

双污泥 诱导结晶工艺的脱氮除磷特性研究

徐 微^{1,2}, 吕锡武¹, 蒋 彬¹

(1 东南大学 环境工程系, 江苏 南京 210096 2 安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘 要: 针对传统脱氮除磷技术在处理低碳源生活污水上的不足及回收污水中磷的必要性, 开发了一种双泥系统与诱导结晶相结合的脱氮除磷工艺。为考察工艺的运行特性, 开展了连续流试验, 装置进水流量为 15 L/h, 采用人工模拟生活污水。分析了连续流工艺对氮、磷的去除效果与机制, 结果表明: 系统实现了对大部分碳源的“一碳两用”, 对 TN、TP 均表现出了稳定且良好的去除效果, 出水 TN、TP 浓度符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准; 结晶单元的引入使出水 TP 浓度的稳定达标得到了进一步保证, 同时实现了磷的回收, 平均回收率达到 74.9%, 该单元对 TP 的去除起主要作用。

关键词: 诱导结晶; 磷回收; 脱氮除磷; 双污泥系统

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2010)21-0005-04

Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Removal by Combined Process of Two-sludge System and Induced Crystallization

XU Wei^{1,2}, LV Xiwu¹, JIANG Bin¹

(1 Department of Environmental Engineering, Southeast University, Nanjing 210096 China; 2 Resources and Environment College, Anhui Agricultural University, Hefei 230036 China)

Abstract Based on the deficiency of traditional nitrogen and phosphorus removal technology in treatment of domestic sewage with low carbon source and the necessity for recovering phosphorus from sewage, the combined process of two-sludge system and induced crystallization was developed. To investigate the characteristic of the combined process, a continuous flow test was performed using artificially simulated sewage and the influent rate of 15 L/h. The removal efficiency and mechanism of nitrogen and phosphorus in the continuous flow process were analyzed. The results show that the double use of most of carbon source is achieved, and both TP and TN can be removed effectively. The effluent TP and TN can meet the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). By introducing the induced crystallization unit, the concentration of effluent TP can be ensured to meet the discharge, and phosphorus recovery is achieved with the average recovery rate of 74.9%. The induced crystallization plays a major role in TP removal.

Key words induced crystallization; phosphorus recovery; nitrogen and phosphorus removal; two-sludge system

基金项目: 江苏省太湖水污染治理科技专项 (BS2007114)

我国主要湖泊的氮、磷浓度严重超标,富营养化问题突出,迫切需提高现有城镇污水处理厂的氮、磷排放标准。 A^2O 等传统脱氮除磷工艺,由于自身存在的固有矛盾,其出水水质难以稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,因而亟待开发新型的污水脱氮除磷技术,以实现氮、磷的稳定达标排放。另一方面,在资源与能源日趋紧张的情况下,可持续发展概念下的水处理技术应该同时具有改善水质和实现污染物资源化、能源化的功能。磷是一种宝贵的资源,从污水中回收磷的必要性及可行性已经被广泛认可,但此方面的研究在我国仍处于起步阶段^[1~3]。

笔者针对传统脱氮除磷技术在处理低碳源生活污水上的不足及回收磷的必要性,将双污泥系统与诱导结晶相结合,以期在进行磷回收的同时,实现对污水的深度处理,强化脱氮除磷效果。

1 工艺流程

双污泥 /诱导结晶组合工艺如图 1 所示,将生物单元产生的富磷上清液部分或全部地引入诱导结晶反应器,在起到辅助生物单元除磷作用的同时,实现对磷资源的回收。

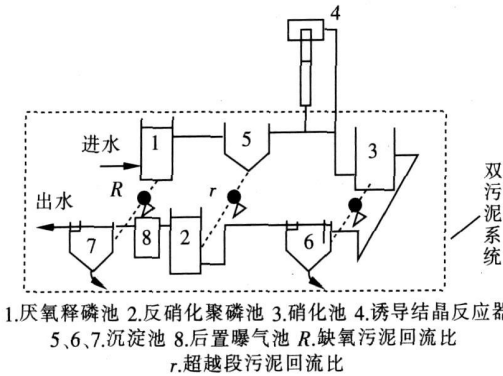


Fig 1 Schematic diagram of two-sludge / induced crystallization process

由于增加了磷的化学出口,与单一的生物除磷工艺相比,该工艺的聚磷菌污泥系统可保持相对长的污泥龄,从而减少污泥排放量。生物部分采用的双污泥工艺是典型的反硝化除磷工艺,可实现“一碳两用”^[4,5],因此可以使碳源最大限度地被用于厌氧释磷,从而发挥厌氧释磷的潜能,提高厌氧上清液的含磷量,有利于化学单元的磷回收;化学单元采用了流态化诱导结晶磷回收工艺,磷酸盐结晶在晶种上较易与水分分离,回收的产品容易被利用。

