

# 磷缺乏引起的非丝状菌活性污泥膨胀

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

**摘要:** 以啤酒废水为研究对象,用 SBR 法研究了进水中不同有机物与总磷浓度的比值(以 BOD/P 计)对活性污泥膨胀的影响。结果表明,在进水中 BOD/P 为 100/0.8 以上的条件下,污泥的沉降性能良好;当进水中 BOD/P 分别为 100/0.6 和 100/0.3 时,出现高含水率的黏性菌胶团过量生长的现象,发生非丝状菌膨胀;在进水中 BOD/P 为 100/0.4 的条件下,发生更严重的非丝状菌膨胀。试验中还研究了磷缺乏条件下微生物对氮源和磷源利用率的变化。

**关键词:** 非丝状菌膨胀; 磷缺乏; 污泥容积指数(SVI)

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2002)01-0040-04

**Non-filamentous activated sludge bulking caused by the deficiency of phosphorus.** GAO Chun-di, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying (College of Environment and Energy Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China). *China Environmental Science*. 2002,22(1): 40~43

**Abstract:** The influence of the concentration ratio of different organic substances and total phosphorus (counted as BOD/P) on activated sludge bulking was studied using sequencing batch reactor (SBR) fed with beer wastewater as the subject of research. The results showed that the sludge settled properly at a influent BOD/P of 100/0.8. When the BOD/P was 100/0.6 and 100/0.3 respectively, an excessive growth of viscous *Zoogloea* with high moisture content was observed and non-filamentous bulking occurred. When the value of influent BOD/P was 100/0.4, more serious non-filamentous bulking occurred. Furthermore, under the condition of phosphorus deficiency the effect of microorganism on the nitrogen and phosphorus sources utilization rate were also studied in the experiments.

**Key words:** non-filamentous bulking; phosphorus deficiency; sludge volume index (SVI)

污泥膨胀可分为非丝状菌膨胀和丝状菌膨胀。非丝状菌膨胀又称高黏度膨胀<sup>[1]</sup>,十分罕见,与此相关的研究非常少,尤其在国内,几乎没有关于非丝状菌膨胀的研究报道。丝状菌膨胀是由丝状菌的过量增长引起的,大约 95%以上的污泥膨胀与丝状菌的过量增殖有关<sup>[2]</sup>。

营养物(氮和磷)缺乏是引起污泥膨胀的一个重要因素,特别是在活性污泥法处理工业废水中,由于水质的特殊性,经常出现营养不平衡,从而使得污泥膨胀现象时有发生。一般认为,营养物缺乏易引起丝状菌膨胀。有研究表明,由于丝状菌的比表面积较大,在低营养物浓度条件下,具有较大的生长速率,能比菌胶团细菌增殖得快,从而导致丝状菌膨胀<sup>[3,4]</sup>。然而,营养物缺乏引起非丝状菌膨胀的报道却非常少。本试验以啤酒废水为研究对象,在投加充足的氮源之后,研究进水中磷缺

乏对污泥膨胀的影响。

## 1 材料与方法

试验采用 SBR 工艺,所用原水为啤酒废水,其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,属于易溶解性废水,极易发生污泥膨胀。

进水中 COD 浓度为 600mg/L,混合液悬浮固体浓度(MLSS)维持在 2000mg/L 左右,反应器内 DO 浓度在 2.0mg/L 以上,水温为 20±1℃;有机负荷维持在 3.5~4.0kg/(kg·d)左右。反应过程中进水总氮(TN)一直保持充足,通过改变磷酸二氢钾的投加量来改变进水中总磷(TP)的含量,草药 BOD/P 值依次为 100/1、100/0.8、100/0.6、100/0.4

收稿日期: 2001-06-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59778024)

和 100/0.3.对于每一个进水 BOD/P 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,此值即为该 BOD/P 条件下的最大 SVI 值,表示为  $SVI_{max}$ ,它反映了污泥膨胀程度;SVI 持续上升到  $SVI_{max}$  值的过程中平均每一周期的升高值表示为  $V_{SVI}$ ,它反映了污泥发生膨胀的快慢.之后对污泥膨胀进行控制,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/P 值的运行.检测分析的项目有 COD、BOD、DO、MLSS、SVI、TN、TP 等.

