

# 不同污水处理厂剩余污泥好氧消化的对比研究

张艳萍, 彭永臻, 王淑莹

(北京工业大学 环境与能源学院, 北京 100022)

**摘要:**为考察剩余污泥好氧消化的效果及其污泥性能对好氧消化的影响,选择不同处理工艺的3个污水处理厂剩余污泥进行对比试验.试验结果表明,经过好氧消化,污泥的SOUR虽有较大幅度的下降,但最终的VSS/TSS比率仍较高(65%~80%).初始SOUR较高的污泥,好氧消化时COD及VSS去除率相对也较高.对连续曝气与间歇曝气条件下的氮代谢和磷滤出进行比较可知,采用间歇曝气提高了总氮去除效率,还减少了约50%的磷滤出.

**关键词:**剩余污泥;好氧消化;稳定;间歇曝气;磷滤出

**中图分类号:**X703

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-0946(2005)05-0575-04

## Comparative study on aerobic digestion of waste sludge from three different WWTP

ZHANG Yan-ping, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying

(School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** A laboratory aerobic digestion experiment was undertaken to investigate the treatment capability and effect of aerobic sludge digestion. Three different waste activated sludges generated from waste water treatment plants with different processes were used to determine the influence of sludge character on aerobic digestion. Although the specific oxygen uptake rate (SOUR) was reduced greatly during aerobic digestion, the ultimate VSS/TSS ratio was still very high (65% ~ 80%). The sludge with high initial SOUR was suitable for aerobic digestion and could attain relative high COD degradation rate and VSS reduction rate in digestion. The fate of nitrogen and phosphorus leaching characteristics from sludge were also compared between continuous and intermittent aerobic digestion process. Phosphorus leaching reduced to 50% and TN reduction rate was improved through intermittent aeration.

**Key words:** waste activated sludge; aerobic digestion; stabilization; intermittent aeration; phosphate leaching

污泥好氧消化指采用好氧生物反应器稳定化处理初沉池和废水生物处理单元中产生的污泥.在好氧条件下,污泥生物物质被氧化为 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$ 及难降解的微生物残留物<sup>[1]</sup>.好氧消化需要曝气供氧,因而能耗较高,但它具有运行管理方便、基建投资低、处理不容易失败等优点,对于处理量较

小( $\leq 2000 \text{ m}^3/\text{d}$ )的中小型污水处理厂或对难以回收沼气能源的处理工艺,仍有良好的实际应用价值<sup>[2]</sup>.

目前许多污水处理厂在传统的处理工艺中引入了厌氧段或缺氧段,从而可以达到脱氮除磷的目的.大部分营养元素,尤其是磷,从废水中去除后转化为生物体,通过污泥排放出来,污泥中的磷质量

收稿日期:2005-07-08.

作者简介:张艳萍(1971-),女,博士,研究方向:污水生物处理技术及污泥处理.

分数达到 4% 以上. 这种含磷较高的污泥会给污泥处置带来一些问题, 若处置不当会使磷滤出而造成污染. 有研究表明: 污泥好氧消化可在一定程度上减少磷的沥出及氨氮的释放<sup>[3]</sup>.

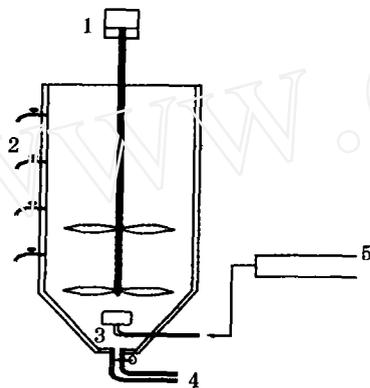
本研究的目的是对 3 个不同工艺污水处理厂的剩余污泥进行好氧消化试验研究, 考察它们的 VSS 去除效果及其比耗氧速率(SOUR), 同时研究间歇曝气好氧消化对污泥中氮、磷释放的影响, 并与连续曝气的好氧消化工艺进行对比.

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验装置及运行条件

采用 3 个 12 L 的好氧间歇反应器, 有效容积为 9 L, 每个反应器在下部通过微孔砂头曝气, 反应器如图 1 所示.

利用气体流量计控制曝气量, 运行过程中采用平行运行方式补充试验过程中因分析而减少的污泥量, 以保证运行过程中运行条件的稳定性. 此外, 以蒸馏水及时补充因蒸发而损失的水份.



