

新型 SBR 工艺释磷影响因素分析

殷成强^{1,2}, 潘杨^{1,2,3*}, 郑莹^{1,2}, 孟璇^{1,2}, 廖炬弘^{1,2}

(1. 苏州科技大学环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009;

2. 苏州科技大学环境生物技术研究所, 江苏 苏州 215009;

3. 江苏省环境科学与工程重点实验室, 江苏 苏州 215009)

摘要:新型 SBR 工艺由 SBR 反应器和生物选择器构成,其显著特点是通过污泥转移实现除磷优势菌种的筛选,强化除磷效果。以生活污水为处理对象,研究了转移量、温度、pH 对释磷的影响。静态释磷试验表明,污泥转移量为 0%、15%、30%、40% 的比释磷速率分别为 3.6、6.79、8.9、8.68 mg(P)/[g(MLSS)·h]。温度分别在 5~15、15~25、25~35℃ 工况培养的污泥,在 (24±2)℃ 时的比释磷速率分别为 10.18、8.9、7.71 mg P/(g MLSS·h)。pH=6.5、7、7.5、8 条件相对应的比释磷速率分别为 7.28、8.39、8.9、9.21 mg(P)/[g(MLSS)·h]。释磷最佳条件为污泥转移量为 30%,温度为 5~15℃,pH=7~8。

关键词:新型 SBR 工艺;污泥转移;温度;pH

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)03-0080-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.03.019

Analysis on the influencing factors of phosphorus release in new SBR process

YIN Cheng-qiang¹, PAN Yang^{1,2,3*}, ZHENG Ying^{1,2}, MENG Xuan^{1,2}, LIAO Xuan-hong^{1,2}

(1. Department of Environmental Science and Engineering, University of Science and Technology of Suzhou, Suzhou 215009, China; 2. Environment and Biotechnology Institute, University of Science and Technology of Suzhou, Suzhou 215009, China; 3. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Science and Engineering, Suzhou 215009, China)

Abstract: The new SBR process consists of multi-SBRs and a bio-selector. The remarkable characteristic of the SBR process is to achieve the goal of screening dominant bacteria for phosphorus removal and strengthening phosphorus removal effect through transferring activated sludge. With domestic sewage as raw water, the effects of sludge cycling ratios, temperature and pH on the phosphorus anaerobic release are studied. The static phosphorus release experiment shows that when sludge transfer amount is 0, 15, 30 and 40%, the phosphorus release rate is 3.6, 6.79, 8.9 and 8.68 mg P/(g MLSS·h), respectively. Under 5-15℃, 15-25℃ and 25-35℃ working conditions, the rate of phosphorus release of the sludge at 24±2℃ is 10.18, 8.90, 7.71 mg P/(g MLSS·h), respectively. When pH=6.5, 7, 7.5 and 8, the ratio of phosphorus release rate is 7.28, 8.39, 8.90 and 9.21 mg P/(g MLSS·h), respectively. The optimum phosphorus release can be achieved under the following conditions: 30% of sludge transfer amount, 5-15℃ of temperature and 7-8 of pH.

Key words: new SBR process; sludge transfer; temperature; pH

序批式活性污泥法(SBR)工艺具有工艺流程简单,运行方式灵活,可控制好等优点,但普遍存在容积利用率低,脱氮除磷效果不稳定等缺点^[1-3]。该工艺广泛运用于污水处理领域,并开发出一批以SBR为核心的衍生工艺,如间歇排水延时曝气工艺(IDEA)、间歇式循环延时曝气活性污泥法(ICEAS)工艺和改良式序列间歇反应器(MSBR)工艺等。1973年,捷克学者 Chudoba 等提出了选择性理论并成功地开发出生物选择器^[4-6]。1978年 Goronszy 教授率先将生物选择器与 SBR 工艺有机组合起来开发出循环式活性污泥工艺(CAST)^[7]。基于生物

选择器和污泥循环理念的污水处理技术引起了广泛的关注,如 A/O、A²/O 工艺、BD/DAT-IAT(连续间歇曝气序批式活性污泥法污水处理工艺的变形工艺)、IDEA 工艺、ICEAS 工艺和双循环两相(BICT)生物脱氮除磷工艺等(A/O 和 A²/O 工艺前段厌氧区的作用类似于生物选择器)^[8-9]。黄勇等^[10]结合生物选择器和 SBR 工艺研发了污泥转移 SBR 工艺,通过选择器与主反应器污泥的相互转移,提高了处于反应阶段的单位反应器容积中的活性污泥总量,从而提高其除污能力和运行稳定性,也能进一步提高其充水比,并且脱氮除磷效果较好。

