

A^2/O 工艺的污泥膨胀及污泥特性研究

吴昌永¹, 彭永臻^{1,2}, 王淑莹², 刘洋³, 彭轶¹, 李晓玲¹

(1 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2 北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022; 3 中国水务控股有限公司 <新加坡>, 北京 100022)

摘要: 丝状菌污泥膨胀是制约活性污泥工艺发展的重大难题之一,在同步脱氮除磷系统中更容易发生。以城市污水厂中最常采用的 A^2/O 同步脱氮除磷工艺为研究对象,系统探讨了该工艺中可能出现的丝状菌污泥膨胀及其诱因,并研究了膨胀污泥的特性。结果表明,若运行不当, A^2/O 工艺也可能发生丝状菌污泥膨胀;单纯提高好氧区的 DO 浓度可在一定程度上改善污泥的沉淀特性,而增大好氧区的有机负荷对控制污泥膨胀更为重要。沉淀性能良好的污泥粒径分布范围较广,在 15 μm 和 50 μm 附近也有部分分布,且大多为球菌;膨胀污泥的粒径大多在 10 μm 以下,绝大多数为丝状菌,只有少量球菌被包埋在丝状菌内部。

关键词: A^2/O 工艺; 污泥膨胀; 粒径分布

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2008)23-0033-04

Study on Activated Sludge Bulking and Sludge Characteristics in A^2/O Process

WU Chang-yong¹, PENG Yong-zhen^{1,2}, WANG Shu-ying², LIU Yang³, PENG Yi¹, LI Xiao-ling¹

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 3. China Water Holding Pte Ltd, Beijing 100022, China)

Abstract: Filamentous sludge bulking, which occurs more frequently in biological nutrients removal (BNR) systems, is a severe problem restricting the development of activated sludge process. Taking the A^2/O process currently used in WWTP as research object, the filamentous sludge bulking and its inducement likely occurred in this process were investigated, and the characteristics of bulking sludge were studied. The results show that the filamentous sludge bulking may occur in the A^2/O process if the operation is unsuitable. The increasing of DO concentration in the aerobic zone can improve sludge settleability to a certain extent, and the increasing of the organic loading rate in the aerobic zone is more important for control of sludge bulking. The sludge with good settleability has wide particle size distribution, is partly about 15 μm and 50 μm , and the majority of bacteria are cocci. The particle size of bulking

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2006AA06Z319); 国家自然科学基金资助项目 (50778005); 新加坡环境与水工业协会创新发展项目 (EDB S07/1 - 53974092)

sludge is mainly less than 10 μm , the majority of bacteria are filamentous bacteria, and the minority of cocci are embedded inside filamentous bacteria

Key words: A^2/O process; sludge bulking; particle size distribution

污泥膨胀已经成为制约活性污泥工艺发展的一个重大难题,全世界超过 50%的污水处理厂都被污泥膨胀所困扰^[1]。95%以上的污泥膨胀是由丝状菌过度增殖引起的^[2],在实际运行中一旦发生污泥膨胀,系统将面临崩溃的危险。在过去十多年间,为控制水体富营养化现象,国内外许多以去除有机物为主的城市污水处理厂被改建成具有脱氮除磷功能的污水厂,但是污泥膨胀现象伴随着改建也开始有规律的出现^[3,4]。对此人们认为系统在厌氧、缺氧和好氧之间的转换有利于丝状菌的生长^[5]。

在污水的生物处理工艺中,新工艺不断涌现,但作为能同时去除有机物和脱氮除磷的 A^2/O 工艺,仍是目前应用最为广泛的城市污水处理工艺之一。基于上述背景,笔者详细研究了 A^2/O 工艺发生污泥膨胀的可能性,以及发生膨胀后污泥的特性。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

