

温度和污泥质量浓度对反硝化除磷的影响

鲍林林¹, 李相昆¹, 李冬², 孔祥吉¹, 张杰^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090;

2. 北京工业大学 城建学院, 北京 100022)

摘要:以实验室运行的连续流双污泥同步除磷脱氮系统中沉池污泥为研究对象,分别考察了温度及污泥质量浓度对反硝化除磷的影响。结果表明,反硝化聚磷菌属于低温耐冷菌,低温冲击对缺氧吸磷的影响并不大,10、20、30 的最终吸磷量都很接近,3 时吸磷也并没有停止,仍有 9.12 mg/L 的吸磷量。污泥质量浓度的变化对反硝化除磷效率的影响并不大,增大污泥系统的 MLSS,可以提高缺氧初期的反硝化吸磷速度,和最终的吸磷总量,但单位污泥的吸磷量没有提高反而减小。

关键词:反硝化除磷;温度;污泥质量浓度

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-0946(2008)04-0400-04

Study on influence of temperature and MLSS on denitrifying phosphorus removal system

BAO Lin-lin¹, LI Xiang-kun¹, LI Dong², KONG Xiang-ji¹, ZHANG Jie^{1,2}

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. School of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The influences of temperature and MLSS on denitrifying phosphorus removal are investigated using intermediate settling sludge in a lab scale continuous-flow two-sludge system. The results show that denitrifying phosphorus accumulating bacteria is a kind of cold-resistant bacteria and low temperature had little negative effects on the overall phosphorus removal. The phosphorus uptake at 10, 20, 30 are very close, even at 3 phosphorus uptake is not stopped, there is still 9.12 mg/L of phosphorus removal. Varying MLSS had little effect on denitrifying phosphorus removal efficiency, increase the MLSS can increase the initial denitrifying phosphorus uptake rate and the final total phosphorus absorption, but the phosphorus uptake of sludge units is decreased.

Key words: denitrifying phosphorus removal; temperature; MLSS

反硝化除磷是指在厌氧-缺氧交替运行条件下,驯化出一类以 $\text{NO}_x - \text{N}$ 作为最终电子受体的聚磷菌 (Denitrifying phosphorus removal bacteria, DPB),利用内碳源 PHB 以“一碳两用”的方式同时实现反硝化脱氮和除磷。与传统的脱氮除磷工艺相比反硝化除磷工艺不仅 COD 消耗量可节省 50%,耗氧气量降低 30%,污泥产量也可望减少 50%,因

此反硝化除磷脱氮工艺被视为一种可持续工艺,近年来越来越受到人们的关注。

生物除磷是一个复杂的生物化学过程,温度是影响污水处理的重要环境因子之一。温度影响生物反应的途径有两条:1)影响酶催化反应的速率;2)影响基质扩散到细胞内的速率。聚磷菌是强化生物除磷系统的主体,有报道称聚磷菌属于低温耐冷

收稿日期: 2007-09-19

基金项目:黑龙江省科学技术计划项目(GA01C201-03)

作者简介:鲍林林(1980-),女,博士,研究方向:污水再生技术研究。

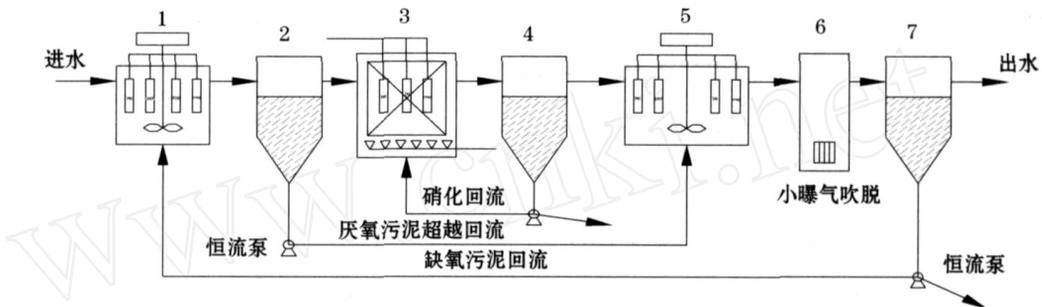
菌,在低温下具有明显的生长优势,对于只除磷而无脱氮功能的除磷系统而言,温度从 5 升至 25 对于生物除磷系统的运行没有明显的影响^[1-4]。而也有的报道认为强化生物除磷系统在低温下会部分或完全的失效^[5,6]。也有研究表明,温度对反硝化影响较大,反硝化作用的适宜温度范围为 15 ~ 35 。而反硝化除磷工艺同时具备了反硝化和除磷的双重功效,但有关温度对反硝化聚磷菌缺氧吸磷的影响至今报道很少。因此探讨反硝化除磷系统在不同温度条件下的处理效能和规律有着很重要的现实意义。同时,活性污泥微生物是活性污泥处理系统的核心,在混合液中只有保持一定的活性

