第34卷 第9期 北京工业大学学报 Vol.34 No.9
2008年 9月 JOURNAL OF BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Sept. 2008

初沉污泥水解酸化对 A^2/O 工艺强化除磷影响

吕 鑑[1], 赵永志[1,3], 王佳伟[2], 周 军[2], 王洪臣[2], 张成惠[1], 张 莉[1]
(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022; 2. 北京城市排水集团有限责任公司工程咨询公司, 北京 100022;
3. 北京环境卫生工程集团有限公司, 北京 100067)

摘 要: 挥发性脂肪酸(VFA)是生物除磷过程中的关键物质,增加进水中的 VFA 可以强化生物除磷效果. 提高脂肪酸含量的一个有效方法是对初沉污泥进行水解和酸化,通过对比中试试验和实际污水厂的运行结果,详细讨论了初沉污泥水解对进入生化反应系统的进水水质及 ρ(VFA)、ρ(C):ρ(P)的影响. 结果表明,初沉污泥水解酸化可以改善进水水质, ρ(BOD5)、ρ(CODcr)、ρ(TP)、ρ(SP)、ρ(SS)相对污水厂初沉出水分别提高 61.1%、36.5%、36.1%、17.36%和 52.0%,可生物化性指标也相应地提高了 20.40%. 初沉出水 VFA 有显著提高,平均值由进水的 12 增加到 56,提高了 3.7 倍,为后续强化生物脱氮除磷创造了理想的条件. 通过初沉污泥水解实现的污泥水解技术,可用于现有污水处理厂为实现生物脱氮除磷目标而实施的升级改造,解决进水中碳源不足的难题.

关键词: 初沉污泥; 水解酸化; A^2/O 工艺; VFA
中图分类号: X 52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0254 - 0037(2008)09 - 0981 - 05

对于生物除磷以及反硝化过程,VFA 的存在是反应正常进行的一个重要条件. 提高低脂肪酸含量的一个有效方法是对初沉污泥进行水解和酸化[1]. 经过水解和酸化,初沉污泥中的一部分碳水化合物、蛋白质和类脂(长碳链)等将转化为简单的脂肪酸,如醋酸盐、丙酸盐和丁酸盐等[2]. 这些溶解性的水解产物是生物除磷和反硝化过程的良好底物. 在城市污水中颗粒态有机物(占污水 COD 组成的 60%)可通过沉淀去除,其中一般初沉池对其去除率可达 60%[3]. 这些颗粒态有机物再加上初沉池中的脂肪、蛋白质等就构成了大量的有机碳源,如果能将这些慢速降解有机碳源的一部分转化为快速降解碳源再投加到污水中,则该部分转化来的快速有机碳源将使污水的生物除磷脱氮效率大大提高[4]. 基于这一设想,有些污水处理厂设立初沉污泥发酵池,利用发酵池上清液来补充原水 VFA 含量,取得了一定的成果[5-6]. 吴一平等[7]以初沉污泥厌氧水解/酸化产物为反硝化的碳源,进行了脱氮效果的试验研究,并和其他碳源的脱氮速率进行了比较,结果表明,初沉污泥水解/酸化产物的脱氮速率比城市污水、初沉污泥中碳源的脱氮速率分别高出 2 倍和 11 倍,也比外加甲醇提高约 1/3. 因此初沉污泥水解/酸化产物是生物脱氮除磷系统经济有效的可替代快速碳源.

国内外很多学者对利用污泥循环产酸作为生物可利用碳源进行了研究,取得了一定进展,但上述研究大多基于小试试验或 SBR 试验,对于中试或生产性试验尚无深入报导. 本文通过中试试验和生产实际,系统分析了初沉污泥水解对水质指标的影响,详细论述了初沉污泥水解对进入生化反应系统的 ρ(VFA)、ρ(C):ρ(P)的影响以及对强化生物除磷的影响,以期对污水厂升级改造提供实用技术.

1 试验装置及方法

1.1 试验原理和装置

沉积在初沉池底部的污泥由于适宜的厌氧环境和存在一定的水解细菌,把初沉污泥中的一部分碳水

收稿日期: 2007-04-06.
基金项目: 国家"十五"重大科技专项"水污染控制技术与治理工程"资助项目(2004AA601010)
作者简介: 吕 鑑(1952 -), 男, 江苏南京人, 教授.

