

不同废水为碳源对污泥厌氧释磷效果的影响

颌亚玮 年跃刚 殷 勤 闫海红 雪 梅

(中国环境科学研究院水污染控制研究中心, 北京 100012)

摘要 通过向缺氧、好氧两种污泥中投加玉米深加工企业 IC 反应器出水和调节酸化池废水, 研究了以玉米深加工废水作为碳源对污泥厌氧释磷的影响。结果表明, 厌氧释磷需经过缓释段, 快速释磷段和平稳段。向好氧池污泥投加 100 mL 酸化液(碳源与污泥体积比为 1 : 5)时释磷效果最好, 到达平稳段耗时 8 h, 最终上清液浓度稳定在 16.0 mg/L 左右。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对厌氧释磷有明显抑制作用。与投加 IC 出水相比, 向污泥中投加酸化液更能促进聚磷菌释磷, 为实际工程建设提出了建议。

关键词 玉米深加工废水 碳源 厌氧释磷 聚磷菌

Effect of different wastewater as substrate on anaerobic on the phosphorus release

Xie Yawei, Nian Yuegang, Yin Qin, Yan Haihong, Xue Mei

(Water Pollution Control Research Center of Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Effects of two substrates—the effluent of IC and dosing hydrolysate—on the phosphate release were studied. The result showed that three phase are existed for phosphorus release, they are slowly release phase, rapidly release phase and steady phase. The condition that input 100 mL dosing hydrolysate to the aerobic sludge (the ratio of volume of substrate and sludge is 1 : 5) was proved as the best condition for the engineering. In this condition, 8 h were needed to get to the steady phase and the final concentration of TP is 16 mg/L. The $\text{NO}_3^- - \text{N}$ has good correlation with the phosphorus concentration, the phosphorus release was restrained by $\text{NO}_3^- - \text{N}$. Compare to the effluent of IC, dosing hydrolysate was better for PAOs to phosphorous release. The paper also gives some advise to the engineering.

Keywords: Maize in-depth process wastewater; Substrate; Phosphate release; PAOs

0 前言

控制磷的排放是防止富营养化的重要环节之一, 生物除磷是利用 PAOs 厌氧释磷、好氧吸磷的特性除磷^[1~5], 生物除磷效果取决于厌氧释磷是否完全^[6]。

前人研究表明聚磷菌更容易利用挥发性脂肪酸(VFAs)作为碳源进行释磷^[7,8]。但针对碳源对厌

氧释磷效果影响的研究中碳源多使用实验室配置的碳源^[7~13]。探究以实际废水作为碳源对厌氧释磷影响的研究较为少见, 尤其基于污水站实际工程改造的研究更是鲜有报道。试验利用玉米深加工废水处理工艺中的富含 VFAs 的酸化液和几乎不含 VFAs 的 IC 出水为碳源, 研究其对厌氧释磷的影响, 以期旁路除磷改造工程提供数据支持。

1 试验装置和方法

1.1 污泥来源

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07208-006-02)。

污泥取自 A/MBR 工艺,缺氧池体积 5 L,MBR 池体积 15 L,厌氧释磷池体积约 1 L,MBR 膜为 PVDF 中空纤维膜,膜孔径 $0.2\ \mu\text{m}$,日处理量 20 L/d,HRT 为 22 h,混合液回流比为 200%。采用微孔曝气头曝气,进出水及混合液回流均由蠕动泵控制。污泥取自稳定运行的 A/MBR 反应器,污泥浓度为 $5.3\ \text{g/L}$,溶解氧为 $3\ \text{mg/L}$,出水 COD 稳定在 $30\ \text{mg/L}$ 左右,去除率在 88%左右。

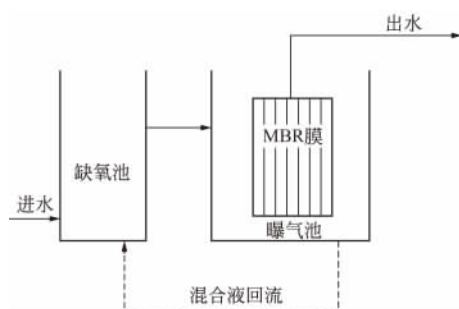


图 1 A/MBR 装置

1.2 碳源水质

试验用水为企业污水厂 IC(内循环)反应器出水和调节酸化池出水。酸化调节池位于 IC 反应器前,主要作用在于将大分子污染物水解酸化为小分子污染物,为厌氧处理做准备,其废水具有 VFAs 高的特点。废水经过 IC 反应器处理后,水质有所改善。试验用水水质指标如表 1 所示。

