

充水比对 UniFed SBR 工艺脱氮的影响

赵晨红, 彭永臻, 唐旭光

(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 100124)

摘 要: 为了考察充水比对新型 UniFed SBR 工艺脱氮的影响, 试验采用充水比分别为 25% 和 42% 的 2 个并行的 UniFed SBR 反应器, 并以实际生活污水为处理对象, 通过比较在 6 组相同的进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比, TN 在 2 个充水比条件下 1 个完整周期中的降解规律及出水 TN 质量浓度, 分析了充水比对进水/排水阶段和曝气阶段 TN 去除的影响. 试验结果表明, UniFed SBR 工艺在任意一个充水比下运行时, 都存在一个与之相对应的进水/排水阶段最大脱氮率 η_{1max} , η_{1max} 只与充水比有关, 而与进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比无关, 且在进水碳源充足时, 充水比越大, η_{1max} 越低; 在相同进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比时, 充水比越大, 曝气阶段由 SND 产生的脱氮率 η_2 越高. 由于进水/排水阶段对 UniFed SBR 工艺 TN 的去除贡献更大, 因此采用较小的充水比, 更有利于工艺整体对 TN 的去除.

关键词: 充水比; UniFed SBR 工艺; 脱氮; 同步硝化反硝化(SND)

中图分类号: X 703.1

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2009)03-0378-07

UniFed SBR 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]. 该工艺的 1 个运行周期包括进水/排水、曝气、沉淀 3 个阶段. 在进水/排水阶段, 在反应池底部随着进水缓慢、均匀地流入, 带入的易降解 COD 被反硝化菌利用, 将前一周期残留在污泥层中的 NO_3^- 还原为 N_2 , 随着反硝化的进行, NO_3^- 质量浓度不断降低, SBR 池底部逐渐形成了厌氧环境, 聚磷菌利用进水中的溶解性有机物进行磷酸盐的释放; 在后续的曝气阶段, 可完成硝化作用和好氧吸磷过程. 由于 UniFed SBR 工艺新颖的进水方式和运行方式, 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 COD、N、P 的去除率均在 90% 以上^[2].

充水比(定义为每周期的进水/排水量与反应池有效容积之比)是 UniFed SBR 工艺需控制的诸多运行参数之一, 也是影响该工艺脱氮效果和出水水质的一个重要影响因子. 研究结果表明^[3-6], 原污水中的 TN 在一个 UniFed SBR 周期 2 个阶段的降解规律为: 在进水/排水阶段结束时, 曝气初始混合液中的 ρ (TN) 相比原水会有一个明显的降低, 其原因一是由于进水的稀释作用, 二是由于在反应池底部随着进水 COD 的流入发生了反硝化脱氮作用; 在好氧曝气阶段 TN 也会有一部分损失, 这是由于微生物的同化作用和同步硝化反硝化(SND)作用引起的. 因此, UniFed SBR 工艺 1 个周期的脱氮率为进水/排水阶段在池底部污泥层中发生的反硝化作用产生的脱氮率和曝气阶段由于微生物的同化作用及同步硝化反硝化作用产生的脱氮率二者之和. 假设充水比为 E , 在进水碳源充足、能在进水/排水阶段实现完全充分反硝化(曝气初始 NO_3^- 质量浓度为 0)以及好氧阶段实现充分硝化(曝气结束时 NH_4^+ 质量浓度为 0)的理想条件下, 经理论推导, 进水/排水阶段的脱氮率为 $1-E$, 可见充水比越小, 进水/排水阶段的 TN 去除率越高; 另一方面, 有机碳源是影响曝气阶段 SND 脱氮的重要因素, 文献[7]表明, 增加曝气初始的有机物质量浓度, 或者说提高 $\rho(C)/\rho(N)$ 比, 可提高 SND 效果. 当充水比较小时, 其进水有机负荷也较低, 则在曝气阶段可用于 SND 的有机碳源的数量较少, 无法满足反硝化对电子供体的需求, 因而曝气阶段由 SND 产生的脱氮率就较低. 可见, 当改变充水比时, 对上述 2 个阶段的 TN 去除率带来的影响是截然相反的.

收稿日期: 2007-07-19.

