

进水碳磷比对 UniFed SBR 工艺性能的影响

赵晨红, 彭永臻, 王淑莹

(北京工业大学水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022)

摘要:采用 UniFed SBR 工艺实验装置处理实际生活污水, 分析了进水 C/P 质量比对 UniFed SBR 工艺性能的影响。结果表明, 控制充水比为 33%、进水 C/N 比在 6 左右, 当 C/P 比 ≥ 33 时, 可以实现磷的 100% 去除, 出水中检测不到 PO_4^{3-} 浓度; 当 C/P 比 < 33 时, 磷的去除率随 C/P 比的增加而线性提高。进水 C/P 比的变化, 对总氮和 COD 的去除影响较小, 平均去除率分别为 84% 和 94.5%。

关键词: UniFed SBR 工艺; 进水 C/P 比; 脱氮; 除磷

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2008)01-0050-03

Effects of influent C/P ratio on performance of UniFed SBR process

ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: UniFed SBR process is used to treat wastewater in this study, and the effects of influent C/P ratio on its performance is investigated. The results show that when the volume exchange ratio and influent C/N ratio are fixed to 33% and 6 respectively, and C/P ratio is higher than 33, the phosphorous removal efficiency can maintain 100% and PO_4^{3-} cannot be detected in the effluent. When C/P ratio is lower than 33, the phosphorous removal efficiency increases as C/P ratio increases linearly. However, TN and COD removal are hardly affected by feed C/P ratio. The average removal efficiencies of TN and COD can be 84% and 94.5%, respectively.

Key words: UniFed SBR process; influent C/P ratio; nitrogen removal; phosphorus removal

UniFed SBR(序批式生物反应器)工艺是近年来国外开发出的一种能在简单的单一 SBR 池中实现同步除磷脱氮的新工艺^[1]。由于 UniFed SBR 工艺新颖的进水系统设计和运行方式, 在反应池中可按时间顺序依次创造脱氮除磷所需的缺氧、厌氧和好氧环境, 因此通过 UniFed SBR 一个运行周期可实现同步的脱氮和除磷。该工艺已在澳大利亚的巴瑟斯特市生活污水处理厂中得以成功应用, 对化学需氧量(COD)、N、P 的去除率均在 90% 以上^[2]。许多研究^[3-5]表明在 BNR(生物营养物去除)系统中, 污水成分的组成如 BOD/N 和 BOD/P 是生物营养物去除的关键。有关 C/P 比对 UCT 工艺、A²O(厌氧-缺氧-好氧)工艺性能的影响及其影响机理已有一些深入研究和报道^[6], 但还未见有关于进水 C/P 比是如何

影响 UniFed SBR 工艺脱氮除磷性能的报道。笔者利用新型 UniFed SBR 工艺处理实际生活污水, 考察在不同进水 C/P 比下, UniFed SBR 工艺对污水中总氮、磷和 COD 的去除情况。

1 实验部分

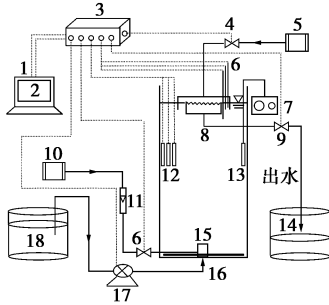
实验采用的 UniFed SBR 反应器及自控装置如图 1 所示。研制出一套设空气堰排水的 UniFed SBR 工艺计算机自动控制系统, 可对进水蠕动泵、排水电动阀、空压机 1、空压机 2 的启闭实施自动控制, 详见文献[7]。UniFed SBR 一个运行周期按进水/排水 2 h, 空气堰充气 1 min, 曝气 2.5 h, 沉淀 20 min 的方式连续运行, 不设闲置期, 前一个周期沉淀阶段结束后立即进入下一个周期的进水/排水阶段, 每天运行

收稿日期: 2007-09-10

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAC19B03); 北京高校科技创新平台建设计划项目; 国家自然科学基金-海外青年学者合作研究基金项目(50628808)

