

好氧-沉淀-厌氧工艺处理效能及抗冲击负荷研究

王建芳¹, 金文标², 赵庆良^{1*}, 刘志刚¹, 林佶侃³

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院城市水资源与环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090; 2. 哈尔滨工业大学深圳研究生院, 深圳 518055; 3. 金迪生物科技集团, 东莞 523581)

摘要:以传统活性污泥法(CAS)为参照,系统研究了好氧-沉淀-厌氧(OSA)污泥减量工艺连续运行 240 d,污水处理效果、污泥性能、温度波动和难降解有毒物质的冲击对系统稳定性的影响.结果表明,OSA 工艺废水处理效率整体上优于 CAS 工艺,COD 去除效率略高于 CAS,总氮、总磷去除率分别比 CAS 高出 42.58% 和 53.84%.OSA 和 CAS 工艺每 100 g 好氧污泥中生物结合的磷分别是 2.69 g 和 1.11 g,进一步证实了 OSA 工艺有生物除磷功能.由于厌氧-好氧耦合,OSA 污泥沉降性能和污泥活性都得到改善,SVI 稳定在 97 左右, SOUR 和脱氢酶活性均高于 CAS 污泥.OSA 污泥胞外多聚物中蛋白质浓度比 CAS 高出 1.69 mg·g⁻¹,多糖浓度要比 CAS 低 6.7 mg·g⁻¹,解释了 OSA 污泥沉降性能改善的原因,也证实了污泥厌氧池的插入对污泥性能、微生物种群结构的影响.OSA 工艺对温度波动的影响滞后于 CAS 工艺 3~4 d,出水 COD、NH₄⁺-N、SS 均升高,污泥产率 Y_(MLSS/COD)降低至 0.403 mg·mg⁻¹ 和 0.227 mg·mg⁻¹.OSA 受对-硝基苯酚(PNP)的冲击比 CAS 更敏感,PNP 浓度为 10 mg·L⁻¹,系统完全失去脱氮除磷功能.OSA 系统受温度和 PNP 冲击后,比 CAS 更难修复.

关键词:污泥减量;生物脱氮除磷;污泥活性;温度波动;对-硝基苯酚

中图分类号:X703.1 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2007)11-2488-06

Performance of Treating Wastewater and Anti-shockloading in Oxidic-Settling-Anaerobic (OSA) Process for Minimization of Excess Sludge

WANG Jian-fang¹, JIN Wen-biao², ZHAO Qing-liang¹, LIU Zhi-gang¹, LIN Ji-kan³

(1.State Key Laboratory of Urban Water Resources and Environment, School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2.Harbin Institute of Technology Campus of Shenzhen University Town, Shenzhen 518055, China; 3.Golden Idea Bio-Treat Group, Dongguan 523581, China)

Abstract Efficiency of pollution degradation, performance of activated sludge, effect of temperature fluctuation and recalcitrant organic compounds on system stability were investigated in OSA process for minimization of excess sludge. CAS process and OSA process were run with synthetic wastewater for 240 d. The results indicate that the OSA process excels the CAS process as a whole. COD removal efficiency in OSA process was slightly more than that in CAS. Removal efficiency of nitrogen and phosphorus could be enhanced to 42.58% and 53.84% respectively. Biological phosphorus accumulation in aerobic sludge from OSA and CAS were 2.69g and 1.11 g per 100 g dry sludge, which further approved biological phosphorus removal in OSA process. Because of alternative aerobic and anaerobic environment in OSA process, sludge settleability and activity are improved. SVI in OSA process was 97 averagely. SOUR and dehydrogenase activity of sludge in OSA were higher appreciably than those in CAS. Protein concentration was higher above 1.69 mg·g⁻¹ and polysaccharide concentration was lower 6.7 mg·g⁻¹ in OSA sludge than those in CAS, which confirms the effect of anaerobic tank on sludge performance and microorganism diversity. Lower polysaccharide concentration in OSA sludge improves the settleability. Contrasting to CAS process, OSA process is more sensitive to impact of *p*-nitrophenol(PNP) and more inactive to temperature fluctuation. Temperature fluctuation led to an increase of the concentration of COD, NH₄⁺-N, SS in effluent while sludge production Y_(MLSS/COD) was reduced to 0.403 mg·mg⁻¹ and 0.227 mg·mg⁻¹ in CAS and OSA. When concentration of PNP was increased abruptly to 10 mg·L⁻¹, biological nutrient removal was ceased in OSA process. Once OSA system is impacted, it is difficult to restore.