A^2/O 装置如图 1 所示。

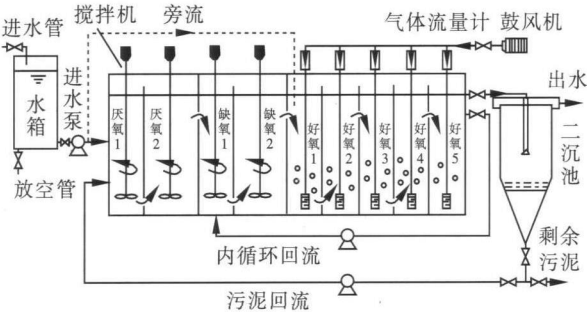


图 1 A^2/O 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of A^2/O process

装置用有机玻璃制成,由合建式厌氧、缺氧、好氧反应器和二沉池组成。合建式反应器的有效容积为 52.5 L,分为 9 个格室,前 2 个为厌氧,随后 2 个为缺氧,剩下的 5 个为好氧。厌氧区、缺氧区和好氧区的体积比为 1 : 1 : 2。厌氧和缺氧区采用搅拌混合,好氧区通过固定在底端的曝气头供气同时促进泥水混合。反应器内液体温度通过加热棒控制在 21~22 $^{\circ}\text{C}$ 。二沉池的有效容积为 26 L。

进水、污泥回流和硝化液回流均采用蠕动泵控制。运行条件如下:进水量为 157.5 L/d,反应区的

HRT 为 8 h,通过排泥控制 SRT 在 15 d 左右,反应器中的 MLSS 平均为 3 500 mg/L 左右,污泥回流比为 70%,内循环回流比为 250%。

1.2 试验用水水质

试验采用人工合成污水,COD 通过投加啤酒来提供,通过投加 NaHCO_3 和 NaOH 来调控原水的碱度和 pH 值。人工合成污水的配方:啤酒为 3~3.6 mL/L,氯化铵为 0.1~0.2 g/L, KH_2PO_4 为 0.04~0.05 g/L, NaHCO_3 为 0.2~0.3 g/L, NaOH 为 0.15 g/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为 0.06 g/L, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 为 0.015 g/L,微量元素液的投加量为 1 mL/L (配方见文献 [6])。原水水质见表 1。

表 1 人工合成污水水质

Tab 1 Characteristics of synthetic wastewater

项目	pH	COD / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	碱度 (以 CaCO_3 计) ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
范围	6.63~7.47	142.9~499.3	23.77~53.12	23.94~54.58	5.34~15.78	210~230
均值	7.01	353.3	40.03	40.76	10.26	223.3

1.3 测试项目与方法

水样经定量滤纸过滤后,采用国家标准方法测定 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、TN、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、总碱度、MLSS 等指标;ORP 采用 WTW - InoLab level2 在线仪测定;pH 值和 DO 采用 WTW - 340i 在线仪测定;污泥形态采用扫描电镜观察;污泥的粒径分布采用 H AC Royco 9703 粒径分析仪测定。

2 结果与分析

2.1 A^2/O 中的污泥膨胀现象

传统的观点认为, A^2/O 工艺的厌氧段相当于一个厌氧选择器,因而在该工艺中很难发生污泥膨胀现象。本系统在启动之后稳定运行的 75 d 内 SVI 和 MLSS 的变化如图 2 所示。试验共分三个阶段,其中阶段 I 共运行 30 d,污泥膨胀日益严重,污泥的 SVI 一直升高到 265.8 mL/g,且有持续升高的趋势,期间系统总曝气量为 0.2 m^3/h ,好氧区的 DO 平均为 1.08 mg/L;在阶段 II,鉴于系统发生污泥膨胀的情况,提高好氧区的曝气量至 0.3 m^3/h ,此时好氧区的平均 DO 升高至 2.16 mg/L,此阶段运行了 17

d,污泥的 SVI 有所下降,平均为 197.5 mL/g,但是再继续降低的趋势不明显;在阶段 II 改变系统进水方式,增加旁流,即将 15% 的原水从好氧始端进入反应器,总曝气量同阶段 II,由于提高了好氧区的有机负荷,污泥的沉淀性能得到进一步改善,最终 SVI 降低并稳定在 100 mL/g 左右,污泥膨胀得到控制。

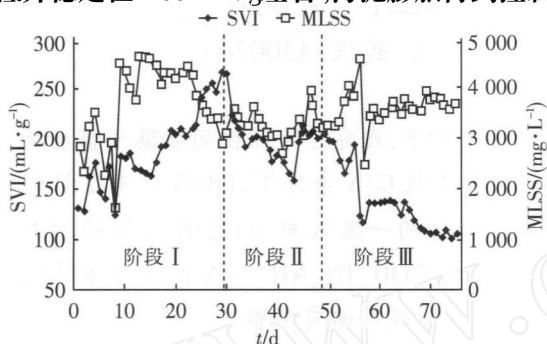


图 2 稳定运行期间污泥 SVI 和 MLSS 的变化

Fig 2 Changes of SVI and MLSS during steady operation

综上所述, A²/O 工艺运行不当也会出现污泥膨胀问题。分析引起污泥膨胀的原因,主要是负荷分布不均造成好氧区一直处于低负荷运行状态,从而造成了好氧段丝状菌的大量增殖,引起污泥膨胀。从阶段 I 的结果来看,提高好氧段的 DO 只能部分抑制污泥膨胀。这说明在分区较多的 BNR 系统中,单纯靠提高好氧区的曝气量来控制污泥膨胀具有一定的局限性,联合负荷进行控制的效果更好。

