

缺氧区、好氧区容积比对 A^2/O 工艺反硝化除磷的影响

曹雪梅¹, 彭永臻^{1,2}, 王淑莹²

(1 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2 北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘要: 反硝化除磷菌可以在碳源不足条件下,通过“一碳两用”的方式同时实现反硝化脱氮和吸磷过程,有研究表明, A^2/O 工艺中存在反硝化除磷现象。为此以啤酒废水为处理对象,研究了缺氧区与好氧区容积比对 A^2/O 工艺反硝化除磷的影响。试验结果表明,在缺氧区与好氧区容积比分别为 0.33、0.48、0.60 的条件下, A^2/O 系统对总氮的平均去除率分别为 68.04%、79.64% 和 85.70%,对总磷的平均去除率分别为 85.38%、90.80% 和 96.84%,对 COD 的去除率均在 90% 以上。此外,如果继续增大缺氧区与好氧区容积比,应适当调整内循环比,否则会由于缺氧区硝酸盐浓度不够而发生二次释磷现象。

关键词: A^2/O 工艺; 反硝化除磷; 容积比; 啤酒废水

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2007)03-0027-04

Influence of Volume Ratio of Anoxic Zone to Aerobic Zone on Denitrifying Phosphorus Removal in A^2/O Process

CAO Xue-mei¹, PENG Yong-zhen^{1,2}, WANG Shu-ying²

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2 School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: Under the condition of insufficient carbon source, denitrifying phosphorus removal bacteria can utilize nitrate as the electron acceptor to take up phosphorus by single carbon source. It is confirmed that denitrifying phosphorus removal bacteria exist in A^2/O process. Therefore, the influence of the volume ratios of anoxic zone to aerobic zone on denitrifying phosphorus removal in the A^2/O process for treating brewery wastewater was studied. The results show that when the volume ratios of anoxic zone to aerobic zone are 0.33, 0.48 and 0.60, the resulting average total nitrogen removal efficiencies are 68.04%, 79.64% and 85.70%, the average phosphorus removal efficiencies are 85.38%, 90.80% and 96.84%, respectively. Also, the average COD removal efficiencies under the three ratios are all higher than 90%. Therefore, when the volume ratios of anoxic zone to aerobic zone continue to be increased, internal recirculation ratio shall be adjusted, otherwise the nitrate concentration will not be enough in anoxic zone and phosphorus will be released again.

Key words: A^2/O process; denitrifying phosphorus removal; volume ratio; brewery wastewater

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2003AA601010); 国家自然科学基金重点资助项目 (50138010)

我国正面临着严重的水体富营养化问题,为有效控制水体富营养化,迫切需提高城市污水处理厂的脱氮除磷效率。 A^2/O 脱氮除磷工艺,因能同时去除有机物、氮、磷且处理成本较低而得到广泛应用,但其存在基质竞争、泥龄矛盾、总氮去除率难于提高等弊端。而反硝化除磷菌由于可以利用硝酸盐作为电子受体进行吸磷和生长,因此在一定程度上可缓解 A^2/O 工艺固有的矛盾^[1~3]。采用反硝化除磷工艺处理城市污水不仅可以节省曝气量,还能减少剩余污泥量,从而降低投资和运行费用。王晓莲等人已证实在 A^2/O 工艺中存在反硝化除磷现象,并取得了较好的脱氮除磷效果^[4]。

为更好地在 A^2/O 工艺中实现反硝化除磷,提高脱氮除磷效率,降低运行费用,笔者在传统 A^2/O 工艺的基础上,进行了缺氧区与好氧区容积比 (n) 对 A^2/O 工艺反硝化除磷影响的研究。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置与运行条件

A^2/O 试验装置如图 1 所示。

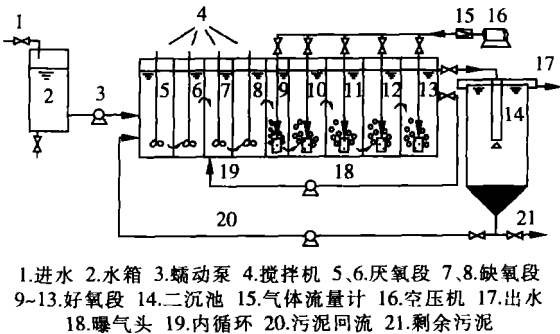


图 1 A^2/O 工艺流程

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。反应器的有效容积为 48 L,分为 9 个格室,其中前两个为厌氧段,随后的两个为缺氧段,剩下的 5 个为好氧段。厌氧区的有效容积为 9.6 L,通过改变缺氧段与好氧段之间挡板的位置调整缺氧区与好氧区的容积比。二沉池的有效容积为 25 L。进水、回流污泥及硝化液回流流量均采用蠕动泵控制,在厌氧区和缺氧区内安装搅拌器。温度由温控仪控制在 21℃,试验正常运行条件:进水量为 144 L/d, HRT 为 8.0 h, SRT 为 12 d,反应器中 MLSS 为 3 000 mg/L,污泥回流比为 0.75,内循环回流比为 2.5,好氧区的 DO 浓度设定在 2~