收稿日期:2016-09-05

基金项目:江苏省高校自然科学研究重大项目(14KJA610001);江苏省“333”学术带头人培养工程资助项目(331491201);江苏省研究生创新项目(SLJX15_0637);苏州科技大学研究生创新项目(SKCX15_036)

作者简介:殷成强(1990-),男,硕士研究生,主要从事水污染控制研究,1768304688@qq.com;潘杨(1972-),男,教授,主要从事水污染控制工程的教学和科研工作,通讯联系人 E-mail:panyang@mail.usts.edu.cn。

提高生物除磷系统除磷效率的关键是提高厌氧释磷量^[11],笔者结合污泥转移 SBR 工艺,考察污泥转移量、温度、pH 对释磷的影响,获取生物释磷的最佳条件,进而为优化除磷并指导反应器的运行提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

污泥转移 SBR 工艺如图 1 所示。污泥转移 SBR 工艺由 1 个缺氧生物选择器和 3 个并联运行的主反应器构成,其有效体积分别为 4.8 L 和 16.8 L。SBR 反应器中设有搅拌及曝气装置,3 个 SBR 按时序交替运行,保持系统进水的连续性。进水和污泥转移通过 3 台蠕动泵控制,所有控制阀和蠕动泵的启闭均采用 PLC 自动控制。

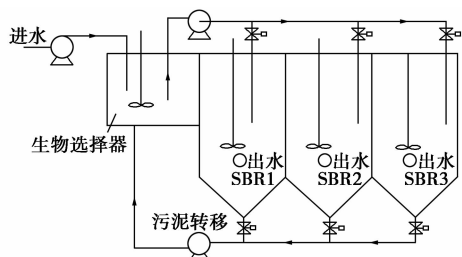


图 1 工艺试验装置运行系统

原水和回流的污泥一起进入前端的缺氧生物选

择器进行混合,借助高底物浓度梯度筛选絮凝性微生物,抑制丝状菌的生长;同时为聚磷菌释磷提供环境。随后,泥水混合物进入主反应器内,实现去碳、脱氮除磷等功能。在沉淀撇水阶段进行排泥且主反应器内的污泥转移到缺氧选择器中,3 个反应器交替运行,实现时间上连续的污泥转移。污泥转移后,主反应器内泥层界面下降及总泥量减少;对于主反应器的反应阶段,反应池内泥量逐渐增加,利于提高反应器的稳定性及除污性能。

1.2 试验方法

活性污泥取自苏州新区污水处理厂氧化沟工艺的好氧段;试验用水以苏州科技大学的生活污水为基础,同时投加丙酸钠、磷酸二氢钾、氯化铵。试验期间污水水质:COD 为 160 ~ 600 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 22.8 ~ 42.4 mg/L, PO_4^{3-} 为 4.3 ~ 5.8 mg/L, pH 为 7.2 ~ 8.1,水温为 10 ~ 31℃。

污泥转移 SBR 工艺采用非限制性和限制性曝气相结合的运行方式,运行周期设置为 288 min (4.8 h),可以使单个 SBR 池在 24 h 中运行 5 个周期,包括搅拌进水(30 min)、曝气进水(66 min)、曝气(32 min)和沉淀撇水(160 min);泥龄 10 d;污泥转移分别为 0%、15%、30%、40%。反应器在设定的不同工况下运行,待出水水质较好且达到稳定后,进行污泥的释磷试验,考察污泥转移量、C/P(进水

(上接第 79 页)

