

序批式生物膜法同步除磷脱氮特性研究

李 军¹, 赵 琦², 王宝贞³, 聂梅生³

(1. 北京工业大学建筑工程学院, 北京 100022; 2. 首都师范大学生物系, 北京 100037; 3. 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 哈尔滨 150008)

摘要:对淹没序批式生物膜法去除有机物和磷及同步部分脱氮的特性进行了研究。其适合的载体装填密度为30%, 水力停留时间为9 h, 其中厌氧3 h、好氧6 h。进水COD负荷从0.27 kg/(m³·d)到1.32 kg/(m³·d)均可使除磷率达90%以上、脱氮率达50%~60%。淹没式生物膜法除磷脱氮工艺中的优势菌属为假单胞菌属, 其次依顺序为气单胞菌属、芽孢杆菌属、微球菌属、硝化杆菌属。生物膜具有生物量大(MLVSS达5 531.7 mg/L)、脱落污泥含磷量高(达5.67%)、沉降性好(SVI为101.7)的特点, 污泥产率为0.199 6 kg干泥/kgCOD。

关键词:序批式; 淹没式生物膜法; 生物除磷脱氮

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-1264(2002)01-0001-03

Characteristics Study on the Simultaneous Phosphorus and Partial Nitrogen Removal in Sequencing Batch Reactor of Submerged Biofilm Process

LI Jun¹, ZHAO Qi², WANG Bao-zhen³, NIE Mei-sheng³

(1. College of Civil Engineering & Architecture, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022, China;

2. Biological Department, Capital Normal University, Beijing, 100037, China;

3. College of Municipal & Environmental Engineering, Harbin University of Technology, Harbin, 150008, China)

Abstract: The Submerged Biofilm SBR system has been developed in the study for removing organic and phosphorus simultaneously with partial nitrogen removal by such operating procedure: The suitable applied carriers package percentage was 30%, and the hydraulic retention time was 9 hours which included 3 hours in anaerobic reaction section and 6 hours in aerobic reaction section. When the influent COD loading rate increased from 0.27 kg/(m³·d) to 1.32 kg/(m³·d), the phosphorus removal efficiency reached over 90%, and the nitrogen removal 50-60%. It is certain that the dominant phosphorus removal bacterial species is *Pseudomonas* and then *Aeromonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Nitrobacter* in the submerged biofilm process. The sludge had high phosphorus content of 5.67%, high biomass with MLVSS of 5 531.7 mg/L and good settling characteristics with SVI of 101.7 and 0.199 6 kgDS/kgCOD of sludge production

Key words: sequencing batch reactor; submerged biofilm process; biological phosphorus and nitrogen removal

生物膜法具有较好的脱氮作用^[1-3]。然而, 利用膜法除磷和同步除磷脱氮的研究目前还很少, 有关利用连续流生物膜法脱氮的工艺研究表明该法只在脱氮方面作用较显著, 但废水中磷的去除率极低^[2,3]。笔者对序批式生物膜法进行了研究^[4], 采用A/O交替运行方式, 与A/O活性污泥法和连续流淹没式生物膜法相比, 序批式生物膜法具有许多优势。

1 试验方法

1.1 试验装置

试验所用反应器用有机玻璃制成, 内径

15 cm, 反应器内有效容积18 L, 其中沉淀池2 L。试验进水的TP平均为10.0 mg/L, COD为370.0 mg/L, 温度为25℃, 好氧状态的DO平均为5.5 mg/L。

装填密度应是纤维在载体上生物膜成熟后, 膜与载体所占容积与整个反应器容积之比。本实验分别做了最大装填密度37.5%、实用装填密度30%以及较低装填密度22.5%的对比实验后, 确定较适宜的装填密度为30%。此时, 反应器中的纤维载体的比表面积为2.66 m²/L。

生物膜培养采用A/O交替运行方式历时3个月, 菌种取自一般活性污泥工艺。在之后的工

艺参数和影响因素的试验中,以试验条件改变后运行 2 周后的水样为试样。

1.2 原生污水和主要分析方法

原生污水用自来水加蛋白胨配制,配制时还投加少量氯化铵、硫酸镁、磷酸二氢钾、氯化钙、氯化钠等。配制后水质 pH 为 7.3; COD 为 250 ~ 400 mg/L; TN 为 30 ~ 60 mg/L; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 10 ~ 20 mg/L; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 0.2 mg/L; $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 为 0.1 mg/L; TP 为 8 ~ 10 mg/L; SP 为 7 ~ 9 mg/L; 碱度为 380 ~ 440 mg/L; BOD_5 为 180 ~ 300 mg/L。