作者简介: 赵晨红(1974-), 女, 博士生, 讲师, 研究方向为污水的生物处理及其自动控制, 010-67393285, zhaochenhong@emails.bjut.edu.cn; 彭永臻(1949-), 男, 博士, 教授, 研究方向为污水的生物处理及其自动控制, 通讯联系人, 010-67391827, pyz@bjut.edu.cn。

4~5个周期。用加热器和温控仪调控水温在(26±1)℃,控制污泥(MLSS)质量浓度在3.0~4.0 g/L,曝气期间的溶氧(DO)质量浓度在0~1.0 mg/L。



1—I/O卡;2—PC;3—继电器;4—电磁阀;5—空压机2;6—液位传感器;7—温控仪;8—溢流堰;9—电动阀;10—空压机1;11—流量计;12—ORP、DO、pH传感器;13—温度传感器;14—出水桶;15—曝气头;16—进水布水器;17—进水泵;18—进水桶

图1 UniFed SBR反应器及自控装置图

实验采用学校居民小区实际生活污水,实验期间在未投加外碳源前的原新鲜生活污水水质如表1所示。污泥接种于北京市某污水处理厂二沉池回流污泥,经过大约3周完成了污泥的培养驯化,开始进入实验阶段。通过向原水中投加乙酸钠维持进水COD恒定在400 mg/L、COD/TN比在6左右,通过改变KH₂PO₄的投量来调节进水的PO₄³⁻浓度和C/P比,在每个C/P比下,系统都是经多个周期运行,待达到稳定的处理效果后,对TN、PO₄³⁻、COD浓度在一个周期的变化进行跟踪测定,充水比为33%。

表1 原水水质 质量浓度/mg·L⁻¹

项目	pH	COD	NH ₄ ⁺	TN	COD/TN	PO ₄ ³⁻
范围	7.2~7.6	224.2~258.8	48.2~57.2	60.2~71.5	3.6~3.9	4.6~5.1
平均值	7.4	241.5	52.7	65.9	3.8	4.9

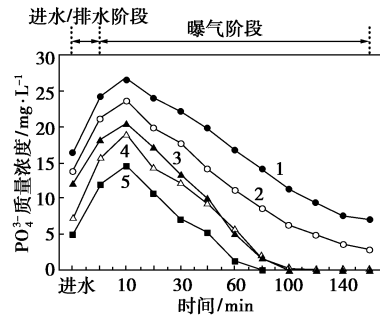
COD、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P、MLSS、SVI等指标均采用国家标准方法测定,使用德国耶拿分析公司的Multi N/C 3000 TN/TOC测定仪测定TN,德国WTW Multi 340i及相应传感器在线检测DO、pH、ORP值和温度。

2 结果与讨论

2.1 C/P比对磷去除的影响

在UniFed SBR同步除磷脱氮系统中,考察进水C/P比对磷去除效果的影响只有在较高的进水C/N比前提下才有意义,此时一方面在池底污泥层中可以取得良好的反硝化效果,能创造释磷所需的

严格厌氧环境,同时聚磷菌也能获得充足的碳源进行充分释磷。此外充水比对UniFed SBR工艺的脱氮和除磷效果也有影响。实验将进水C/N比和充水比分别固定为6和33%,考察了在5种不同的进水C/P比(23、28、33、54、78)下,PO₄³⁻浓度在一个UniFed SBR运行周期中的变化规律和去除效率,结果见图2。



C/P比:1—23;2—28;3—33;4—54;5—78

图2 在5种C/P比下PO₄³⁻在一个UniFed SBR周期中的变化曲线

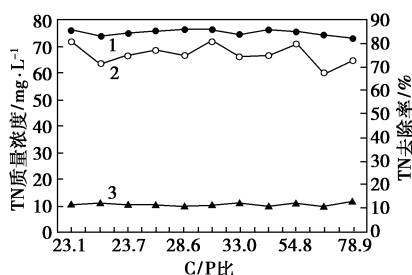
尽管进水C/P比不同,但PO₄³⁻浓度在一个UniFed周期各阶段的变化规律却相同,即进水/排水阶段结束时曝气初始混合液中的PO₄³⁻浓度相比原水都有一个显著提高,说明在进水/排水阶段,在反应器底部污泥层中发生了非常明显的释磷作用,并且在曝气前10 min,混合液中的PO₄³⁻浓度仍在继续提高,说明曝气前10 min PAOs仍在释磷,这是由于在相对较高的进水COD和充水比条件下,进水带入的有机基质在进水/排水阶段还没有被反硝化菌和聚磷菌完全耗尽,在曝气初期较低的溶解氧条件下,曝气使得泥水充分混合,混合液中剩余的部分有机物迅速被聚磷菌继续利用,合成PHB(聚β-羟基丁酯)储存在其体内同时释放磷酸盐。曝气10 min之后,混合液中的PO₄³⁻浓度开始逐步降低,说明聚磷菌又利用之前储存的PHB,将混合液中的磷酸盐吸收到细胞体内并转化为聚磷储存起来,完成过量吸磷反应。

