A^2/O工艺的反硝化除磷特性研究

吴昌永[1]， 彭永臻[1,2]， 彭 轶[1]
(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：为了解传统 A^2/O工艺中反硝化除磷的作用及强化缺氧吸磷对系统同步脱氮除磷的贡献，以实际生活污水为处理对象，系统研究了缺氧段的反硝化除磷特性及其强化措施，并通过序批式试验考察了除磷微生物种群比例的变化。试验结果表明：稳定运行的 A^2/O系统中存在反硝化除磷现象，通过提高缺氧段的 NO_3^--N负荷，可使缺氧除磷贡献率从 33.3%提高到 53.3%，且系统的除磷率维持在 95.4%以上；同时，好氧段的曝气量从 400 L/h减少到 260 L/h，节约了近 35%；反硝化聚磷菌占聚磷菌的比例由 35.4%提高到 51.3%左右，微生物种群得到了优化。强化 A^2/O工艺的反硝化除磷功能，对提高低 C/N值污水的脱氮除磷效率及降低运行能耗具有重要的意义。

关键词：污水处理；A^2/O工艺；反硝化除磷；聚磷菌；反硝化聚磷菌
中图分类号：X703.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-4602(2008)15-0011-04

Study on Characteristics of Denitrifying Phosphorus Removal in A^2/O Process

WU Chang-yong[1], PENG Yong-zhen[1,2], PENG Yi[1]
(1. *School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;* 2. *College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China*)

Abstract: In order to investigate denitrifying phosphorus removal in the anoxic stage and its contribution to biological nutrients removal in the A^2/O process, the characteristics and enhanced measures of denitrifying phosphorus removal were studied by treating real domestic wastewater. The variation of the microbial community was examined by batch experiments. The results show that the phenomenon of denitrifying phosphorus removal exists in the A^2/O system during stable operation period. The anoxic phosphorus uptake is enhanced from 33.3% to 53.3% by increasing the nitrate loading in the anoxic stage, and the removal rate of phosphorus is more than 95.4%. The aeration rate in aerobic stage reduces from 400 L/h to 260 L/h, saving about 35%. At the same time, the ratio of DPAOs to PAOs increases from 35.4% to 51.3%, and the microbial community is optimized. Enhancing the function of denitrifying phosphorus removal in the A^2/O process can increase the biological nutrients removal efficiency from low C/N wastewater and reduce the operating cost.

Key words: wastewater treatment; A^2/O process; denitrifying phosphorus removal; PAOs;

基金项目：北京市教委科研基地—科技创新平台项目；国家自然科学基金—海外青年学者合作研究项目(50628808)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DPAOs

A^2/O工艺具有构造简单、总水力停留时间短、设计运行经验成熟和不易产生污泥膨胀等优点,是目前我国城市污水厂中应用最广泛的同步脱氮除磷工艺之一。但是该工艺存在脱氮和除磷对碳源的竞争,在处理低 C/N值污水时脱氮和除磷效率通常都不是很高。

反硝化除磷由于能够实现一碳两用,因而可降低同步脱氮除磷对碳源的需求[1]。Hu等人[2~4]指出,在连续流同步脱氮除磷系统中,前置反硝化的工艺构造有利于实现反硝化除磷。笔者详细研究了A^2/O工艺反硝化除磷的实现、特性及其强化措施,并分析了污泥种群中反硝化聚磷菌所占比例的变化,为在实际污水厂中实现反硝化除磷提供理论支持。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

A^2/O试验装置如图 1所示。

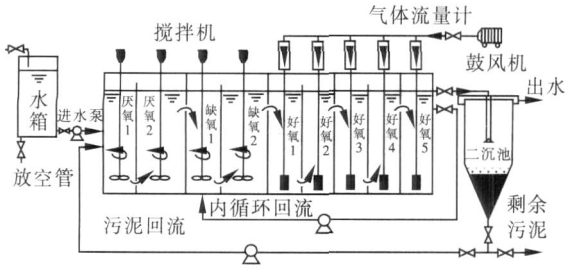


图 1 A^2/O试验装置

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个格室为厌氧区,随后的 2个格室为缺氧区,剩余的 5个格室为好氧区。厌氧区、缺氧区和好氧区的体积比为 1∶1∶2。厌氧区和缺氧区采用搅拌桨搅拌,好氧区通过各格室底端的曝气头供氧同时促进泥水混合。通过加热棒控制反应器温度在 21~22 ℃。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。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 3 546 mg/L,污泥回流比为 65%,初期的内循环回流比为 150%,后期改为 250%。试验所用污泥取自哈尔滨文昌污水处理厂,该厂采用 A/O工艺,种泥的脱氮效果较好而除磷能力很弱。