3 mg/L。
1.2 原水水质及测定方法
试验采用人工配制的啤酒废水,通过控制啤酒投量来改变 COD 值,通过投加 $NaHCO_3$ 和 $NaOH$ 来调整进水的 pH 值。废水组成:啤酒为 3~3.4 mL/L,氯化铵为 0.1~0.30 g/L, KH_2PO_4 为 0.02~0.07 g/L, $NaHCO_3$ 为 0.05~0.15 g/L, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 为 0.05 g/L, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 为 0.01 g/L,水质情况见表 1。

表 1 原水水质

Tab 1 Characteristics of influent wastewater

参数	mg · L ⁻¹					
	n = 0.33		n = 0.48		n = 0.60	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值
COD	317~529	378	327~432	381	358~429	393
BOD ₅	158~265	189	165~216	190	179~215	197
NH ₄ ⁺ - N	42.3~53.0	51.2	45.6~47.6	46.7	31.0~56.5	52.9
TN	49~61	54.5	47.6~53.6	51.8	37.2~64.5	55.1
PO ₄ ³⁻ - P	7.25~8.89	7.81	7.86~9.1	8.59	7.49~9.31	8.72
碱度	350~400	380	350~400	380	350~400	380

采用国家标准方法分析 TCOD、SCOD、 NH_4^+ - N、 NO_3^- - N、 NO_2^- - N、TN、 PO_4^{3-} - P、TP、总碱度、MLSS、MLVSS 等指标^[5]; DO、ORP、pH 采用 WTW - pH/OXi340i 便携式在线测定仪测定。接种污泥为城市污水厂的剩余污泥,经过连续培养驯化待系统具有良好的反硝化除磷功能后再开始跟踪测定。

2 试验结果与分析

2.1 对除磷的影响

当容积比分别为 0.33、0.48 和 0.60 时 A^2/O 系统的除磷效果如图 2 所示。

3 种容积比下的平均出水磷浓度分别为 1.11、0.79 和 0.30 mg/L,平均去除率分别为 85.38%、90.80% 和 96.84%,说明 n 值越大则出水磷浓度越低,处理效果越好。另外发现,在 $n = 0.60$ 时试验后期缺氧区的出水磷浓度略有升高,这是因为进水氨氮浓度较低,在未增大内循环回流比的条件下,缺氧区没有足够的电子受体,导致了缺氧释磷,使缺氧区出水磷浓度升高,但由于有好氧吸磷,系统出水磷浓度并未受影响。可以设想,维持进水碳源和氨氮浓度不变,并继续增大 n 值,则需要提高内循环回流比,使缺氧区有充足的电子受体,否则会导致缺氧区出现二次释磷。

由图 2 可知,随着 n 值的增加,缺氧区除磷量占

厌氧区总释磷量的比例增大。在 3 种容积比下,平均缺氧吸磷量分别为 31.12、38.03 和 43.60 mg/L,其与好氧吸磷量的比值分别为 85.38%、90.81%和 96.54%。由此可见,增大 n 值能增加缺氧区吸磷量所占比例,这是因为增大 n 值提高了缺氧区的水力停留时间,增加了反硝化聚磷菌的数量,可充分利用在厌氧区存储的 PHB 进行反硝化除磷。