## 2 结果与分析

### 2.1 磷缺乏对污泥沉降性能的影响

不同进水 BOD/P 比值条件下 SVI 值的变化如图 1 所示.各 BOD/P 比值下的  $SVI_{max}$  和  $V_{SVI}$  如图 2 所示.

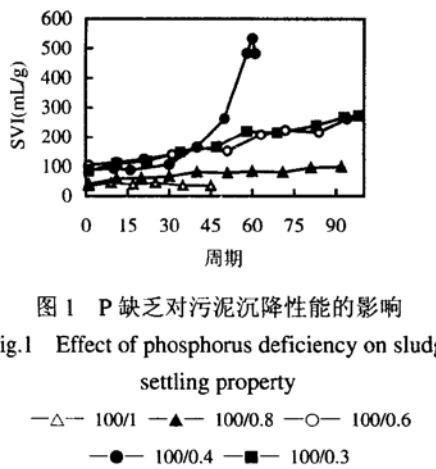


图 1 P 缺乏对污泥沉降性能的影响

Fig.1 Effect of phosphorus deficiency on sludge settling property

—△— 100/1 —▲— 100/0.8 —○— 100/0.6  
—●— 100/0.4 —■— 100/0.3

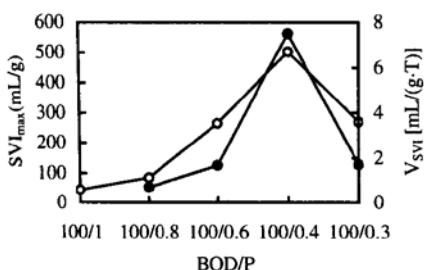


图 2 不同进水 BOD/P 下的  $SVI_{max}$  和  $V_{SVI}$

Fig.2  $SVI_{max}$  and  $V_{SVI}$  at different influent BOD/P value

—○—  $SVI_{max}$  —●—  $V_{SVI}$

在营养物充足(BOD/P 为 100/1)的条件下,经过长期的稳定运行,污泥的沉降性能良好,沉降速率很快,SVI 在 45mL/g 左右.但是絮体颗粒小,絮体结构松散,丝状菌极少,出水悬浮物较多,上清液混浊.这时污泥微生物主要是菌胶团细菌.

当进水中 BOD/P 值为 100/0.8 时,经过一段时间的运行,SVI 值略有上升,40 多个周期后 SVI 从 40mL/g 升高到 85mL/g 左右,然后就维持在这个值基本不变.此时污泥微生物仍以菌胶团细菌为主,丝状菌数量略有增加,但并没有过量生长.污泥的沉降性能与凝聚性能都很好,上清液清澈.

传统观点认为,只有在进水中 BOD/P 满足 100/1 时,才能保证活性污泥微生物降解有机物及自身生长代谢的需要.然而试验中,在 BOD/P 为 100/0.8 的条件下,菌胶团状态良好,结构紧密,丝状菌生长在菌胶团内部,丝状菌和菌胶团细菌维持一个合适的比例,污泥沉降性能正常,并没有出现丝状菌过量生长的污泥膨胀现象.这一结果表明,在处理啤酒废水的运行中,进水中 BOD/P 为 100/0.8 并没有对微生物形成磷限制.因此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,没有必要保持 BOD/P 为 100/1 这样高的进水 TP 浓度,只需满足 100/0.8 的条件即可维持工艺的正常运行.

当进水中 BOD/P 从正常的 100/1 变为 100/0.6 时,SVI 值缓慢上升,经过 100 多个周期的运行,SVI 升高至  $SVI_{max}$  为 265mL/g,发生污泥膨胀(图 1,图 2).在 SVI 值持续上升的过程中,活性污泥中的微生物种属发生了变化.在 SVI 从开始的 70mL/g 升高到 170mL/g 左右这一过程中,丝状菌数量逐渐增加并成为活性污泥中的优势菌种.镜检观察此时的丝状菌的丝体多为笔直,伸出菌胶团外干扰了污泥絮体的沉淀和压实,导致污泥沉降性能较差.随着反应周期数的增加,这种丝体笔直的丝状菌数量逐渐减少,污泥絮体黏

