

UniFed SBR 工艺对生活污水除磷的研究

唐旭光¹, 王淑莹¹, 袁志国², 赵晨红¹

(1. 北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100124;

2. 昆士兰大学 高级废水管理中心, 澳大利亚)

摘要: 鉴于 UniFed SBR 工艺具有进水/排水/沉淀阶段同步进行、底部进水、顶部出水及反应器保持恒水位状态等特点, 此工艺具有良好的生物除磷脱氮性能. 本试验采用厌氧/缺氧/好氧交替运行的 UniFed SBR 反应器, 考察了不同进水碳磷比 $\rho(C)/\rho(P)$ 值、排水比、最大除磷负荷及曝气量对于系统生物除磷效果的影响. 结果表明, 对于不同进水 $\rho(C)/\rho(P)$ 值, 分别得到相应的释磷和吸磷速率, 当 $\rho(C)/\rho(P) = 23$ 时, 系统的出水磷质量浓度为 0.89 kg/m^3 , 去除率为 94.67% , 当 $\rho(C)/\rho(P) > 23$ 时, 可使出水磷质量浓度为零, 说明此工艺独特的运行方式适用于低 $\rho(C)/\rho(P)$ 值生活污水的深度除磷; 当进水 $\rho(\text{COD})$ 成为释磷的限制因素时, 随着排水比的增大, 出水 $\rho(P)$ 降低, 但当进水 $\rho(\text{COD})$ 充足时, 排水比对于磷的去除影响不大, 均能保持较高的去除效率. 该工艺独特的运行方式使其在实际操作中达到了很好的除磷效果, 并为强化生物除磷提出了新思路和新方法.

关键词: UniFed SBR 工艺; 生活污水; 生物除磷; $\rho(C)/\rho(P)$

中图分类号: X 703

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2009)01-0119-06

目前, 常规生物处理工艺在排水中含有较高浓度的磷, 成为污水处理领域关注的重点和难点. 虽然已开发出了多种生物除磷工艺, 如 BICT(双循环两相生物处理工艺)^[1]、倒置 A²/O 工艺^[2]及 PhoStrip 侧流除磷工艺^[3]等, 但却缺乏结合动力学的反应器优化设计等方面的研究. 本文引进了一种新型污水生物处理反应器 UniFed SBR 反应系统. UniFed SBR 系统最早起源于 20 世纪 70 年代的澳大利亚, 在开发了“Bathurst Box”系统(用一个深的矩形水池作为单一池的活性污泥处理技术)的基础上, 又相继开发了在美国和加拿大称为 CASS、在澳大利亚称为 ICEAS 或 bio-P IDEA 的类似工艺. 到了 20 世纪末, 出于对已有的污水处理设施进行最小的结构和设备改型、用较少的投入就能改善出水水质的目的, 澳大利亚的“废水管理和污染控制合作研究中心”(简称 CRCWMPCL)和 Queensland 大学的 Jurg. Keller 等人开发出了能在单一池中、不需要隔板或循环就能达到很好的除磷脱氮效果的 UniFed SBR 技术, 并已申请了国际专利(国际专利号为: 5525231)^[4]. 但是, 此项技术在国内尚无系统研究.

在单一的、无物理分区的 UniFed SBR 反应系统中生活污水的进入是以“层状”的方式由反应器底部垂直上升引入, 所以“层状”上升的原水将处理后的出水经反应器上部的空气堰顶出, 形成了独特的进水/排水方式, 即进水/排水/沉淀阶段同时进行, 此种运行方式也从某种程度上缓和了反硝化和释磷对有机碳源的竞争, 使得聚磷菌(PAOs)可以优先利用进水中的有机底物, 达到较高的除磷效果; 而且反应器在整个反应周期内保持恒定的水位, 并无常规 SBR 系统将处理上清液排空的阶段, 这样就大大提高了反应器的容积利用率^[5-6]. 本文的重点是采用新型 UniFed SBR 反应系统处理生活污水, 介绍并分析了该系统强化生物除磷的性能.

收稿日期: 2007-07-09.

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点资助项目(2006BAC19B03); 国家自然科学基金-海外青年学者合作研究基金资助项目(50628808).

作者简介: 唐旭光(1982—), 男, 河北邢台人, 博士生.

