic/anoxic sludge digestion

Zhang Yanping¹ Peng Yongzhen²

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048

2. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022)

Abstract A batch experiment was conducted using two self-made reactors to compare aerobic/anoxic digestion with aerobic digestion. Some degradation characters during sludge digestion such as the volatile solid (VS) reduction, the change of pH and alkalinity, COD and nitrogen concentration in supernatant were investigated. Results showed that VS reduction rate of aerobic/anoxic digestion could achieve to 38.2% after 16 days' digestion at normal temperature, which was satisfied with the standard of sludge stabilization. At the same time, the energy consumption due to aeration during aerobic/anoxic digestion was decreased greatly in view of only 50% aeration time. Profit from denitrification, the total nitrogen reduction rate of aerobic/anoxic digestion was higher than that of solely aerobic digestion, which was 36.4%. Furthermore, ammonia and nitrate concentration in supernatant of digested sludge could be decreased through aerobic/anoxic digestion.

Key words sludge aerobic/anoxic digestion volatile solid (VS); degradation

近年来, 随着我国污水处理率的提高, 污泥产量也不断增加, 污泥的处理和处置问题日益突出。污泥如果处理不当, 极易造成二次污染, 因此研究经济实用的污泥处理技术是十分重要的课题。

污泥好氧消化实质上是污泥中的微生物有机体进行内源代谢的过程。在曝气充氧条件下, 活性污泥中的微生物有机体自身氧化分解, 转化为二氧化碳、水、氨气等, 使污泥得到稳定^[1-2]。美国、日本和加拿大等发达国家都有不少中、小型污水处理厂采用好氧消化处理污泥。由于好氧消化具有运行管理方便、操作灵活、投资低、处理不易失败等优点, 因而对于处理量较小的污水处理厂 ($\leq 20\,000\text{ m}^3/\text{d}$) 是一种有效实用的污泥稳定方法^[3]。

传统的好氧消化曝气时间长, 能耗大, 而且运行过程中由于硝化作用消耗碱度, 导致反应器中 pH 下降, 影响处理效果^[4]。早期的好氧消化通常需要

投加石灰等药剂来提高反应器内的 pH^[5], 后来通过引入缺氧反硝化过程, 形成一种新型的好氧消化法——好氧 / 缺氧消化。利用缺氧段反硝化作用所产生的碱度, 可以起到缓冲作用, 防止反应器中 pH 下降^[6-7]。

目前国内对污泥好氧 / 缺氧消化工艺研究尚不够深入, 为进一步了解好氧 / 缺氧消化降解污泥的特征, 对好氧 / 缺氧和好氧消化进行对比试验。探讨其在有机物去除、pH 和碱度变化、氮元素转化等方面的特性。

收稿日期: 2008-08-04 修订日期: 2008-08-18

作者简介: 张艳萍 (1971~), 女, 讲师, 博士, 主要从事水污染控制方面的研究工作。E-mail: zhy@bttbhu.edu.cn

1 试验材料及方法

1.1 试验装置

采用 2 个如图 1 所示的反应器。反应器为有机玻璃加工制成,有效容积 10 L,反应器侧壁上有取样口,底部设放空管。采用鼓风微孔曝气方式,通过安装于底端的砂头曝气,用空气流量计调节曝气量。启闭曝气装置可使反应器分别处于好氧和缺氧状态,缺氧时通过搅拌器的慢速搅拌,保持污泥处于悬浮状态。

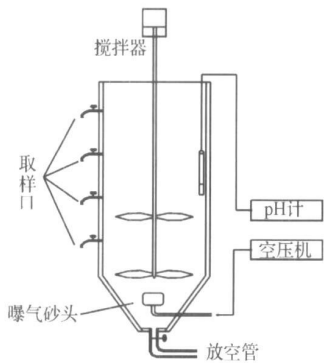


图 1 好氧消化试验装置

Fig 1 Schematic diagram of aerobic digestion

1.2 污泥的来源及特性

污泥取自北京市某污水处理厂的污泥回流管线,为二次沉淀池剩余污泥,污水处理厂采用的生物处理工艺为 A₂O, 将从污泥回流管线取回的污泥进行浓缩后作为试验用泥。该污泥 pH 为 7.12,总氮含量 TN 为 653.4 mg/L,总固体浓度 TS 为 9.34 g/L,其中挥发性固体浓度 VS 为 6.5 g/L,VS 与 TS 的比值接近 0.7。污泥上清液中各项指标为: COD 73.74 mg/L, NH₃-N 7.0 mg/L, NO₃⁻-N 1.3 mg/L, 碱度 187.1 mg/L(以 CaCO₃ 计)。