性增加,菌胶团分泌大量高含水率的黏性物质,使污泥的沉降性能进一步恶化。这时,丝状菌仍然存在,只是数量较少,且种类发生改变,出现丝体蜷曲的丝状菌。SVI上升到265mL/g左右即一直维持在此值基本不变,发生非丝状菌膨胀。

当进水中BOD/P从100/1变为100/0.4时,在前40多个周期的运行中,SVI上升较为缓慢,SVI从最初的85mL/g升至185mL/g。然而,在50个周期后,SVI突然出现大幅度的迅速升高,仅10个周期,就从220mL/g升到500mL/g以上,发生严重的非丝状菌膨胀,其V<sub>SVI</sub>最高达到7.51mL/(g T)。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,存在少量丝体蜷曲的丝状菌。此时,菌胶团细菌分泌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,其比重接近于水的比重,污泥絮体的沉降性能严重恶化,沉降速率极其缓慢,上清液呈乳浊状。

在进水中BOD/P为100/0.3这种极度磷限制的条件下,发生了与进水中BOD/P为100/0.6条件下极为相似的污泥膨胀。100多个周期后,SVI值从最初的90mL/g上升至270mL/g左右。不同的是,在运行过程中,出现的丝状菌均是丝体蜷曲的类型,并且数量很少。

## 2.2 磷缺乏引起的污泥膨胀的恢复与控制

对于每一个进水BOD/P条件下发生的非丝状菌膨胀,分别进行了在不同有机负荷条件下的控制。图3是进水BOD/P为100/0.6发生的膨胀在投加了充足的磷源后,不同有机负荷下的恢复情况。

从图3可以看出,在有机负荷为4.02kg/(kg d)的条件下,SVI没有下降的趋势,非丝状菌污泥膨胀并不能得到有效地控制;当有机负荷提高到9kg/(kg d)以上时,SVI迅速降低,并且有机负荷越高,污泥膨胀恢复得越快;对进水BOD/P为100/0.3发生的非丝状菌污泥膨胀的控制与此基本相似。

菌胶团细菌具有对底物的高贮存与积累能力,其相应的最大比增殖速率也较大,在不缺磷等

营养物的高负荷下能快速生长<sup>[5,6]</sup>。试验所采用的SBR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黏性菌胶团,从而使得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的越快,非丝状菌膨胀恢复的越迅速。

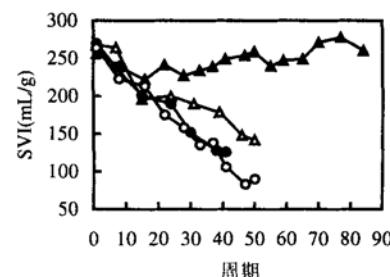


图3 进水BOD/P为100/0.6条件下发生的膨胀在不同有机负荷下的恢复情况

Fig.3 Control of bulking at different organic loading which occurred in the influent BOD/P value of 100/6  
—▲— F/M=4.02 —△— F/M=9.12 —●— F/M=12.05  
—○— F/M=15.48

进水BOD/P为100/0.4时发生非丝状菌膨胀,投加充足的磷源后,无需提高有机负荷,在正常的有机负荷[4.0kg/(kg d)]下就能得到有效的控制。主要是在此条件下的污泥结构与进水BOD/P为100/0.6与100/0.3时的区别。在进水BOD/P为100/0.4的条件下,微生物不能正常增殖,与上述两条件相比,其总体数量在减小,菌胶团细菌分泌的黏性高含水率物质更多。因此在投加充足的磷源后,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黏性菌胶团,使污泥沉降性能恢复到了正常水平。

## 2.3 磷缺乏对微生物利用N和P的影响

试验中,不同进水BOD/P条件下的TN、TP利用率分别如图4和图5所示。从图4可以看出,在进水BOD/P为100/1~100/0.6范围内,TN利用率没有显著的变化。当BOD/P为100/0.4时,TN利用率开始降低。当BOD/P为100/0.3时,不再投

加外磷源,仅靠废水中所含的营养物提供微生物所需 TP. 此时,TN 利用率有较大幅度的下降,最低达到 50%. 在进水中缺乏磷的情况下,微生物对 TP 的利用率没有受到明显的抑制. 随着进水中 TP 浓度的降低,出水中 TP 浓度也逐渐降低,TP 利用率基本保持在 84%以上(图 5). 这是由于进水中 TP 浓度的降低使得微生物不得不充分利用有限的磷源进行合成代谢活动,从而出水中的 TP 浓度也随之降低.