Key words: sludge reduction; biological nutrient removal; sludge activity; temperature fluctuation; *p*-nitrophenol

剩余污泥已成为废水好氧生物处理技术面临的一个重大挑战,剩余污泥处理和处置所需的投资和运行费用可占整个污水处理厂投资和运行费用的 25%~65%^[1].随着城市生活污水处理量和处理率的增加,污泥产量将会逐年增加.而现行污泥的土地利用、卫生填埋、焚烧、远洋投海等常规的污泥终处理技术受到日益严格的环境标准及相关法规的限

制,使得污泥的处理和处置将成为环境领域的一大难题.因此,研发在污水处理过程中实现污泥减量工

收稿日期:2006-11-28;修订日期:2007-01-17

基金项目:教育部“长江学者与创新团队发展计划”项目

作者简介:王建芳(1973~),女,博士研究生,主要研究方向为污水处理与资源化,E-mail:wjf302@163.com

* 通讯联系人,E-mail:zhql1962@yahoo.com.cn

艺,已成为解决污泥问题的理想途径^[2].

好氧-沉淀-厌氧(OSA)工艺实质是在传统活性污泥工艺的污泥回流过程中增加1个厌氧反应器,已被证实污泥产量可减少40%~58%^[3,4].本试验对CAS和OSA工艺稳定运行2个月后连续45 d监测,CAS工艺和OSA工艺表观污泥产率 $Y_{\text{obs(MLSS/COD)}}$ 的平均值分别为 $0.424\text{ mg}\cdot\text{mg}^{-1}$ 和 $0.236\text{ mg}\cdot\text{mg}^{-1}$,OSA工艺的 Y_{obs} 比CAS工艺低44.34%.OSA工艺回流段增加了浓缩污泥厌氧池,污泥在反应池中的停留时间长达8~16 h.而这一厌氧反应器插入对系统长期运行过程中污水处理效果、污泥性能、系统稳定性的影响缺乏系统研究.本研究主要以传统活性污泥法(CAS)为参照,对OSA工艺运行240 d的污水处理效果、污泥性能的变化及系统抗温度波动和毒性物质的冲击性能作较系统的分析.

1 材料与方法

1.1 试验装置及运行操作

试验装置见图1所示,分别对传统的活性污泥工艺(CAS)和厌氧-好氧耦合工艺(OSA)进行对比研究.2套装置曝气池有效容积均为12 L,沉淀池有效容积为4.0 L,污泥在沉淀池中的停留时间为2.35

h.OSA工艺回流段插入的污泥厌氧池容积为4.5 L,污泥在池中的停留时间为8 h,厌氧池内ORP维持在-250 mV左右.实验采用连续流运行模式,进水流速为 $40.8\text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$,进水平均COD浓度为 $580\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,容积负荷 N_v 为 $1.972\text{ kg}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{d})^{-1}$,有机负荷 N_s 为 $0.363\text{ kg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$.进水和回流污泥流量采用蠕动泵控制.当反应器经过2个月稳定运行且效果良好,定期监测COD、MLSS、SV、 NH_4^+-N 、TN、TP等指标.

1.2 间歇试验

通过间歇试验考察对-硝基苯酚对CAS和OSA系统冲击的影响.污泥取自CAS和OSA工艺曝气池.间歇实验采用1 L的广口瓶,污泥浓度为 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,运行周期为8 h,采用瞬时进水,曝气7.5 h后,沉淀出水.其中OSA工艺好氧周期结束,排水后,一部分浓缩污泥被排入0.25 L密封的广口瓶中模拟污泥厌氧环节,浓度为 $8\sim9\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的污泥在瓶内厌氧8 h后,倒回好氧瓶中,使好氧瓶内污泥浓度稳定在 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右.考察不同浓度对-硝基苯酚对系统突然冲击后,COD、 NH_4^+-N 、TP的处理效果及对-硝基苯酚降解的效果,并对受冲击后的污泥性能进行修复.