1.3 运行条件及操作方式

试验中所用的 2 个反应器记为 1[#] 和 2[#], 1[#] 为好氧消化反应器, 2[#] 为好氧/缺氧消化反应器,考虑到污泥好氧消化中发生的反硝化为内源反硝化,速度较慢,故好氧/缺氧消化采用 12 h 好氧曝气, 12 h 缺氧搅拌,交替进行的运行方式。

常温下污泥好氧消化的污泥停留时间一般为 15 ~ 20 d^[9],故选择 18 d 作为一个消化周期。将试验用污泥平均分到 1[#] 和 2[#] 反应器中,常温(约 20℃)条件下运行,曝气量为 0.2 m³/h, 2 反应器除曝气方式不同外,其他运行条件一致。每日需定时取样

测试。

1.4 测试方法

污泥样测试指标有: pH, TS, VS, TN 等。另外还要将泥样在 3 000 r/min 的条件下离心 10 ~ 20 min 后,取上清液分析 COD, NH₃-N, NO₃⁻-N, 凯氏氮(TKN), TN, 碱度等指标。各项目测试按标准方法进行^[8]。pH 采用德国 WTW pH 计(340 i)测试。

2 试验结果与分析

2.1 VS 去除效果

在污泥消化过程中,污泥中的固体物质不断发生氧化分解,其总固体浓度(TS)和挥发性固体浓度(VS)都随消化的进行不断降低。2 个反应器中污泥 TS, VS 随运行时间的变化如图 2 所示。

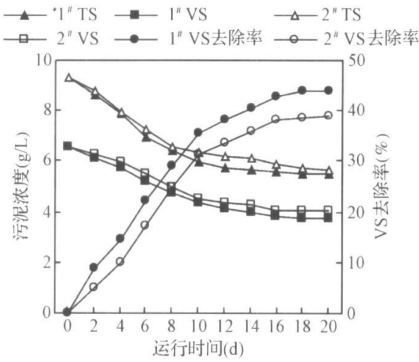


图 2 污泥固体浓度及 VS 去除率

Fig 2 Solid concentrations and VS removal rate

由图 2 可以看出: 2 个反应器中 TS 与 VS 的变化趋势是基本一致的,且对污泥固体的去除规律基本相同。VS 去除率是衡量污泥稳定化的主要指标,运行 10 d 时,1[#] 和 2[#] 反应器的 VS 去除率分别为 35.4% 和 31.9%;运行 16 d 时,两者的 VS 去除率分别为 42.8% 和 38.2%。2[#] 反应器的 VS 去除率略低于 1[#] 反应器,但从能耗方面考虑,由于 2[#] 反应器的累计曝气时间只有 1[#] 反应器的 50%,因此在达到污泥稳定化要求的前提下(VS 去除率为 38%),采用好氧/缺氧消化具有良好的节能意义。

2.2 污泥上清液 COD

为了进一步了解污泥降解的特征,对污泥上清液的相关指标进行分析,2 个反应器中污泥上清液 COD 的变化情况如图 3 所示。可以看出: 在 1[#] 反应器中,上清液 COD 较高,而在 2[#] 反应器中,上清液 COD 较低。随着消化反应的进行,2 个反应器中的上清液 COD 都有逐渐增高的趋势。