2 试验方法

2.1 运行参数

试验装置的进水流量为 15 L/h。双污泥系统的各反应器由 PVC 材料制成,结晶柱采用有机玻璃制成。运行参数:厌氧池、缺氧池、硝化池、后曝气池的停留时间分别为 5、5、10、2.4 h,厌氧池、缺氧池、硝化池、后曝气池的 MLSS 分别为 (2.10~2.70)、(2.19~2.72)、(1.10~1.47)、(2.19~2.72) g/L,污泥回流比和超越污泥回流比均为 35%,厌氧上清液进入结晶反应器的比率为 1/3。结晶反应器的 HRT 为 20 min, $[Ca^{2+}]/[PO_4^{3-}]$ 值为 (1.5~3):1。

2.2 试验水质

原水为模拟生活污水,水质见表 1(醋酸钠与葡萄糖提供的 COD 之比为 1:1),水温为 23~27℃。

表 1 原水水质

Tab 1 Raw wastewater quality

项 目	数值 / (mg · L ⁻¹)	药 品
COD	152~237	醋酸钠 / 葡萄糖
TP	3.05~7.97	磷酸二氢钾
TN	31.1~50.5	氯化铵、尿素
氨氮	23.4~49.7	氯化铵

2.3 双污泥系统的启动

以 SBR 方式分别培养反硝化聚磷菌 (DPB) 污泥及硝化污泥,DPB 污泥采用厌氧 /好氧诱导富集 PAOs(普通聚磷菌)、厌氧 /缺氧诱导富集 DPB、厌氧 /缺氧连续流强化 DPB 的三阶段培养方式^[6]。试验采用两个 SBR 同时培养 DPB 污泥,接种污泥分别来自南京城北污水处理厂与江宁开发区污水处理厂,硝化污泥取自无锡太湖新城污水处理厂。

3 结果与讨论

3.1 对 TP 的去除

连续流工艺对 TP 的去除效果见图 2。进水 TP 在 3.05~7.97 mg/L 之间,平均为 5.8 mg/L,出水 TP 为 0.07~0.51 mg/L,平均为 0.24 mg/L,达到了 GB 18918—2002 的一级 A 标准,对 TP 的平均去除率为 95.5%。

典型周期内 TP 浓度的沿程变化见图 3。可知,硝化池出水的 TP 浓度较厌氧池出水的有明显下降。这是因为硝化池进水为结晶单元出水与直接进入硝化池的厌氧上清液的混合液,结晶单元对 TP 具有去除作用,混合液的 TP 浓度必然低于厌氧上