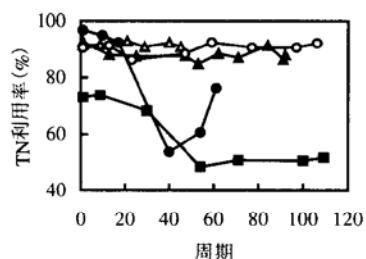


图 4 不同进水中 BOD/P 条件下的 TN 利用率

Fig.4 TN utilization rate at different influent BOD/P value  
 —△— 100/1 —▲— 100/0.8 —○— 100/0.6  
 —●— 100/0.4 —■— 100/0.3

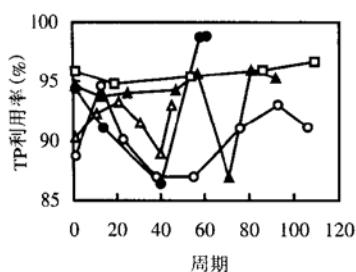


图 5 不同进水中 BOD/P 条件下的 TP 利用率

Fig.5 TP utilization rate at different influent BOD/P value

注同图 4

由此可见,对于 BOD/P 不高于 100/0.6 这种磷限制不太严重的情况下,微生物的合成代谢活动不会受到显著的影响,尽最大可能地利用有限的磷源来合成细胞同时降解有机物. 但进水中总磷含量进一步降低,磷的缺乏将影响微生物对氮的利用,使 TN 的利用率降低,合成代谢活动减弱.

### 3 结论

3.1 在进水中 BOD/P 为 100/0.8 的条件下,污泥的沉降性能能够保持良好,出水中悬浮物少, SVI 在 80mL/g 左右.

3.2 当进水中 BOD/P 分别为 100/0.6 和 100/0.3 时,发生高含水率黏性菌胶团过量生长引起的非丝状菌污泥膨胀. 通过对这一膨胀的控制研究发现,进水中有机负荷越高,污泥膨胀恢复得越快.

3.3 在进水中 BOD/P 为 100/0.4 的条件下,发生严重的非丝状菌污泥膨胀. 出现大量高含水率的细胞外多聚物. 但是这一严重的非丝状菌膨胀在投加充足的磷源后,正常的负荷条件下即能得到有效的控制.

3.4 进水中磷缺乏对微生物吸收利用磷源、氮源的影响并不是十分严重.

### 参考文献:

- [1] Novák L, Larrea L, Wanner J, et al. Non-filamentous activated sludge bulking in a laboratory scale system [J]. Wat. Res., 1993, 27(8):1339-1346.
- [2] Mesut Sezgin, David Jenkins, Denny S Parker. A unified theory of filamentous activated sludge bulking [J]. Journal WPCF, 1978, 50(9):362-381.
- [3] Horan N J, Shanmugan P. Effects of starvation and nutrient depletion on the settling properties of activated sludge [J]. Wat. Res., 1986, 20(5):661-666.
- [4] 周利, 彭永臻, 高春娣, 等. 丝状菌污泥膨胀的影响因素与控制 [J]. 环境科学进展, 1999, 7(1):88-93.
- [5] 埃肯费尔德 WW, 马斯特曼 J.L.. 工业废水的活性污泥处理法 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.29-30.
- [6] 王淑莹, 高春娣, 彭永臻. SBR 法处理工业废水中有机负荷对污泥膨胀的影响 [J]. 环境科学学报, 2000, 20(2):129-133.

**作者简介:** 高春娣(1973-),女,河北唐山人,博士,北京工业大学环境与能源学院讲师,主要从事污水生物处理研究.发表论文 10 余篇.