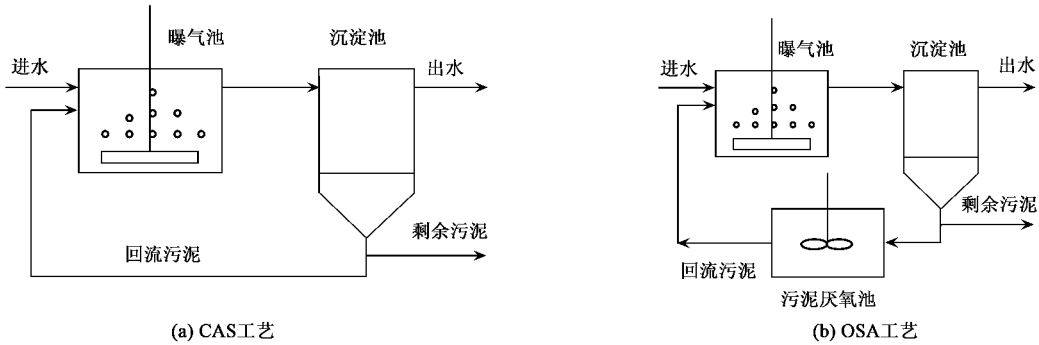


图1 CAS和OSA工艺流程

Fig.1 Schematic diagram of CAS and OSA experimental setup

1.3 污水水质

本试验所用污水为人工配水,污水组分($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$):淀粉0.25,蛋白胨0.13,牛肉膏0.06, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 0.18, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 0.058, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.112, KH_2PO_4 0.044, NaHCO_3 0.08, $\text{MgSO}_4\cdot7\text{H}_2\text{O}$ 0.066, $\text{FeSO}_4\cdot7\text{H}_2\text{O}$ 0.02, $\text{CaCl}_2\cdot2\text{H}_2\text{O}$ 0.015,微量元素1 mL.

其中微量元素组成为($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$): H_3BO_3 0.05, ZnCl_2 0.05, $\text{CuSO}_4\cdot5\text{H}_2\text{O}$ 0.03, $\text{MnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0.05,

$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 0.05, AlCl_3 0.05, $\text{CoCl}_2\cdot6\text{H}_2\text{O}$ 0.05.

1.4 检测方法

试验中COD采用HACH仪器法测定.TN、TP、 NH_4^+-N 、DO、ORP、MLSS、 SV_{30} 均采用国家规定的标准方法.胞外多聚物采用甲醛-氢氧化钠法提取^[5],多糖浓度采用苯酚-硫酸法测定^[6],蛋白质采用改进的Lowry法^[7],脱氢酶活性测定采用TTC法^[8].对硝基苯酚浓度的测定采用将水样用 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后,在400 nm波长下采用分光光度法测定^[9].

污泥中磷的测定^[10]:反应器中的污泥样先用过硫酸钾消解后,高速离心收集上清,测得污泥中的磷浓度.在污泥样中加入 0.5 mol/L HNO₃,搅拌 5 min.静沉后测定上清中磷酸盐为化学沉淀的磷酸盐量.因此,污泥中的总磷减去污泥加酸处理后释放到上清中磷的量,即为生物聚磷量.

2 结果与分析

2.1 污水处理效果

实现污水高效处理同时降低污泥产率是污泥减量工艺的根本目的.从图 2 可知,进水 COD 的波动,对 2 种工艺出水 COD 没有明显的影响,其 COD 去除率都能稳定在 90% 以上,OSA 工艺 COD 的平均去除率略高于 CAS 工艺.