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAC19B03); 北京市教委科研基地-科技创新平台资助项目(PXM2008-014204-050843); 北京市属市管高等学校人才强教“创新团队”资助项目(05005013200504)

作者简介: 赵晨红(1974-), 女, 山西太原人, 博士生.

目前尚未见到关于充水比是如何影响 UniFed SBR 工艺脱氮性能的研究报道. 本文旨在实验室条件下, 利用 UniFed SBR 工艺处理实际生活污水, 研究充水比对 UniFed SBR 工艺 TN 去除的影响.

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验采用的 UniFed SBR 反应器及自控装置如图 1 所示. 反应器为有机玻璃制成, 有效高度 90 cm, 截面为正方形, 边长 21 cm, 总有效容积 40 L. 在反应器底部设进水布水管, 进水由蠕动泵控制. 采用进水顶出水的排水方式, 在反应器上部固定一溢流堰, 上部澄清出水经溢流堰和排水管排出反应器, 排水管上设有电动阀控制排水. 曝气阶段由空压机 1 向反应器中供氧, 反应器底部中央设有曝气头, 转子流量计调节曝气量和 $\rho(\text{DO})$. 为防止曝气时混合液溢流至出水堰, 带出污泥和悬浮物, 开发了空气堰排水系统^[8], 避免了上述问题的发生. 由空压机 2 向空气堰充气, 在空压机 2 和空压机 1 的空气管路上各设 1 个电磁阀. 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. UniFed SBR 一个运行周期按进水/排水 2 h、曝气 2 h~3 h 40 min、沉淀 20 min 的方式连续运行, 每天运行 4~5 个周期. 用加热器和温控仪调控水温在 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, 控制 $\rho(\text{MLSS})$ 为 3.0~4.0 g/L, 曝气量为 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$.

1.2 活性污泥和试验用水

试验采用学校居民小区实际生活污水, 其水质如表 1 所示. 污泥接种于北京市某污水处理厂二沉池回流污泥. 由于进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比对 UniFed SBR 工艺 TN 的去除有很大影响, 所以比较不同充水比时工艺对 TN 的去除效果, 必须是在相同的进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比前提下才有意义. 试验选择了 2 个具有代表性的充水比 42% 和 25%, 42% 为在先前试验中确定的能够实现进水与出水良好分离的最大充水比^[9], 25% 是实际工程中经常采用的一个较小的充水比. 试验采用 2 个并行的 UniFed SBR 反应器, 并控制进水水质和除充水比外其他运行条件完全相同, 通过比较 2 个反应器在相同的进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比条件下 TN 在一个完整周期中的降解规律及出水 $\rho(\text{TN})$, 来判断充水比对 UniFed SBR 工艺 TN 去除的影响. 此外, 在不同的进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比时, 改变充水比对进水/排水阶段和曝气阶段 TN 去除的影响也是不同的, 因

