

利用活性污泥快速富集污水碳源的试验研究

刘宏波, 赵芳, 文湘华*

(清华大学环境科学与工程系, 环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:通过小试研究了活性污泥对城市污水中有机物的吸附特征, 分析了富碳污泥在静置沉降过程中对有机物的释放过程. 结果表明, 活性污泥能够快速吸附污水中的碳源, 约 10 min 左右即可完成对不溶性有机物的吸附, 对溶解性有机物的吸附过程较慢(约 30 min). 富碳污泥在进行静置泥水分离过程中, 存在有机物释放过程, 在 30 ~ 100 min 的静沉时间段, TCOD 的释放量约为 $11.44 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 60 ~ 150 min 的静沉时间段, SCOD 的释放量约为 $6.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. 同时, 以小试结果为依据, 建立了一套中试活性污泥富碳系统, 研究了连续运行模式下, 活性污泥对污水碳源和氮磷的吸附效果, 以及富碳活性污泥的沉降特性. 结果表明, 通过活性污泥的吸附作用, COD、TN 和 TP 的平均去除率可以分别达到 60%、10% 和 75%, 富碳污泥 SVI 为 $34.2 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$. 本研究结果的应用不但可以有效地回收污水中的碳源, 还可以减轻后续处理负荷, 起到稳定进水水质的作用, 有利于降低废水 C/N 值, 提高后续硝化处理效果.

关键词:活性污泥; 污水碳源; 快速吸附; 沉降性; 总 COD; 溶解性 COD

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)10-2999-05

Quickly Enrichment of Carbon in Wastewater by Activated Sludge

LIU Hong-bo, ZHAO Fang, WEN Xiang-hua

(ESPC State Key Joint Laboratory, Department of Environment Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Pilot tests were carried out to investigate the absorption characteristics of the carbon source in urban wastewater by activated sludge and to analyze the carbon release from the carbon absorbed activated sludge in the settling process. The results indicated that carbon in wastewater could be quickly enriched by activated sludge. The absorption process of indissolvable organic matter could be finished as shortly as less than 10 min, while the absorption process of the dissolved organic matter was relatively slow and should consume up about 30 min. Moreover, carbon release was observed in the settling process of enriched sludge. In the period of 30-100 min, the release amount of total COD (TCOD) was $11.44 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, while in the period of 60-150 min, the release amount of dissolved COD (SCOD) was $6.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Furthermore, based on the results of the bench-scale tests, a pilot-scale plant was built to investigate the absorption of carbon, nitrogen and phosphorus by activated sludge and the settleability of enriched sludge. The results indicated that under continuously operation mode, 60% of COD, 75% of TP and 10% of TN in the wastewater could be removed by the absorption of activated sludge, and the enriched sludge with SVI of $34.2 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ presented good settleability. Carbon enrichment by activated sludge could not only reclaim the carbon source in wastewater, but also reduce the loading of organic matter and give low C/N for the following nitrification unit and improving the nitrification efficiency.

Key words: activated sludge; carbon in wastewater; quickly absorption; settleability; TCOD; SCOD

活性污泥絮凝体是高度亲水的极性物质, 其絮凝体上的菌胶团对污染物有强烈的吸附性能, 当污染物与活性污泥絮凝体接触时, 污染物即被吸附^[1]. 目前, 国内外许多学者对于活性污泥吸附方面作了大量工作, 但主要是以去除水体中重金属^[2, 3]和难降解有机物^[4, 5]为主; 也有少量关于活性污泥吸附机制方面的研究, 如 Ren 等^[6]研究表明, 活性污泥的吸附过程可以分为吸热的不可逆性化学吸附和放热的可逆性物理吸附; 孔海霞等^[7]研究了活性污泥对不同对象的吸附效果, 结果表明活性污泥对可溶性有机物的去除率小于不溶性有机物的去除率.

现有生物脱氮除磷工艺都是采用的微生物混合

培养, 污泥中同时存在自养的氨氧化细菌、兼性异养细菌和聚磷细菌等不同功能的微生物种群^[8, 9]; 尤其是硝化菌具有不需有机碳源、生长速率低、世代期长和难富集的特性^[10], 常常造成系统硝化效果不稳定, 出水水质波动大等问题. 而在污水进行硝化处理前, 增加一个污泥吸附过程, 有利于将异养菌和硝化菌分离, 实现硝化菌的最大程度富集. 同时, 目前大部分脱氮除磷系统一般在前端设置厌氧段释

