

氮缺乏引起的非丝状菌活性污泥膨胀

高春娣, 彭永臻, 王淑莹, 陈莹 (北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘要: 采用 SBR 法处理啤酒废水, 研究了进水中不同有机物与总氮的比值 (以 BOD/N 计) 条件对活性污泥膨胀的影响。结果表明, 在进水 BOD/N 为 100/4 的条件下, 污泥的沉降性能良好; 在进水 BOD/N 分别为 100/3 和 100/2 时, 均发生由高含水率的粘性菌胶团过量生长引起的非丝状菌膨胀。在进水 BOD/N 为 100/0.94 的条件下, 发生的非丝状菌膨胀最为严重。试验中还研究了氮缺乏条件下污泥微生物对氮源和磷源的利用率以及 COD 去除率的变化。

关键词: 非丝状菌膨胀; 氮缺乏; SVI

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2001)06-05-0061

Non-filamentous Activated Sludge Bulking Caused by the Deficiency of Nitrogen

Gao Chundi, Peng Yongzhen, Wang Shuying, Chen Ying (College of Environment and Energy Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The effect of nitrogen deficiency on activated sludge bulking was studied specially in some experiments carried on a sequencing batch reactor fed with beer wastewater in this paper. The experimental results showed that the sludge settled properly at a influent BOD/N value of 100/4. When the value of BOD/N was 100/3 and 100/2 respectively, non-filamentous activated sludge bulking caused by an excessive growth of viscous *Zoogloea* with high moisture content occurred. When the value of influent BOD/N was 100/0.94, more serious non-filamentous bulking occurred. Furthermore, the effect of nitrogen deficiency on the nitrogen sources and phosphorus sources utilization rate and the COD removal rate was studied in the experiments.

Keywords: non-filamentous bulking; nitrogen deficiency; SVI

污泥膨胀可分为丝状菌膨胀和非丝状菌膨胀。大约 95% 的污泥膨胀与丝状菌的过量增殖有关, 非丝状菌膨胀一般是由结合水含量高的胞外多聚物引起的高粘度膨胀^[1]。由于非丝状菌膨胀并不多见, 使得与此相关的研究非常少。营养物 (氮和磷) 的缺乏是引起污泥膨胀的一个重要因素。但是, 迄今为止关于营养物缺乏对污泥膨胀产生的影响却没有一个较为统一的认识^[2,3]。并且, 以往关于这一问题的专门研究很少, 有些报道只是针对某些污水处理厂运行结果的分析, 缺乏专门的试验研究。本试验中以啤酒废水为研究对象, 在投加充足的磷源之后, 专门研究氮缺乏对污泥膨胀的影响。

1 材料和方法

试验中采用的 SBR 在线检测装置及其控

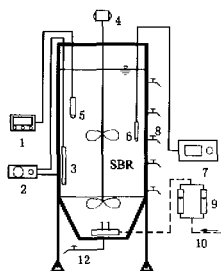
制系统如图 1 所示。SBR 反应器的有效容积为 14L。试验所用原水为啤酒废水, 主要成分包括多种糖类、酵母、醇类、氨基酸和蛋白质等有机物, 属于含糖量较高的易溶解性废水。进水 COD 浓度为 600mg/L, 混合液悬浮固体浓度 (MLSS) 维持在 1900~2100mg/L, 反应器内 DO 浓度在 2.0~3.0mg/L, 水温为 20±1℃; 以 COD 表示的有机负荷维持在 4kg/(kg·d) 左右。反应过程中进水总磷 (TP) 一直保持充足, 通过改变氯化铵投加量来改变进水中总氮 (TN) 的含量, BOD/N 值依次为 100/5、100/4、100/3、100/2 和 100/0.94。用 SVI 值来表示污泥沉降

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59778024)

作者简介: 高春娣 (1973~), 女, 博士, 主要从事废水生物处理研究

收稿日期: 2001-03-24

性能、污泥膨胀及程度。对于每一个进水 BOD/N 值,都进行足够长周期数的运行,使其达到一个较为稳定的 SVI 值基本不变,之后对污泥膨胀进行恢复和控制,使 SVI 降至 100ml/g 以下的正常状态并稳定一段时间,以进行下一进水 BOD/N 值的试验运行。检测分析的项目有 COD、BOD、DO、MLSS、SVI、TN、TP 等。