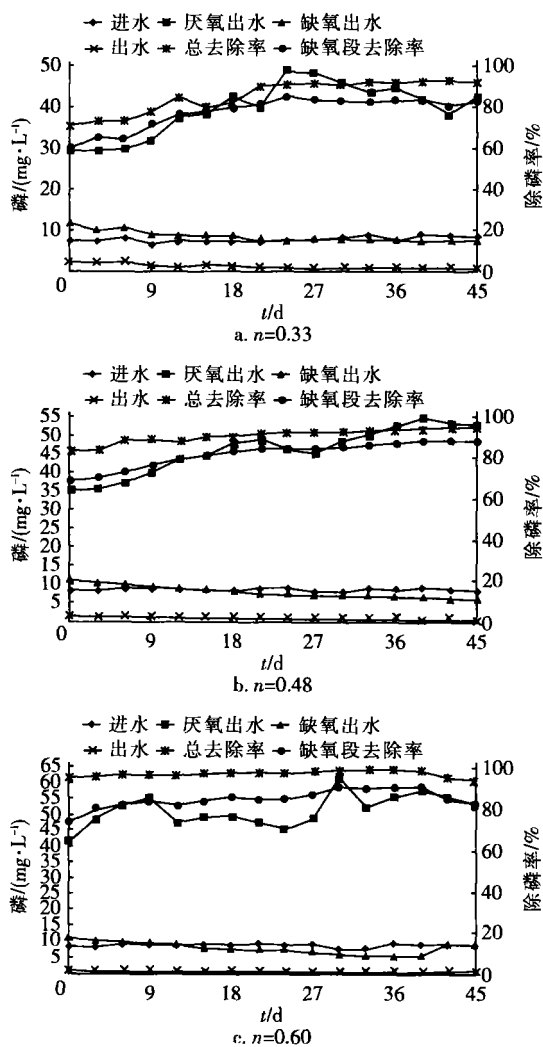


图 2 不同容积比的除磷效果

Fig 2 P removal in A^2/O process under different volume ratios

2.2 对去除 TN 的影响

在 3 种容积比下 A^2/O 系统对总氮的去除情况如图 3 所示。

当容积比分别为 0.30、0.48、0.60 时, A^2/O 系统对总氮的去除率均很稳定,出水总氮分别为 16.1~19.9、9.2~11.9、5.0~10.4 mg/L,平均为 17.4、

10.4 和 7.9 mg/L; 平均去除率分别为 68.04%、79.64%和 85.70%。这说明,增大 n 值有利于提高对总氮的去除率。

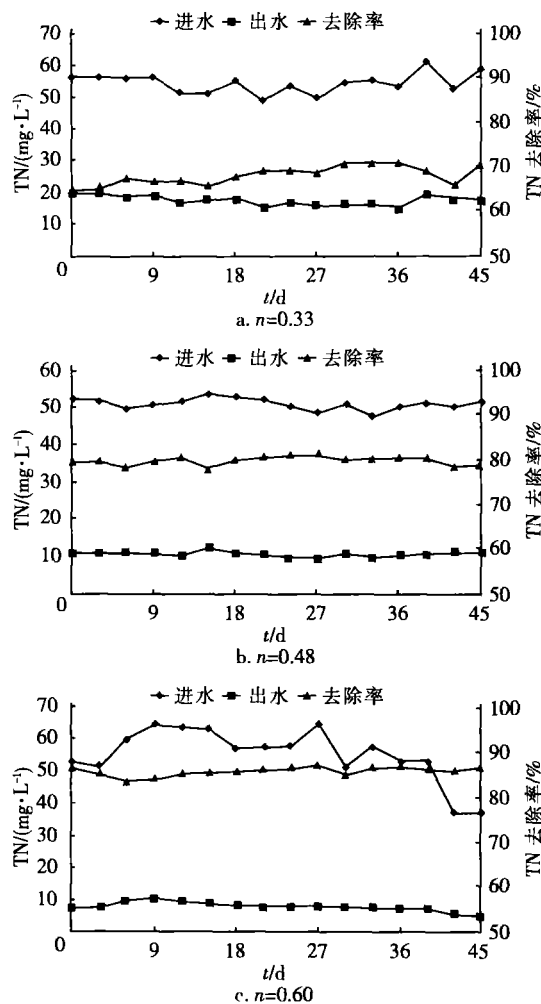


图 3 不同容积比的去除总氮效果

Fig 3 TN removal in A^2/O process under different volume ratios

试验过程中,由于好氧段的溶解氧一直保持在 2~3 mg/L,故未发生亚硝酸盐积累,而且对氨氮的去除率几乎达到 100%。总氮去除率的提高减少了回流到厌氧区的硝酸盐量,因而提高了厌氧释磷量和反硝化除磷能力。另外发现,在 $n=0.48$ 和 $n=0.60$ 时缺氧区出水硝态氮浓度基本为 1~2 mg/L,这不仅提高了系统对总氮的去除率,也符合 Yuan 的理论^[6],即在保持缺氧区末端的硝态氮浓度为 1~3 mg/L 的条件下,可充分利用进水中的溶解性可生物降解 COD 进行反硝化,并降低了流入好氧区的 COD 量,实现了对氮的最优控制,同时也为缺氧