1.2 试验用水及水质

本试验用水取自哈尔滨工业大学教工生活区的实际污水,根据水质的变化采用啤酒、NH_4Cl和KH_2PO_4对其 COD、NH_4^+-N和 PO_4^{3-}-P进行少许调节。调节后的水质如表 1所示。

表 1 原水水质

Tab. 1 Characteristics of raw wastewater

项 目	范围	均值	项 目	范围	均值
pH	7. 35~7. 85	7. 45	NO_3^--N/(mg·L^{-1})	0~1. 73	0. 72
COD/(mg·L^{-1})	199~522	309	TN/(mg·L^{-1})	22. 56~70. 8	48. 56
NH_4^+-N/(mg·L^{-1})	19. 33~60. 71	43. 92	碱度/(mgCaCO$_3$·L^{-1})	211~420	381
NO_2^--N/(mg·L^{-1})	0~1. 03	0. 05			

1.3 测试项目与方法

COD、NH_4^+-N、NO_2^--N、NO_3^--N、TN、PO_4^{3-}-P、TP、SV、SVI、MLSS和 MLVSS等均采用国家标准方法测定[5],DO和 pH采用 WTW-340i分析仪测定。

根据 Wachtmeister等人[6]推荐的方法确定聚磷菌(PAOs)中反硝化聚磷菌(DPAOs)所占比例,具体为:取适量好氧段末端污泥加入到 4 L的 SBR反应器中,先采用乙酸钠为碳源(COD = 300 mg/L)的污水进行 2. 5 h的厌氧反应,然后将污泥平均分成两份,一份足量曝气好氧反应 3 h,另一份加入 50 mg/L的 NO_3^--N缺氧反应 3 h,缺氧最大吸磷速率与好氧最大吸磷速率的比值(K_{anmax}/K_{omax})即为系统中 DPAOs占 PAOs的比例。缺氧吸磷量根据物料平衡经计算得到。

2 结果与分析

2.1 系统除磷特性的变化

由于试验种泥取自 A/O脱氮工艺,因此在接种初期除磷性能较弱。图 2给出的是启动至稳定运行(共 175 d)期间系统除磷性能的变化。

试验共分三个阶段:第一阶段维持硝化液回流比为 150%,共运行 66 d;第二阶段提高硝化液回流比至 250%,共运行 56 d;第三阶段维持硝化液回流比不变,降低进水 C/N值为 3. 8~4. 8,共运行 54 d。从图 2可以看出,在污泥接种初期,系统的除磷率 <