参考文献

- [1] 周振奎,李琢,王博,等. ZSM-5 的水热改性及其在合成气经二甲醚制汽油中的应用[J]. 燃料化学学报,2013,41(11):1349-1355.
- [2] Galadima A, Muraza O. From synthesis gas production to methanol synthesis and potential upgrade to gasoline range hydrocarbons: A review[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering,2015,25:303-316.
- [3] Baliban R C, Elia J A, Weekman V, et al. Process synthesis of hybrid coal, biomass, and natural gas to liquids via Fischer-Tropsch synthesis, ZSM-5 catalytic conversion, methanol synthesis, methanol-to-gasoline, and methanol-to-olefins/distillate technologies[J]. Computers & Chemical Engineering,2012,47:29-56.
- [4] 郭春奎,于海斌,王银斌,等. 甲醇制汽油催化剂研究进展[J]. 化工进展,2013,32(s1):115-121.
- [5] Bjorgen M, Svelle S, Joensen F, et al. Conversion of methanol to hydrocarbons over zeolite H-ZSM-5; On the origin of the olefinic species[J]. Journal of Catalysis,2007,249(2):195-207.
- [6] Chua Y T, Stair P C. An ultraviolet Raman spectroscopic study of coke formation in methanol to hydrocarbons conversion over zeolite H-MFI[J]. Journal of Catalysis,2003,213(1):39-46.
- [7] 石岗,林秀英,范煜,等. ZSM-5 分子筛的脱硅改性及加氢改质性能[J]. 燃料化学学报,2013,41(5):589-600.
- [8] 朱伟,朱建华,任潇航,等. 一步法甲醇制汽油工艺的研究[J]. 现代化工,2014,34(1):68-71.
- [9] 王锋,贾鑫龙,胡津仙,等. 形貌、晶粒大小不同的 ZSM-5 分子筛的表征及催化性能的研究[J]. 分子催化,2003,17(2):140-145.
- [10] 吴宏宇,何英萍,刘民,等. 不同分子筛催化剂上甲醇转化反应的研究[J]. 现代化工,2015,35(3):108-111.
- [11] 胡津仙,李晓波,李英,等. La/HZSM-5 催化剂在甲醇转化中的特性[J]. 石油化工,2004,33(z1):295-296.
- [12] 刘斌,宋宝东,曹刚. 改性 HZSM-5 分子筛在甲醇制汽油中的研究进展[J]. 化学工程,2014,42(6):9-14.
- [13] Wu C, Wang Y, Mi Z. Effects of organic solvents on the structure stability of HZSM-5 for the methanol to gasoline[J]. Reaction kinetics and Catalysis letters,2002,77:73-81.
- [14] Larsen S C. Nanocrystalline zeolites and zeolite structures; Synthesis, characterization, and adsorption properties[J]. J Phys Chem C,2007,111(50):18464-18474. ■

碳磷比)对释磷的影响。

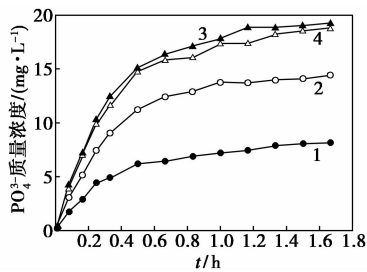
1.3 试验分析测定方法

水质指标及测定方法采用原国家环保总局发布的标准方法^[12]。COD:重铬酸钾法;NH₄⁺-N:纳氏试剂分光光度法;NO₃⁻-N:高锰酸钾氧化-酚二磺酸分光光度法;NO₃⁻-N:*N*-(1-萘基)-乙二胺分光光度法;PO₄³⁻-P:钼锑抗分光光度法;SV(污泥沉降比):30 min 沉降法;MLSS:Myratek 污泥浓度测定仪;SVI:根据 SV 和 MLSS 计算得到;DO、PH 和温度:WTW Ph/Oxi340i 便携快速测定仪;TN:过硫酸钾消解—紫外分光光度法。

2 结果与分析

2.1 污泥转移量对释磷的影响

污泥转移量为 0%、15%、30%、40% 条件下的释磷情况如图 2 所示。



1—10 d 0%; 2—10 d 15%; 3—10 d 30%; 4—10 d 40%

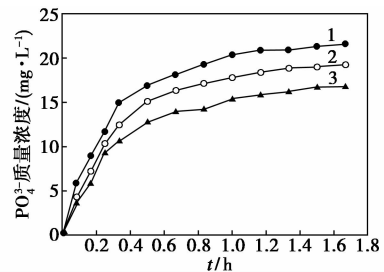
图 2 不同转移量的释磷曲线

通过计算,得到污泥转移量为 0%、15%、30%、40% 相对应的比释磷速率分别为 3.60、6.79、8.90、8.68 mg(P)/[g(MLSS)·h]。污泥转移显著提高了污泥的比释磷速率,当污泥转移量从 0% 提高到 30%,比释磷速率逐步提升,主要是因为污泥转移量的多少直接决定了进入生物选择器参与微生物筛选的污泥总量和污泥的筛选频率,污泥经过厌氧、缺氧、好氧的泥量越大,筛选出的絮凝性细菌和聚磷菌质量浓度就越多,聚磷菌的比重会增加。但污泥转移量继续增加至 40% 时,比释磷速率出现下降趋势,一方面是由于污泥转移 0%、15%、30%、40% 的厌氧停留时间分别为 0、60、53、49 min,提高污泥转移量的同时会牺牲掉一部分生物选择器中的厌氧停留时间,而厌氧停留时间会影响聚磷菌利用碳源的时间,聚磷菌的释磷能力受到限制;另一方面,过多的污泥转移使得携带的溶解氧和硝酸盐越多,会抑制厌氧阶段聚磷菌的释磷能力,导致聚磷菌生长代谢变缓慢,在微生物中比重下降。