反硝化除磷提供了充足的电子受体。根据试验期间缺氧反应器内 NO_x^- (NO_x^- 指 NO_3^- 和 NO_2^-) 的反硝化数量和磷的吸收量,得到在 3 种容积比下缺氧区每吸收 1 mg 磷分别约消耗 0.63、0.72 和 0.80 mg 的 NO_x^- ,这说明 n 值越大则反硝化聚磷菌的活性越高。

2.3 对去除 COD 的影响

试验结果表明,虽然进水 COD 浓度波动较大,但是系统对 COD 的去除率一直很稳定。3 种容积比下的出水 COD 浓度分别为 14.8~35.2、14.8~35.1、19.7~23.4 mg/L,平均为 24.2、23.3 和 21.1 mg/L,平均 COD 去除率分别为 93.34%、93.75% 和 94.63%。此外,尽管 n 值不同,但是大量的 COD 均在厌氧区转化为聚磷菌胞内聚合物 (PHB) 而被去除。在 3 种容积比下 A^2/O 系统的厌氧区平均出水 COD 浓度分别为 62、61 和 60.9 mg/L,平均 COD 去除率分别为 82.91%、83.80% 和 84.52%,而缺氧区对 COD 的平均去除率分别为 5.12%、6.05% 和 7.11%,且 n 值越大则缺氧区对 COD 的平均去除率越高,这是因为增加缺氧区的水力停留时间有利于反硝化反应的进行,进而提高了对 COD 的去除率。由于缺氧段和厌氧段几乎承担了所有 COD 的去除,故可保证硝化菌的优势生长,同时减少了好氧段所需的曝气量。

3 结论

① 在缺氧区与好氧区容积比分别为 0.33、0.48 和 0.60 的条件下, A^2/O 工艺对有机物、氮及磷的去除率均较高,对 COD 的平均去除率分别为 93.34%、93.75% 和 94.63%,对总氮的平均去除率分别为 68.04%、79.64% 和 85.70%,对磷的平均去除率分别为 85.38%、90.80% 和 96.84%,平均出水 COD 浓度分别为 24.2、23.3 和 21.1 mg/L,平均出水总氮浓度分别为 17.4、10.4 和 7.9 mg/L,平均出水磷浓度分别为 1.11、0.79 和 0.30 mg/L。

② 当缺氧区与好氧区的容积比增大时,系统的出水水质变好,这是因为增加缺氧区容积提高了

缺氧区的水力停留时间以及反硝化除磷菌在聚磷菌中所占的比例,进而提高了对有机物、氮及磷的去除率。

③ 增加缺氧区与好氧区的容积比有利于降低曝气能耗,减少运行费用,计算表明 n 为 0.60 时的曝气能耗要比 n 为 0.33 时节省约 15%。但是在增加缺氧区与好氧区容积比时,应适当调整内循环回流比,以使缺氧区有足够的电子受体,否则会发生二次释磷现象。

参考文献:

- [1] Gerakd M Stevens, James L Bamard, Barry Rabinowitz Optimizing biological nutrient removal in anoxic zones [J]. Water Sci Technol, 1999, 39 (6): 113 - 118
- [2] Bortone G, Saltarelli R, Alonso V, et al Biological anoxic phosphorus removal—the DEPHANOX process [J]. Water Sci Technol, 1996, 34 (1): 119 - 128
- [3] Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of nitrification in a two-sludge system [J]. Water Res, 1996, 30 (7): 1702 - 1710
- [4] 王晓莲,王淑莹,彭永臻,等. A^2/O 工艺中反硝化除磷及过量曝气对生物除磷的影响 [J]. 化工学报, 2005, 56 (8): 1565 - 1570
- [5] APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [M]. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 1992
- [6] Yuan Zhiguo, Adrian Oehmen, Pernille Ingildsen Control of nitrate recirculation flow in predenitrification systems [J]. Water Sci Technol, 2002, 45 (4 - 5): 29 - 36

作者简介:曹雪梅 (1982 -), 女, 满族, 辽宁开原人, 硕士研究生, 研究方向为污水脱氮除磷技术及其过程控制。

E - mail: caoxuemei19820428@yahoo. com. cn

责任作者:彭永臻

收稿日期:2006 - 10 - 13