1—电动机; 2—取样口; 3—微孔曝气砂头;  
4—放空管; 5—气泵

图 1 反应器示意图

试验分 2 个阶段进行, 第 1 阶段对 3 个反应器都采用连续曝气的运行方式, 通过调节曝气量保持反应器内的 DO 质量浓度  $\geq 2 \text{ mg/L}$ . 第 2 个阶段 3 个反应器采用间歇曝气, 好氧/缺氧交替的运行方式. 按预先设定时间启闭曝气和搅拌装置, 使反应器处于 12 h 曝气(好氧), 12 h 搅拌(缺氧)交替运行的状态. 缺氧时的慢速搅拌保持污泥处于悬浮状态. 各反应器在室温下运行 7 d, 由于时处夏季, 平均的运行温度为  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 1.2 污泥来源

污泥样取自北京市的 3 个不同的城市污水处理厂, 各污泥样均取自污泥回流管线. 其采用的污水处理工艺及污泥龄如表 1 所示.

表 1 产生污泥的工艺及污泥龄

编号	采用的处理工艺	污泥龄 (SRT)
A 污泥	氧化沟延时曝气工艺, 可脱氮除磷, 不设初沉池	SRT = 30
B 污泥	二级处理采用 A/A/O 脱氮除磷工艺	SRT = 15
C 污泥	二级处理采用传统曝气池, 主要去除有机物	SRT = 8

### 1.3 分析测试项目及方法

在进行好氧消化之前, 污泥样测初始 OUR、TSS、VSS、总有机氮、总磷; 污泥上清液样测 COD、有机氮、氨氮、硝酸盐氮、总磷及正磷酸盐. 所有的参数都按标准方法测试.

在好氧消化过程中 OUR 每 12 h 测试一次, 测试装置如图 2 所示, 其他指标每周取样 2 次进行测试. 每天记录温度和溶解氧情况.

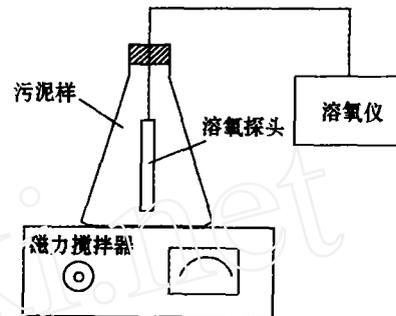


图 2 OUR 测定方法示意图

## 2 试验结果分析与讨论

### 2.1 连续曝气与间歇曝气

B 污泥连续和间歇曝气好氧消化时, 其 OUR 随时间的变化情况如图 3 所示. 在连续曝气过程中, OUR 突然降低后基本稳定. 而在间歇曝气过程中, OUR 有明显的上升和下降, 当处于缺氧状态时, 污泥会发生了水解, 并释放出易于降解的底物, 从而引起 OUR 的上升, 而在随后的好氧条件下, 会由于底物的降解而引起 OUR 的迅速下降.

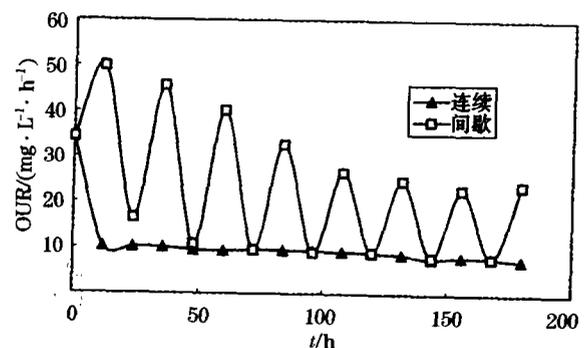


图 3 连续曝气与间歇曝气时 OUR 变化图

### 2.2 VSS 的去除

污泥的初始 VSS/TSS 及 SOUR 与污水处理厂

采用的污泥龄有关.当污水处理厂的污泥龄较短时,产生的剩余污泥较不稳定,表现在高 VSS/TSS 比及较高的 *SOUR*.污泥的稳定性决定于污水处理厂活性污泥工艺处理的程度,但对于采用脱氮除磷工艺的污水处理厂,即使采用较长的 *SRT*,由于在大部分反应器中都处于不曝气的状态,其污泥仍十分不稳定,需要进行必要的处理.对 3 种污泥样品进行 7 d 好氧消化试验,其初始及最终的 VSS/TSS 比率及 *SOUR* 如图 4 所示.

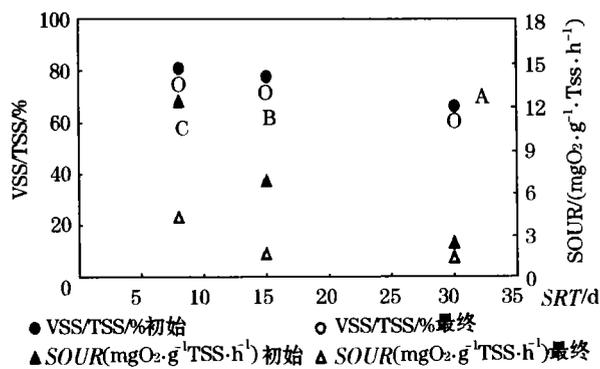


图 4 3 种污泥的 VSS/TSS 及 *SOUR* 的变化关系

由图中可以看出,经过 7 d 的污泥好氧消化,尽管污泥的 *SOUR* 都有所降低,但最终的 VSS 所占的比例仍然相对较高,除 A 污泥外,VSS 仍占 73% 左右.这样的污泥如果堆放或用于农田,仍然会散发出臭气.要达到不散发臭气的目的,需使 VSS 所占的比例降到 60% 以下.