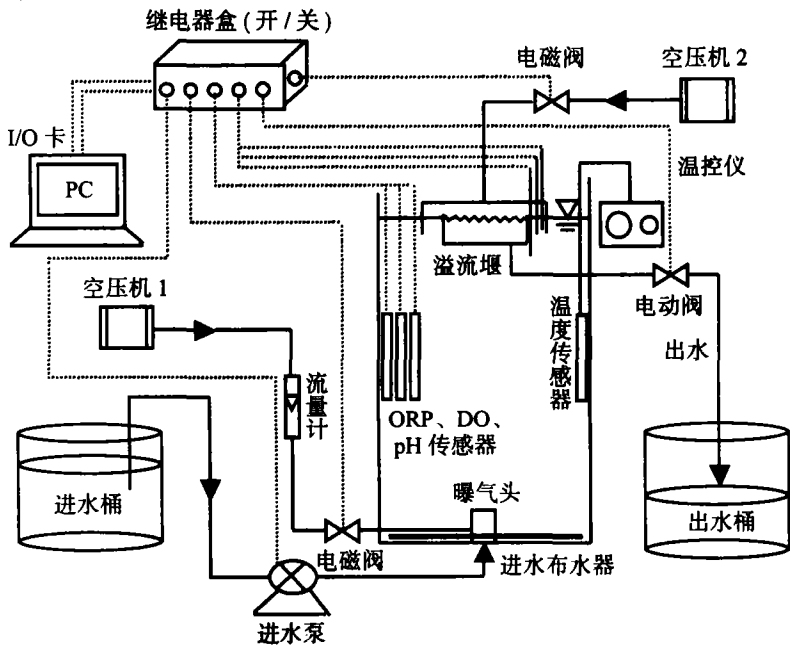


图 1 UniFed SBR 反应器及自控装置图

Fig. 1 Schematic diagram of UniFed SBR reactor and auto-control equipment

此试验考察了在 6 组不同的进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比(3.66, 4.79, 6.67, 7.88, 10.54, 11.98)下, 改变充水比对 UniFed SBR 工艺 TN 去除带来的影响. 由于原生活污水的 $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 和 $\rho(\text{TN})$ 相对稳定, 可通过向原水中投加不同数量的乙酸钠来控制不同的进水 $\rho(\text{COD})$ 和 $\rho(C)/\rho(N)$ 比. 2 反应器在各 $\rho(C)/\rho(N)$ 比下都是经若干周期运行, 待达到稳定的处理效果后, 对 $\rho(\text{TN})$ 在 1 个周期的变化进行跟踪测定.

表 1 原水水质

Table 1 Influent characteristics

项目	pH	$\rho(\text{COD})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_4^+)/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(C)/\rho(N)/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{PO}_4^{3-})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
范围	7.2~7.6	190~230	51.4~56.4	54~60	3.51~3.83	3.03~5.16
平均值	7.4	210	53.9	57	3.66	4.1

1.3 分析项目及方法

COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、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 $\rho(\text{TN})$, 德国 WTW Multi 340i 及相应传感器在线检测 $\rho(\text{DO})$ 、pH、V(ORP)和温度.

2 试验结果与讨论

2.1 充水比对进水/排水阶段脱氮的影响

在进水/排水阶段, 在反应池底部随着进水的流入, 由于没有氮的在线检测仪器而无法实时监控污泥层中发生的反硝化反应进程, 同时, 为避免对底部污泥定时取样而造成的污泥大量流失对该阶段的生化反应过程和上层出水水质波动造成影响, 因而采取通过测定曝气初始混合液中的 NH_4^+ 、 NO_x^- 、TN 质量浓度的方法来间接判断在进水/排水阶段 NO_x^- 的反硝化去除情况.

通过式(1)~(3)计算一个完整 UniFed SBR 周期的脱氮率 η ,

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (1)$$

其中 η_1 为进水/排水阶段脱氮率, η_2 为曝气阶段的脱氮率

$$\eta_1 = \frac{(\text{原水 } \rho(\text{TN}) - \text{曝气初始混合液 } \rho(\text{TN}))}{\text{原水 } \rho(\text{TN})} \times 100\% \quad (2)$$

$$\eta_2 = \frac{(\text{曝气初始混合液 } \rho(\text{TN}) - \text{曝气结束时混合液 } \rho(\text{TN}))}{\text{原水 } \rho(\text{TN})} \times 100\% \quad (3)$$

图 2(a)为充水比为 25% 的反应器在 6 组不同进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比下, TN 在 1 个 UniFed SBR 周期中的降解曲线. 从图 2(a)可以看出, 在进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比从 3.66 逐渐递增至 6.67 的过程中, 曝气初始混合液中的 $\rho(\text{TN})$ 呈不断降低趋势, 从 23.04 mg/L 降至 15.45 mg/L, 说明随着进水有机碳源质量浓度的增加, 池底部由反硝化而去除的 NO_x^- 的数量也在不断增加, 相应进水/排水阶段的脱氮率 η_1 也随着进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的提高而升高, 从 58.2% 提高至 71.4%. 然而继续提高 $\rho(C)/\rho(N)$ 比, 曝气初始混合液中的 $\rho(\text{TN})$ 不再随 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的提高而继续下降, 而是始终维持在 15.35~15.45 mg/L, η_1 也不再继续上升, 始终稳定在 71.4%~73.6%. 上述结果表明 η_1 并不能随着 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的升高而无限度提高, 当 $\rho(C)/\rho(N)$ 比达到某一较高值后, 进水中的有机碳源相对于前一周期池底污泥层中残留的 $\rho(\text{NO}_x^-)$ 是充足的, 因此在靠近反应池底部区域能与进水易生物降解 COD 和反硝化菌所接触到的所有 NO_x^- 均被还原成 N_2 而从水中去除, 即实现了进水/排水阶段的完全反硝化脱氮, 与此同时, 所对应的 η_1 也达到了该充水比下可实现的最大脱氮率 $\eta_{1\max}$.