化合物、蛋白质和类脂(长碳链)等将转化为简单的脂肪酸,如醋酸盐、丙酸盐和丁酸盐等易挥发性脂肪酸(VFA). 通过初沉污泥水解把这些 VFA 释放到水当中,进入厌氧池,促进厌氧释磷. 试验设计的初沉污泥水解装置如图 1 所示.

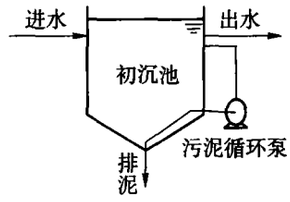

图 1 初沉污泥水解示意图

Fig.1 The experimental configuration of primary sludge fermentation

1.2 实验条件和方法

进水采用北京某污水厂初沉池进水. 初沉池为竖流式沉淀池进行污泥循环,污泥循环方式采用污泥泵进行,循环量控制在进水的 30% 左右,运行工况如表 1 所示. 中试日处理量 144 m^3/d,对比考察地为该污水厂一个初沉池出水,日处理量为 25 000 m^3/d.

表 1 初沉污泥水解工况

Table 1 Operation parameters of primary sludge hydrolysis

项目	V/m^3	ρ(排泥)/(mg·L^{-1})	污泥含固率/%	T_{HR}/h	T_{SR}/d	T/℃(14:00/22:00)
工况Ⅰ	42	28 600	2.6~3.0%	5	2.5~2.7	19.8/20.5
工况Ⅱ	42	31 000	2.8~3.2%	5	2.5~2.7	19.0/19.4

表中,工况Ⅰ的运行时间为 4 月 1 日至 5 月 30 日,工况Ⅱ的运行时间为 8 月 14 日—11 月 30 日

1.3 分析方法

检验分析方法采用国家规定的标准方法[8],$\rho(BOD_5)$、$\rho(COD_{Cr})$、ρ(TP)、ρ(SP)、ρ(SS)、ρ(VFA)采用 5 点 pH 值滴定法[9](浓度以乙酸计,单位为 mg/l). 检测频率:$\rho(BOD_5)$、$\rho(COD_{Cr})$、ρ(SP)、ρ(TP)、ρ(SS)每天 1 次,ρ(VFA)起初 2 个月(4—5 月份)每隔 3 d 检测 1 次出水考察污泥水解情况,后期根据初沉泥位控制情况,灵活检测.

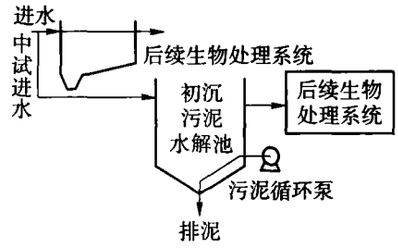

图 2 实验流程图

Fig.2 The experimental flow chart

2 结果与分析

2.1 初沉出水碳源及磷成份分析

运行期间,初沉出水 ρ(TN)一直控制在 15 mg/L 以下,达到城镇污水处理厂污染物排放标 GB18918—2002 一级 A 对氮的要求,因此本文重点考察对磷的影响,强化生物除磷以期实现氮磷双达标. 由表 1 可以看出,由于初沉污泥循环作用,把在沉淀池底部厌氧水解发酵的产物重新释放到水线中. $\rho(BOD_5)$、ρ(CODcr)、ρ(TP)、ρ(SP)、ρ(SS)相对污水厂初沉出水分别提高了 61.1%、36.5%、36.1%、17.36% 和 52.0%,可生物化性指标也相应提高了 20.40%. $\rho(BOD_5)$、ρ(CODcr)的增加主要是由于经过水解和酸化后,初沉污泥中的一部分难以生物降解的碳水化合物、蛋白质和类脂(长碳链)等转化为简单的脂肪酸,通过循环作用把脂肪酸释放到水线中,使出水 $\rho(BOD_5)$升高,从而有利于提高进入生化系统的 $\rho(C):\rho(N)$、$\rho(C):\rho(N)$. 增加的 ρ(TP)由于循环作用使本应沉降的颗粒态有机磷进入生化系统,对后续生物除磷效果影响较小. ρ(SS)的增加对后续生物处理不利,因此应尽可能低的控制出水 ρ(SS). 从表 2 的数据来看,跨越初沉池可以获得较高的 $\rho(C):\rho(P)$,但是与初沉污水水解相比,该方法不能提高进水的 ρ(VFA).