1 试验流程、装置与方法

1.1 试验流程及装置

研究在自行设计的 UniFed SBR 系统中进行, 试验流程如图 1. 生活污水经过蠕动泵计量后, 由反应器底部引入, 首先与沉积在系统底部的污泥层接触, 并与上一周期的出水接触发生一系列的生化反应. 随着原水的“层状”上升, 进水与出水之间可形成一道明显的分界线, 出水由反应器顶部的空气堰排出^[7]. 当达到设定的进水时间后, 系统自动进入曝气阶段, 设在反应器底部的微孔曝气砂头可使整个系统处于混合均匀并且完全好氧的状态, 曝气阶段在设定的时间内完成后, 自动转入下个周期的运行. 整个运行过程通过自动控制系统来完成.

如图 1 所示, 试验装置的主体为有机玻璃制成的立方体 SBR 反应器, 有效高度 900 mm, 截面为正方形, 边长为 210 mm, 总有效容积 40 L. 由电脑时间程序控制器实现对运行的自动控制, 可以根据试验需要调整运行周期以及进水、空气堰准备、沉淀和排水各阶段的启动和关闭时间. 夏季在室温下运行; 冬季温度设定为 25℃, 由 1 根热交换器保持恒温在 (25±2)℃. 气源采用电磁式空气压缩机, 以黏砂块作为微孔曝气器, 曝气量控制在 0.2 m³/h. 采用 Multi 340i 型便携式多功能 pH、溶解氧 DO 及氧化还原电位 ORP 测定仪在线测定反应过程中的 pH 值、 $\rho(\text{DO})$ 和 $V(\text{ORP})$ 值的变化.

1.2 试验水质及分析检测方法

试验研究方法以动态连续实验室小试试验为主要研究手段, 试验用水取自北京工业大学教工生活小区的生活污水, 随着季节及每天时间段的不同, 水质情况有一定波动性, 具体水质指标及检测方法见表 1. 各指标分析方法均参照文献[8]的标准方法, 以下试验数据均是通过若干(4~5个)周期稳定运行后得出的具有很好重现性的典型数据.

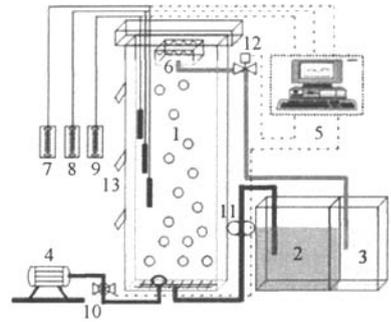
表 1 某生活小区生活污水的水质指标
Table 1 The constituents of domestic wastewater

指标	数值	均值	分析仪器或方法
$\rho(\text{COD})/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	186~265	225.5	5B-3 型 COD 快速测定仪
$\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	4.01~5.54	4.78	钼锑抗法、瑞士万通阴离子色谱
$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	38.06~58.25	48.16	纳氏试剂法、凯式氮测定仪
$\rho(\text{TN})/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	43.80~61.85	52.83	Multi N/C 3000 型 TN、TOC 测定仪
pH	7.4~7.5	7.45	Multi 340i 型精密酸度计

2 结果与分析

2.1 不同进水 $\rho(\text{COD})$ 对磷去除效果的影响

设定系统的运行工况为: 进水 2 h, 空气堰准备 1 min, 曝气反应 2~3h(根据进水 $\rho(\text{COD})$ 不同调节),



1. 反应器 2. 进水箱 3. 出水箱 4. 空压机 5. PC 控制器
6. 空气 7、8、9. DO、ORP、pH 测定仪 10. 电动阀
11. 蠕动泵 12. 电磁阀 13. 收样口

图 1 UniFed SBR 系统试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of pilot test of UniFed SBR system

$\rho(\text{MLSS})$ 维持在 $3\ 500\ \text{kg}/\text{m}^3$, 为了改变进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值, 在进水中投加一定量的乙酸钠调节 $\rho(\text{COD})$, 并保持原水中磷质量浓度不变. 每个周期曝气阶段隔 $10\ \text{min}$ 取样, 测量 COD、氨氮、亚硝态氮、硝态氮及磷酸根的质量浓度, 从图 2 和图 3 可以看出不同进水 $\rho(\text{COD})$ 对于出水 $\rho(\text{P})$ 的影响.