表 1 试验用水水质

指标	COD/ mg/L	pH	$\text{NO}_3^- - \text{N}/$ mg/L	TP/mg/L	VFAs/ meq/L
IC 出水	329	7.1	2.01	8.1	0
调节酸化池	3 313	6	17	1.9	17

1.3 试验方法

厌氧释磷试验为烧杯试验。分别取 MBR 池内污泥(好氧泥)与缺氧池污泥(缺氧泥)500 mL 于 1 000 mL 烧杯内,再按碳源与污泥体积比为 1:1,2:5,1:5,1:10 的比例分别加入 500 mL,200 mL,100 mL,50 mL IC 反应器出水和酸化池废水(如表 2 所示),加蒸馏水至 1 000 mL,并设有不加任何废水的对比试验。于四联搅拌器上缓慢搅拌,搅拌速度为 40 r/min。开始计时并分别在 0 h、1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h、7 h、8 h、9 h、10 h、11 h、12 h 取样。用 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤纸过滤后,测 TP, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。

表 2 试验参数设计

项目	投加量/mL							
	调节酸化池废水				IC 反应器出水			
好氧泥/500 mL	500	200	100	50	500	200	100	50
缺氧泥/500 mL	500	200	100	50	500	200	100	50

1.4 监测指标和分析方法

试验过程中主要测定 TP, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度测定使用紫外分光光度法。TP 浓度测定使用钼酸铵分光光度法^[14]

2 结果和讨论

2.1 酸化液为碳源对厌氧释磷的影响

分别向好氧池污泥和缺氧池污泥内加入酸化液,厌氧释磷过程如图 2、图 3 所示。

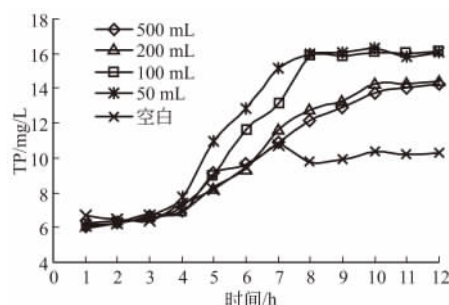


图 2 酸化液不同投加量下好氧池污泥厌氧释磷过程

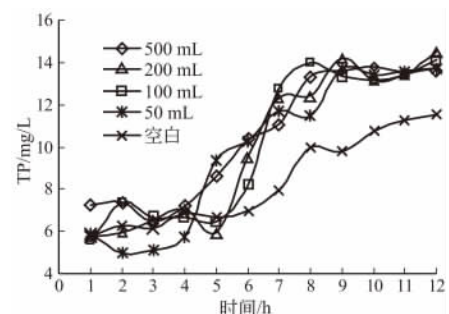


图 3 酸化液不同投加量下缺氧池污泥厌氧释磷过程

从图 2、图 3 可以看出:不论向好氧泥还是缺氧泥投加酸化液,释磷趋势相同,TP 浓度均经历了缓释段,快速释磷段和平稳段三个阶段。但具体而言,向两种不同污泥投加酸化液时,缓释段均在 4 h 左右,缓释段释磷速率缓慢,释磷量少。在向好氧污泥投加酸化液的试验中,从第 4 h 开始,TP 浓度快速升高,在 7~8 h 时趋于稳定,酸化液投加量为 500 mL、200 mL、100 mL、50 mL 和对比试验中 TP 浓度分别达 $14.29\ \text{mg/L}$ 、 $14.39\ \text{mg/L}$ 、 $16.15\ \text{mg/L}$ 、 $16.05\ \text{mg/L}$ 、 $11.84\ \text{mg/L}$;在向缺氧池污泥投加酸化液的试验中,