污泥微生物量,即控制合理的 MLSS 值,才能保证活性污泥处理系统的正常运行。因此,在本文中同时探讨了不同污泥质量浓度对反硝化除磷系统的影响,以期确定合理的参数,指导生产实践。

1 材料与方法

1.1 种泥来源

试验用污泥取自实验室稳定运行的双污泥同步除磷脱氮系统^[8],工艺流程如图 1 所示。系统以生活污水为处理对象连续运行 1a 以上,处理效果良好。



1—厌氧池; 2—沉淀池; 3—淹没式生物膜滤床(硝化池); 4—沉淀池; 5—缺氧池; 6—后置吹脱池; 7—终沉池

图 1 连续流双污泥系统工艺流程图

1.2 试验设计

1.2.1 不同温度试验

试验污泥取自系统(运行时温度为 20)中沉池,清洗 2 遍后平均分成 4 份加入 4 个 250 mL 的烧杯中,加入不含碳源的试验用水。实验用水通过向自来水中投加 KH_2PO_4 作为磷源配制,并根据实际需要控制投加量,每升水中投加 0.6 mL 营养液,营养成分见表 1。试验中采用四个恒温磁力搅拌器搅拌并控温。四个反应器依次控制温度为 3、10、20、30 。并通过氮吹的方法控制厌氧条件。反

表 1 营养成分组成

成分	质量浓度 / (g · L ⁻¹)
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.5
H_3BO_3	0.15
KI	0.03
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.03
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.12
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.06
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.12
$\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.15

应开始时,同时加入等量的硝酸氮(一次性向烧杯中投加 1 mg/mL 的 KNO_3 ,投加量根据实际需要控制)。初始时 4 个反应器条件为:MLSS 3 000 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 60 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 60 mg/L。考察不同温度对反硝化同时除磷的影响。

1.2.2 不同污泥质量浓度试验

取系统中沉池污泥,清洗 2 遍后,向 4 个 250 mL 烧杯中分别投加不等量的活性污泥(投加量分别为 8、15、30、40 mL);然后向其中加入等量的不含碳源的配水,并加入相同量的硝酸氮;各反应器的初始条件分别为,1[#](MLSS = 667 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 68.46 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 59.21 mg/L), 2[#](MLSS = 1 270 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 70.28 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 59.21 mg/L), 3[#](MLSS = 2 402 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 76.91 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 59.21 mg/L), 4[#](MLSS = 3 178 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 74.93 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 59.21 mg/L)。反应器运行时温度维持在 20 左右。考察不同 MLSS 对反硝化除磷的影响。

1.3 检测方法

硝态氮采用麝香草酚分光光度法测定;溶解性磷酸盐采用氯化亚锡还原光度法测定;MLSS采用滤纸称重法测定(国家环保局,1997);pH和ORP值采用WTW inolab level 2在线监测.