图 2(b)为充水比为 42% 的反应器在 6 组不同进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比下运行时, TN 在 1 个 UniFed SBR 周期中的降解曲线. 可以看出, 随着进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的增加, 曝气初始混合液中的 $\rho(\text{TN})$ 和 η_1 的变化

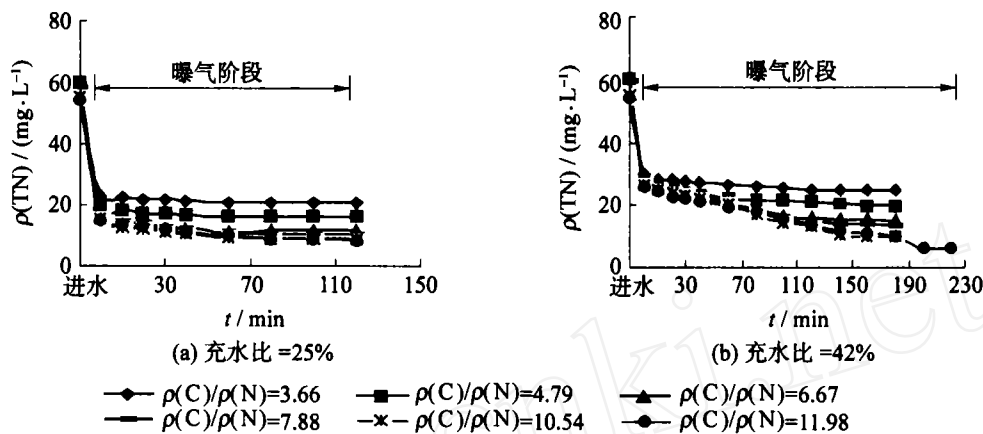
图2 $\rho(\text{TN})$ 在1个 UniFed SBR 周期中的变化曲线

Fig.2 TN concentration profiles during a UniFed SBR cycle

规律同充水比为 25% 的情况,即随着 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比的提高,曝气初始混合液的 $\rho(\text{TN})$ 逐渐降低, η_1 值逐渐升高,当 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比达到某一较高数值时,曝气初始混合液的 $\rho(\text{TN})$ 不再随 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比的升高而降低,始终维持在 26.2~26.95 mg/L, η_1 值也不再继续上升,稳定在 52.8% (平均值) 左右,该值为在充水比为 42% 时进水/排水阶段可实现的最大脱氮率 $\eta_{1\max}$. 与充水比 25% 的情况所不同的是在达到 $\eta_{1\max}$ 时,对应的 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比更低,可实现的 $\eta_{1\max}$ 值也更低.

通过图 2 对 UniFed SBR 工艺在 2 个不同充水比下进水/排水阶段 TN 去除随 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比的变化规律分析可以推断,系统在任意一个充水比下运行时,都存在一个与之相对应的 $\eta_{1\max}$ 值, $\eta_{1\max}$ 只与充水比有关,而与进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比无关,且在进水碳源充足时,充水比越大, $\eta_{1\max}$ 越低,此时所对应的曝气初始混合液的 $\rho(\text{TN})$ 越高.

2.2 充水比对曝气阶段脱氮的影响

图 3 给出相同进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比、不同充水比时的 TN 在 1 个 UniFed SBR 周期中的降解曲线,并对其出水 $\rho(\text{TN})$ 进行了比较. 从图 3 中 TN 在曝气阶段的降解情况可知,在不同的充水比和进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比条件下, TN 在曝气阶段会有不同程度的降解,分析其中一部分是被微生物的同化作用用于合成细胞物质所消耗,另一部分则是因发生 SND 作用而被去除.