表 2　初沉池进出水组分质量浓度平均值分析

Table 2　The analyses of average components of primary effluent　　mg/L

项目	$\rho(BOD_5)$	$\rho(CODcr)$	$\rho(TP)$	$\rho(SP)$	$\rho(SS)$	$\rho(BOD_5/TP)$	$\rho(BOD_5/CODcr)$
污水厂初沉进水	271	553	6.99	3.90	433.4	38.8	0.49
污水厂初沉出水	126	255	4.74	3.86	105.4	26.6	0.49
中试初沉出水	204	348	6.45	4.53	160.2	31.6	0.59
中试比污水厂增加值	78	93	1.71	0.67	54.8	5	0.10
提高百分比/%	61.9	36.5	36.1	17.4	52.0	18.8	20.40

2.2　初沉出水 ρ(VFA)变化分析

在厌氧环境下，聚磷菌只能利用污水中的易生物降解物质，其他都要经水解/发酵后转化为乙酸等 VFA 后才能被聚磷菌利用[10]. 在除磷过程中，碳源主要消耗于释磷和异养菌正常代谢等方面，释磷速率与进水碳源中易降解的部分，尤其是与 VFA 的数量关系显著. 文献[11]解释为 VFA 可通过自由扩散、促进扩散、主动运输等方式进入细菌胞内，而对于其他长链碳源，则只能通过主动运输或基团转位方式进入胞内，故细菌更倾向于 VFA；若从生物代谢角度考虑，长链碳源代谢途径复杂，在较多情况下需要能源，而 VFA 可直接参加其产能反应，故微生物也更倾向于 VFA. 所以必须设法提高进水中的 VFA 占进水总碳源的比例以提高释磷速率和释磷量.

中试连续监测初沉进出水 ρ(VFA)情况，如图 3 所示. 每隔 3 d 检测 1 次出水 ρ(VFA)，考察污泥水解情况，后期根据初沉泥位控制情况灵活检测. 经水解酸化后，ρ(VFA)有显著提高，平均值由进水的 12 增加到 56，提高了 3.7 倍. 随着反应器(初沉池)的稳定运行，出水 ρ(VFA)始终稳定维持比进水提高 20～50 mg/L. ρ(VFA)的增加为强化生物除磷提供了有利条件，初沉污泥水解产生的 ρ(VFA)的质量浓度平均增加量约占初沉出水(中试)$\rho(BOD_5)$的 22%，$\rho(COD_{Cr})$的 13%左右.

2.3　ρ(C)∶ρ(P)变化情况分析

虽然经污泥循环后出水 ρ(TP)、ρ(SP)有所增加，但经实验证实不影响 ρ(C)∶ρ(P)的提高. 由图 4 可以看出，中试 ρ(C)∶ρ(P)比污水厂值有较大幅度提高，试验结果如表 2 所示. 8 月 14 号之后，起初一段时间运行控制不稳定，ρ(C)∶ρ(P)提高不明显，10 月 16 日经过调试修改后，达到最佳状态 ρ(C)∶ρ(P)提高明显.

图 5 是控制情况较好(10 月 18 之后)，经初沉污泥水解后，进水 $\rho(BOD_5/TP)$同 ρ(SP)有较好的相关性，出水 ρ(SP)随着 $\rho(BOD_5/TP)$的升高而降低. 实验期间进水 ρ(TP)均值为 6.6 mg/L，$\rho(BOD_5/TP)$均

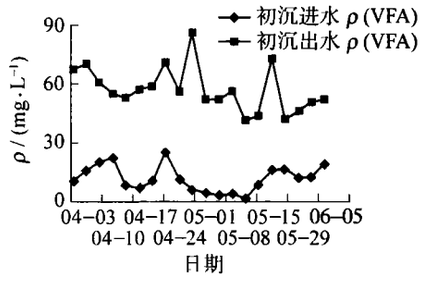

图 3　初沉进、出水 ρ(VFA)比较

Fig. 3　Comparision of the content of ρ(VFA) in the primary influent with primary effluent