2.2 膨胀前、后污泥的粒径分布规律

从表观上看,沉淀性能良好的污泥絮体粗大密实,而膨胀的污泥则较为松散细碎。取初始沉淀性能良好和后期的膨胀污泥进行粒径分布分析,结果如图 3 所示。

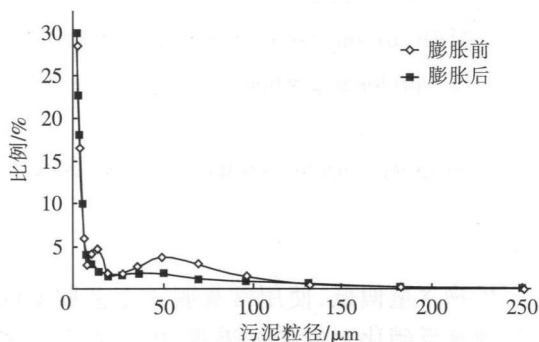


图 3 膨胀前、后的污泥粒径分布

Fig 3 Granule size distribution before and after sludge bulking

从图 3 可以看出,发生污泥膨胀前、后的粒径

分布有所不同。虽然两种状态下粒径 < 10 μm 的污泥占多数,但在沉淀性能良好时,污泥的粒径分布范围较广,在 15 μm 和 50 μm 的粒径附近所占比例也较高;而发生污泥膨胀后,污泥的粒径较小,而且比较细碎,绝大部分的污泥粒径都在 10 μm 以下。

2.3 膨胀前、后污泥的形态特征

取膨胀前、后的污泥进行扫描电镜分析,结果如图 4 所示。

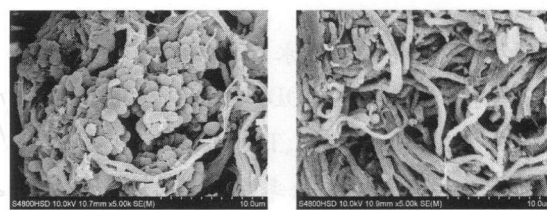


图 4 污泥膨胀前、后的扫描电镜照片

Fig 4 SEM micrograph of sludge before and after sludge bulking

从图 4 可以看出,发生污泥膨胀前污泥中球菌占大多数,存在少量的丝状菌,但只是形成活性污泥絮体的骨架;而在污泥膨胀期间,污泥中几乎全部为丝状菌,只有少量球菌被包埋在丝状菌之中,从而造成了严重的丝状菌污泥膨胀。

3 结论

① A²/O 工艺运行不当也可出现污泥膨胀问题,其主要是由于负荷分布不均引起的,好氧区一直处于低负荷运行状态造成了丝状菌的大量增殖。

② 单纯提高好氧区的 DO 浓度只能部分抑制污泥膨胀,应该联合负荷控制来消除 A²/O 工艺的污泥膨胀现象。

③ 沉淀性能良好的污泥粒径分布范围较广,且以球菌为主;膨胀污泥的粒径大都在 10 μm 以内,污泥较为细碎,扫描电镜可见大量丝状菌,少量球菌只是被包埋在丝状菌内部。

参考文献:

- [1] Kristensen G H, Jorgensen P E, Nielsen P H. Settling characteristics of activated sludge in Danish treatment plants with biological nutrients removal[J]. Water Sci Technol, 1994, 29 (7): 157 - 165.
- [2] 郝晓地,朱景义,曹秀芹. 污泥膨胀形成机理及控制措施研究现状和进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7 (5): 1 - 9.