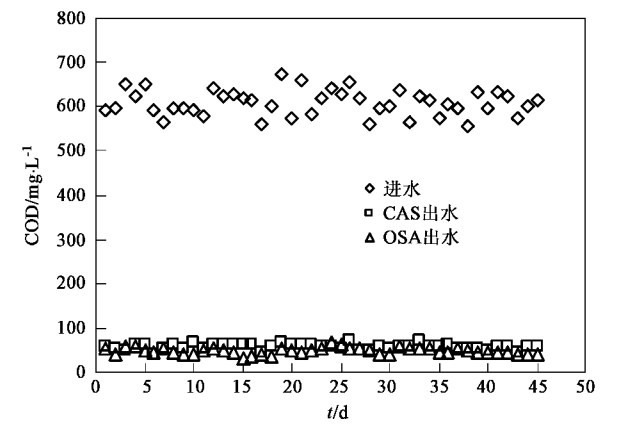


图 2 CAS 和 OSA 中进水和出水 COD 的变化
Fig.2 Influent COD and effluent COD in CAS and OSA

图 3 是 OSA 和 CAS 工艺稳定运行后氮、磷的去除效率,所得的数据为连续运行 50d 的平均值.与 CAS 工艺相比,OSA 工艺 NH₄⁺-N 的去除率低 6%,而 TN 和 TP 的去除率则分别要高出 42.58% 和 53.84%. OSA 工艺 NH₄⁺-N 去除率偏低主要是由于 OSA 污泥厌氧池中的部分微生物死亡释放出氨氮或部分有机氮氨化成氨氮,回流至好氧池中,使得氨氮负荷升高,造成去除率下降.但是经过好氧硝化氨氮转化成的硝酸盐氮,在污泥厌氧池中充分地反硝化生成氮气,使得 TN 的去除率达到 58.86%,比 CAS 高出 32.58%.

OSA 工艺污泥经过厌氧好氧交替,使得生物除磷成为可能.由于污泥厌氧池中外源 COD 的含量很低,理论上没有足够的碳源用于厌氧释磷,但是高浓度污泥厌氧过程中释放的内源 COD,为厌氧释磷提供碳源.从图 3 中可以看出,CAS 工艺磷的平均去除

率仅为 11.59%,这部分磷的损失主要是微生物生长代谢消耗以及有一部分与 Ca²⁺、Mg²⁺ 结合形成化学沉淀去除.而 OSA 工艺中除磷率可达到 63.43%,说明 OSA 工艺可能存在生物除磷现象.表 1 是 CAS 和 OSA 工艺好氧污泥中总磷和化学沉淀结合及生物形式结合磷的量,从表 1 中可以看出,OSA 污泥总磷含量是 CAS 污泥的 2 倍,其中两者以化学沉淀结合的磷含量非常接近,造成这一差异主要是生物形式结合的磷含量的差异.这进一步证实 OSA 系统中由于污泥厌氧池的插入,形成厌氧好氧耦合,具有生物除磷功能.

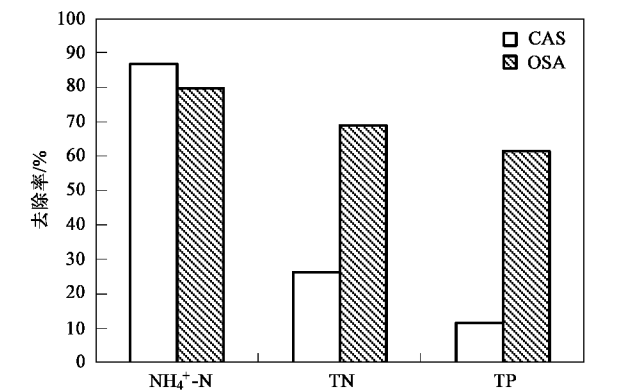


图 3 CAS 和 OSA 中氮磷去除率
Fig.3 Removal efficiency of NH₄⁺-N, TN and TP in CAS and OSA process

表 1 每 100 g CAS 和 OSA 工艺好氧污泥干泥中 TP、化学沉淀结合的 P 以及生物结合的磷含量¹⁾/g

Table 1 Total P, precipitate-bound P and biological P accumulation in aerobic sludge in gram per 100 g dry weight from CAS and OSA/g			
工艺	TP	P(化学沉淀)	P(生物结合)
CAS	1.49	0.38	1.11
OSA	3.05	0.36	2.69

1) 进水中 P/COD 值为 1.72/100

2.2 污泥性能和污泥活性的影响

污泥沉降性能的好坏直接影响活性污泥工艺运行效果.从图 4 可以看出,OSA 工艺整个运行过程 SVI 值都比较稳定,平均值为 97;而 CAS 工艺 SVI 值波动相对较大,平均值要比 OSA 工艺高出 25.这一结果表明 OSA 工艺中厌氧污泥池的插入有助于改善系统的沉降性能.VS/TS 是挥发性固体占固体总量的比值,挥发性固体量与生物量成正比,因此这一比值可以粗略地反映污泥活性.图 4 中的数据表明,2 种污泥 VS/TS 平均值都为 0.72 左右,本试验中这一指标不能反映出污泥活性的显著差异.

比耗氧速率 (SOUR) 和脱氢酶活性 (dehydrogenase activity, DA) 均能较好地反映微生物的活性. SOUR 主要反映微生物的好氧活性, 脱氢酶活性则描述微生物的酶活性以及微生物对有机物氧化分解能力^[8]. 图 5 为 CAS 和 OSA 工艺曝气池污泥 SOUR 和脱氢酶活性, 前者的 SOUR 值平均要比后者高出 10%, 脱氢酶活性高出 3.67%. OSA 污泥 SOUR 和脱氢酶活性的提高证实了厌氧污泥池的插入, 污泥经过厌氧饥饿状态, 进入好氧底物充足的条件下, 污泥活性得到提高.