由图 2 在曝气阶段 TN 的降解规律还可以发现,在能满足进水/排水阶段实现完全充分反硝化的较高 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比下,曝气初期 TN 的降解在各 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比下基本保持相同,而到曝气末期才表现出 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比高的 TN 降解得更多,出水 $\rho(\text{TN})$ 更低的情况. 归其原因是由于在曝气初期,一部分有机物被活性污泥絮体吸附在微生物体内并储存,未被微生物吸附的剩余 COD 则被异养菌逐步氧化分解,此时 TN 的损失主要是由于微生物的同化作用. 根据 SND 的微环境理论,在微生物絮体表面,由于 $\rho(\text{DO})$ 相对较高,以好氧异养菌、硝化菌为主,主要完成 COD 的降解和硝化反应,深入絮体内部,由于氧传质受阻及外部氧的大量消耗,产生缺氧微区,反硝化菌占优势,利用反应初期吸附的有机物作为反硝化的碳源,并以硝酸盐氮作为电子受体,将其还原成 N_2 排出. 正是由于微生物絮体内缺氧微环境的存在,导致了 SND 的发生.

文献[10]报道,影响 SND 的主要因素是 $\rho(\text{DO})$ 和有机碳源. 控制系统的 $\rho(\text{DO})$ 对获得高效的 SND 至关重要. 若系统中 $\rho(\text{DO})$ 太低,硝化不充分也难以进行反硝化,而 $\rho(\text{DO})$ 又不能太高,以便在微生物絮体内产生溶解氧梯度,形成缺氧微环境,同时,系统的有机底物不至于过度消耗而影响了反硝化对碳源的需求. 总体上讲,较低的 $\rho(\text{DO})$ 更有利于形成较为稳定的缺氧微环境,因此本试验为了最大限度地实现同步硝化反硝化脱氮,以尽可能提高曝气阶段的脱氮率 η_2 ,维持曝气期间的 $\rho(\text{DO})$ 在 1 mg/L 以下.

为了考察有机碳源对曝气阶段 SND 的影响,图 4 给出充水比 25% 和 42% 分别在 6 组进水 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 比时,曝气初始混合液的 $\rho(\text{COD})$ 和曝气阶段 $\rho(\text{TN})$ 的降解值. 结合图 3、图 4 可以看出,充水比为 25% 时,曝气初始的 $\rho(\text{COD})$ 从 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 为 3.66 时的 52.67 mg/L 升至 $\rho(\text{C})/\rho(\text{N})$ 为 11.98 时的