清液的。相对于单一的双污泥工艺,结晶单元的引入使出水 TP 浓度的稳定达标得到了进一步保证。

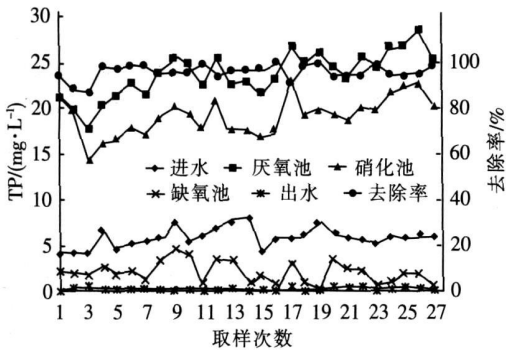


图 2 对 TP 的去除效果

Fig. 2 TP removal by combined process

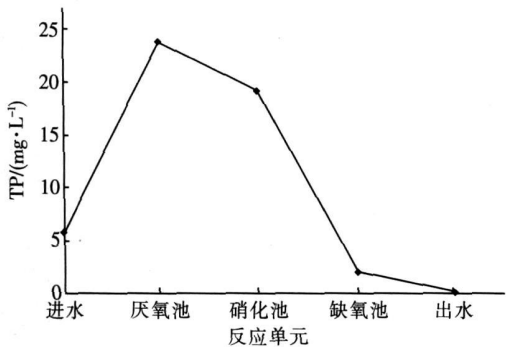


图 3 TP 浓度的沿程变化

Fig. 3 Profile of TP concentration along treatment process

3.2 磷回收效果

图 4 为结晶单元的除磷效果及对磷的回收率。

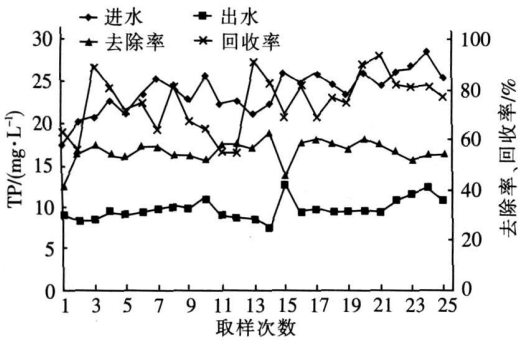


图 4 结晶单元的除磷效果及对磷的回收率

Fig. 4 TP removal and phosphorus recovery rate by crystallization reactor

磷回收率的计算公式为:

$$r_{\text{reu}} = \frac{m r_{\text{ca}} p_{\text{sup-a}}}{p_0} \times 100\%$$
 (1)

式中 r_{reu} ——对磷的回收率

r_{ca} ——结晶单元的除磷率
 $p_{\text{sup-a}}$ ——厌氧上清液的磷浓度
 p_0 ——原水磷浓度
 m ——厌氧上清液进入结晶单元的比率

结晶单元的磷回收率直接反映了该单元对系统除磷的贡献率。结晶柱进水 TP 平均为 23.6 mg/L, 出水 TP 平均为 9.6 mg/L, 结晶单元对 TP 的平均去除率为 55.2%, 结晶单元的平均磷回收率约为 74.9%。结晶单元去除的 TP 量占总去除量的 78.4%, 其余的 21.6% 则为生物去除量, 表明结晶单元对 TP 的去除起主要作用。

试验用诱导结晶晶种为方解石加工碎屑, 平均粒径为 0.15 mm, 主要成分为碳酸钙, 外观呈白色, 扫描电镜能谱分析结果显示其表面主要含有 C、O、Ca 元素, 几乎不含磷元素; 运行 20 d 后晶种表面的 P、O、Ca 元素含量显著增多, KCnt 值的数量级明显提高, 说明经过 20 d 的诱导结晶后, 在晶种表面已经累积了大量的磷酸盐。同时观察到 C 元素的含量也显著增加, 可以推断有碳酸钙析出, 碳酸钙的析出意味着钙盐的浪费, 并降低磷的相对含量, 因此在今后有必要对碳酸钙析出的控制方法及条件做深入研究。结晶前后 Mg 元素的含量都较少, 从另一侧面说明几乎没有磷酸铵镁晶体析出。

3.3 对 TN 的去除

本工艺的生物部分采用了双污泥反硝化除磷工艺, 其“一碳两用”的特点使得进水碳源可最大限度地被用于厌氧释磷, 提高释磷上清液浓度以利于提高化学磷回收单元的反应效率。释磷所吸收的碳源被转化成 DPB 体内的 PHB, 在缺氧池可作为反硝化的碳源, 因此释磷越充分, 越有利于提高对 TN 的去除效果, 也就是说提高磷回收率与改善脱氮效果对释磷的要求是一致的。

经测定, 进水 TN 为 31.1~50.5 mg/L, C/N 值为 3.9~5.2 (平均为 4.6), 属于低 C/N 值污水。出水 TN 为 7.6~16.1 mg/L, 平均为 12.1 mg/L, 符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准, 达标率为 96%, 仅有一组不达标, 对 TN 的平均去除率为 71.3%。反硝化聚磷污泥系统消耗的 COD 占 COD 总去除量的 80.78%, 实现了对大部分碳源的“一碳两用”, 因此能同时获得较好的 TN、TP 去除效果。

(下转第 12 页)