试验结果表明,污泥转移 30% 具有最大的比释磷速率 8.90 mg(P)/[g(MLSS)·h]。对比其他工艺所得的比释磷速率,如邱春生^[13]采用传统 SBR 工艺,以丙酸为碳源得到的比释磷速率为 6.14 mg(P)/[g(MLSS)·h],污泥转移 SBR 工艺得到的比释磷速率明显高于其他工艺,主要原因是该工艺具有前置污泥选择器,进水碳源优先进入厌氧被聚磷菌吸收释放出磷,具有很好的释磷能力,再加上饱和和饥饿交替的非平衡生长环境,污泥转移越大使得经历的饱和和饥饿的次数越多,对聚磷菌实现了有效筛选,提升了聚磷菌的占比。

2.2 温度对释磷的影响

在不同的季节,该工艺在污泥转移为 30%,SRT(泥龄)=10 d,C/P=70 左右的工况下运行一段时间,待系统运行稳定后,对污泥进行静态释磷试验,其中释磷温度控制在(24±2)℃,MLSS=2 000 mg/L,pH=7.5。温度分别在 5~15、15~25、25~35℃ 条件下培养后的污泥的释磷情况如图 3 所示。



1—5~15℃; 2—15~25℃; 3—25~35℃

图 3 不同温度下污泥静态释磷曲线

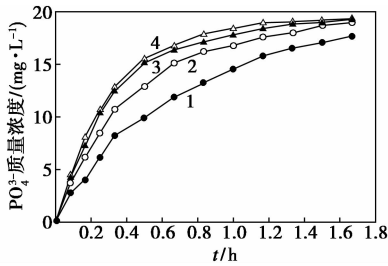
通过计算得到 5~15、15~25、25~35℃ 条件下的比释磷速率分别为 10.18、8.9、7.71 mg(P)/[g(MLSS)·h],比释磷速率随着培养温度降低而变大,说明了培养温度越低,污泥在(24±2)℃释磷条件下具有的比释磷速率越快,释磷量也越大。分析认为,聚磷菌属于嗜冷性微生物,温度越低对聚磷菌生长越有利,聚磷菌增殖速度更快;温度较高时,其他中温性异养菌活性更强,聚磷菌生长受抑制,聚磷菌菌群比重下降,释磷总量必然下降。因此,温度在 5~15℃ 最易提高释磷量和释磷速度,这意味着该工艺在 5~15℃ 运行时能更好地富集除磷微生物。

2.3 pH 对释磷的影响

污泥转移 SBR 工艺在污泥转移 30%,SRT=10 d,C/P=70 左右,进水温度在 15~25℃ 工况下运行一段时间,待系统运行稳定后,对系统培养的污泥

进行静态释磷试验, [$MLSS = 2\ 000\ \text{mg/L}$ 左右, $T = (24 \pm 2)^\circ\text{C}$], pH 分别控制在 6.5、7、7.5、8。

pH 分别为 6.5、7、7.5、8 条件下污泥释磷情况如图 4 所示。



1—pH=6.5;2—pH=7;3—pH=7.5;4—pH=8

图 4 不同 pH 下污泥静态释磷曲线

通过计算得到 pH 在 6.5、7、7.5、8 条件下的比释磷速率分别为 7.28、8.39、8.9、9.21 $\text{mg(P)}/[\text{g(MLSS)} \cdot \text{h}]$, 比释磷速率随着 pH 增加而增加, 随着释磷时间增加释磷量趋于稳定。在 pH=6.5 时, 比释磷速率较低, 这是因为偏酸性的环境条件对聚磷菌生长代谢不利, 能衰弱聚磷菌细胞对碳源的吸收, 并且 pH 的变化引起细胞膜表面电荷发生变化, 影响细胞对基质的吸收, 即改变了聚磷菌对水中易降解 VFA 的吸收能力, 从而影响到释磷速率和释磷量。笔者在预实验中发现, pH 调至 8.5 时, 水体中出现不溶解性白色固体, 高 pH 会提高生物除磷系统中磷的沉降性^[14-16]。所以过高的 pH 会阻碍污泥对磷的去除, 当厌氧释放的正磷酸盐释放至水体中, pH=8.5 等过高的 pH 使得溶解性的正磷酸盐沉淀为固体, 依附在细菌表面, 残留在反应器中, 并不会在好氧阶段被聚磷菌吸收利用, 聚磷菌长时间吸收不了磷便无法合成胞内聚合物, 长期运行会导致工艺的脱氮除磷能力丧失。