2 试验研究

2.1 工艺参数的确定

为确定合适的厌氧所需时间,笔者将厌氧时间延长到 12 h,并测定了 TP、TN 的变化过程线,如图 1 所示。

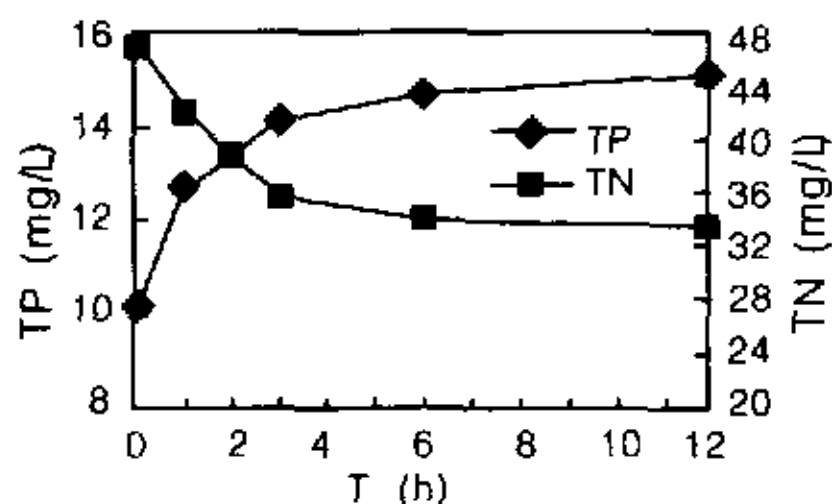


图 1 厌氧 12 h 时 TN、TP 变化曲线

由图 1 可知, P 释放主要集中在前 3 h 内,之后的 9 h, P 释放现象虽有,但幅度很小。聚磷菌只有充分释放磷后,才能很好地过量摄取磷,从而达到生物除磷的目的,因此必须保证能充分放磷的时间。在厌氧开始后的 3 h, TN 去除率达 24.0%;运行 12 h 后 TN 去除率达 28.1%。考虑到厌氧时间过长,将导致整个反应器的停留时间过长,不经济。综上所述,依据试验曲线,确定厌氧段所需时间为 3 h。

为确定合适的好氧时间段,笔者将厌氧 3 h 后好氧段的时间延长至 17 h,并测定了相应 TP 和 COD 各及形态氮浓度的变化曲线,见图 2、图 3。由图 2 可见,好氧 2 h, COD 可达到 40 mg/L 以下,随后 COD 的减小量非常小,可见它并不是一个限制因素。好氧聚磷在好氧开始后 2 h 内已基本完成。由图 3 知,在好氧开始后的 6 h 后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 已低于 1 mg/L,硝化基本完成,同时也可看到此时脱氮率达 56.6%。为保证硝化,笔者将好氧时间定为 6 h。