2 试验结果与讨论

2.1 温度对反硝化除磷的影响

2.1.1 温度对除磷的影响

从图 2 PO_4^{3-} -P 质量浓度变化曲线可以看出在前 30 min 内随着温度的提高(3~30)吸磷速率也有了明显的提高.随着反应时间的延长 3 的污泥一直保持着较低的吸磷速率,最终的吸磷量为 9.12 mg/L. 10 的污泥一直保持相对较高的吸磷速率,最终吸磷量为 33.82mg/L. 30 的污泥前 30 min 的吸磷速率较快,但随着反应时间的增加,吸磷速率逐渐减慢,明显低于 10 的吸磷速率,最终的吸磷量为 33.32 mg/L. 20 的吸磷速率和最终的吸磷量都是 4 个温度中最高的,最终的吸磷量为 37.3 mg/L. 从上述试验结果可以看出在相同的初始条件下,低温的冲击对缺氧吸磷的影响并不很大,10、20、30 的最终吸磷量都很接近,3 时的吸磷效果虽然比其他 3 个温度差很多,但也有 9.12 mg/L 的吸磷量,吸磷能力并没有丧失.

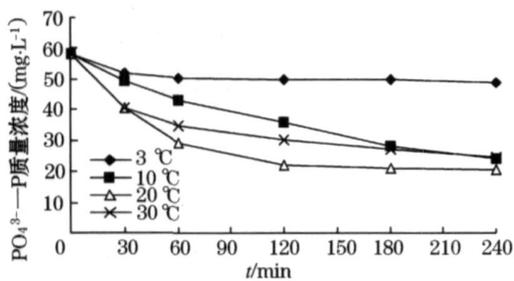
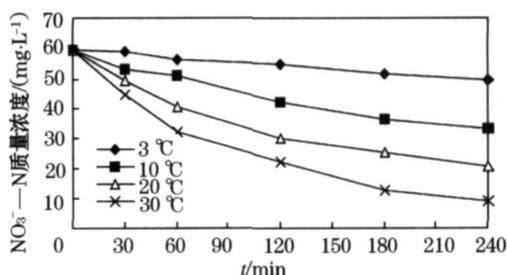


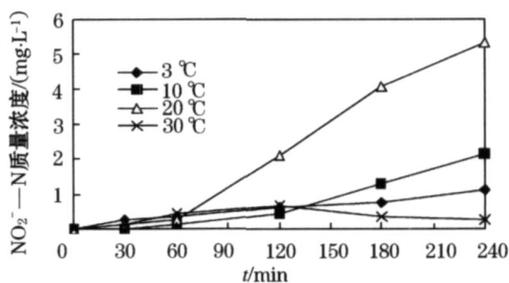
图 2 温度对缺氧吸磷的影响

2.1.2 温度对反硝化脱氮的影响

从图 3(a) NO_3^- -N 质量浓度变化曲线可以看出,反硝化速率随温度的变化规律与除磷速率的变化规律不同,反硝化速率随着温度的升高逐渐升高(3~30)。图 3(b) NO_2^- -N 质量浓度变化曲线也验证了这一点, NO_2^- -N 在 3、10、20 都产生了积累,并且积累量依次增大,30 时的反硝化速率最大, NO_2^- -N 积累到一定程度,由于 NO_3^- -N 的减少,部分 NO_2^- -N 得到了利用.



(a) NO_3^- -N 质量浓度变化曲线



(b) NO_2^- -N 质量浓度变化曲线

图 3 温度对反硝化脱氮的影响

分析脱氮速率随温度增加的原因可能有两点:一是反硝化聚磷菌虽然是利用同一碳源完成脱氮和除磷的 2 个过程,但其氮磷的去除比例并非定值,外界条件不同时,其优先去除的污染物以及污染物的去除速率也随之发生变化;另一种可能是试验污泥中可能有反硝化非聚磷菌的存在,随着温度的升高,其反硝化速率逐渐加快.

2.1.3 温度对反硝化除磷 P/N 的影响

反硝化除磷效率,可用 PO_4^{3-} -P 的缺氧吸磷量与电子受体消耗量(折合成 NO_3^- 物质的量)之比表示($P/N, \text{molP/mol e}^-$),代表反硝化产能并用于形成高能聚合物 Poly-P 的效率. Kuba 等^[9]的报道,如果反硝化产生的 ATP 最大比例的用于 PO_4^{3-} -P 的吸收,那么 P/N 比的最大值应等于 3 molP/mol e^- . 在本实验中不同温度下的反硝化除磷平均效率如图 4 所示.