将 B 污泥继续试验,处理时间延长至 14 d, 28 d,在处理 28 d 后,其 VSS 比例仍然约为 65%,所以采用好氧消化一般不能将污泥的 VSS 比例降到 60% 以下,如果有此种要求,需配合化学稳定和厌氧稳定以去除 VSS.

3 种污泥样品的初始 *SOUR* 与好氧消化 7 d 后的 VSS 及 COD 去除率关系如图 5 所示,在好氧消化过程中,污泥样品的 VSS 及 COD 都有一定的去除,初始 *SOUR* 较高的污泥其 COD 及 VSS 去除率相对也较高.

### 2.3 氮元素的转化

在好氧消化过程中有较大的有机氮去除率,尤其是连续曝气的情况下.在连续曝气条件下,大部分的有机氮会发生氨化作用转变为氨氮,随后通过硝化细菌的作用形成硝酸盐氮.若采用间歇曝气,在缺氧条件下,硝态氮通过反硝化作用,被转化为氮气<sup>[3]</sup>,因而采用间歇曝气反应器中的硝态氮不会像连续曝气时那样大量积累,上清液中的硝态氮浓度较低.另外,由于反硝化过程可以补偿反应器中

消耗的碱度,从而可以维持细菌正常生命活动所需的适宜的 pH 值,因而更有利于污泥好氧消化的稳定运行<sup>[4]</sup>.

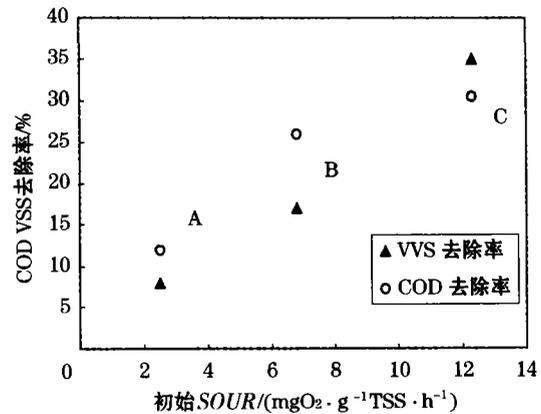


图 5 初始的 *SOUR* 与 VSS 及 COD 去除率的关系图

污泥 A 和 B 在连续与间歇曝气情况下对总氮的去除率有明显的不同,间歇曝气时,对总氮的去除率分别为 6% 和 12%,而在连续曝气条件下,总氮几乎没有被去除,大部分的有机氮只是发生氨化作用转化为氨氮,进而氧化为硝态氮,产生了硝态氮的积累,引起 pH 值的下降.

污泥 C 在连续与间歇曝气情况下,对总氮的去除率都较低.此污泥样来自于无脱氮处理工艺的污水处理厂,故硝化作用不明显.即使是在连续曝气的条件下,上清液中也只出现少量的硝态氮累积,有机氮基本上只是被转化为氨氮.由于本试验中,好氧消化污泥培养的时间较短,而在长期运行的好氧消化反应器中,会逐渐积累硝化菌,即便污泥是来自无脱氮过程的工艺,也会在好氧消化时发生硝化反应.

### 2.4 磷的滤出

在污泥好氧消化处理过程中,由于溶胞作用及可生物降解物质的分解,使得贮存于污泥中的磷释放出来.将消化反应的前后的磷含量差值与总的含磷量相比,得出磷的滤出率.图 6 给出了磷含量与磷滤出率的关系.

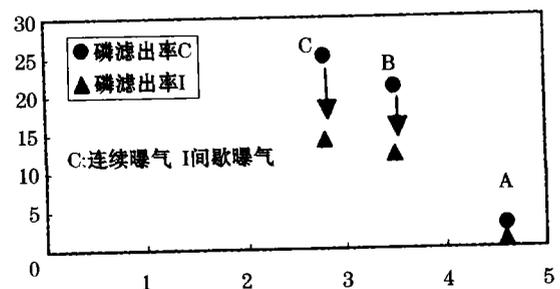


图 6 污泥磷质量分数与磷滤出比率关系图

从图 6 中可以看出:采用间歇曝气可以减少大约 50% 的磷滤出量.比较 A 污泥和 B 污泥中的磷含量及磷沥出情况,可推测,这 2 种污泥中磷以两种不同的形式存在.有研究表明<sup>[5]</sup>,处理厂的不同工艺组成会影响到磷在生物细胞中聚集的生化途径.