酸化液投加量为 500 mL 和 50 mL 时,缓释段最短,约 4 小时,TP 浓度从第 5 h 开始迅速升高,分别在第 10 h 和第 9 h 趋于稳定,稳定在 13.7 mg/L 和 13.8 mg/L 左右;酸化液投加量为 200 mL 和 100 mL 时,缓释期约 5 h,TP 浓度从第 6 h 开始升高,分别在第 9 h 和第 8 h 趋于稳定,稳定在 14.5 mg/L 和 14.1 mg/L 左右;对比试验的缓释期最长,TP 浓度从第 8 h 开始升高,最终在第 12 h 稳定在 11.6 mg/L。

活性污泥中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化如图 4,图 5 所示。从图中可以看出,不同体积酸化液投加到好氧池污泥和缺氧池污泥时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量快速下降至 0 mg/L。投加量为 200 mL 和 500 mL 时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量下降最快,在第 5 h 已经降至 0 mg/L,投加量为 100 mL 和 50 mL 时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在第 6 h 下降为 0 mg/L;而在对比试验中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量下降最慢,其含量下降至 0 mg/L 耗时 8 h。显然,碳源浓度对反硝化作用有影响。研究认为,C/N 比越高,越有利于反硝化作用^[15]。试验结果表明并非 C/N 比越高越有利于反硝化。在碳源浓度过高即试验中酸化液投加量超过 200 mL 时,碳源浓度已经不是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 下降的限制因素,投加更多的碳源也不能加快其速度。

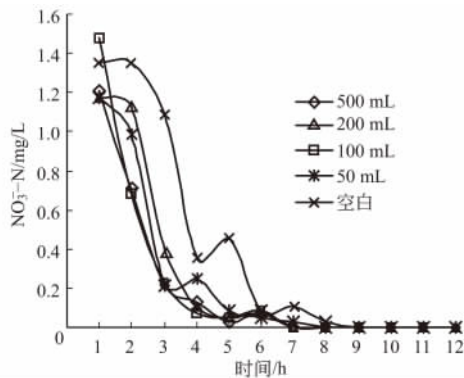


图 4 酸化液不同投加量下好氧池污泥 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化

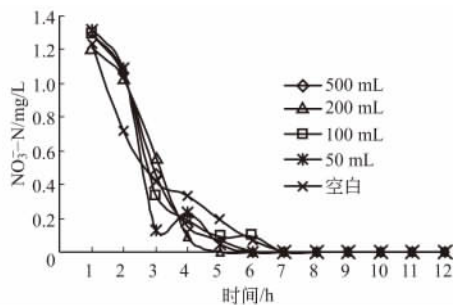


图 5 酸化液不同投加量下缺氧池污泥 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化

比较图 2 和图 4,图 3 和图 5 可以看出,PAOs 释磷趋势和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 变化趋势有极好的相关性。第 5 h 之前, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度较高,释磷量很少;在 5 h 以后, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度迅速下降,与之对应的是释磷量迅速增加。可见 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对聚磷菌(PAOs)释磷效果有明显抑制作用。原因在于反硝化菌会和 PAOs 竞争碳源,在碳源竞争中反硝化菌占有更大的优势^[16,17]。