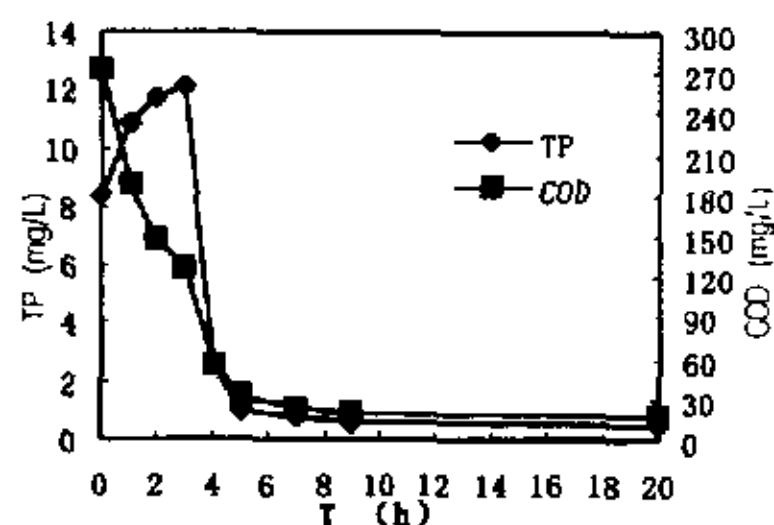


图 2 厌氧 3 h 后好氧 17 h 时 TP、COD 变化曲线

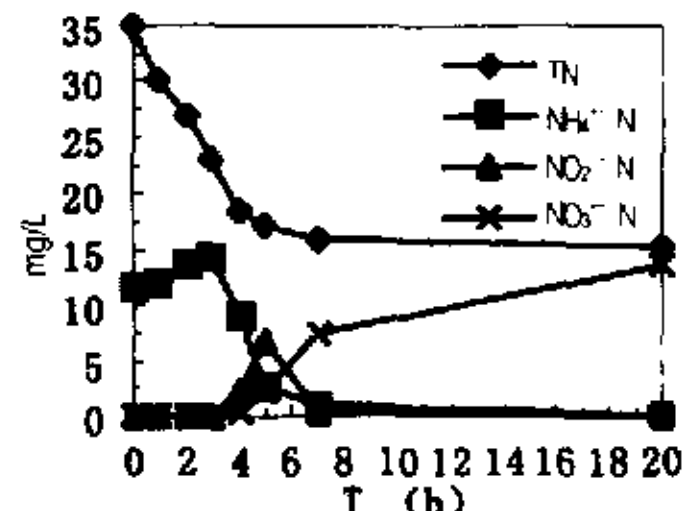


图 3 厌氧 3 h 后好氧 17 h 时各形态氮变化曲线

图 3 可知,厌氧放磷均速为 1.37 mg/(L·h)。好氧吸磷速度取决于厌氧放磷速度,除磷菌吸收有机物(COD)用以合成 PHB,同时分解聚磷酸盐并释放磷,厌氧段放磷速度大,磷释放量大,合成的 PHB 就多,那么在好氧段时由于分解 PHB 而合成的聚磷酸盐速度就大,表现出来的好氧吸磷速度就大。同时,以上试验也说明了磷释放所能达到的最大值与有机物的最大吸收量有关,磷释放量随有机物吸收量增加而增加。由以上分析可推知,生物除磷速度与厌氧阶段易为除磷菌所吸收的有机物(COD)浓度有关。

2.2 缺氧同步除磷脱氮

实验中实行半池出水、半池进水控制,则在上一周期中产生的硝化液与新进原生废水混合,混合后 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 浓度为 13.42 mg/L, COD 浓度为 268.46 mg/L, TP 浓度为 4.81 mg/L。此时的厌氧变成了缺氧,除磷菌可从 NO_x^- 中获取氧来进行缺氧吸磷,因此在缺氧段,在进行反硝化的同时,仍可继续吸磷,见图 4。

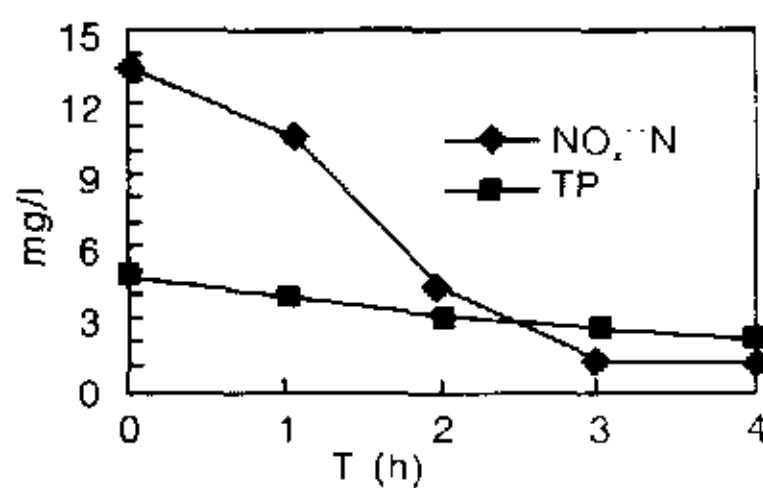


图 4 缺氧段的 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 和 TP 变化曲线

缺氧开始后 3 h 内吸磷均速为 0.70 mg/(L·h),约为好氧吸磷均速的 1/6,这是由于无氧呼吸的代谢速率和产能要远远低于有氧呼吸。由此可看出,该工艺如果再加上缺氧段进行反硝

化,控制合适的 C/N 比,则可进一步提高淹没序批式生物膜法除磷工艺的同步脱氮率。

3 生物膜特性研究

3.1 生物膜特性

由于序批式生物膜工艺的特殊性,可较方便地测出运行一个周期后的污泥产量。在进水负荷为 $1.00 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,将一周周期后脱落的污泥取出,过滤后于 $103^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$ 烘干,称得 $\text{MLSS} = 1.0733 \text{ g}$,产泥率为 $0.1996 \text{ kg 干泥}/\text{kgCOD}$ 。污泥中磷含量测得为 5.67% ,比序批式活性污泥的 4% 的磷含量要高的多^[5]。生物膜洗脱后称得 MLVSS 达 5531.7 mg/L ,而活性污泥法的 MLVSS 在 $1500 \sim 2000 \text{ mg/L}$ 的范围内,可见 SBR 生物膜反应器中生物量非常大;洗脱膜的 SVI 值为 101.7 ,说明脱落生物膜污泥具有良好的沉降性。