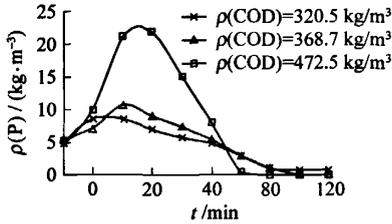


图 2 排水比为 25% 时不同进水 $\rho(\text{COD})$ 对 P 去除效果的影响

Fig. 2 The effect of phosphorus removal of different $\rho(\text{COD})$ at 25% decant ratio

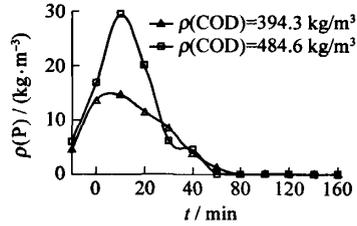


图 3 排水比为 33% 时不同进水 $\rho(\text{COD})$ 对 P 去除效果的影响

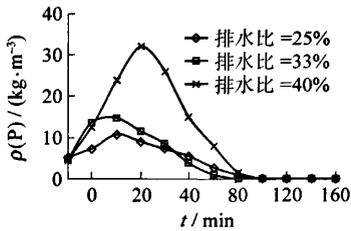
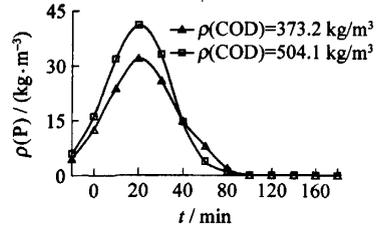
Fig. 3 The effect of phosphorus removal of different $\rho(\text{COD})$ at 33% decant ratio

可以看出, 进水 $\rho(\text{COD})$ 不同, 对于原水中磷的去除效果有所不同, 图 2 中当排水比为 25% 时, 进水 $\rho(\text{COD})$ 分别为 320.5 、 368.7 和 $472.5\ \text{kg}/\text{m}^3$ 时, 即进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 逐步升高时, 最终磷的出水浓度分别为 0.67 、 0 和 $0\ \text{kg}/\text{m}^3$ (检出限以下), 但是可以明显看出, 不同的 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值对于释磷速率和最大释磷量有较大影响, 随着 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 的增大, 最大释磷量分别为 8.52 、 10.66 和 $21.87\ \text{kg}/\text{m}^3$, 而且可以看出随着 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 的增大, $\rho(\text{P})$ 达到最低点的时间逐渐缩短即吸磷速率也在不断升高, 由 $0.92\ \text{mg}\ \text{PO}_4^{3-}/(\text{gMLSS}\cdot\text{h})$ 增大至 $4.07\ \text{mg}\ \text{PO}_4^{3-}/(\text{gMLSS}\cdot\text{h})$; 同样在图 3 中, 将排水比由 25% 增大至 33% 时, 可以发现和图 2 有同样的规律; 与此同时, 系统中 COD 也有很好的去除效果, 均能从进水的 $320.5\sim 472.5\ \text{kg}/\text{m}^3$ 在曝气结束降至 $20\sim 30\ \text{kg}/\text{m}^3$, COD 去除效率均能达到 90% 以上, 产生以上现象的主要原因由反应器独特的运行方式所致.

强化生物除磷即在厌氧-好氧交替运行条件下, 活性污泥中的 PAOs 被选择并生长为优势种群, 在厌氧阶段, PAOs 通过分解胞内聚磷化合物释放磷, 并利用此过程中产生的能量吸收废水中易降解有机物 (主要是短链脂肪酸), 并在胞内合成聚羟基烷酸 (PHA); 好氧阶段, PAOs 利用分解胞内 PHA 产生的能量过量吸收磷, 通过排泥达到去除污水中磷的目的. 对于此系统来说, 生活污水是由底部进入系统, 为活性污泥中 PAOs 提供了优先利用进水中有有机碳源的机会, 并且在反应器底部形成了严格的厌氧环境, 此厌氧环境有利于将大分子和难降解有机物降解形成有利于 PAOs 吸收的小分子有机物, 并且上清液中的硝态氮与污泥层脱离, 不会对厌氧环境产生影响, 所以 PAOs 可以避免与反硝化之间碳源的竞争, 优先并充分利用进水中有机碳源, 进行充分释磷, 这也是 PAOs 在好氧阶段过量吸磷的必要条件. 所以进水中有机碳源含量越高, PAOs 所能利用的越多, 释磷越充分, 因此在好氧阶段可以过量吸磷, 使吸磷速率和出水磷质量浓度达到最佳状态.