间较短。若在膜表面进行扰动,则对改善膜表面的污染状况有一定的帮助,进而影响膜通量的变化。对于化学清洗,采用的清洗剂不同则清洗效果也存在差异,只有选择合适的清洗剂,才能在改善膜性能的同时,不加剧膜的劣化程度。

综上所述,正冲、浸泡对膜表面污染的清洗效果好,而反冲对膜孔及孔壁上污染的去除效果好,因此根据污染特性来选择恰当的清洗方法,可达到事半功倍的效果。

3 结论

① 在每个过滤周期之后进行水力清洗,能够在一定程度上改善膜过滤的性能,维持膜通量。

② 延长清洗时间,可提高膜通量(从 66% 增加到 70%);在过滤及清洗过程中增加曝气,也能使膜的通量有所恢复(从 59% 增加到 62%)。

③ 当以三氯化铁为混凝剂时,酸浸泡对表面污染状况的改善效果较好;与浸泡相比,碱反冲去除膜孔内污染的效果更好。

参考文献:

- [1] Tian Jiyu, Chen Zhonglin, Yang Yanling, *et al*. Consecr-

tive chemical cleaning of fouled PVC membrane using NaOH and ethanol during ultrafiltration of river water[J]. *Water Res* 2010, 44(1): 59–68

- [2] Kuzmenko D, Arkhangelsky E, Belfer S *et al*. Chemical cleaning of UF membranes fouled by BSA[J]. *Desalination* 2005, 179(1–3): 323–333
- [3] Lee S, Elimelech M. Salt cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranes[J]. *Water Res* 2007, 41(5): 1134–1142
- [4] Li Q, Elimelech M. Natural organic matter fouling and chemical cleaning of nanofiltration membranes[J]. *Water Sci Technol Water Supply* 2004, 4(5–6): 245–251
- [5] Liang Heng, Gong Weijia, Chen Jie, *et al*. Cleaning of fouled ultrafiltration (UF) membrane by algae during reservoir water treatment[J]. *Desalination* 2008, 220(1–3): 267–272

作者简介:刘百仓(1981–),男,黑龙江依安人,博士,讲师,主要从事给水与污水处理理论与工艺设计研究。

E-mail: bcli@scu.edu.cn

收稿日期:2010–07–12

(上接第 7 页)

4 结论

① 组合工艺对 TP 具有稳定的去除效果,出水水质符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918–2002)的一级 A 标准。相对于单一的双污泥工艺,结晶单元的引入使出水 TP 浓度的稳定达标得到了进一步保证。

② 结晶单元的平均磷回收率为 74.9%。其去除的 TP 量占系统总去除量的 78.4%,结晶单元对 TP 的去除起主要作用。

③ 反硝化聚磷污泥系统消耗的 COD 占 COD 总去除量的 80.78%,实现了对大部分碳源的“一碳两用”,因此能同时获得较好的去除 TN、TP 效果。进水 TN 为 31.1~50.5 mg/L,出水 TN 为 7.6~16.1 mg/L,平均为 12.1 mg/L,符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918–2002)的一级 A 标准。

参考文献:

- [1] Morse G K, Brett S W, Guy J A, *et al*. Review: Phosphor-

us removal and recovery technologies[J]. *Sci Total Environ* 1998, 212(1): 69–81

- [2] Battistoni P, de Angelis A, Pavan P. Phosphorus removal from a real anaerobic supernatant by struvite crystallization[J]. *Water Res* 2001, 35(9): 2167–2178
- [3] 荆肇乾,吕锡武. 污水处理中磷回收理论与技术[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(1): 29–32
- [4] 卢峰,杨殿海. 反硝化除磷工艺的研究开发进展[J]. 中国给水排水, 2003, 19(9): 32–34
- [5] Hu J Y, Ong S L, Ng W J, *et al*. A new method for characterizing denitrifying phosphorus removal bacteria by using three different types of electron acceptors[J]. *Water Res* 2003, 37(14): 3463–3471
- [6] 徐微,吕锡武,蒋彬. 反硝化聚磷污泥的培养驯化及关键参数研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(5): 5–8

作者简介:徐微(1977–),女,吉林梨树人,博士,讲师,主要从事水处理理论与技术研究。

E-mail: xuwe98@sina.com

收稿日期:2010–05–14