2.2 IC 出水为碳源对厌氧释磷的影响

分别向好氧污泥和缺氧污泥内加入 IC 出水,厌氧释磷过程如图 6、图 7 所示。

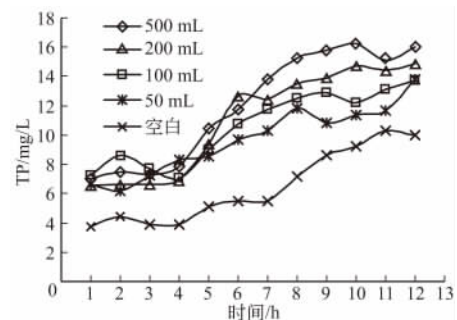


图 6 IC 出水不同投加量下好氧池污泥厌氧释磷过程

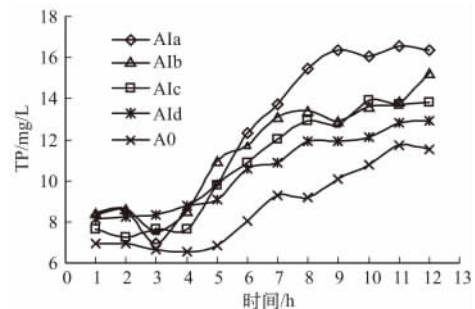


图 7 IC 出水不同投加量下缺氧池污泥厌氧释磷过程

从图 6、图 7 可以看出,缺氧污泥和好氧污泥在厌氧状态下的释磷趋势相同,TP 浓度也经历了缓释段,快速释磷段和平稳段三个阶段。向好氧泥投加 IC 出水的试验中,缓释期约 4 h,与投加酸化液不同,TP 浓度的上升一直维持到第 12 h,并不像之前试验达到明显的稳定状态。在向缺氧池污泥投加 IC 出水的试验中,缓释期约 3 小时。试验结果呈现两种状况:IC 出水投加量为 500 mL 的试验中,TP 在第 9 h 达到稳定状态,TP 达到 16.35 mg/L 左右;IC 出水投加量为 200 mL,100 mL,50 mL 和对比试验中,TP 并没有达到明显的稳定状态,最终 TP 浓度分别为 15.27 mg/L、13.8 mg/L、12.92 mg/L、11.55

mg/L。显然,以酸化液为碳源时聚磷菌(PAOs)的释磷效果优于以 IC 出水为碳源时的释磷效果。而单就某一种碳源而言,不同投加量下最终 TP 浓度相差不多。说明相同状态(缺氧或好氧)的活性污泥中,聚磷菌(PAOs)的总释磷能力相近,不同碳源只影响其释磷速率。前人研究也有相同的结论^[18]。

图 8、图 9 表现的是以 IC 出水为碳源的试验中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的浓度变化。可以看出聚磷菌(PAOs)释磷效果和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的含量有关, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对聚磷菌(PAOs)释磷有抑制作用。碳源的投加也正是被反硝化菌用于脱氮,以消除硝酸盐对释磷的影响,便于 PAOs 释磷。

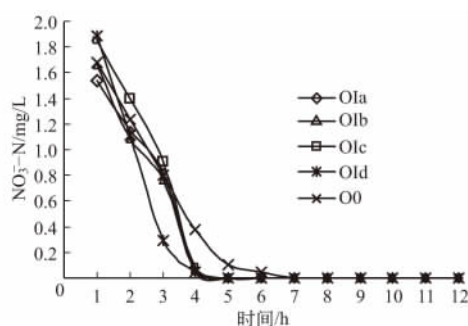


图 8 IC 出水不同投加量下好氧池污泥 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化

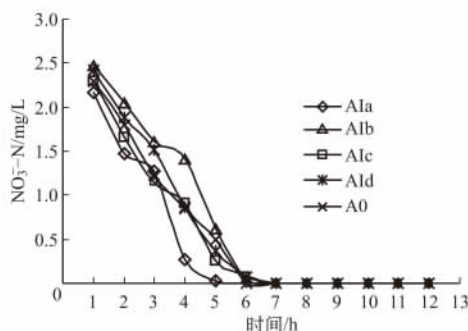


图 9 IC 出水不同投加量下缺氧池污泥 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化

两种碳源在不同投加量下污泥厌氧释磷结果如图 10、图 11 所示,从图中可以看出,在投加量小于等于 100 mL 时,投加酸化液的试验最终释磷量较多而且大于投加 IC 废水的试验,这种现象产生的原因在于,酸化液较 IC 出水含有更多的挥发性脂肪酸(VFAs),有研究表明,聚磷菌(PAOs)的释磷量与有机碳源种类有关,VFAs 更容易被聚磷菌(PAOs)作为碳源利用而释磷^[19]。厌氧条件下 PAOs 可直接吸收 VFAs 形成聚羟基烷酸酯(PHAs)并迅速释放出磷酸盐^[7]。虽然对于去除 1mg 磷所需消耗