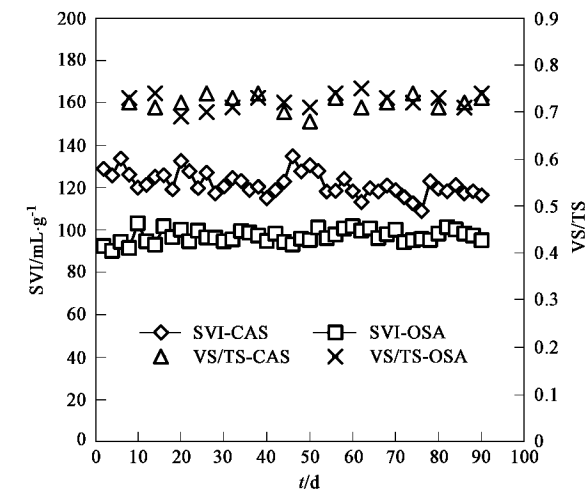


图 4 CAS 和 OSA 工艺中 SVI、VS/TS 的变化关系
Fig.4 Variations of SVI, VS/TS in CAS and OSA process

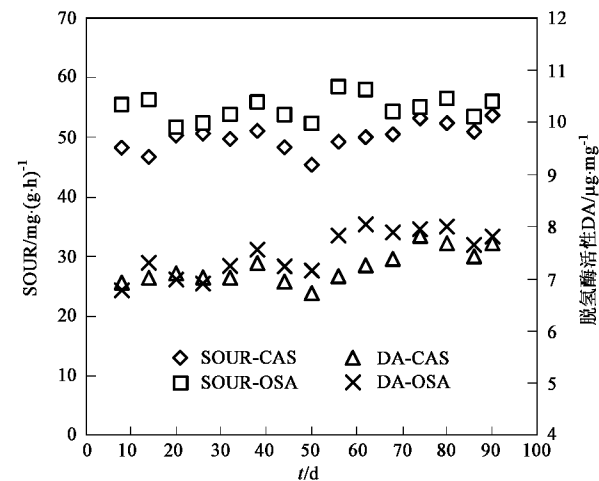


图 5 CAS 和 OSA 工艺中 SOUR、脱氢酶活性的变化关系
Fig.5 Variations of SOUR, dehydrogenase activity in CAS and OSA process

胞外多聚物与污泥性能有密切的关系, 影响活性污泥的结构和功能, 决定污泥絮体物化和生物性能^[11]. 因此直接测定胞外多聚物组分的差异, 也可

以确定 OSA 工艺中厌氧污泥池的插入对污泥性能的影响程度. 由图 6 可知, OSA 污泥胞外多聚物中蛋白质浓度高于 CAS 污泥 $1.69 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, OSA 污泥胞外多糖浓度为 $188.69 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 比 CAS 低 $6.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 这一差异也反映了 OSA 污泥厌氧影响污泥性能和微生物的代谢途径、微生物种群结构. 胞外多糖含量直接影响污泥沉降性能, 多糖含量升高, 污泥沉降性能下降. OSA 污泥胞外多糖浓度低于 CAS 污泥, 正好与 OSA 污泥沉降性能优于 CAS 污泥这一结果吻合, 进一步解释了 OSA 污泥沉降性能改善的原因. 此外, OSA 厌氧池污泥胞外多聚物中蛋白质浓度比剩余污泥高出约 $20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 多糖浓度约降低 $10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 证实 OSA 污泥胞外多聚物的变化和污泥沉降性能的改善直接受厌氧池污泥性能变化的影响.