1. ORP 检测仪 2. 温度控制仪 3. 温度传感器 4. 电动搅拌器 5. ORP 传感器 6. DO 传感器 7. DO 检测仪 8. 取样口 9. 转子流量计 10. 压缩空气 11. 微孔曝气器 12. 排泥口

图 1 SBR 试验装置

Fig. 1 Experimental equipment of SBR process

2 试验结果与分析

2.1 氮缺乏对污泥沉降性能(SVI)的影响

首先引入 2 个定义。

最大 SVI 值 SVI_{max} : 在某一进水 BOD/N 值与其它环境因素正常不变的条件下, SVI 达到一定值后基本不变, 这一值即为该进水 BOD/N 下的 SVI_{max} , 它表示了在一定 BOD/N 比值下 SVI 所能达到的最大值, 即污泥膨胀的最大程度。

SVI 值增长速率 v_{SVI} : 在某一缺氮的进水 BOD/N 值下, 从起点的 SVI 持续上升到最大 SVI_{max} 值这一阶段中, 平均每一周期 SVI 值的升高值。它反映了污泥发生膨胀速率的快慢。

$$v_{SVI} = \frac{\text{最大 SVI 值} - \text{起点 SVI 值}}{\text{达到最大 SVI 值所需周期数}} \quad [\text{ml}/(\text{g} \cdot \text{周期})]$$

不同进水 BOD/N 值对污泥沉降性能的影响

如图 2 所示, 各 BOD/N 比值下的 SVI_{max} 和 v_{SVI} 如图 3 所示。在营养物充足 (BOD/N) 为 100/5 的条件下, 经过长期的稳定运行, 污泥的沉降性能良好, SVI 在 40ml/g 左右。这时污泥微生物主要是菌胶团细菌, 丝状菌极少。

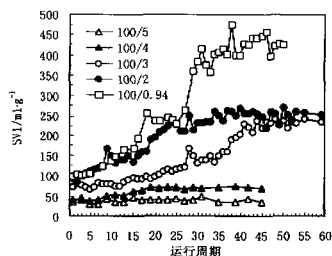


图 2 不同 N 缺乏程度对污泥沉降性能的影响

Fig. 2 Effect of different degree of nitrogen deficiency on sludge settling property

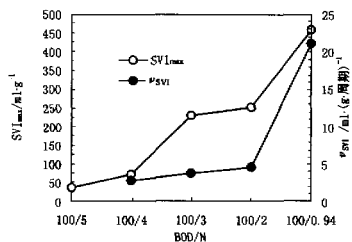


图 3 不同进水 BOD/N 条件下的 SVI_{max} 和 v_{SVI}

Fig. 3 SVI_{max} and v_{SVI} at different influent BOD/N value

当进水中 BOD/N 值为 100/4 时, SVI 值略有上升, 10 多个周期后从 40ml/g 升高到 70ml/g 左右, 然后维持此值 (即 SVI_{max}) 基本不变, 其 v_{SVI} 为 2.81ml/(g·周期)。此时污泥微生物仍以菌胶团为主, 丝状菌数量略有增加, 但并没有过量生长。菌胶团细菌和丝状菌数量保持一个适宜比例, 污泥的沉降性能与凝聚性能都很好。

传统观点认为, 只有在进水中 BOD/N 不

高于 100/5 时,才能满足活性污泥微生物生长的需要.但是本试验中,在 BOD/N 为 100/4 的条件下,污泥沉降性能正常.这时的菌胶团状态良好,结构紧密,并没有出现丝状菌过量生长的污泥膨胀现象.这表明,进水 BOD/N 为 100/4 并没有对微生物形成氮限制.在活性污泥工艺处理工业废水的实际运行管理中,为了减少处理成本,避免过剩的营养随出水排放而造成受纳水体的富营养化,应根据废水水质具体测算微生物的营养需求量.在缺氮工业废水的处理中,没有必要保持 BOD/N 为 100/5 这样高的进水 TN 浓度,只需满足进水 BOD/N 为 100/4 即可维持工艺的正常运行.

当进水 BOD/N 从正常的 100/5 突然变为 100/3 时,SVI 值逐渐上升直至 SVI_{max} 为 228ml/g,发生非丝状菌污泥膨胀.在 SVI 值持续上升的初期,出现大量丝状菌,这时污泥沉降性能已经开始恶化.随着反应周期数的增加,丝状菌的数量逐渐减少,出现了高含水率的粘性菌胶团大量生长的现象,发生了非丝状菌膨胀.

当进水 BOD/N 从 100/5 突然变为 100/2 时,经过 50 多个周期的运行,SVI 从最初的 90ml/g 很快升至 SVI_{max} 250ml/g,也发生了非丝状菌膨胀.然而,与进水 BOD/N 为 100/3 时不同,在 SVI 逐渐上升的过程中,污泥微生物中一直都是菌胶团细菌占优势,没有出现丝状菌的过量生长.