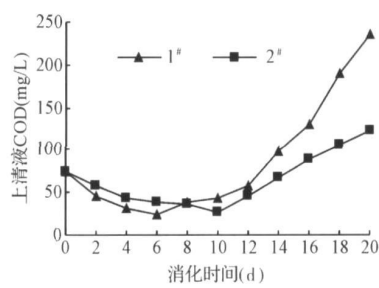


图 3 污泥上清液 COD 的变化

Fig. 3 COD of digested sludge supernatant

2 3 氮元素转化规律

2个反应器中氮元素的变化情况示于图 4和图 5。比较 2图可以看出: 2个反应器中氮元素转化的规律有所不同。

首先, 两者对污泥 TN 的去除量不同。1# 反应器中污泥 TN 的去除量较小。消化 18 d时污泥 TN 由初始的 653.4 mg/L降为 546.1 mg/L, 去除率为 16.4%。而 2# 反应器中污泥 TN 的去除量较高, 消化 18 d后, 污泥 TN 降至 415.4 mg/L, 去除率达到 36.4%。可见好氧 缺氧消化过程中发生的反硝化作用, 提高了对污泥 TN 的去除率。

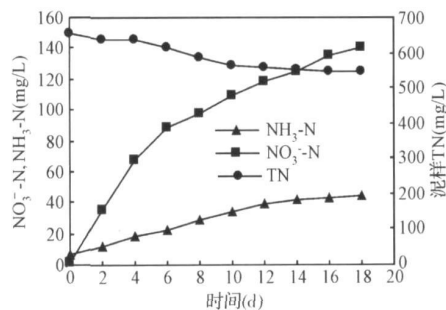


图 4 1# 反应器中氮元素的变化

Fig. 4 Nitrogen concentrations in 1# reactor

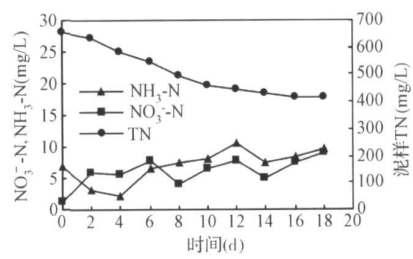


图 5 2# 反应器中氮元素的变化

Fig. 5 Nitrogen concentrations in 2# reactor

显著不同。1# 反应器中氨氮和硝态氮的浓度都随消化的进行不断升高, 消化 18 d时分别达到 43.6 mg/L和 140.3 mg/L。这是因为好氧消化过程中, 随着 VS 的降解, 污泥中的含氮有机物先脱氨基产生氨氮, 再通过硝化作用将氨氮转化为硝态氮。这一过程促使上清液中的硝态氮浓度不断升高。若存在碱度不足等因素, 造成硝化不完全, 氨氮浓度也会升高。2# 反应器中, 氨氮浓度却始终较低, 一般都在 10mg/L 以下, NO₃⁻-N 的浓度也保持在较低的水平。由于 2# 反应器中曝气与缺氧搅拌交替进行, 曝气时的硝化作用先将氨氮转化为硝态氮; 而缺氧搅拌阶段的反硝化作用又会使硝态氮转化为氮气排出系统, 因此硝态氮不会累积。

在好氧消化过程中, 随着 VS 的降解, 存在于污泥固相中的氮也会逐步转入液相中, 提高消化上清液中氮的浓度。而消化污泥脱水后, 部分上清液会回流到污水处理系统前端。根据试验数据对消化污泥上清液中的氮负荷进行分析: 由于上清液中亚硝态氮含量很低, 可忽略不计, 而消化前后上清液中有有机氮的含量 (TKN 与氨氮的差值) 变化不大, 因此氨氮和硝态氮成为上清液中主要的氮负荷。比较图 4 和图 5 可以看出: 采用好氧 缺氧消化时, 上清液中氨氮和硝态氮的浓度都较低, 相应的氮负荷也较低。

2 4 pH 和碱度

在污泥好氧消化过程中, 内源代谢产物的积累会引起体系内的 pH 发生变化。2个反应器中 pH 的变化规律不同。1# 反应器消化过程中 pH 的变化如图 6 所示。