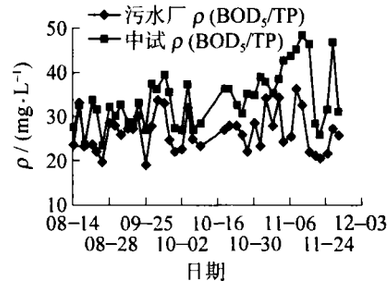

图 4　中试同污水厂初沉出水 ρ(C)∶ρ(P)对比

Fig. 4　Comparison of the C/P ratio in the pilot test primary effluent and the WWTP effluent

值为35.02,出水 ρ(SP)均值为1.23. 11月3日—11月13日期间运行控制理想,在此之间和之后的运行期间,ρ(BOD5/TP)和出水 ρ(SP)受运行控制的好坏而变化;$\rho(BOD_5/TP)$维持在45左右,二沉出水 ρ(SP)维持在0.50左右. 11月15日之后,由于污泥水解酸化控制不稳定,导致 $\rho(BOD_5/TP)$降低,出水 ρ(SP)升高.

图6是同期 $\rho(BOD_5/TP)$、厌氧末端 ρ(TP)、磷去除率相关关系. 厌氧末端 ρ(TP)随着 $\rho(BOD_5/TP)$的提高而提高,磷去除率也随之变化. 通过初沉污泥循环提高 $\rho(BOD_5/TP)$,使生物可利用碳源增加,厌氧释磷,磷去除率也相应提高. 在运行控制较好的11月3日—11月13日期间,$\rho(BOD_5/TP)$维持在45左右,厌氧释磷均值在39.34 mg/L,根据生物除磷原理,磷的厌氧有效释放是好氧吸磷的前提,厌氧释磷越多,好氧吸磷量也越多,出水 ρ(SP)均值在0.50左右,去除率在90%,达到了较好的除磷效果. 其他阶段 $\rho(BOD_5/TP)$及厌氧末端 ρ(TP)及出水 ρ(SP)受运行控制的稳定好坏而变化.

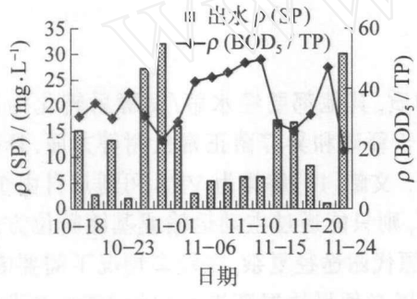

图5 中试进水 $\rho(BOD_5/TP)$同出水 ρ(SP)相关性分析

Fig.5 The analyses of influent $\rho(BOD_5/TP)$and effluent ρ(SP) in the pilot test

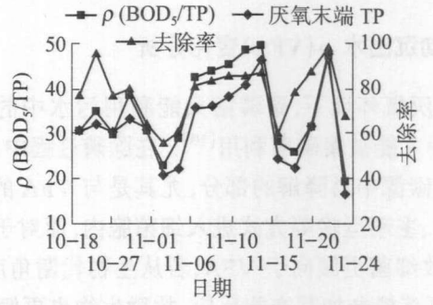

图6 中试进水 $\rho(BOD_5/TP)$、厌氧末端 ρ(TP)及磷去除率相关分析

Fig.6 The analyses of influent $\rho(BOD_5/TP)$, anaerobic ρ(TP) and P removal ratio

3 结束语

通过中试和生产实际考察了初沉污泥水解酸化对进水水质改善及磷去除的影响,结果表明,初沉污泥水解可以改善进水水质,$\rho(BOD_5)$、ρ(CODcr)、ρ(TP)、ρ(SP)、ρ(SS)相对污水厂初沉出水分别提高61.1%、36.5%、36.1%、17.36%和52.0%,可生物化性指标也相应提高了20.40%. 初沉出水ρ(VFA)有显著提高,平均值由进水的12增加到56,提高了3.7倍,为后续强化生物脱氮除磷创造了理想的条件. 通过初沉污泥水解实现的污泥水解技术,可用于现有污水处理厂为实现生物脱氮除磷目标而实施的升级改造,解决进水中碳源不足的难题.