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

50%,经过 45 d左右的运行,除磷效果呈直线上升,平均除磷率维持在 95. 4%以上,出水 TP平均值为 0. 38 mg/L。

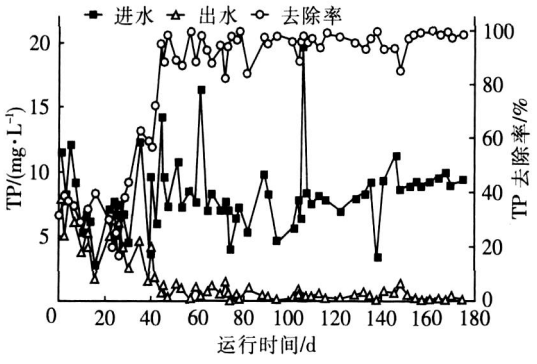


图 2　系统除磷性能的变化

Fig 2　Variation of phosphorus removal effect in A^2/O process

2.2　反硝化除磷对系统除磷的贡献

图 3反映的是系统运行过程中缺氧区反硝化吸磷量占总除磷量的比例。

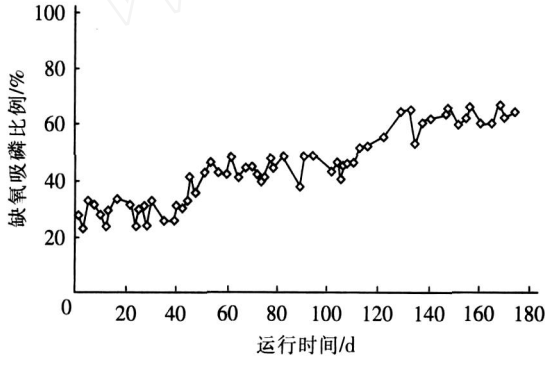


图 3　缺氧吸磷的变化趋势

Fig 3　Trends of anoxic phosphorus uptake in A^2/O process

从图 3可以看出,在第一阶段,随着系统除磷能力的好转,缺氧吸磷量也逐渐增加,占到了系统总除磷量的 33. 3%。在该阶段,在缺氧末端的出水中几乎检测不到 NO_3^- - N,但还有少量的磷存在,说明缺氧段的反硝化吸磷潜力并没有被充分利用,缺氧区的 NO_3^- - N负荷偏低,同时有部分 NO_3^- - N是被普通异养反硝化菌所利用,这和 Hu等人的观点一致。在第二阶段提高内循环回流比至 250%,缺氧吸磷量能占到总除磷量的 53. 3%,缺氧末端出水的 NO_3^- - N为 0. 8～1. 5 mg/L,表明缺氧区的反硝化吸磷潜力得到了充分利用[7],降低了出水的 N、P含量。另外试验中还发现,缺氧区末端的 NO_3^- - N浓度和 ORP值之间存在一定的线性关系: ORP = 30. 648NO_3^- - N - 261. 19 (R^2 = 0. 903 4),这样通过监测缺氧末端的 ORP值即可确定内循环回流比是否恰当,以充分利用缺氧区的反硝化除磷能力。

2.3　反硝化聚磷菌数量的变化

参照 Wachtmeister等人提出的方法,对系统中第 51天和第 148天的污泥进行了序批式试验,结果见图 4。

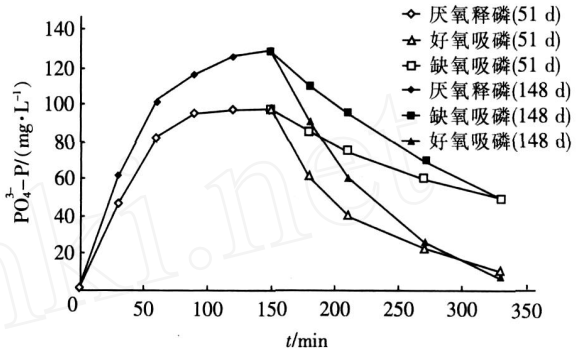


图 4　第 51、148天厌氧 缺氧和厌氧 好氧序批式试验结果

Fig 4　Phosphorus release and uptake under anaerobic/anoxic and anaerobic/aerobic conditions on days 51 and 148

从图 4可以看出,随着内循环回流比的提高,缺氧吸磷量所占比例增加,同时污泥中反硝化聚磷菌占总聚磷菌的比例也发生了变化,51 d和 148 d的缺氧吸磷所占比例分别为 42. 8%和 65. 8%,而与这两天对应的 K_{anmax}/K_{omax}分别为 35. 4%和 51. 3%,即 DPAOs/PAOs分别为 35. 4%和 51. 3%,DPAOs得到了优势增殖。

2.4　A^2/O工艺中实现反硝化除磷的优势

在系统运行的第一阶段,好氧区的曝气总量为 400 L/h,第二阶段随着缺氧吸磷量的增加,好氧段的需氧量有所降低,总曝气量变为 260 L/h,节约曝气量为 35%。尽管曝气量降低,但系统的除磷性能没有变化,对 COD、NH_4^+ - N和 TN的去除率也没有下降,平均值分别维持在 85. 8%、95. 5%和 73. 3%。因此,在 A^2/O工艺中实现反硝化除磷不但不会对除污效率产生影响,还可降低系统的运行能耗。