VFAs 的量有不同的研究结果^[19~21],但 VFAs 作为碳源更容易被 PAOs 吸收已经被广泛认可。

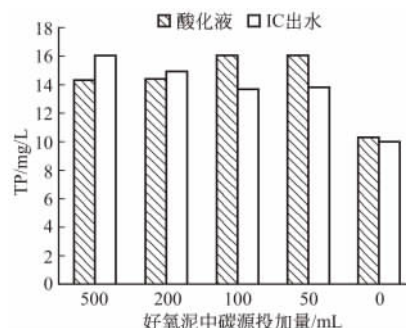


图 10 好氧泥在各碳源不同投加量下厌氧释磷结果

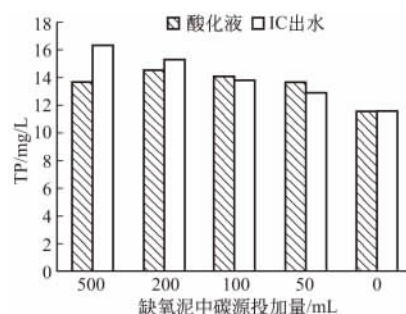


图 11 缺氧泥在各碳源不同投加量下厌氧释磷结果

从图 10、图 11 可以看出在酸化液投加量大于 100 mL 时,PAOs 释磷量小于以 IC 出水为碳源时 PAOs 的释磷量。可能的原因是 VFAs 投入量过大,有研究认为充足的碳源可以诱导聚磷菌(PAOs)更好的释磷^[2],但碳源过多也有可能致聚磷菌(PAOs)的生存危机,在与其他菌群的竞争中难以取得优势^[22]。此外,酸化液 pH 较低,投加量过大会导致泥水混合液 pH 降低,也有可能是该现象出现的原因之一。pH 过低会导致聚磷菌(PAOs)的释磷减少从而导致除磷率降低^[23~25]。

通过对不同碳源对污泥厌氧释磷的影响的分析,对旁路除磷改造工程中厌氧释磷池的设计、运行提出建议如下:

- (1) 厌氧释磷池设计中应考虑到碳源的加入,可以加快释磷速率,减小释磷池占地面积;
- (2) 厌氧释磷池运行中碳源可选用酸化调节池废水,能更加节省释磷池占地面积,且投加量少,节约运行成本。

3 结论

(1) 投加不同碳源试验中,PAOs 厌氧释磷均经历缓释段,快速释磷段和平稳段三个阶段。向好氧污泥

投加 100 mL 酸化液(酸化液与污泥体积比为 1 : 5)时效果最好,到达平稳段耗时 8 h,最终释磷量 16.0 mg/L。

(2) 不同污泥中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在第 4 h、5 h 降至 0 mg/L。其浓度在一定范围内随 C/N 升高而加快。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 变化过程和厌氧释磷过程有极好的相关性。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对厌氧释磷有明显的抑制作用。

(3) 对于玉米深加工废水而言,以酸化液为碳源能更好的促进聚磷菌释磷。在厌氧释磷池设计、运行中可以选择投加酸化液作为碳源,可以为厌氧释磷提供更为有利的条件,同时可以减小释磷池占地面积,节约成本。