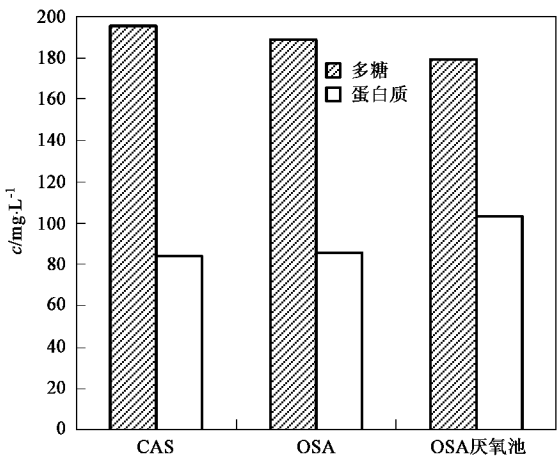


图 6 不同污泥胞外多聚物中蛋白质和多糖浓度
Fig.6 Concentration of protein and extracellular polysaccharide in different sludge

2.3 系统抗冲击负荷效果

2.3.1 温度波动对系统的影响

试验过程中温度冲击主要是白天和黑夜之间的波动, 白天有空调, 室温约 $22 \sim 24^\circ\text{C}$, 水温平均在 24.6°C 左右, 晚上停空调, 加上顶楼日晒造成的室温升至 $34 \sim 36^\circ\text{C}$, 水温上升至 $32 \sim 33^\circ\text{C}$, 昼夜温差达到 $7 \sim 8^\circ\text{C}$, 影响微生物正常的生理代谢, 造成系统处理效果受到较大影响, 水质变化情况见图 7 所示.

图 7 表明, 在温度波动过程中, 2 种工艺 COD 去除效率均下降, SS 上升, 出水氨氮浓度迅速超过进水氨氮浓度, 但 CAS 工艺对温度的冲击更为敏感, 受影响程度更大. 实验过程中控制温度恒定在 28°C 后, CAS 工艺 COD 去除效率开始回复, 出水 SS 下降, 出水氨氮浓度逐渐下降. 约经过 12 d 恢复, COD

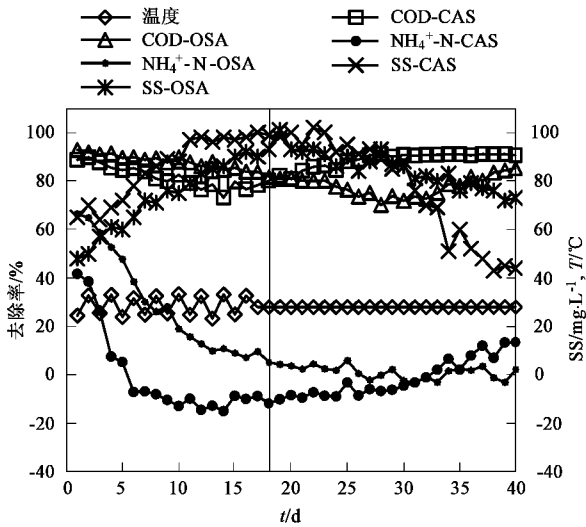


图7 CAS 和 OSA 中温度波动和恢复过程 COD、氨氮和 SS 的变化

Fig.7 Effect of fluctuation and invariableness of temperature on COD, NH_4^+ -N, SS

去除效率达到 90% 以上,出水 SS 下降至 $70\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,系统硝化性能恢复较慢,经过 24 d 后,氨氮去除率约为 10%,但此时出水 SS 为 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,完全恢复至受冲击前的状态.与 CAS 工艺相比,OSA 系统对温度波动的影响略滞后,但温度恒定在 28°C ,系统恢复也很慢,经过 24 d 恢复,COD 去除效率恢复至 85%,出水 SS 为 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,氨氮基本没有去除.这主要可能是由于 OSA 系统厌氧-好氧相结合,微生物种群结构相对较丰富,不易受环境因素的影响,但一旦系统内部生态系统受到破坏后,就很难恢复.实验证实,2 个星期温度波动对系统的冲击,OSA 系统经过 38 d 恒定温度下运行后才完全恢复正常.

温度波动时,2 个系统的污泥沉降性能都没有显著变化,但外观都由原来的灰黑色密实型絮体变为土黄色疏松絮体,污泥产率 $Y_{(\text{MLSS}/\text{COD})}$ 分别下降至 $0.403\text{ mg}\cdot\text{mg}^{-1}$ 和 $0.227\text{ mg}\cdot\text{mg}^{-1}$.污泥产率下降可能主要是由于温度波动,使得不能适应的微生物死亡和部分污泥发生腐蚀.温度波动时系统 COD、氨氮的去除率显著下降,SS 升高也证实了这一点.一方面微生物死亡,使得系统处理效率下降;另一方面死亡的有机体释放出有机物和氨氮,增加了系统负荷,使得 COD 和氨氮去除率下降.