去除率方面,当C/P比在33~78变化时,曝气100 min内吸磷就完全结束,出水的PO₄³⁻浓度为零,磷去除率稳定在100%。当C/P比低于33时,磷去除率随C/P比的增加而线性提高,在进水C/P比分别为23和28时,至曝气150 min时,PO₄³⁻去除率分别降至56.5%和78.2%。由于聚磷菌在好氧阶段对PO₄³⁻的摄取能力取决于厌氧释磷过程中合成的PHB数量,合成的PHB数量越多,则其吸磷容量越

大,而聚磷菌能够合成的 PHB 数量又是由它在释磷过程中能够有效利用的易降解有机基质(主要指 VFA,挥发性脂肪酸)的数量所决定的。实验中无论进水 C/P 比如何变化,由于进水 COD 浓度保持恒定,所以能被聚磷菌利用的 VFA 和释放的 PO_4^{3-} 浓度也基本恒定,且合成的 PHB 数量相对稳定,因而在好氧条件下对 PO_4^{3-} 的最大摄取能力也是一定的。当 $C/P < 33$,释磷后混合液的 PO_4^{3-} 浓度超出了聚磷细菌的最大吸磷能力,P 的去除效率随 C/P 比的下降而逐渐降低。

实际生活污水中 TKN 浓度偏高,而 PO_4^{3-} 质量浓度偏低(一般不会高于 12 mg/L),因此利用 UniFed SBR 工艺实验装置处理实际生活污水时,为了提高脱氮效率而控制较高的进水 C/N 比(≥ 6)时,C/P 比也必然高于 33,其结果是在实现高效率脱氮的同时,实现了对磷的完全去除。

2.2 C/P 比对氮去除的影响



1—TN 去除率;2—进水 TN;3—出水 TN

图 3 在不同 C/P 比下 TN 的去除

如图 3 所示,实验期间进水 TN 质量浓度在 60.2 ~ 71.5 mg/L,尽管进水 C/P 比不断变化,出水 TN 质量浓度始终在 9.49 ~ 12.04 mg/L,TN 的去除率稳定在 82.18% ~ 85.79%。C/P 比对 TN 的去除影响很小。一个 UniFed SBR 周期的 TN 去除率为进水/排水阶段在池底污泥层中发生的反硝化产生的 TN 去除率和曝气期间由于同步硝化反硝化(SND)产生的 TN 去除率二者之和^[8]。在进水/排水阶段反硝化是在生物释磷之前发生,在进水 COD 和 C/N 比恒定的情况下,改变 C/P 比对反硝化菌比聚磷菌可优先获得碳源和获得碳源的数量不能产生影响。而在曝气阶段发生的同步硝化反硝化脱氮率主要取决于溶解氧和曝气初始的 COD 值,实验期间多日的研究数据表明,当控制进水 COD 为 400 mg/L 左右、曝气初始的 COD 值始终稳定在 54.17 ~ 63.2 mg/L、控制 DO 质量浓度在 1 mg/L 以下时,曝气期间 TN

降低值稳定在 6.23 ~ 7.58 mg/L,可见在只改变进水 C/P 比,而其他主要运行参数如 DO 等都不变的条件下,并不能影响在曝气期间由于 SND 带来的脱氮效率。经计算,进水/排水阶段由于进水稀释和反硝化脱氮作用对 TN 去除率的贡献占 71.24% ~ 74.07%,曝气阶段由 SND 对 TN 去除率的贡献占 8.56% ~ 10.41%。