2.2 不同排水比对磷去除效果的影响

从图 4 可以看出, 当排水比由 25% 增大至 40% 时, 尽管 $\rho(\text{COD})$ 维持在 $368.7\sim 394.3\ \text{kg}/\text{m}^3$, 不同排水比情况下系统的除磷效果相差很大, 主要表现在最大释磷量和好氧吸磷速率方面, 当排水比由 25% 增大至 40% 时, 最大释磷量也由 $10.66\ \text{kg}/\text{m}^3$ 增大至 $31.96\ \text{kg}/\text{m}^3$, 后者几乎是前者的 3 倍, 吸磷速率也有所提高. 这是因为当进水 $\rho(\text{COD})$ 维持在一定水平时, 排水比越大, 相当于系统的运行负荷也越高, 相对于单位 PAOs 所能利用的有机碳源增多, PAOs 能够在严格厌氧环境中利用易降解有机碳源充分释磷, 以至于在后期曝气好氧阶段 PAOs 能够过量吸磷, 保持较高的磷去除效率. 并且, 当排水比为 40% 时系统释磷量达到最大值的时间相对于前两种排水比后移, 原因为随着排水比的增大, 进水 COD 不能被 PAOs 所利用完全, 为过剩状态, 所以在曝气开始阶段异养菌开始降解有机底物, 并使系统继续维持局部厌氧环境, PAOs 则可以继续进行释磷行为, 使其释磷量最大值的出现时间后移.

图4 相同 $\rho(\text{COD})$ 不同排水比对于 P 去除效果的影响Fig. 4 The effect of phosphorus removal of different decant ratio at same ρ_{COD} 图5 排水比为 40% 时不同进水 $\rho(\text{COD})$ 对 P 去除效果的影响Fig. 5 The effect of phosphorus removal of different ρ_{COD} at 40% decant ratio

为了进一步确认排水比对于该系统除磷效果的影响,进行如下试验验证.如图5所示,调节进水 $\rho(\text{COD})$ 分别为 373.2 kg/m^3 和 504.1 kg/m^3 时保持同样的 40% 排水比,对系统最大释磷量和好氧吸磷速率的影响并不是很明显,系统均能维持较高的释磷量和吸磷速率,并且出水中的 $\rho(\text{P})$ 均在检出限以下.进一步验证表明,当进水有机负荷提高后,易降解有机底物的数量能满足 PAOs 释磷所需,使其能最大限度地释放和吸收磷,使系统维持较好的除磷效果.所以说,当进水中有机底物充足,即 $\rho(\text{COD})$ 不是 PAOs 释磷的限制条件时,随着排水比的增大,系统仍保持较好的除磷效果,说明其可以在较高的有机负荷下运行并达到较好的处理效果.

此外,还向原水中投加磷酸二氢钾以提高进水中总磷负荷,研究其对 UniFed SBR 系统除磷能力的影响,具体数据见表 2.

表 2 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 对于磷去除效果的影响Table 2 Effect of $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ ratio on removal of phosphorus

进水 $\rho(\text{COD})/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	进水 $\rho(\text{P})/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	最大释磷量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	出水 $\rho(\text{P})/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	$\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$	磷去除率/ %
394.3	4.71	14.72	0	83.71	100
407.8	11.77	23.66	0	34.65	100
385.2	16.71	23.55	0.89	23.05	94.6

由表 2 可知,进水 $\rho(\text{COD})$ 维持在 400 kg/m^3 左右时,通过向原水中投加 KH_2PO_4 改变进水中 $\rho(\text{P})$,并分别控制在 4.71 、 11.77 和 16.71 kg/m^3 , $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值也由 83.71 降至 23.05 ,从出水 $\rho(\text{P})$ 及磷去除率可以看出 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值对于磷去除率有很大影响,进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值越高,磷去除率越大,当 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值为 23.05 时,出水 $\rho(\text{P})$ 为 0.89 kg/m^3 ,磷的去除率能达到 94.6% ,仍能保持较高的磷去除率.但是也可以看出,进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值由 34.65 降至 23.05 时,最大释磷量有所降低,说明随着 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值的降低 $\rho(\text{COD})$ 是影响 PAOs 有效释磷的主要影响因素,最大释磷量随单位 PAOs 可利用的有机碳源的降低而降低.所以在满足磷的达标排放的前提下,UniFed SBR 工艺可对 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P})$ 值较低的生活污水有效除磷,当 $\rho(\text{C})/\rho(\text{P}) > 23$ 时系统可获得较高的总磷去除率和较好的出水水质.