收稿日期: 2010-11-18; 修订日期: 2011-03-30

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07313); 国家博士后基金项目(20100480285); 科技部中法合作项目(S2011ZR0434); 清华大学自主科研计划项目(2010THZ02)

作者简介: 刘宏波(1980~), 男, 博士后, 主要研究方向为污水处理技术及设备的研发, E-mail: lewterme@126.com

* 通讯联系人, E-mail: xhwen@tsinghua.edu.cn

磷,此过程中大量的易降解碳源被耗用,由此会导致后续反硝化过程因缺少碳源而难以达到高效运行^[11],而利用活性污泥吸附、富集的碳源,可以回用于生物反硝化,缓解城市污水 C/N 低、碳源不足的问题。

本研究的目的是利用活性污泥快速富集进水中的碳源,实现污水中部分碳源与氮源的分离,一方面可以降低后续硝化处理单元中有机物负荷,增加硝化菌的富集程度,提高其硝化效果;另一方面可以回收污水中的碳源。本试验研究了活性污泥对进水碳源的吸附特征和效果,分析了富碳污泥在泥水分离过程中的碳源损失,探讨了连续运行模式下,活性污泥对碳源和氮磷的富集效果,以及富碳污泥的物理特征。

1 材料与amp;方法

1.1 试验用活性污泥

试验所用活性污泥取自一套自行设计的中试设备,此系统利用活性污泥快速吸附进水中的碳源,其污泥的理化性质如表 1 所示。活性污泥用于吸附试验前,首先用蒸馏水淘洗 3 遍,再用蒸馏水调整到合适的浓度,没有采用其它预处理措施,以保持活性污泥原有的特性。

表 1 活性污泥的主要理化性质

指标	MLSS /mg·L ⁻¹	MLVSS /mg·L ⁻¹	SVI /mL·g ⁻¹	f 值	DO /mg·L ⁻¹
平均值	3 684.65	1 655.00	43.23	0.45	≤0.50

1.2 试验污水

试验污水取自无锡市某污水处理厂的旋流沉沙池出水,污水的平均 COD、NH₄⁺-N、TN 和 TP 浓度分别为 597.5、24.9、40.1 和 9.38 mg/L。

1.3 试验方法

1.3.1 活性污泥对污水中碳源的静态吸附试验

采用静态小试试验研究活性污泥对污水中碳源的吸附过程。首先取定量活性污泥于 500 mL 锥形瓶中,加入蒸馏水,搅拌淘洗 3 遍;然后加入原污水,定容、密封、搅拌反应,测量锥形瓶内污泥浓度,计算生物量,并在一定的时间间隔,取一定体积的污泥混合液离心,测量其上清液中总 COD(TCOD)和溶解性 COD(SCOD),研究活性污泥对污水中有机物的吸附过程。

1.3.2 富碳污泥在静沉过程中对有机物的解吸试验

同样,采用静态小试试验研究吸附碳源后的活

性污泥(富碳污泥)在静沉过程中,对被吸附有机物的解吸过程。首先取一定量的活性污泥和一定有机物浓度的污水于 500 mL 量筒内,按照 1.3.1 节所述的方法,进行吸附反应 30 min。当吸碳过程结束后,对吸附碳源的活性污泥进行静置沉淀,实现泥水分离,并在一定的静沉时间间隔内,将量筒上清液全部取出,混合均匀,作为此时间段的水样,测量其 COD 浓度(COD_{exp}),并通过式(1)计算此时间段的 COD 浓度值(COD_{cal})。

$$\text{COD}_{\text{cal}} = \frac{\text{COD}_{\text{exp}} \times V_{\text{exp}} + \text{COD}_{\text{exp,last}} \times (500 - V_{\text{exp}})}{500} \quad (1)$$

式中, V_{exp} 为取样时量筒内的泥水混合液体积, $\text{COD}_{\text{exp,last}}$ 为上一时间间隔测量得到的 COD 浓度值。

1.3.3 利用活性污泥吸附污水中有机物的中试试验

采用一套中试试验装置,研究了活性污泥对废水中碳源的吸附效果。在连续运行模式下,污水进入吸附池,完成吸附反应后,进入沉淀池,实现泥水分离,上清液流入下一个处理单元,污泥大部分回流,少部分排出系统。吸附池污泥浓度保持在 3 000 mg·L⁻¹左右,吸附池 HRT 为 35 min, SRT 为 0.75 d,沉淀池 HRT 为 2.0 h;并通过监测进、出水中污染物浓度,评价活性污泥对污水中污染物的吸附效果。