2.3.2 对硝基苯酚对系统冲击的影响

芳香族硝基化合物是合成染料、农药、炸药等重要原料,城市污水中混入这类物质可以使污水处理

系统遭受冲击.本试验考察了 CAS 和 OSA 系统抗硝基苯酚冲击的效果.

图 8 表明直接加硝基苯酚浓度至 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,2 种工艺 NH_4^+ -N 和 TP 的去除效果都受硝基苯酚的冲击较大,随着硝基苯酚浓度增加,2 个系统硝化、除磷能力完全消失,而且出水中氮、磷浓度超过进水浓度,但硝基苯酚完全被降解.结果表明,硝化菌、聚磷菌这一类微生物对硝基苯酚的毒性非常敏感,另外硝基苯酚的毒性使得系统内部分微生物死亡,释放出氮磷,导致最终出水氮磷浓度升高. OSA 和 CAS 工艺 COD 去除效率在硝基苯酚浓度为 $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,下降至 70% 左右,出水硝基苯酚分别为 $18\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $31\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.而文献[12]报道以浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 PNP 作为解偶联剂,刚加入反应器时,COD 去除率从 97.2% 突然下降至 40% 左右,经过一段时间适应后才回升至 68.5%.这与试验结果基本吻合,本试验只考察 PNP 对系统冲击的影响. OSA 和 CAS 在抗毒性物质冲击方面没有显著差异. OSA 和 CAS 2 种污泥在遭受对硝基苯酚浓度为 $25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 冲击后,CAS 污泥经过 18 个周期运行后,基本恢复;而 OSA 污泥需要经过 42 个周期后,系统去除效果才开始恢复.

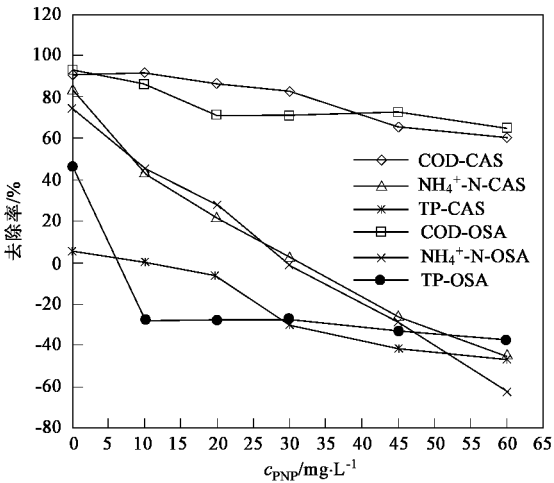


图8 不同 PNP 浓度对 CAS 和 OSA 工艺 COD、 NH_4^+ -N、TP 去除效果的影响

Fig.8 Effect of PNP concentration on removal of COD, NH_4^+ -N, TP in CAS and OSA

3 讨论

试验结果表明,OSA 工艺不仅使有机物去除效果得到改善,同时具有一定的脱氮除磷效果.这主要是由 OSA 工艺中厌氧池的特征决定.污水进入 OSA

系统,在好氧池中被微生物充分降解,经沉淀后出水.部分污泥经沉淀池浓缩后,进入厌氧池,污泥浓度高达 $8 \sim 12 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 基质浓度很低 ($\text{COD} < 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 污泥在厌氧池中的停留时间长达 $8 \sim 16 \text{ h}$. 污泥厌氧过程中,好氧微生物处于饥饿状态,主要依靠体内贮存的能量维持代谢.进入基质充足的环境中,就能充分吸收有机物进行正常代谢.这种饥饿厌氧-营养充足好氧交替,促进微生物对有机物的利用和代谢,同时也使污泥中微生物种群丰富.随污泥进入厌氧池的硝酸盐,在缺氧条件下,反硝化菌利用厌氧过程中释放的内源 COD 进行反硝化脱氮. OSA 工艺总氮的去除优于 CAS 工艺,也证实了缺氧内源反硝化现象.在外源有机物匮乏的条件下,污泥厌氧过程中由于微生物的解体或吸附于污泥上的颗粒物水解,释放的有机物,水解酸化,被聚磷菌利用作为厌氧释磷过程中的碳源.虽然在污泥长时间厌氧过程中微生物出现内源放磷现象,导致厌氧后磷浓度反而升高,但 OSA 系统出水中磷的去除率达 63.43%, 存在部分有效厌氧释磷-好氧吸磷,使得系统具有一定的生物除磷效果. Chudoda 等^[3]报道在 OSA 系统中存在 50% ~ 60% 慢速生长的聚磷菌. Chen 等^[13]没有发现明显的好氧吸磷现象,认为不存在聚磷菌,与本试验结果不一致.因此 OSA 系统中是否存在聚磷菌,还需要通过荧光原位杂交、DGGE 等分子生物学方法进一步证实.总的来说,OSA 系统脱氮除磷效果很有限,这一方面是由于反硝化、厌氧释磷的可生物利用的碳源有限;另外好氧硝化产生的部分硝酸盐也同时随污泥进入厌氧池,有机物优先用于反硝化而抑制厌氧吸磷,生物除磷效果受到影响^[14].