2.3 曝气量对于磷去除效果的影响

不同曝气量对于系统磷去除效果的影响如图 6 所示,通过投加葡萄糖调节进水 $\rho(\text{COD})$ 至 400 kg/m^3 ,系统的运行工况为:进水 2 h,空气堰准备 1 min,曝气 1 h 40 min 或 2 h 40 min (依据曝气量的不同调节),沉淀 20 min. 每周期排水比为 40%,即排水 16 L,曝气量分别控制在 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ (工况 1) 和 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ (工况 2),依次来考察曝气量对于系统除磷效果的影响.

从图 6 中看出,当系统以上述工况运行时,最大的释磷量和达到最大释磷量的时间均不同,当曝气量控制为 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,在曝气 10 min 时,达到最大释磷量为 10.77 kg/m^3 ,而当曝气量为 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,在曝

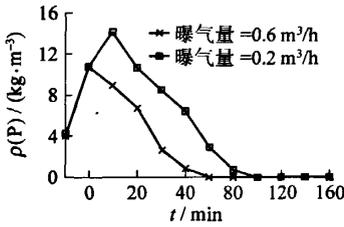


图 6 不同曝气量对于 P 去除效果的影响

Fig. 6 The effect of phosphorus removal of different aeration intensity

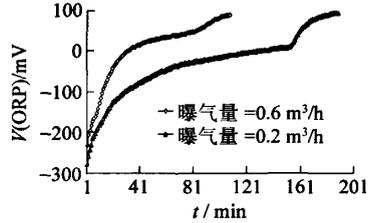


图 7 不同曝气量系统内 V(ORP)变化曲线

Fig. 7 The profile of V(ORP) of different aeration intensity in system

气 20 min 时达到最大释磷量 14.13 kg/m³, 两者最大释磷量相差 3.36 kg/m³; 工况 2 中, 系统在 60 min 时即完成了好氧吸磷, 而工况 1 则在 100 min 时完成好氧吸磷, 2 种工况最终出水 ρ(P) 均在检出限以下。

一般认为, 正常的厌氧释磷环境中, ρ(DO) 应保持在 0.2 kg/m³ 以下, 而 V(ORP) 则应在 -200 ~ -300 mV, 且 V(ORP) 绝对值越大, 越有利于释磷行为的发生。从图 7 可以看出, 在曝气开始时, 只有在前 10 min 工况 1 中 V(ORP) 保持在 -200 mV 以下, 当系统继续曝气时, V(ORP) 的上升将抑制 PAOs 的释磷行为, 并在好氧环境中进行吸磷; 而在工况 2 中, 系统在前 20 min V(ORP) 均保持在 -200 mV 以下, 这样就有利于 PAOs 在严格的厌氧环境中持续释磷。因为在工况 1 中(见图 8), 较高曝气量使得系统中 ρ(DO) 只有在开始时维持在较低水平, 并在 10 min 后一直保持在 0.7 kg/m³, 直至硝化结束 ρ(DO) 迅速上升; 而小曝气量使得系统中 ρ(DO) 一直维持在 0.2 kg/m³, 直至硝化结束 ρ(DO) 迅速上升。从 ρ(DO) 和 V(ORP) 两个方面均能说明不同曝气量对于系统除磷的影响, 最终的磷去除效率都很高, 但是若考虑到系统总氮去除效率, 则应使用较低的曝气量, 这样也有利于生物处理系统的节能降耗。

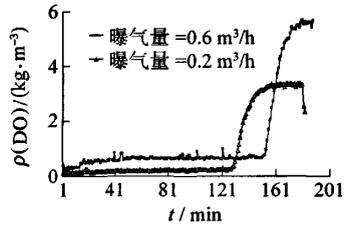


图 8 不同曝气量系统内 ρ(DO)值变化曲线

Fig. 8 The profile of ρ(DO) of different aeration intensity in system

3 结论

1) UniFed SBR 系统独特的运行方式能在单一的反应器中按照时间顺序依次形成稳定的厌氧、缺氧和好氧环境, 使得 COD 和磷都有较高的去除效果, 出水磷质量浓度能达到国家排放标准;

2) 当进水 ρ(COD) 由 320.5 kg/m³ 增大至 472.5 kg/m³ 时, 出水 ρ(P) 由 0.67 kg/m³ 降至 0, 说明在有足够有机碳源的情况下, 该系统可在稳定的厌氧环境中排除反硝化对碳源的竞争, 使 PAOs 充分利用进水中的有机底物, 达到很好的磷去除率; 当进水 ρ(COD) 成为释磷的限制因素时, 随着排水比的增大出水 ρ(P) 降低; 但当进水 ρ(COD) 充足时, 排水比对于磷的去除影响不大, 均能保持较高的去除效率;