1.4 分析项目与方法

用于监测污水和污泥特征的分析项目和方法主要包括:SS、MLSS、VSS 采用称重法测定;TCOD、SCOD 测定用标准重铬酸钾法;总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法;总磷采用钼锑抗分光光度法^[12]。

2 结果与amp;讨论

2.1 活性污泥对污水碳源的吸附特征

当温度为常温(20℃),MLSS 为 2 413 mg·L⁻¹时,活性污泥对污水中 TCOD 和 SCOD 的去除过程如图 1 所示,可见,污水中 TCOD 和 SCOD 浓度都是快速下降,约 30 min 后趋于稳定,在约 90 min 处,还有一定程度的升高,说明活性污泥对污水中碳源的去除遵循“二阶段”降解理论^[13],即先快速将污染物吸附于其表面,然后再解吸与降解。同时,从 TCOD 和 SCOD 浓度的变化曲线来看,SCOD 浓度的稳定需要消耗更长的时间,说明活性污泥对悬浮态的有机物吸附速度较快,约 10 min 左右就能完成吸附,而对溶解性有机物吸附速度稍慢,但在 30 min 时,也基本上完成了吸附过程。因此,在利用活性污泥去除或回收污水中碳源

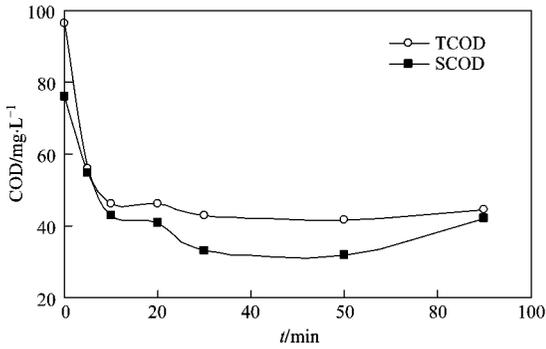


图1 活性污泥对污水中碳源的吸附特征

Fig.1 Characteristics of the absorption of carbon by activated sludge

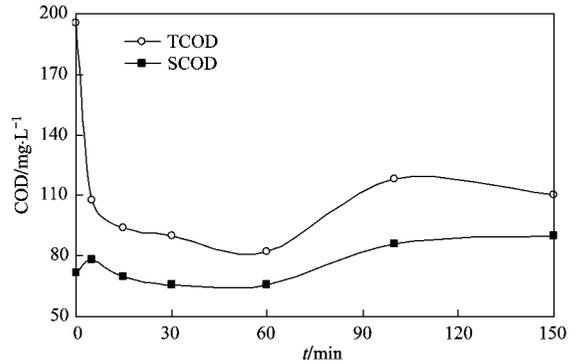


图2 富碳污泥静沉过程中 TCOD 和 SCOD 的释放情况

Fig.2 Release of TCOD and SCOD in the settling process of absorbing-carbon sludge

时,最佳的处理时间应该是 30 min 左右。

2.2 富碳污泥在静沉过程中对被吸附有机物的释放

活性污泥快速吸附污水碳源后,还需进一步处理或再生,因此需要对泥水混合物进行分离,而静置沉淀是最经济、高效的方法之一,所以研究富碳污泥在静置沉降过程中,对有机物的释放过程,为评价利用活性污泥去除污水碳源的可行性和高效性具有实际意义,同时也为确定富碳污泥的最佳分离时间提供理论依据。

当温度为常温(20℃),MLSS 为 3 845 mg·L⁻¹,碳源吸附反应时间为 30 min 时,完成吸附反应后的富碳污泥在静沉过程中,对 TCOD 和 SCOD 的释放过程如图 2 所示。可见,在静置过程中,上清液中的 TCOD 首先快速下降,这主要是由于上清液中泥水进一步分离的结果;当静沉 30 min 后,上清液中的 TCOD 开始上升,这主要是污泥对被吸附有机物的释放,在 100 min 左右,有机物释放量达到最大。结合活性污泥量,可以计算出富碳污泥在 30~100 min 的静沉时间段,TCOD 的释放量约为 11.44 mg·g⁻¹,且由式(2)可得,活性污泥在静沉过程中,释放的 TCOD 占总吸附量的 50% 左右,所以,控制适当的静沉分离时间也非常关键。富集碳源后的污泥在静沉过程中对 SCOD 的释放规律如图 2 所示。在静置分离前期,上清液中 SCOD 浓度还在继续下降,在约 50 min 时达到最小值,说明在前阶段,污泥在泥水分离过程中,污泥对污水中的 SCOD 还有一定的吸附作用;之后,上清液中的 SCOD 浓度开始快速上升,在 120 min 后,上升速度趋于缓慢,说明污泥对溶解性有机物存在一定的释放作用,在 60~150 min 的静沉时间段,SCOD 的释放量约为 6.24 mg·g⁻¹。