2.3 C/P 比对 COD 去除的影响

研究[8]表明,进水中的 COD 浓度在一个 UniFed SBR 运行周期中的降低原因一是在进水/排水过程中被稀释,同时被反硝化菌和聚磷菌利用,作为反硝化过程的电子供体和释磷过程用于合成聚 β -羟基丁酸盐,二是在曝气初期残留的一部分易生物降解 COD 能继续被反硝化菌和聚磷菌利用,其余则是被好氧异养菌降解掉。进水的 COD 控制在 380.1 ~ 407.8 mg/L,尽管 C/P 比从 78 变化到 23,但曝气初始的 COD 质量浓度始终稳定在 54.17 ~ 63.2 mg/L,见图 4。经计算有 78.5 ~ 87.5 mg/L 的 COD 用于在进水/排水阶段反硝化和释磷过程所消耗,至曝气 10 min 时的 COD 质量浓度为 33.1 ~ 48.15 mg/L,曝气结束时的 COD 质量浓度为 15.04 ~ 28.59 mg/L,此时的 COD 基本为难生物降解 COD。COD 在一个 UniFed 周期的去除率稳定在 92.99% ~ 96.1%,其中 83.6% ~ 84.6% 的 COD 去除是在进水/排水阶段由于进水的稀释作用、微生物对 COD 的吸附作用、以及在池底发生的反硝化和厌氧释磷过程所消耗;4.0% ~ 5.2% 的 COD 为曝气初期进一步用于反硝化脱氮和释磷所消耗;只有约 4.8% 的 COD 是在后续的好氧曝气过程中被好氧异养菌降解掉。综上所述,就 UniFed SBR 工艺整体而言,进水 C/P 比对 COD 的去除没有影响。

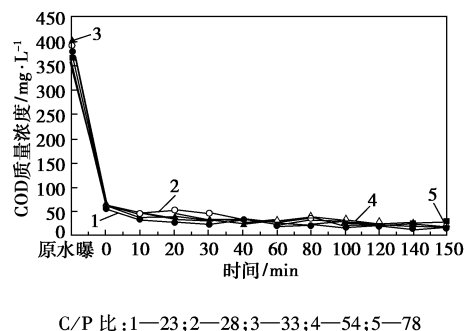


图 4 在 5 种 C/P 比下 COD 在一个 UniFed SBR 周期中的变化

(下转第 54 页)

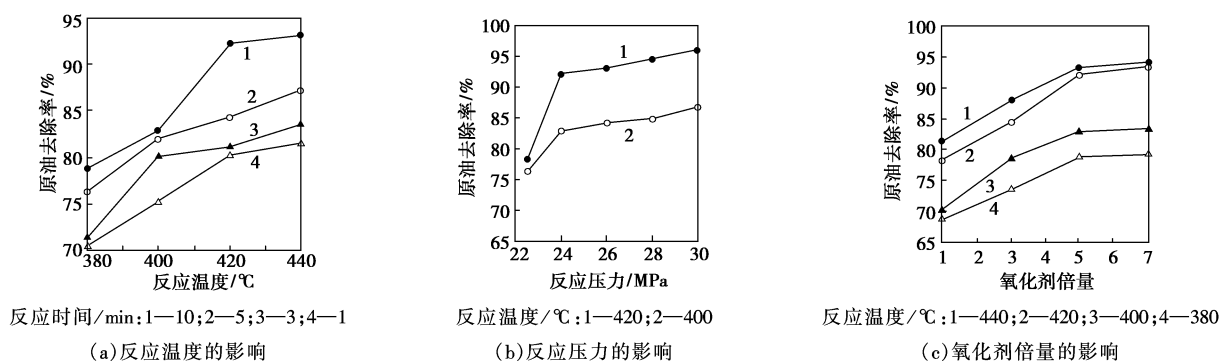


图 1 反应温度、反应压力和氧化剂对模拟污泥原油去除率的影响

过氧化氢的倍量为 5、压力 24 MPa 时,反应温度及停留时间对模拟含油污泥中原油去除率的影响。随着温度升高、停留时间延长,原油的去除率都呈增加的趋势。与反应停留时间相比,温度对原油去除更敏感。温度较低时(400℃左右)原油的去除率较低,但温度低时去除率增加的趋势要比温度高时明显。含油污泥原油去除的合适温度为 420~440℃,反应时间控制在 10 min 左右比较适宜。