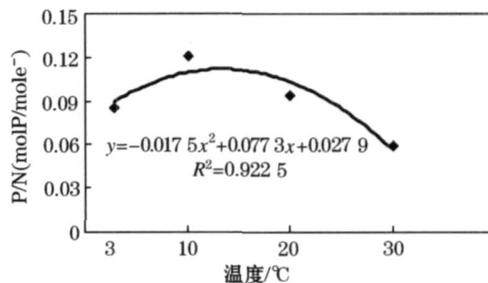


图 4 温度对反硝化除磷效率的影响

从图 4 中可以看出反硝化除磷效率与温度并

不成线性关系,在 10~20 范围内效率较高,温度过高(30)或过低(3)都会影响反硝化除磷效率.分析产生这种现象的原因,聚磷菌属于低温耐冷菌,在低温时聚磷菌在竞争中占有优势,在污泥中的比例较大,虽然个体生长速率受到影响,但个体数量得到增加,除磷效果得到增强,这一点在 10 时表现得最明显,因此在 10~20 范围反硝化除磷效率较高.但随着温度提高到一定程度(20~30),某些异养菌的细胞产率开始升高,并占有生长优势,聚磷菌的生长受到抑制,数目减少,导致除磷能力稍有下降.同时由于实验污泥中有反硝化非聚磷菌的存在,随着温度的升高,其反硝化速率逐渐加快,使反硝化产能用于形成高能聚合物 PO_4-P 的比例减小,至使在这一温度范围内,随着温度的升高反硝化除磷速率反而下降.10~20 的温度范围对反硝化聚磷菌的生长是最有利的.

2.2 污泥质量浓度对反硝化除磷的影响

2.2.1 污泥质量浓度对除磷的影响

不同污泥质量浓度对除磷的影响如图 5 所示.

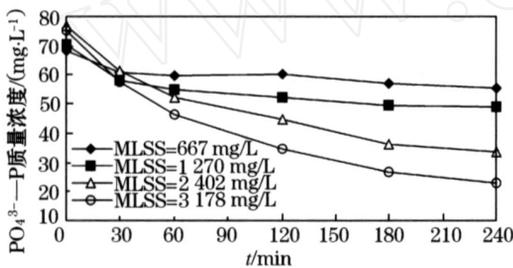


图 5 污泥质量浓度对缺氧吸磷的影响

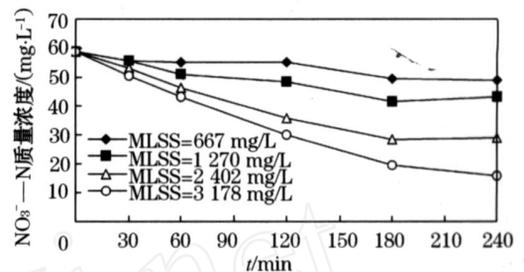
由图 5 可以看出,在初始条件基本相同的情况下,4 个反应器随着污泥质量浓度的增加,吸磷量和吸磷速率也逐渐增加.在反应的前 30 min 内,1~4[#]反应器的吸磷速率分别为 15.58、24.86、31.16、35.14 mg/(L·h) $PO_4^{3-}-P$.在反应 240 min 后,1~4[#]反应器的吸磷量分别为 13.26、21.05、43.59、52.22 mg/L.计算 4 个反应器在前 30 min 单位污泥对磷的吸收速率, $PO_4^{3-}-P/MLSS$ 分别为 23.36、19.57、12.97、11.06 mg/(g·h).上述试验结果表明:随着污泥质量浓度的增加,吸磷量和吸磷速率都随之提高,但单位污泥对磷的吸收速率不但没有增高反而降低.