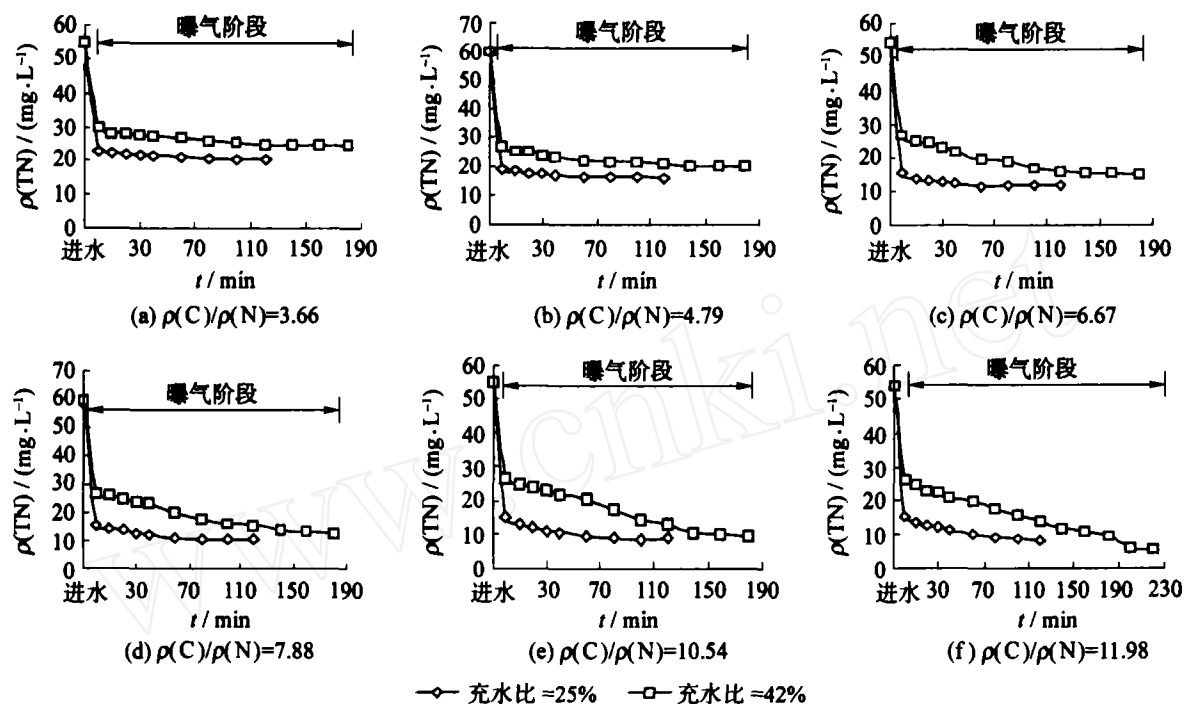


图3 相同进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比不同充水比时 $\rho(TN)$ 在 1 个 UniFed SBR 周期的变化曲线比较

Fig.3 Comparison of TN profiles during a UniFed SBR cycle at the same feed $\rho(C)/\rho(N)$ ratio but different volumetric exchange ratio

164.2 mg/L. 相应地,曝气期间 $\rho(TN)$ 的降解值也从 2.51 mg/L 缓慢升至 7.16 mg/L. 上述结果表明,在同一充水比下,曝气初始混合液的 $\rho(COD)$ 和曝气期间的 $\rho(TN)$ 均随 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的增加而升高,这主要是因为原水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比越高,原水的 COD 在经过进水/排水阶段的稀释、池底部污泥层中为反硝化作用提供电子供体和为释放 PO_4^{3-} 提供碳源合成 PHB 消耗后,剩余的曝气初始混合液的 $\rho(COD)$ 必然也越高,曝气期间可用于同步硝化反硝化的碳源越多,因而由 SND 所去除的 TN 也越多;同时还发现,系统在较低的充水比 25% 下运行时,进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比虽大幅度增加,但曝气阶段由 SND 而去除的 TN 数量增长幅度较小,只增长了 4.65 mg/L. 而在充水比为 42% 的试验中,曝气期间的 $\rho(TN)$ 损失值从 5.25 mg/L 大幅度提高至 20.39 mg/L,可见系统在高充水比下运行时,随 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的增加,曝气期间由 SND 去除的 $\rho(TN)$ 增长幅度明显高于低充水比时的情况.

从图 3、图 4 还可以看到,在相同的进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比(如 10.54)时,充水比为 25% 的曝气初始混合液的 $\rho(COD)$ 为 138.4 mg/L,曝气期间 $\rho(TN)$ 降低 6.41 mg/L,而充水比为 42% 时的曝气初始混合液的 $\rho(COD)$ 为 195.7 mg/L,曝气期间 $\rho(TN)$ 降低 16.74 mg/L. 以上结果表明,在同一 $\rho(C)/\rho(N)$ 比下,高充水比时曝气阶段 $\rho(TN)$ 的降解值明显高于低充水比时 $\rho(TN)$ 的降解值. 归其原因,主要是由于充水比越高,进水/排水阶段进入到反应器的 $\rho(COD)$ 越高,因而曝气初始混合液的 $\rho(COD)$ 越高,在曝气阶段可用于 SND 的有机碳源越多,该阶段由 SND 而去除的 TN 越多.

综上所述,在 UniFed SBR 工艺中,高进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比和高充水比都将更有利于曝气阶段 TN 的去除,其实质都是由于带入反应器更多的有机碳源,能被微生物吸附并在曝气后期可被用于 SND 的碳源越多,因此由 SND 脱除的 TN 越多,出水的 $\rho(TN)$

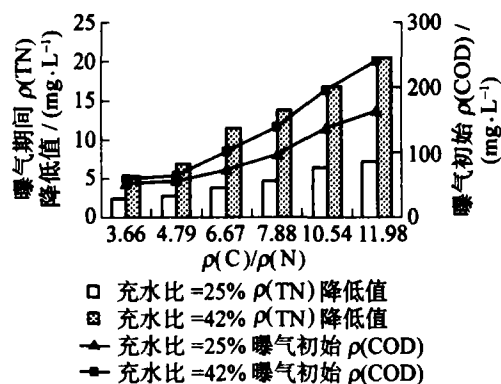


图4 曝气初始 $\rho(COD)$ 和曝气阶段 $\rho(TN)$ 降解值

Fig.4 COD value at the beginning of aeration and TN degradation during aeration period