3.2 生物膜中的微生物群

检样 1 为生物膜反应器除磷试验的前期(反应器运行第四个月)样品;检样 2 为中期(反应器运行第六个月)样品。细菌计数按标准平板法进行。

检样 1 的菌落总数: 2.52×10^8 个/mL;检样 2 的菌落总数: 1.56×10^9 个/mL。

菌相分析结果见表 1。由表 1 可见,假单胞菌属这种除磷脱氮菌是淹没序批式生物膜工艺中的优势菌属,其次依顺序为气单胞菌属、芽孢杆菌属、微球菌属、硝化杆菌属。这一结论,同 Wachtmeister A.^[6] 的结果相类似,与 Carucci A.^[5] 的结果而不同。

表 1 菌相构成分析表

菌属	检样 1		检样 2	
	菌群	菌相构成比(%)	菌群	菌相构成比(%)
假单胞菌属	98	46.67	64	50.39
气单胞菌属	70	33.33	36	28.35
芽孢杆菌属	34	16.19	18	14.17
微球菌属	6	2.86	5	3.94
硝化杆菌属	2	0.95	4	3.15
合计	210	100	127	100

由表 1 知,在运行中期假单胞菌的构成比例超过初期。同时,气单胞菌属、芽孢杆菌属的构成比却低于初期。这说明,假单胞菌属为本系统的优势菌属,且随着运行时间的延长,而更加稳定。另外,硝化杆菌的比例在运行中期也高于初期,说明,随着运行时间的延长,本系统的硝化功能趋于提高。

淹没式生物膜反应器从进水到出水,有机物浓度变化很大,然而其中的微生物相却比较稳定,而且在数量上也没有出现大起大落的情况。原生动物主要为纤毛虫类,其中出现频率最多的是固着型

纤毛虫类,有钟虫、累枝虫和盖虫;其次是游泳型纤毛虫,有草履虫(主要在进水时出现)、肾形虫和漫游虫。另外,生物膜中也有少量的绿眼虫和变形虫。生物膜中出现的后生动物有线虫类、轮虫类、甲壳虫类(主要为水蚤类)等。

4 结论

4.1 淹没序批式生物膜法同步除磷脱氮工艺适合的载体装填密度为 30% ,水力停留时间为 9 h ,其中厌氧 3 h 、好氧 6 h 。在上述工艺参数下,进水 COD 负荷从 $0.27 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 到 $1.32 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 均可使除磷率达 90% 以上,脱氮率为 $50\% \sim 60\%$ 。

4.2 生物除磷取决于厌氧放磷,而厌氧放磷速度取决于溶液中可快速吸收的有机物的多少。

4.3 在缺氧段仍可继续实现生物吸磷,只是吸磷速度较好氧吸磷速度明显降低,约为 $1/6$,因此,该工艺加缺氧段,控制合适的 C/N,可进一步提高同步除磷脱氮率。

4.4 淹没序批式生物膜法生物量大,脱落污泥沉降性好、含磷量高。

4.5 除磷脱氮优势菌属为假单胞菌属和气单胞菌属,进一步说明了淹没序批式生物膜法的同步除磷脱氮作用。

参考文献

- [1] Acsay A. and Odgaard H. Nitrogen removal efficiency and capacity in biofilms with biologically hydrolyzed sludge as a carbon source[J]. Water Sci. & Tech. 1994,30(6):63-72.
- [2] Wang B.Z., Li G., Yang Q. And Liu R., Nitrogen removal by a submerged biofilm process with fibrous carrier[J]. Water Sci. & Tech. 1992,20:37-89.
- [3] Wang B.Z., Yang Q., Liu R., Yuan J., Ma F, He J. And Li G., A study on simultaneous organics and nitrogen removal by extended aeration submerged biofilm process[J]. Water Sci. & Tech. 1991,24(5):197-213.
- [4] 李军,王宝贞,聂梅生.淹没序批式生物膜法除磷工艺特性研究[J].中国给水排水,2001,17(7):1-5.
- [5] Carucci A., Maione M., Ramadori R. and Rossetti S., Dynamics of phosphorus and organic substrates in anaerobic and aerobic phases of a sequencing batch reactor[J]. Water Sci & Tech. 1994,30(6):237-246.
- [6] Wachtmeister A., Kuba T, Van Loosdrecht M. C. A sludge characterization assay for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge[J]. Water Research. 1997,31(3):471-478.

作者简介:李军(1964-),男,山东淄博人,博士,中国土木工程学会,排水委员会委员,主要从事污水生物处理技术研究;分别于 1997、1996 年获得建设部科技进步二等奖、黑龙江省科技进步三等奖、黑龙江省环境保护科技进步一等奖,2000 年入选北京科技新星,发表论文 40 余篇。