A 污泥中的磷质量分数约为 4.6%,与具有除磷功能的工艺中的磷含量较为吻合,即使在连续曝气的情况下也只有少量的磷沥出.这可能是由于采用较长污泥龄的处理厂,不足以提供合成聚合磷酸盐所需的能量,微生物细胞摄取的磷元素主要以无机形态在细胞中存在,如组成细胞壁的成分或以无机的小颗粒如金属磷聚合物等形式存在<sup>[5]</sup>.

B 污泥中的磷含量稍高于传统的活性污泥法,磷主要是以聚合磷酸盐的形式存在,在好氧消化时滤出率较高.

### 3 结 论

1) 脱氮除磷工艺产生的污泥极不稳定, VSS/TSS 比及 SOUR 较高.即使是延时曝气工艺,产生的污泥也较不稳定,后续的污泥消化处理是不可避免的.

2) 经过 7 d 的污泥好氧消化, SOUR 虽有较大幅度的下降,但最终的 VSS/TSS 比率仍相当高(65%~80%).初始 SOUR 较高的污泥,其 COD 及 VSS 去除率相对也较高.

3) 采用间歇曝气可以减少 50% 或更多的磷滤出.不同工艺产生的污泥,由于磷的含量和存在形式的不同,磷的滤出情况不同.

4) 好氧消化过程中有机氮主要是通过氨化作用转化为氨氮再进一步转化为硝态氮.采用间歇曝气,发生反硝化作用,提高了总氮的去除率.

以上研究结果可以看出,采用间歇曝气的污泥好氧工艺,具有一定的优越性.首先是可以节约能源,又由于引入反硝化阶段,提高了总氮的去除效率,另外还可以减少磷的滤出,这些方面有待进一步的研究.

### 参考文献:

- [1] HARTMAN R B, SMITH D G. Sludge stabilization through aerobic digestion [J]. WPCF, 1979, 51(10): 2353 - 2365.
- [2] BERNARD S, GRAY N F. Aerobic digestion of pharmaceutical and domestic wastewater sludge at ambient temperature [J]. Wat. Res., 2000, 34(3): 725 - 734.
- [3] MATSUDA A, IDE T. Behavior of nitrogen and phosphorus during batch aerobic digestion of waste activated sludge - continuous aeration and intermittent aeration by control of DO [J]. Wat. Res., 1988, 22(12): 1495 - 1501.
- [4] DAIGGER G T, BAILEY E. Improving aerobic digestion by prethickening, staged operation, and aerobic - anoxic operation: four full - scale demonstrations [J]. Wat. Environ. Res., 2000, 72(3): 260 - 270.
- [5] KULAEV I S, VAGABOV V M. Polyphosphate metabolism in microorganisms [J]. Advances in Microbial Physiology, 1983, 24: 83 - 171.

(上接 574 页)

### 3 结 论

通过对多个冰晶纯度影响因素进行试验分析和比较,提出以下几个提高冰晶纯度的措施.

1) 选择适宜冷冻温度,控制冰晶生长速率.对于 COD 为 5 168.32 mg/L 的原尿液,较佳的冷冻温度范围是 -6.0 ~ -10.0 °C.

2) 创造条件制备悬浮冰.

3) 对溶液作适度的预冷却,预冷至 6 °C 左右.

4) 在溶液温度接近析冰点时加入种冰.

5) 增设再结晶过程.

6) 结晶时间不宜过长,小于 30 min 为宜.

### 参考文献:

- [1] 刘光良,杨殿隆,王静霞,等. 高得率浆废水冷冻结晶处理研

究[J]. 林产化学与工业, 1994, 14(1): 33 - 38.

- [2] STEVE H. the role of freeze concentration in waste water disposal [J]. Filtration and Separation, 1999, 36 (10): 34 - 35.
- [3] 华泽钊. 低温生物医学与热物理[J]. 物理与工程, 2001, 11 (6): 1 - 5.
- [4] KHUSNATIDINOV N N, PETRENKO V F. Fast-growth technique for ice single crystals [J]. Journal of Crystal Growth, 1996, 163(4): 420 - 425.
- [5] MARTEL G J. Influence of dissolved solids on the mechanism of freeze-thaw conditioning [J]. Water Research, 2000, 34(2): 657 - 662.
- [6] AKYURT M, ZAKI G, HABEEBULLAH B. Freezing phenomena in ice-water systems [J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43(14): 1773 - 1789.
- [7] 刘 凌,薛 毅. 冷冻浓缩技术的应用与研究简介[J]. 化学工业与工程, 1996, 16(3): 151 - 156.