越低。

图5给出42%和25%两个充水比在6组不同的进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 比时,进水/排水阶段的TN去除率 η_1 、曝气阶段的TN去除率 η_2 以及一个完整UniFed SBR周期的TN去除率 η 示意图。从图3、图5可以看出, η_1 总是高于 η_2 ,说明进水/排水阶段对工艺TN的去除贡献更大;在6组 $\rho(C)/\rho(N)$ 比试验中,充水比低时的 η_1 皆高于充水比高时的 η_1 ;在同一 $\rho(C)/\rho(N)$ 比时,充水比高时的 η_2 总是高于充水比低时的 η_2 ;在同一充水比时, η_2 值总是随着 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的增加而升高,但充水比低时 η_2 升高得较为缓慢,而充水比高时 η_2 却升高得迅速,因此,在低 $\rho(C)/\rho(N)$ 比时,充水比低时的出水 $\rho(TN)$ 明显低于充水比高时的出水 $\rho(TN)$,相应的 η 也明显高于充水比高时的 η ,但随着 $\rho(C)/\rho(N)$ 比的增加,2个充水比下的出水 $\rho(TN)$ 和 η 却越接近,如 $\rho(C)/\rho(N)$ 比为10.54时,充水比为25%的出水 $\rho(TN)$ 为9 mg/L,与充水比为42%的出水 $\rho(TN)$ 9.69 mg/L很接近。当 $\rho(C)/\rho(N)$ 提高至11.98时,充水比为25%的出水 $\rho(TN)$ 为8.19 mg/L,而充水比为42%的出水 $\rho(TN)$ 已降至5.81 mg/L,是6组 $\rho(C)/\rho(N)$ 比试验中唯一1次出现充水比高而出水 $\rho(TN)$ 低的情况,这主要是在此 $\rho(C)/\rho(N)$ 比下,进水 $\rho(COD)$ 高达633.6 mg/L,而控制 $\rho(DO)$ 在0.5 mg/L以下时的一个特例。实际生活污水或城市污水的 $\rho(C)/\rho(N)$ 比不可能如此之高,对 $\rho(DO)$ 的控制也不稳定,较难实现稳定的SND脱氮,因此工艺总体表现仍然是充水比越低,出水 $\rho(TN)$ 越低, η 越高。因此,为了能使UniFed SBR工艺的出水 $\rho(TN)$ 达到排放标准,应当采用较小充水比的控制策略。

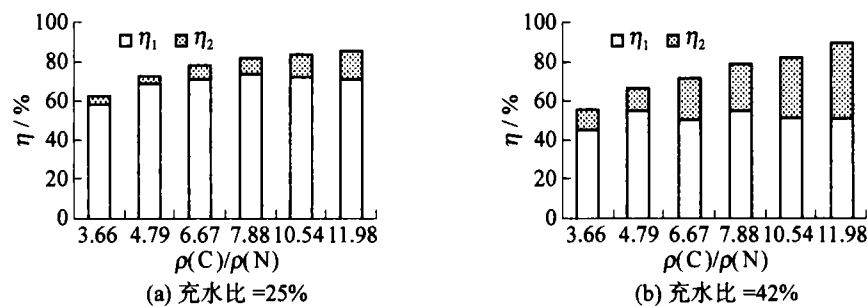


图5 2组不同充水比时的 η_1 、 η_2 和 η

Fig. 5 η_1 、 η_2 and η at 2 group of volumetric exchange ratios

3 结论

1) 由于UniFed SBR工艺1个周期的TN去除率 η 为进水/排水阶段在池底部污泥层中发生的反硝化作用产生的脱氮率 η_1 和曝气阶段由于微生物的同化作用及同步硝化反硝化作用产生的脱氮率 η_2 二者之和。改变充水比会对进水/排水阶段TN的去除率 η_1 和曝气阶段TN的去除率 η_2 产生截然相反的影响,因此判断充水比对 η 的影响需综合考虑其对 η_1 和 η_2 的影响。