(下转第 39 页)

从图 6可以看出,HRT对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响很大,HRT越长则对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率越高。HRT为 4、8、12 h时平均去除率分别为 53.46%、86.52%、92.30%。

对氨氮的去除取决于硝化菌的活性。硝化菌为自养型微生物,世代繁殖时间较碳化菌长,所以延长水力停留时间有利于硝化作用的进行。

2.6 不同 HRT 下对 TN 的去除效果

不同 HRT 下反应器的进、出水 TN 浓度及对其去除率如图 7 所示。

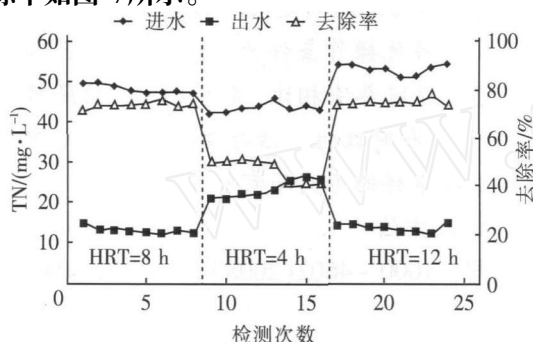


图 7 不同 HRT 下 MBR 对 TN 的去除效果

Fig 7 TN removal effect of MBR under different HRT

从图 7 可以看出,对 TN 的去除效果随 HRT 的变化规律与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的相同,HRT 越长则对 TN 的去除率越高。HRT 为 4、8、12 h 时,对 TN 的平均去除率分别为 46.59%、64.16%、74.45%。

3 结论

① 在曝气 2 h、搅拌 2 h 的运行工况下,进水 C/N 为 3、4、5 时,MBR 有很好的脱氮效果,出水 COD、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均达到了 GB 18918—2002 标准的一级 A 标准,且对 COD 和 TN 的去除率随 C/N 的增加而有所升高。当进水 C/N 为 5 时,对 COD 的

平均去除率达 82.19%,对 TN 的平均去除率达 78.00%。但对氨氮的去除率随 C/N 的增加变化不明显。

② HRT 为 4、8、12 h 时,MBR 对 COD 的平均去除率分别为 52.80%、83.18%、70.00%。当 HRT > 8 h 时,随着 HRT 的延长,对 COD 的去除率略有降低,而对氨氮、TN 的去除率随着 HRT 的延长有较大的提高,HRT 为 12 h 时对氨氮的平均去除率达 92.30%,对 TN 的平均去除率达 74.45%。

参考文献:

- [1] 付忠志,邹利安. 深圳罗芳污水厂一期工程试运行简评[J]. 给水排水,2000,26(1): 6-10.
- [2] 方茜,韦朝海,张朝升,等. 碳氮磷比例失调城市污水的同步脱氮除磷[J]. 环境污染治理技术与设备,2005,6(11): 46-50.
- [3] 邵林广. 南方城市污水处理厂实际运行水质远小于设计值的原因及其对策[J]. 给水排水,1999,25(2): 11-13.
- [4] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] 陆谢娟,李双菊,刘礼祥,等. 一体化膜生物反应器的强化脱氮除磷试验研究[J]. 中国给水排水,2008,24(13): 27-30.

作者简介:陆谢娟(1972-),女,云南大姚人,博士研究生,讲师,主要研究方向为污水深度处理。

电话:(027) 61238156

E-mail: xiejuan_lu@163.com

责任作者:章北平

收稿日期:2008-07-31

(上接第 35 页)

- [3] Martins A M P, Pagilla K, Heijnen J J, et al. Filamentous bulking sludge - a critical review[J]. Water Res, 2004, 38(4): 793-817.
- [4] Antonio Martins M P, Heijnen J J, van Loosdrecht M C M. Bulking sludge in biological nutrient removal systems[J]. Biotechnol Bioeng, 2004, 86(2): 125-135.
- [5] Krhutkova O, Ruzickova I, Wanner J. Microbial evaluation of activated sludge and filamentous population at eight Czech nutrient removal activated sludge plants during year 2000[J]. Water Sci Technol, 2002, 46(1-2): 471-478.

- [6] Saito T, Brdjanovic D, van Loosdrecht M C M. Effect of nitrite on phosphate uptake by phosphate accumulating organisms[J]. Water Res, 2004, 38(17): 3760-3768.

作者简介:吴昌永(1980-),男,山东苍山人,博士研究生,主要从事污水生物处理技术研究。

电话:13214605201

E-mail: hit_changyong@163.com

通讯作者:彭永臻

收稿日期:2008-07-25