3) 提高系统内 ρ(P), 即增大进水磷负荷后, 可以看出当 ρ(C)/ρ(P) 值为 23 时, 系统仍能保持较高的磷去除率(94.6%), 当 ρ(C)/ρ(P) 值高于 23 时, 出水 ρ(P) 均在检出限以下, 说明 UniFed SBR 系统适用于低 ρ(C)/ρ(P) 值的生活污水强化生物除磷;

4) 调节一定的进水 ρ(COD) 时, 大曝气量将使系统提前达到最大释磷量的时间, 并且最大释磷量将小于小曝气量, 但若考虑到系统脱氮效果, 宜选用较小曝气量。

参考文献:

[1] 潘杨, 黄勇, 李勇, 等. 双循环两相生物处理工艺(BICT)除磷中试试验[J]. 环境工程, 2006, 24(6): 7-9.

- PAN Yang, HUANG Yong, LI Yong, et al. Phosphorus removal performance of bi-cyclic two-phase (BICT) biological process on application-scale[J]. *Environmental Engineering*, 2006, 24(6): 7-9. (in Chinese)
- [2] 黄理解, 张波, 毕学军, 等. 倒置 A²/O 工艺的生产性试验研究[J]. *中国给水排水*, 2004, 20(6): 12-15.
HUANG Li-hui, ZHANG Bo, BI Xue-jun, et al. Full-scale test on inverted A²/O process[J]. *China Water & Wastewater*, 2004, 20(6): 12-15. (in Chinese)
- [3] 牛学义. PhoStrip 测流除磷工艺及其应用实例[J]. *给水排水*, 2002, 28(11): 8-12.
NIU Xue-yi. Application of phostrip process for P removal[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2002, 28(11): 8-12. (in Chinese)
- [4] 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): 14-16.
ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen. New UniFed SBR process for biological nitrogen and phosphorus removal[J]. *China Water & Wastewater*, 2006, 22(12): 14-16. (in Chinese)
- [5] KELLER J, SUBRAMANIAM K, GESSWEIN J, et al. Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors[J]. *Water Sci Technol*, 1997, 35(6): 137-144.
- [6] KELLER J, WATTS S, BATTYE S W, et al. Full-scale demonstration of biological nutrient removal in a single tank SBR process[J]. *Water Sci Technol*, 2001, 43(3): 355.
- [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): 14-17.
ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, QIAO Yan-xi, et al. Study on personal computer auto-control of UniFed SBR process with air weir[J]. *China Water & Wastewater*, 2007, 23(3): 14-17. (in Chinese)
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 252-354.

Study of UniFed SBR Process for Biological Phosphorus Removal in Domestic Wastewater

TANG Xu-guang¹, WANG Shu-ying¹, YUAN Zhi-guo², ZHAO Chen-hong¹

(1. Key Laboratory of Beijing Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124; 2. Advanced Wastewater Management Centre, The University of Queensland, Australia)

Abstract: UniFed SBR process has the unique feature which is the introduction of the influent into the settled sludge blanket during the settling and decant periods of the operation. It achieved suitable conditions for denitrification and anaerobic phosphorus release and also had high rate of nitrogen and phosphorus removal. In our experiment, this type of UniFed SBR process for treatment of domestic wastewater was used to study the effect of $\rho(C)/\rho(P)$ ratio, decant ratio, maximal removal of phosphorus loading and aeration intensity on removal of phosphorus. Results show that when $\rho(C)/\rho(P)$ ratio is 23, the removal efficiency of TP is 94.67%. When the ratio of $\rho(C)/\rho(P)$ is higher than 23, the concentration of phosphorus in the effluent is 0 kg/m³. when the carbon source become the limiting factor to phosphorus release, the higher decant ratio is, the lower phosphorus concentration in the effluent is. When the carbon source is adequate, the system is proved to have a reliable performance in phosphorus removal. This system has great effect on phosphorus removal in domestic wastewater, which provides a new method to enhance biological phosphorus removal.

Key words: UniFed SBR process; domestic wastewater; biological phosphorus removal; $\rho(C)/\rho(P)$

(责任编辑 张 蕾)