参考文献

- 1 牛学义. Phostrip 侧流除磷工艺及其应用实例. 给水排水, 2002, 28(11): 9~12
- 2 Wentzel M C, Ekama G A, Marais G V R. Kinetics of nitrification-denitrification biological phosphorus removal systems. Wat Sci Tech, 1991, 23 (4): 555~565
- 3 郝晓地, 戴吉, 胡沅胜, 等. 控制 BNR 工艺厌氧释磷效果因素的试验研究. 环境科学学报, 2008(9): 1771~1776
- 4 毕东苏, 郭小品. 厌氧、缺氧、好氧环境下富磷剩余污泥的释磷机制. 环境科学研究, 2009, 22(5): 540~543
- 5 Oehmen A, Lemos P C, Carvalho G, et al. Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale. Water Res, 2007, 41(11): 2271~2300
- 6 姜安玺, 郑朔方, 时双喜, 等. 厌氧-好氧活性污泥法除磷机理及动力学探讨. 哈尔滨建筑大学学报, 1997, 30(2): 64~69
- 7 彭永臻, 侯红勋, 孙洪伟, 等. A_2/O 氧化池工艺中 NO_3^- 对生物除磷影响. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 4(8): 1311~1328
- 8 Hollender J, van der Krol D, Komberger L, et al. Effect of different carbon sources on the enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2002, 18: 355~360
- 9 荣宏伟, 陈志强, 吕炳南. 有机碳源对生物除磷的影响. 南京理工大学学报(自然科学版), 2004, 28(4): 440~444
- 10 Jeon Che Ok, Park Jong Moon. Enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor supplied with glucose as a sole carbon source. Water Research, 2000, 34(7): 2160~2170
- 11 刘燕, 陈银广, 郑弘, 等. 乙酸丙酸比例对富集聚磷菌生物除磷系统影响研究. 环境科学学报, 2006, 26(8): 1278~1283
- 12 吕娟, 陈银广, 顾国维. (AO)³SBR 脱碳除磷试验研究. 环境科学, 2008, (4): 937~941
- 13 柴延丽, 周岳溪, 王海燕, 等. MDAT-IAT 同步脱氮除磷工艺活性污泥在不同基质中的厌氧释磷特性研究. 环境科学学报, 2005, (7): 913~917

- 14 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社 2002. 243~268
- 15 郑兰香, 鞠兴华. 温度和 C/N 比对生物膜反硝化速率的影响. 西南给排水, 2005, 27(2): 31~32
- 16 Robionwitz C Y, Hall K. J, Oldham W, K. Phosphate release and uptake in enhance biological phosphorus removal from wastewater. J. Wat. Pollut. Control Fed. (1987) 59, 707~715
- 17 许莉, 徐高田, 王国华, 等. 污泥处理过程中厌氧再释磷的影响因素研究. 环境科学学报, 2010, 30(4): 789~794
- 18 任健, 李军, 苏雷, 等. 酸化液对厌氧释磷好氧吸磷速率的影响研究. 环境工程, 2011, 29(增刊): 103~107
- 19 唐旭光, 王淑莹, 张婧倩. VFAs、TOC 及 COD 作为生物除磷能力指标的探讨. 环境工程学报, 2012, 6(1): 41~45
- 20 Abu-ghararah Z H, Randall C W. The effect of organic compounds on biological phosphorus removal. Wat. Sci. Tech. 1991, 23(4): 585~594
- 21 Lie E. Carbon and phosphorus transformations in a full-scale enhanced biological phosphorus removal process. Wat. Res., 1997, 31(11): 2693~2698
- 22 Liu W T, Nakamura K, Matsuo T, et al. Internal energy-based competition between polyphosphate and glycogen accumulation bacteria in biological phosphorus removal reactors—effect of P/C feeding ratio. Wat. Res., 1997, 31 (6): 1430~1438
- 23 Filipe C D M, Glen T, Daigger C P, et al. A metabolic model for acetate uptake under anaerobic condition by glycogen accumulating organisms: stoichiometry, kinetics and the effect of Ph. Biotech. Bioeng, 2001, 76(1): 17~31
- 24 Bond P L, Keller J, Blackall L L. Characterization of enhanced biological phosphorus removal performances. Wat. Sci. Tech. 1998, 37 (4/5): 567
- 25 Filipe C D M, Glen T, Daigger C P, et al. pH as a key factor in the competition between glycogen-accumulation organisms and phosphorus accumulating organisms. Wat. Environ. Res, 2001, 73(2): 223~232
- 26 薛涛, 黄霞. 高磷负荷对生物除磷系统的影响. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(12): 2146~2148
- 27 Chudoba J. Quantative estimation in COD of refractory organic compounds produced by activated sludge microorganisms. Water Research. 1985, 19: 37~43
- 28 Orthon D, Artan N, Cimitit Y. The concept of soluble residual product formation in the modeling of activated sludge. Wat. Sci. Tech, 1989, 21: 339~346
- 29 Bauer R, Walder G, Fallmann H, et al. The photo-Fenton reaction and the TiO_2 /UV process for wastewater treatment—novel developments. Catalysis Today, 1999, 53: 131~144

& E-mail: xieyawei1988@163.com

收稿日期: 2012-05-08