第三阶段处理的是低 C/N值生活污水。从图 3可知,随着 C/N值的降低,缺氧吸磷所占比例有增加的趋势,这和 Wang的研究结果相似[8],即减少进入缺氧区的碳源量有利于缺氧吸磷,因此系统的脱氮除磷性能受低 C/N值的影响不是很剧烈,只是对 TN的去除率略有下降 (平均变为 65. 6%)。

3　结论

① 将稳定运行的 A^2/O反应器的内循环回流

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

比从 150%提高到 250%,并保持缺氧区末端的 NO_3^--N为 0.8～1.5 mg/L,可充分利用缺氧区的反硝化除磷能力,缺氧区的反硝化吸磷量占总除磷量的比例从 33.3%提高到 53.3%,实现了反硝化除磷。

② 在 A^2/O工艺中实现了稳定的反硝化除磷后,反硝化聚磷菌占聚磷菌的比例有所提高,可达到 51%左右。

③ 由于发生了缺氧吸磷,使得好氧区的总曝气量从 400 L/h降低到 260 L/h,节约了近 35%,而系统的脱氮除磷效率并没有因此而下降。同时由于缺氧吸磷可节省碳源,使得系统在处理 C/N值为 3.8～4.8的低碳氮比污水时仍能获得较好的脱氮除磷效果,对 TN的去除率维持在 65.6%左右,对 TP的去除率 >95.4%。

参考文献:

[1] Kuba T, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in a two-sludge system [J]. Water Res, 1996, 30(7): 1702 - 1710.

[2] Hu Z R, Wentzel M C, Ekama G A. Anoxic growth of phosphate-accumulating organisms (PAOs) in biological nutrient removal activated sludge systems [J]. Water Res, 2002, 36(19): 4927 - 4937.

[3] Kuba T, van Loosdrecht M C M, Brandse F A, *et al*. Occurrence of denitrifying phosphorus removing bacteria in modified UCT-type wastewater treatment plants[J]. Water Res, 1997, 31(4): 777 - 786.

[4] Østgaard K, Christensson M, Lie E, *et al*. Anoxic biological phosphorus removal in a full-scale UCT process[J]. Water Res, 1997, 31(11): 2719 - 2726.

[5] 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.

[6] Wachtmeister A, Kuba T, van Loosdrecht M C M, *et al*. A sludge characterization assay for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge [J]. Water Res, 1997, 31(3): 471 - 478.

[7] Yuan Zhiguo, Adrian Oehmen, Pernille Ingildsen. Control of nitrate recirculation flow in predenitrification systems [J]. Water Sci Technol, 2002, 45(4 - 5): 29 - 36.

[8] Wang Xiaolian, Peng Yongzhen, Wang Shuying, *et al*. Influence of wastewater composition on nitrogen and phosphorus removal and process control in A^2O process[J]. Bioprocess Biosyst Eng, 2006, 28(6): 397 - 404.

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研究。

电话: 13214605201

E-mail: hit_changyong@163.com

收稿日期: 2008 - 04 - 08

(上接第 10页)

scenario analysis with focus on operating costs[J]. Water Sci Technol, 2005, 52(4): 107 - 115.

[7] Mulder A, van de Graaf A A, Robertson L A, *et al*. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor[J]. FEMS Microbiol Ecol, 1995, 16(3): 177 - 183.

[8] van de Graaf A A, Mulder A, de Bruijn P, *et al*. Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process[J]. Appl Environ Microbiol, 1995, 61(4): 1246 - 1251.

[9] 朱静平,胡勇有,梁辉强. 基于 SBR反应器的 ANAMMOX工艺的启动运行[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(2): 30 - 33.

[10] 张少辉,郑平. 厌氧氨氧化反应器启动方法的研究[J]. 中国环境科学, 2004, 24(4): 496 - 500.

[11] 张少辉,郑平,华玉妹. 反硝化生物膜启动厌氧氨氧化反应器的研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(2): 220 - 224.

[12] Strous M, Heijnen J J, Kuenen J G, *et al*. The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 1998, 50(27): 589 - 596.

作者简介:曹雨佳(1984 -), 女, 辽宁营口人, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制。

电话: (010) 62784843

E-mail: feichang6869@163.com

通讯作者:王建龙

收稿日期: 2008 - 03 - 02

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net