2.2.2 污泥质量浓度对反硝化脱氮的影响

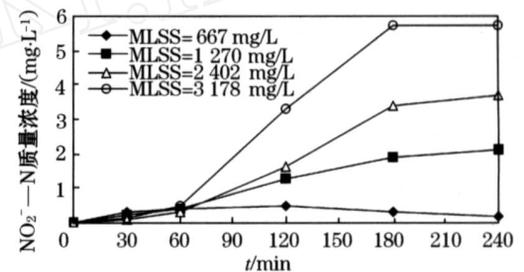
从图 6 可以看出随着污泥质量浓度的增加,4 个反应器内的反硝化效果有了明显的提高.在前 30 min 内,1~4[#]反应器 $NO_3^- -N$ 的反硝化速率为 6.98、6.72、12.6、17.38 mg/(L·h).计算 4 个反

应器在前 30 min 单位污泥的反硝化速率, $NO_3^- -N/MLSS$ 分别为 10.46、5.29、5.25、5.47 mg/(g·h).同时随着污泥质量浓度的增加, $NO_3^- -N$ 转化为 $NO_2^- -N$ 的量也逐渐增加,累积量和污泥质量浓度成正比.

从以上实验结果可以看出污泥质量浓度的变化对反硝化除磷效率的影响并不大,虽然高的污泥质量浓度会带来好的 N、P 去除效果,但实际上并非污泥质量浓度越高越好,需要根据实际需要确定合理的污泥质量浓度.



(a) $NO_3^- -N$ 质量浓度变化曲线



(b) $NO_2^- -N$ 质量浓度变化曲线

图 6 污泥质量浓度对反硝化脱氮的影响

3 结 语

反硝化聚磷菌属于低温耐冷菌,低温的短期冲击对缺氧吸磷的影响并不大,10、20、30 的最终吸磷量都很接近,3 时的吸磷效果虽然比其他 3 个温度低很多,但也有 9.12 mg/L 的吸磷量,反硝化吸磷并没有停止.同时反硝化脱氮速率随温度的增加而显著增加.反硝化除磷效率与温度并不成线性关系,10~20 为反硝化除磷的高效段,该温度范围对反硝化聚磷菌的生长最为有利.增大污泥系统的 MLSS,可以提高缺氧初期的反硝化吸磷速度,和最终的吸磷总量,但单位污泥的吸磷量没有提高反而减小.污泥质量浓度的变化对反硝化除磷效率的影响并不大,虽然高的污泥质量浓度会带来好的 N、P 去除效果,但实际上并非污泥质量浓度越高越好,需要根据实际需要确定合理的污泥质量浓度.

(下转 408 页)

餐厨垃圾乳酸发酵残渣中的真蛋白百分含量(14.7%)相比,提高了1倍。利用餐厨垃圾乳酸发酵后的残渣制取蛋白饲料,可实现餐厨垃圾的全部资源化利用,对降低整个垃圾乳酸发酵过程的生产成本、实现清洁生产都具有重要意义。

参考文献:

- [1] WANG Q H, WANG X M, WANG X Q, *et al* Bioconversion of Kitchen Garbage to Lactic Acid by Two Mild Strains of *Lactobacillus* Species [J]. *J. Environ. Sci. Health, Part A*, 2005, 40 (10): 1951 - 1962.
- [2] SAKA I K, MOR I M. Fluorescent In Situ Hybridization Analysis of Open Lactic Acid Fermentation of Kitchen Refuse Using rRNA - Targeted Oligonucleotide Probes [J]. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2004, 98 (1): 48 - 56.
- [3] KIM K I, KIM W K. Production of Lactic Acid from Food Wastes [J]. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2003 (105): 637 - 647.
- [4] WANG Q H, WANG X Q. Statistical Optimization of the Lactic Acid Production from Kitchen Waste [C]// *Proceeding of 1st Intl Conf. on Pollution Control and Resource Reuse for a Better Tomorrow and Sustainable Economy*, Shanghai: [s.n.], 2005, PART TWO: 324 - 335.
- [5] 孙海港. 乳酸菌营养因素的抑菌活性 [J]. *饲料研究*, 2001 (11): 1 - 3.
- [6] 李建政, 汪群慧. 废物资源化与生物能源 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [7] 王旭明, 汪群慧, 任南琪, 等. 解淀粉乳酸细菌在厨余垃圾乳酸发酵中的应用 [J]. *环境科学*, 2006, 27 (4): 800 - 804.
- [8] 孙立波, 杜宝山, 付芝. 在淀粉液态培养基中生产枯草杆菌 - 淀粉酶的研究 [J]. *内蒙古民族大学学报: 自然科学版*, 2005, 20 (6): 622 - 624.
- [9] 郭苏焕, 宋兴福, 刘够生, 等. 双菌固态发酵处理餐厨垃圾 [J]. *食品与发酵工业*, 2002, 30 (5): 63 - 67.
- [10] 王玉红, 丁重阳, 章克昌, 等. 以浓醪酒糟为基质的发酵生产单细胞蛋白的工艺条件的优化 [J]. *酿酒*, 2002, 29 (5): 44 - 46.
- [11] 赵福雄, 张国权, 徐谋华. 影响啤酒酵母发酵的主要因素及其控制 [J]. *广东化工*, 2005, 32 (4): 31 - 32.
- [12] AL KASRAW I M. Development of Simultaneous Saccharification and Fermentation for Production of Ethanol from Softwood [D]. Lund, Sweden: Lund University, 2004.
- [13] 周晓兰, 黄维锦. 大米淀粉渣固态发酵生产饲料蛋白的研究 [J]. *福建轻纺*, 2002, 3: 1 - 6.
- [14] 曾俊, 苏俊黎. 非蛋白氮的概述和检测方法 [J]. *饲料工业*, 2002, 23 (10): 37 - 39.
- [15] 王俊锋. 饲料中真蛋白质含量的测定方法 [J]. *广东饲料*, 2004, 13 (6): 37 - 38.
- [16] 佟建明. 实用饲料检验手册 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.
- [17] GUNTER K L, SUTHERLAND J W. An Experimental Investigation into the Effect of Process Conditions on the Mass Concentration of Cutting Fluid Mist in Turning [J]. *Journal of Cleaner Production*, 1999, 7 (5): 341 - 350.
- [18] VANNECKE C, BARE S. An Experimental Design Approach to the Optimization of a Flow Injection Analysis Method for Glycine [J]. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 1999, 18 (6): 963 - 973.
- [19] 杨振海, 蔡辉益. 饲料添加剂安全使用规范 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [20] 刘程. 食品添加剂实用大全 (修订本) [M]. 北京: 北京化工出版社, 2004.

(上接 403 页)

参考文献:

- [1] PANSWAD T, DOUNGCHA I A, ANOTA I J. Temperature effect on microbial community of enhanced biological phosphorus removal system [J]. *Water Research*, 2003, 37 (2): 409 - 416.
- [2] KUMAR P, MEHROTRA I, VARAGHAVAN T. Temperature Response of Biological Phosphorus - Removing Activated Sludge [J]. *J. Environ. Eng.*, 1998, 124 (2): 192 - 196.
- [3] HELMER C, KUNST S. Low Temperature Effects on Phosphorus Release and Uptake by Microorganisms in BPR plants [J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1998, 37 (9): 531 - 540.
- [4] ERDAL U G, ERDAL Z K, RANDALL C W. A thermal adaptation of bacteria to cold temperatures in an enhanced biological phosphorus removal system [J]. *Wat. Sci. and Tech.*, 2003, 47 (11): 123 - 128.
- [5] BEATON D, VANROLLEGHEM P A, VANLOOSDRECHT M C M, *et al* Temperature effects in bio - P removal [J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1999, 39 (1): 215 - 225.
- [6] BRDJANOV I C D, VANLOOSDRECHT M C M, HOO IIMAN C M, *et al* Temperature effects on biological phosphorus removal [J]. *J. Env. Eng.*, 1997, 123 (2): 144 - 154.
- [7] 张杰, 李相昆, 黄荣新, 等. 连续流双污泥系统反硝化除磷试验研究 [J]. *现代化工*, 2005, 25 (增刊): 115 - 118.
- [8] KUBA T, MURNLEINER E, VANLOOSDRECHT M C M, *et al* A metabolic model for biological phosphorus removal by denitrifying organisms [J]. *Biotechnol. Bioeng.*, 1996, 52: 685 - 695.