$$P = \frac{\rho_{\text{起始COD}} - \rho_{\text{最低COD}}}{\rho_{\text{释放最高COD}} - \rho_{\text{最低COD}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, P 为 COD 释放量在吸附量中所占的比例, $\rho_{\text{起始COD}}$ 为添加的原水总 COD 量除以反应液体总体积, $\rho_{\text{最低COD}}$ 和 $\rho_{\text{释放最高COD}}$ 分别为富碳污泥释碳过程中,上清液中 COD 浓度的最低值和最高值。

2.3 活性污泥对污水中污染物的长期吸附效果

2.3.1 对有机物的长期吸附效果

当温度为常温(20℃),吸附反应时间为 35 min,富碳污泥沉降时间为 2.0 h,连续运行模式下,活性污泥对污水中碳源的吸附效果如图 3 所示,可见,进水 COD 波动较大,但吸附池出水 COD 浓度比较稳定,COD 平均去除率达到 60% 左右,且随着进水 COD 浓度的提高,吸附池出水没有明显变化,说明吸附池对有机物的吸附容量较大,减轻了后续处理单元的有机负荷,稳定了进水水质。

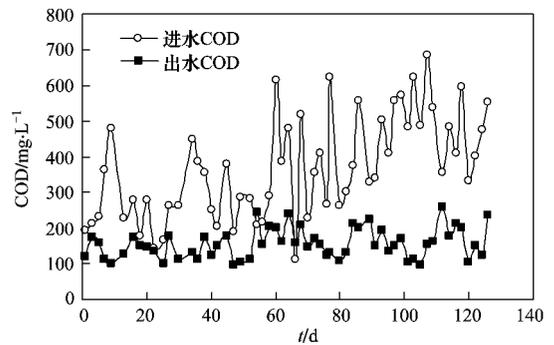


图3 活性污泥对有机物的吸附效果

Fig.3 Absorption of carbon source in wastewater by activated sludge

2.3.2 对氮、磷的长期吸附效果

在连续运行模式下,活性污泥对污水中氮磷的吸附效果分别如图 4 和图 5 所示,可见,活性污泥对氮的吸附效果较差,平均 TN 去除率仅 10% 左右;而

对磷的吸附效果较好,进水总磷浓度较大,且逐渐提高,但出水总磷变化不大,平均去除率为 75% 左右,这可能是因为活性污泥更易吸附不溶性污染物,而污水中氮主要以溶性的氨氮为主,而磷以不溶性的有机磷为主。

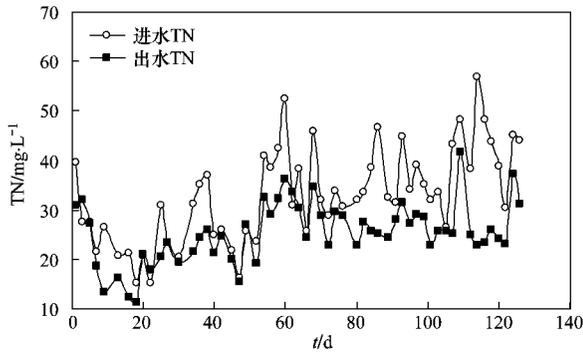


图 4 活性污泥对氮的吸附效果

Fig. 4 Absorption of nitrogen in wastewater by activated sludge

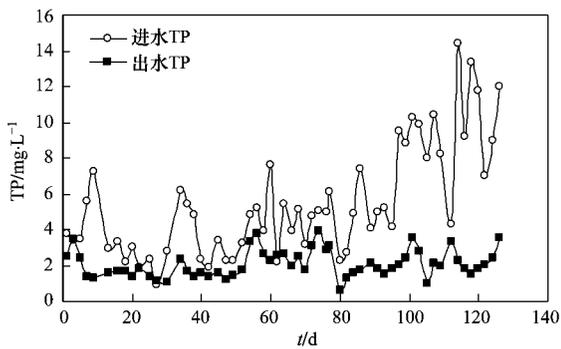


图 5 活性污泥对磷的吸附效果

Fig. 5 Absorption of phosphorus in wastewater by activated sludge

2.3.3 富碳污泥的沉降性能

活性污泥在吸附池内完成碳源吸附后,进入沉淀池进行泥水分离,分离后的富碳污泥,一部分通过回流泵回流至吸附池;另一部分通过排泥泵连续排入污泥水解池,以回收碳源,且排泥体积可通过吸附池内污泥浓度来调节.连续运行模式下,吸附池内 MLSS 和 SVI 值随时间的变化情况如图 6 所示.可见吸附池内污泥浓度变化较大,这主要是受进水中 SS 含量的影响,但大部分时间能够稳定在 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右.同时,污泥的沉降性较好,比较稳定,平均 SVI 为 $34.2 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$,这为合理地控制富碳污泥的泥水分离时间提供了条件,有利于被富集碳源的回收和富碳污泥的回流。