图 1(b)是初始含油污泥质量分数为 2.5 g/L、过氧化氢的倍量为 5、反应时间为 10 min 时,反应压力对含油污泥原油去除率的影响。可看出原油去除率随着反应压力的增加均有增加趋势。当压力超过 24 MPa 时,原油去除率呈平缓上升趋势。故反应压力控制在 24~30 MPa 比较适宜。

图 1(c)是初始含油污泥质量浓度为 2.5 g/L、反应压力 24 MPa、反应时间 5 min 时,氧化剂的倍量对含油污泥原油去除率的影响。随实际 H₂O₂ 量与理论需求量之比的增加,含油污泥原油去除率增加,当

H₂O₂ 的倍量超过 3 后,含油污泥原油去除率增加呈平缓趋势。实际 H₂O₂ 的倍量为 3~7 比较适宜。

2.2 实际含油污泥处理结果

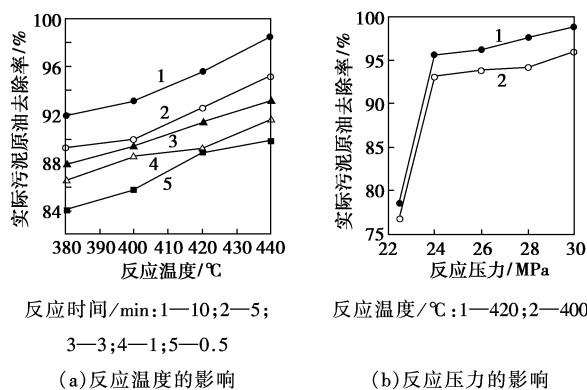


图 2 反应温度和反应压力对实际污泥原油去除率的影响

图 2 是反应温度和反应压力对实际含油污泥原油去除率的影响,同时也可看出反应停留时间对实际含油污泥原油去除率的影响。实际含油污泥原油

(上接第 52 页)

3 结语

分析显示,进水 C/P 比是影响 UniFed SBR 工艺中磷去除效率的重要因素。当进水 C/N 比为 6、充水比为 33% 时,33 为 C/P 比的临界值,当 C/P 比 ≥ 33 时,P 可以 100% 完全去除,出水中检测不到 PO₄³⁻ 浓度;而当 C/P 比 < 33 时,P 的去除率随 C/P 比的下降而线性降低。进水 C/P 比对 UniFed SBR 工艺 TN 的去除影响较小,对 COD 的去除没有影响。

参考文献

[1] 赵晨红,彭永臻.新型 UniFed SBR 生物除磷脱氮工艺[J].中国给水排水,2006,22(12):14-17.
 [2] Keller J, Watts S, Batty-Smith W, et al. Full-scale demonstration of bio-

logical nutrient removal in a single tank SBR process[J]. Wat Sci Tech, 2001,43(3):355-362.
 [3] Janssen P M. Operating experience on two full-scale plants, retrofitted for biological phosphorus removal nutrient removal from wastewaters[M]. Pennsylvania: Technomic Publishing Company Inc., 1992.
 [4] Andrew J S, David J. Enhanced biological phosphorus removal from wastewater by biomass with different phosphorus contents: Part I. Experimental results and comparison with metabolic models[J]. Wat Environ Res, 2003,75(6):485-498.
 [5] Randall C W, Barnard J L, David H S. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal[M]. Pennsylvania: Technomic Publishing Company Inc., 1992.
 [6] 王晓莲,王淑莹,彭永臻.进水 C/P 比对 A₂O 工艺性能的影响[J].化工学报,2005,56(9):1765-1770.
 [7] 赵晨红,彭永臻,乔燕曦,等.空气堰排水 UniFed SBR 工艺的微机自动控制研究[J].中国给水排水,2007,23(3):14-18.
 [8] 赵晨红,彭永臻,石枫华,等.UniFed SBR 工艺除磷脱氮机理研究[J].环境工程学报,2007,1(9):1-5. ■