2) UniFed SBR工艺在任意一个充水比下运行时,都存在一个与之相对应的 η_{1max} 值(进水/排水阶段的最大脱氮率), η_{1max} 只与充水比有关,而与进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 无关,且在进水碳源充足时,充水比越高, η_{1max} 越低。

3) 在相同进水 $\rho(C)/\rho(N)$ 时,充水比越高,曝气阶段由SND去除的TN越多,即 η_2 越高。

4) 由于进水/排水阶段对UniFed SBR工艺TN的去除贡献更大,因此采用较小的充水比更有利于工艺整体对TN的去除。

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.
ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen. New UniFed SBR process for biological nitrogen and phosphorus removal[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(12): 14-17. (in Chinese)
- [2] KELLER J, WATTS S, BATTYE-SMITH W, et al. Full-scale demonstration of biological nutrient removal in a single tank

- SBR process[J]. Wat Sci Tech, 2001, 43(3): 355-362.
- [3] 赵晨红, 彭永臻, 王淑莹, 等. 碳氮比对 UniFed SBR 工艺性能的影响[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 58-63.
ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying, et al. Effects of influent C/N ratio on performance of UniFed SBR process[J]. Environmental Science, 2008, 29(5): 58-63. (in Chinese)
- [4] ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying, et al. Influence of wastewater composition on biological nutrient removal in UniFed SBR process[J]. Wat Sci Tech, 2008, 58(4): 803-810.
- [5] PENG Yong-zhen, ZHAO Chen-hong, WANG Shu-ying, et al. Effects of influent C/N ratio, C/P ratio and volumetric exchange ratio on biological phosphorus removal in UniFed SBR process [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2008, 83(12): 1587-1595.
- [6] 赵晨红, 彭永臻, 王淑莹, 等. 碳磷比对 UniFed SBR 工艺性能的影响[J]. 现代化工, 2008, 28(1): 50-52, 54.
ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying, et al. Effects of influent C/P ratio on performance of UniFed SBR process[J]. China Water & Wastewater, 2008, 28(1): 50-52, 54. (in Chinese)
- [7] POCHANA K, KELLER J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification[J]. Wat Sci Tech, 1999b, 39(6): 61-68.
- [8] 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.
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): 14-18. (in Chinese)
- [9] 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.
ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, SHI Feng-hua, et al. Research on principles of nutrient removal in UniFed SBR process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1(9): 1-5. (in Chinese)
- [10] COLLIVIGNARELLI C, BERTANZA G. Simultaneous nitrification-denitrification processes in activated sludge plants: performance and applicability[J]. Wat Sci Tech, 1999, 40(4-5): 187-194.

Effect of Volumetric Exchange Ratio on Nitrogen Removal in UniFed SBR Process

ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, TANG Xu-guang

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering,
Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China)

Abstract: In order to investigate the effect of volumetric exchange ratio on nitrogen removal in novel UniFed SBR process, two UniFed SBR reactors were operated at the volumetric exchange ratio of 25% and 42% respectively to treat real domestic wastewater. The effect of volumetric exchange ratio on nitrogen removal was analyzed by comparing the degradation rules of TN during a whole cycle and TN concentrations of effluent at 6 group identical feed $\rho(C)/\rho(N)$ ratios at 25% and 42% respectively. The results showed that when UniFed SBR process was operated at any volumetric exchange ratio, a corresponding maximum TN removal efficiency $\eta_{1\max}$ during feed/decant period always existed. $\eta_{1\max}$ was only relative to volumetric exchange ratio and irrespective of feed $\rho(C)/\rho(N)$ ratio. When the carbon sources of influent were sufficient, the bigger the volumetric exchange ratio, the lower $\eta_{1\max}$ was. When at the same feed $\rho(C)/\rho(N)$ ratio, the bigger the volumetric exchange ratio, the higher TN removal efficiency was. TN removal during feed/decant period contributed more to UniFed SBR process, so the use of smaller volumetric exchange ratio was beneficial to TN removal of the whole process.

Key words: volumetric exchange ratio; UniFed SBR process; nitrogen removal; simultaneous nitrification and denitrification

(责任编辑 张 蕾)