综上所述, pH=7~8 时, 污泥的释磷效果最好, 比释磷速率均在 8.39 $\text{mg(P)}/[\text{g(MLSS)} \cdot \text{h}]$ 以上, 若废水的 pH=6.5~7 时, 比释磷释磷相对较小, 释磷能力有所降低, 对好氧阶段吸收磷有影响, 所以在处理污水前, 将废水 pH 调至 7.5~8 对除磷有利。

3 结论

(1) 静态释磷试验表明, 污泥转移量为 0%、15%、30%、40% 时, 比释磷速率分别为 3.6、6.79、8.9、8.68 $\text{mg(P)}/[\text{g(MLSS)} \cdot \text{h}]$ 。污泥转移 0% 增加到 30%, 有利于提高比释磷速率, 但继续增加至 40%, 比释磷速率出现下降趋势。温度分别在 5~

15、15~25、25~35 $^\circ\text{C}$ 工况培养的污泥在 $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时的比释磷速率分别为 10.18、8.9、7.71 $\text{mg(P)}/[\text{g(MLSS)} \cdot \text{h}]$ 。pH=6.5、7、7.5、8 条件相对应的比释磷速率分别为 7.28、8.39、8.9、9.21 $\text{mg(P)}/[\text{g(MLSS)} \cdot \text{h}]$, 表明比释磷速率随着培养温度降低而增加, 随着 pH 的增加而增加。

(2) 释磷最佳条件为: 污泥转移量为 30%, 温度为 5~15 $^\circ\text{C}$, pH=7~8。

参考文献

- [1] Wang Y, Geng J, Peng Y, *et al.* A comparison of endogenous processes during anaerobic starvation in anaerobic end sludge and aerobic end sludge from an anaerobic/anoxic/oxic sequencing batch reactor performing denitrifying phosphorus removal [J]. *Bioresource Technology*, 2012, 104: 19-27.
- [2] 樊力超, 王增长. 浅谈 SBR 处理污水工艺的特点及发展 [J]. *科技情报开发与经济*, 2007, 06: 162-164.
- [3] 黄庆. 三种 SBR 改进型污水处理工艺特点及应用效果分析 [J]. *资源节约与环保*, 2013, 06: 21-22.
- [4] 刘艳东, 李洪静, 刘如峰. ICEAS 工艺污水处理厂设计与运行 [J]. *给水排水*, 2005, 06: 31-34.
- [5] 邓仁健, 张金松, 曲志军, 等. MSBR 工艺强化生物脱氮生产性试验研究 [J]. *中国给水排水*, 2014, 07: 9-13.
- [6] 张玉魁. 城市污水处理厂 CASS 工艺和 MSBR 工艺比较及应用研究 [J]. *市政技术*, 2011, 06: 90-93.
- [7] 马建强, 王广卿. CASS 工艺特点及优缺点分析 [J]. *河南建材*, 2011, 04: 94-95.
- [8] 甘冠雄, 彭永臻, 桂丽娟, 等. CASS 工艺改造与强化脱氮研究 [J]. *中国给水排水*, 2011, 19: 68-71.
- [9] Ying-hao D U. Operation management of MSBR system [J]. *China Water & Wastewater*, 2006, 2: 035.
- [10] 黄勇, 李勇, 潘杨, 等. 一种污泥转移 SBR 工艺: 中国: CN200910036346.6 [P]. 2010-04-21.
- [11] 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 [J]. *环境工程*, 2011, 29: 103-107.
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [13] 邱春生, 聂海伦, 孙力平, 等. 不同碳源条件下聚磷菌代谢特性 [J]. *环境工程学报*, 2014, 06: 2191-2197.
- [14] Smolders G J F, Van der Meij J, Van Loosdrecht M C M, *et al.* Model of the anaerobic metabolism of the biological phosphorus removal process: Stoichiometry and pH influence [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1994, 43(6): 461-470.
- [15] Wen-Tso L, Mino T, Matsuo T, *et al.* Biological phosphorus removal processes-effect of pH on anaerobic substrate metabolism [J]. *Water Science and Technology*, 1996, 34(1/2): 25-32.
- [16] Liu Y, Chen Y, Zhou Q. Effect of initial pH control on enhanced biological phosphorus removal from wastewater containing acetic and propionic acids [J]. *Chemosphere*, 2007, 66(1): 123-129. ■