3 结论

(1) 活性污泥能够快速吸附污水碳源,且对不

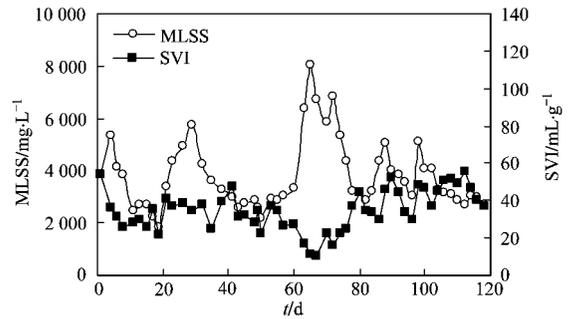


图 6 富碳污泥的浓度和沉降性能

Fig. 6 Changes of MLSS and SVI in the absorbing tank

溶性有机物的吸附速度较溶解性有机物快,污水中 TCOD 和 SCOD 浓度能够分别在 10 min 和 30 min 内达到最低值。

(2) 富碳污泥在静沉过程中,对有机物有一定的释放.在静沉的前 30 min 左右,污水中的 COD 呈下降趋势,之后,有部分碳源被释放,且 SCOD 的释放过程较 TCOD 迟缓,在 30 ~ 100 min 静沉时间段,TCOD 的释放量约为 $11.44 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,60 ~ 150 min 的静沉时间段,SCOD 的释放量约为 $6.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,说明在利用活性污泥富集污水碳源时,需选择合适的泥水静沉时间。

(3) 当吸附反应时间为 35 min,连续运行模式下,活性污泥对污水中 COD 的吸附率为 60% 左右,对氮和磷分别为 10% 和 75%.说明利用活性污泥的快速吸附作用,可以实现污水中部分碳源与氮源的分离.同时,富碳污泥表现出良好的沉降性能,为合理地控制富碳污泥的泥水分离时间提供了条件。

参考文献:

- [1] 曾国驱,肖晓科,贾宗剑. 活性污泥吸附预处理重油裂化制气废水[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(4): 55-57.
- [2] Julien L, Magali C, Christophe D. Heavy metals uptake by sonicated activated sludge: Relation with floc surface properties [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 162: 652-660.
- [3] Mehmet K, Mustafa E K, Süleyman M, et al. Hg(II) and Pb(II) adsorption on activated sludge biomass: Effective biosorption mechanism [J]. International Journal of Mineral Processing, 2008, 87: 1-8.
- [4] Marco N M, Maria J M, Francisco J B. A comparative study of the adsorption of humic acid, fulvic acid and phenol onto *Bacillus subtilis* and activated sludge [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 149: 42-48.
- [5] Basibuyuk M, Forster C F. An examination of the adsorption characteristics of a basic dye (Maxilon Red BL-N) on to live activated sludge system [J]. Process Biochemistry, 2003, 38: 1311-1316.
- [6] Ren Y X, Nakano K, Nomura M, et al. A thermodynamic

- analysis on adsorption of estrogens in activated sludge process [J]. *Water Research*, 2007, **41**: 2341-2348.
- [7] 孔海霞,袁林江,王晓昌. 活性污泥对污水中有机物、铵和磷酸盐的生物吸附试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2007, **5**(39): 735-740.
- [8] 张波. 生物脱氮除磷工艺系统的几个重要问题[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1998, **19**(1): 1-2.
- [9] 郭劲松,黄天寅,龙腾锐. 生物脱氮除磷工艺中的微生物及其相互关系[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, **1**(1): 8-15.
- [10] 李勇,吕炳南,黄勇. 改进 A²/O 法的设想[J]. 中国给水排水, 2001, **17**(8): 31-33.
- [11] Foglar L, Briski F. Wastewater denitrification process-the influence of methanol and kinetic analysis [J]. *Process Biochemistry*, 2003, **39**(1): 95-103.
- [12] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. (第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [13] 高廷耀,顾国维. 水污染控制工程 [M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 1999.