循环后初沉出水 ρ(SS)的提高降低了初沉池在污水处理系统中的基本功能. 为了避免 ρ(SS)的提高对后续处理的影响,需在初沉污泥水解时,控制合理的回流比.

参考文献:

[1] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.

[2] 胡纪萃. 废水厌氧生物处理理论与技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2003.

[3] HENZE M, GUJER W, MINO T. Activated sludge model No.2nd, Asm 2d[J]. Water Research & Technology, 1999, 39(1): 165-182.

[4] ARAVINTHAN V, MINO T, TAKIZAWA S, et al. Sludge hydrolysate as a carbon source for denitrification[C]// 1st World Water Congress of the International Water Association (IWA) Conference Preprint Book3. Paris:[s.n], 2000: 146-153.

[5] KARIN J. Operational factors affecting enhanced biological phosphorus removal at the waste water treatment plant in Helsingborg[J]. Wat Sci Tech, 1996, 34(1/2): 67-74.

[6] 宋安宁，娄性义，韩芹. 新西兰罗托鲁阿污水处理厂的处理工艺[J]. 中国环保产业，2005(2)：42-43.
SONG An-ning, LOU Xing-yi, HAN Qin Treatment technology of rotorua sewage treatment plant in Newzealand[J]. China Environmental Protection Industry, 2005(2): 42-43. (in Chinese)

[7] 吴一平，刘莹，王旭东，等. 初沉污泥厌氧水解/酸化产物作为生物脱氮除磷系统碳源的试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版)，2004，36(4)：421-423.
WU Yi-ping, LIU Ying, WANG Xu-dong, et al. Products from primary sludge fermentation as a carbon source for denitrification and phosphorus removal[J]. Journal of Xi'an University of Architecture &Technology, 2004, 36(4): 421-423. (in Chinese)

[8] 国家环保总局. 水和废水分析监测方法[M]. 北京：中国环境科学出版社，2002.

[9] LAHAV O, LOEWENTHAL R E. Measurement of VFA in anaerobic digestion: the five point titration method revisited [J]. Water SA, 2000, 26(3): 389-392

[10] COMEAU Y. Biological model for enhanced phosphorus removal[J]. Wat Res, 1986, 20(12): 1511-1521.

[11] 张玲. 强化 AB 工艺脱氮除磷功能实验研究[D]. 青岛：中国海洋大学环境科学与工程学院，2003.
ZHANG Ling. Experimental study on the enhancement of nitrogen and phosphorous removal in AB process[D]. Qingdao: College of Environment Science and Engineering, Ocean University of China, 2003. (in Chinese)

Effects of Primary Sludge Hydrolysis on Enhanced Biological Phosphorous Removal in A_2/O Process

LÜ Jian[1], ZHAO Yong-zhi[1,3], WANG Jia-wei[2], ZHOU Jun[2], WANG Hong-chen[2], ZHANG Cheng-hui[1], ZHANG Li[1]

(1. College of architecture and civil engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. Beijing Drainage Group, Beijing 100022, China; 3. Beijing Environment Sanitation Engineering Group Co. Ltd., Beijing 100067, China)

Abstract: ρ(VFA) is a key factor in enhanced biological phosphorus removal process, and the effect of biological phosphorous removal can be improved with VFA increased in influent. The effects of primary sludge fermentation on the ρ(VFA)、ρ(C)∶ρ(P)in the biochemistry reaction system are discussed by comparing the results of pilot test and full scale plant. The results showed that primary fermentation can increase influent index such as $\rho(BOD_5)$, ρ(CODcr), ρ(TP), ρ(SP), ρ(SS) comparing the effluent from full scale plant primary sedimentation, separately increased, 61.1%、36.5%、36.1%、17.36%和 52.0%, also the biologic catabolism index improve 20.40%, and the technology especially in favor of the influent VFA , increased from 12 to 56, about3.7 times, enhance biological phosphorus and nitrogen removal to the biological system. The technology of sludge fermentation can be applied to the municipal wastewater treatment plant where the quantity of the carbon source is low and difficult to biological phosphorus and nitrogen removal in high efficiency.

Key words: primary sludge; fermentation; A^2/O process; VFA

(责任编辑　苗艳玲)