OSA 工艺厌氧-好氧、饥饿-营养充足的交替,刺激不同代谢途径的各类微生物生长.长时间污泥浓缩厌氧,吸附于污泥絮体的颗粒物及胞外多聚物中的多糖等物质水解酸化,使细胞间黏度降低,沉降性能得以改善.但从温度和硝基苯酚对系统的影响也可以看出,OSA 系统微生物种群结构丰富,一些慢速生长的微生物受到影响后,很难恢复.

4 结论

(1) OSA 工艺 COD 的平均去除率略高于 CAS 工艺, OSA 工艺 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率比 CAS 工艺低 6%, 但 TN 和 TP 的去除率分别要比 CAS 工艺高出 42.58% 和 53.84%.

(2) OSA 和 CAS 工艺每 100 g 干剩余污泥中以生物形式结合的磷分别为 2.69 g 和 1.11 g, 证实了

OSA 工艺具有生物除磷功能.

(3) OSA 工艺中厌氧污泥池有助于改善系统的沉降性能,提高污泥活性. OSA 污泥的比好氧速率 (SOUR) 和脱氢酶活性分别比 CAS 高出 10% 和 3.67%.

(4) 与 CAS 工艺相比, OSA 系统对温度波动的影响略滞后,但一旦系统内部生态系统受到破坏后,恢复需要更长的时间. OSA 系统更容易受对硝基苯酚的冲击,恢复所需的时间也更长.

参考文献:

- [1] Liu Y, Tay J H. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process [J]. *Biotechnology Advances*, 2001, **19**: 97 ~ 107.
- [2] Wei Y S, Van Houten R T, Borger A R, *et al.* Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment [J]. *Water Research*, 2003, **37**: 4453 ~ 4467.
- [3] Chudoba P, Chudoba J, Capdeville B. The aspect of energetic uncoupling of microbial growth in the activated sludge process: OSA system [J]. *Water Sci Technol*, 1992, **26**: 2477 ~ 2480.
- [4] Saby S, Djafer M, Chen G H. Effect of low ORP in anaerobic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anaerobic activated sludge process [J]. *Water Research*, 2003, **37**: 11 ~ 20.
- [5] Liu H, Fang H H P. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges [J]. *Journal of Biotechnology*, 2002, **95**: 249 ~ 256.
- [6] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. *Analytical Chemistry*, 1956, **28**: 350 ~ 356.
- [7] Frølund B, Griebe T, Nielsen P H. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1995, **43**: 755 ~ 761.
- [8] 刘雨, 赵庆良, 郑兴灿. 生物膜法污水处理技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 105 ~ 108.
- [9] Spain J C, Gibson D T. Pathway for biodegradation of *p*-nitrophenol in a *Moraxella* sp. [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1991, **57**: 812 ~ 819.
- [10] Liu Y, Lin Y M, Tay J H. The elemental compositions of P-accumulating microbial granules developed in sequencing batch reactors [J]. *Process Biochemistry*, 2005, **40**: 3258 ~ 3262.
- [11] Neyens E, Baeyens J, Dewil R, *et al.* Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, **106**(B): 83 ~ 92.
- [12] Low E W, Chase H A, Milner M G, *et al.* Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process [J]. *Water Research*, 2000, **34**(12): 3204 ~ 3212.
- [13] Chen G H, An K J, Saby S, *et al.* Possible cause of excess sludge reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process) [J]. *Water Research*, 2003, **37**: 3855 ~ 3866.
- [14] Metcalf, Eddy Inc. 废水工程: 处理与回用 [M]. (第四版). 北京: 清华大学出版社, 2003. 626 ~ 627.