在进水 BOD/N 为 100/0.94 这种极度氮限制的条件下,仅 30 多个周期污泥的 SVI 即迅速从 90ml/g 上升到 458ml/g.在这个过程中,一直没有观察到丝状菌过量生长的现象,发生非丝状菌膨胀.但是与前 2 种情况相比,由于氮限制严重,菌胶团的结构有所不同.菌胶团细菌分泌形成粘性物质的胞外多聚物的含水率明显增高,这使得污泥结构更加松散,其比重接近于水,污泥絮体的沉降性能严重恶化,沉降速率极其缓慢,这是进水 BOD/N 为 100/3 和 100/2 时没有出现的.其 SVI_{max} 与上述 2 种条件相比明显增大,达到 450ml/g 以上, v_{SVI} 也有显著的提高.

图 2 和图 3 所示结果表明,进水 BOD/N 值越高,即缺氮越严重,活性污泥越容易发生膨胀,并且膨胀程度越严重,发生膨胀的速率越快.

2.2 氮缺乏条件下微生物对 N 和 P 的利用及有机物降解的影响

微生物对 N 和 P 的利用与有机物的降解相关,进水有机物浓度越高,相应的微生物对营养物的需求越大.如果进水中 N 和 P 含量不能满足微生物需要,则有机物降解及对 N 和 P 的利用都会发生变化.本试验用到的不同进水 BOD/N 条件下的 TN、TP 利用率分别如图 4 和图 5 所示.

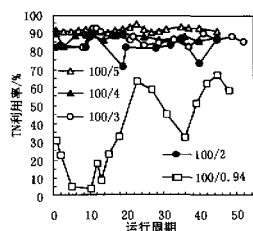


图 4 不同进水 BOD/N 时 TN 利用率

Fig. 4 Utilization rate of TN at different influent BOD/N value

从图 4 可以看到,在进水 BOD/N 为 100/5 ~ 100/2 时, TN 利用率变化并不是很大,基本在 75% 以上.当 BOD/N 为 100/0.94 时,已不再投加外氮源,仅靠废水中所含的营养物提供微生物所需 TN.此时的 TN 利用率最低,甚至在 10% 以下.微生物对 TP 的利用情况略有不同(图 5),进水氮缺乏越严重,出水中 TP 浓度越高,相应的 TP 利用率越低.

本试验用到的不同进水 BOD/N 条件下的 COD 去除率如图 6 所示.从图 6 可以看到,除了 BOD/N 为 100/0.94 这一极端条件,其它 BOD/N 条件下的 COD 去除率相差不大,均为 80% ~ 90%;而当进水 BOD/N 为 100/0.94 时, COD 去除率降低至 50% 左右.微生物对有机物的利用直接反映在污泥浓度的增长上.不同进

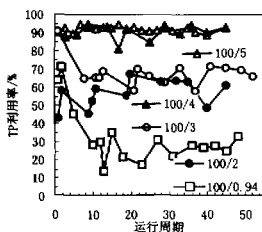


图5 不同进水 BOD/N 时 TP 利用率

Fig.5 Utilization rate of TP at different influent BOD/N value

水 BOD/N 条件下的 MLSS 增长情况如图 7 所示。在进水 BOD/N 为 100/5、100/4 和 100/3 的条件下,每一周期结束后均需排除较多的剩余污泥,以使反应器内 MLSS 维持在 1900~2100 mg/L 之间。当进水 BOD/N 提高到 100/2 时,排泥量有所减少,但 MLSS 仍能维持在 2000mg/L 左右。而当进水 BOD/N 高达 100/0.94 时,污泥微生物正常代谢生长受到抑制,此时,在不排泥的情况下,MLSS 仍然大幅度降低,最低时已降至 1300mg/L。

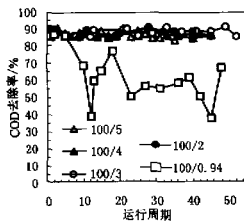


图6 不同进水 BOD/N 时 COD 去除率

Fig.6 Removal efficiency of COD at different influent BOD/N value

由此可见,对于 BOD/N 不高于 100/2 这种氮限制不太严重的情况,微生物的合成代谢活动并没有受到显著影响,总是尽最大可能地利用有限的氮源来合成细胞同时降解有机物。虽然这期间 TP 的利用率有所下降,但有机物

的去除率仍能达到 80%,而一旦进水中 BOD/N 高达 100/0.94 这样严重的氮限制条件,则微生物的活性将受到抑制,TN、TP 利用率以及 COD 去除率都有明显的降低,并且污泥的增长也受到严重抑制。