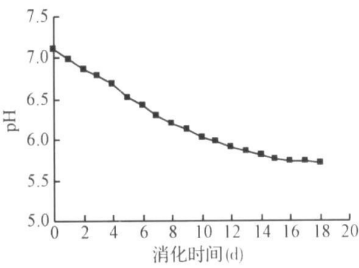


图 6 1# 反应器中 pH 变化

Fig. 6 Change of pH in 1# reactor

由图 6 可看出: 1# 反应器中 pH 随着消化的进行持续下降。前 2 周 pH 下降较快, 消化 15 d 后, pH 由原来的 7.12 降到 5.75, 此后 pH 下降速度减慢, 消化 18 d 时 pH 为 5.67。

将 2# 反应器中 pH 在线检测的部分数据绘制在

图 7 中。可以看出, 2[#]反应器中 pH 随曝气和搅拌的交替呈现周期性的变化。曝气时, pH 先迅速上升后缓慢下降; 停曝搅拌时, pH 在短暂下降后即平稳上升。消化 16 d 时 2[#]反应器中 pH 仍保持在 6.7 左右。

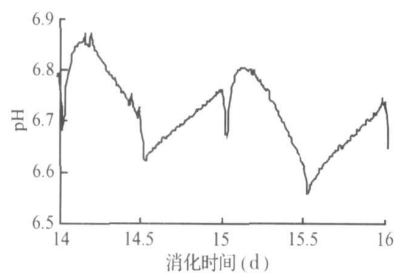


图 7 2[#]反应器中 pH 变化
Fig 7 pH profile in 2[#] reactor

消化 18 d 时, 测试 2 个反应器中的碱度, 1[#]反应器中的碱度仅有 21.4 mg/L CaCO₃, 几乎耗尽。而此时 2[#]反应器中的碱度为 108.7 mg/L CaCO₃, 高于 1[#]反应器。可见缺氧搅拌阶段的反硝化作用可以部分补偿硝化作用所消耗的碱度。

3 结 论

通过上述试验结果的讨论, 可以得到如下结论:
(1) 1[#]和 2[#]反应器在常温条件下经过 18d 好氧消化, 都可达到 VS 去除率 > 38% 的指标要求。可见对污水处理厂的剩余污泥进行好氧消化是可行的。
(2) 好氧 缺氧消化 VS 去除率略低于传统的好氧消化, 但在节约曝气能耗方面具有优势。另外, 好氧 缺氧消化反应器中的 pH 能基本维持在中性范围, 碱度消耗低于传统的好氧消化。

(3) 1[#]反应器污泥 TN 的去除率仅为 16.4%, 而 2[#]反应器污泥 TN 的去除率较高, 为 36.4%, 因此采用好氧 缺氧消化可以提高污泥 TN 的去除率。而且消化后污泥上清液中氨氮和硝态氮的浓度很低, 减少回流到污水处理系统中的氮负荷。

因此, 好氧 缺氧消化在节能、提高总氮的去除率、维持 pH 和碱度的平衡等方面优于传统的好氧消化, 是一种更为经济实用的中小规模污泥稳定化处理办法。

参 考 文 献

[1] Hartman R. R., Smith D. G. Sludge stabilization through aerobic digestion. WPCF, 1979, 51(10): 2353~2365
[2] 张锡辉, 刘勇弟. 废水生物处理 (第 2 版). 北京: 化学工业出版社, 2003 367
[3] 尹军, 刘韬, 宋显东. 污泥好氧消化处理的若干问题探讨. 中国给水排水, 2001, 17(8): 23~26
[4] Bemard S., Gray N. F. Aerobic digestion of pharmaceutical and domestic wastewater sludges at ambient temperature. Wat Res., 2000, 34(3): 725~734
[5] Ganczarezyk H, Honda M. F. Performance of aerobic digestion at different sludge solid levels and operation patterns. Wat Res., 1980, 14(2): 627~633
[6] Wamer P. C., Ekama G. A., Marais G. V. R. Comparison of aerobic and anoxic aerobic digestion of waste activated sludge. Water Sci. & Tech., 1985, 17(8): 1475~1478
[7] Peddie C. C., Mavinic D. S. Pilot scale evaluation of aerobic-anoxic sludge digestion. Canadian Journal of Civil Engineering, 1990, 17(1): 68~78
[8] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002
[9] Rich L. G., et al. Rational design of aerobic digestion systems. Journal of Environmental Engineering, 1987, 113(3): 499~515