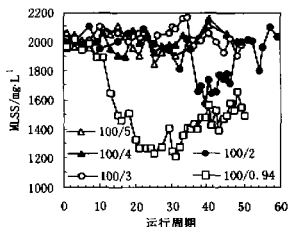


图7 不同进水 BOD/N 条件下 MLSS 变化

Fig.7 Variation of MLSS at different influent BOD/N value

2.3 氮缺乏引起的污泥膨胀的恢复与控制

对于每一个进水 BOD/N 条件下发生的非丝状菌膨胀,分别进行了不同条件下的控制。试验中发现,在进水 BOD/N 为 100/3 和 100/2 条件下发生的非丝状菌膨胀,投加了充足的氮源后,经过 40 多个周期的运行,SVI 没有降低的趋势(如图 8 所示),非丝状菌膨胀并不能得到有效地控制。然而,当有机负荷提高到 15 kg/(kg·d)以上时,这种由粘性菌胶团过量增长引起的非丝状菌膨胀却能得到有效地控制。

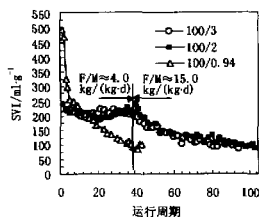


图8 膨胀恢复过程中 SVI 的变化

Fig.8 Variation of SVI value during the bulking control period

高负荷对丝状菌膨胀的控制是利用了菌胶团细菌对底物的高贮存与积累能力,以及其相应的最大比增殖速率大这一特点^[4]。本试验所采用的间歇式活性污泥工艺中,在反应初期的高底物浓度下,正常状态的菌胶团细菌大量生长,逐渐取代高含水率的粘性菌胶团,从而使污泥的沉降性能恢复正常。有机负荷越高,正常状态的菌胶团细菌增殖得越快,非丝状菌膨胀恢复得越迅速。

而对于在进水 BOD/N 为 100/0.94 时发生的非丝状菌膨胀的控制,又出现了不同的情况。虽然在此条件下发生的膨胀最为严重,但是,投加了充足的氮源后,无需提高有机负荷,在正常的有机负荷 $[4.01 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})]$ 下即能得到有效地控制。笔者认为之所以会出现这种情况,主要是因为在此条件下的污泥结构与进水 BOD/N 为 100/3 与 100/2 时的区别。由于氮的严重缺乏,微生物不能正常增殖,与上述 2 条件相比,其总体数量在减小,菌胶团细菌分泌的粘性高含水率物质更多。因此,在投加充足的氮源后,正常状态的菌胶团细菌大量生长,很快就取代了高含水率的粘性菌胶团,使污泥沉降性能恢复到了正常水平。

在污泥膨胀问题的研究中,能成功地控制非丝状菌污泥膨胀的报道几乎没有。因此,本试验中对非丝状菌污泥膨胀控制的研究具有重要意义。

3 结语

(1) 在 BOD/N 为 100/4 的条件下,污泥的

沉降性能能够保持良好,出水悬浮物少,SVI 在 70ml/g 左右。

(2) 当进水 BOD/N 为 100/3 和 100/2 时,均发生高含水率的粘性菌胶团过量生长引起的非丝状菌污泥膨胀。不同的是,在进水 BOD/N 为 100/3 条件下 SVI 值上升的初期曾出现过丝状菌的过量生长,随后又消失。投加充足氮源的同时提高有机负荷至 $15 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 才能有效地控制非丝状菌膨胀。

(3) 在进水 BOD/N 为 100/0.94 这种极度氮限制的条件下,发生严重的非丝状菌膨胀。投加了充足的氮源后,在有机负荷为 $4 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 的条件下污泥膨胀即能得到有效地控制。

(4) 在进水 BOD/N 不高于 100/2 的条件下,微生物的合成代谢活动不会受到显著的影响,有机物的去除率能达到 80% 左右。而在 BOD/N 为 100/0.94 的条件下,微生物的活性将受到严重抑制。

参考文献:

- 1 Novák L, L Larrea, J Wanner, J L Garcia-heras. Non-filamentous activated sludge bulking in a laboratory scale system. *Wat. Res.*, 1993, 27(8): 1339~1346.
- 2 Horan N J, P Shanmugan. Effects of starvation and nutrient depletion on the settling properties of activated sludge. *Wat. Res.*, 1986, 20(5): 661~666.
- 3 Novák L, L Larrea, J Wanner, J L Garcia-heras. Non-filamentous activated sludge bulking caused by zoogloea. *Wat. Res.*, 1993, 27(8): 1339~1346.
- 4 王淑莹, 高春卿, 彭永臻. SBR 法处理工业废水中有机负荷对污泥膨胀的影响. *环境科学学报*, 2000, 20(2): 129~133.