

# SRT对初沉污泥水解酸化影响的试验研究

任 健<sup>1,2</sup>, 李 军<sup>1,2</sup>, 王洪臣<sup>3</sup>, 甘一萍<sup>3</sup>, 周 军<sup>3</sup>, 张 帅<sup>1,2</sup>

(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022; 2 北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022; 3. 北京城市排水集团有限公司, 北京 100031)

**摘 要:** 采用城市污水处理厂的初沉污泥进行碳源开发试验。在水解酸化池的 HRT 为 32 h, 温度为 35 ℃、污泥回流比为 1 的条件下, 考察了 SRT 对水解酸化效果的影响。结果表明, 当 SRT = 4 d 时系统的产酸效果最佳, 出水 SCOD 稳定在 1 178.19 mg/L 左右, TOC 保持在 517.34 mg/L 左右, 水解酸化池的碱度维持在约 854.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L; 当 SRT 为 10 d 时, 系统的产酸效果恶化并进入产甲烷阶段。碱度能够反映初沉污泥水解酸化系统的产酸效果, 当碱度维持在 854.3 ~ 1 029.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L 时, 水解酸化系统能够保持良好的产酸效果, 这对于提高碳源受限型污水的脱氮除磷效率及降低城市污水处理厂的运行成本具有重要意义。

**关键词:** 初沉污泥; 污泥停留时间; 产酸效果; 碳源

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4602(2009)05 - 0015 - 05

## Influence of SRT on Hydrolysis and Acidification of Primary Sludge

REN Jian<sup>1,2</sup>, LI Jun<sup>1,2</sup>, WANG Hong-chen<sup>3</sup>, GAN Yiping<sup>3</sup>, ZHOU Jun<sup>3</sup>,  
ZHANG Shuai<sup>1,2</sup>

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 3. Beijing Drainage Group Co Ltd, Beijing 100031, China)

**Abstract:** Carbon source development with hydrolysis and acidification of primary sludge from wastewater treatment plants was studied. The influence of SRT on the hydrolysis and acidification was investigated under the conditions of HRT of 32 h, temperature of 35 ℃ and sludge reflux ratio of 1. The best acidogenesis effect is achieved when SRT is 4 d. The effluent SCOD and TOC are 1 178.19 mg/L and 517.34 mg/L, and the alkalinity of the hydrolysis and acidification tank is 854.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L. When SRT is 10 d, the acidogenesis effect of the hydrolysis and acidification tank is deteriorated. Alkalinity can show the acidogenesis effect of the hydrolysis and acidification system. When alkalinity is 854.3 to 1 029.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L, the system can maintain good acidogenesis effect, which is important for improving nitrogen and phosphorus removal efficiency of carbon source-limited wastewater and reducing the operation cost of municipal WWTP.

**Key words:** primary sludge; sludge retention time; acidogenesis effect; carbon source

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50678008); 北京市教委项目(KM200510005006); 北京市属市管高校人才强教计划项目(PHRHLB)

目前,生物脱氮除磷工艺已被广泛用于城市污水处理工程,然而实际运行表明,大部分的脱氮除磷工艺并不能实现氮、磷的达标排放,其原因是多方面的,最根本的原因是城市污水中的碳源不能满足反硝化菌和聚磷菌的需求。对这类污水的有效处理已成为众多学者关注的热点。利用城市污泥进行水解酸化来开发生物脱氮除磷所需的碳源是一种可行性较强的工艺,在获得生物可利用碳源的同时,还可实现污泥的稳定化和资源化。

20 世纪 80 年代以来,国外对污泥厌氧消化的研究越来越多,其中大多利用污水处理厂的初沉污泥水解发酵来产生挥发性脂肪酸(VFA),也有采用初沉污泥和剩余污泥的混合污泥进行研究的<sup>[1,2]</sup>。国内的研究大多是对较高浓度的污水进行水解酸化,以提高其可生化性,而单独利用城市污水厂污泥进行水解酸化产酸的研究较少。污泥厌氧消化是一个复杂的、由多种微生物参与的生物化学过程,运行参数以及环境条件的变化都会影响系统的运行状况,如两相厌氧消化系统由于运行不当,经常会出现产酸相的过酸状态和产甲烷相的“酸化状态”<sup>[3,4]</sup>。对于以碳源开发为目的的初沉污泥水解酸化系统,如何使其保持在产酸效应强于产甲烷效应的状态是研究重点。HRT和 SRT是污水、污泥处理的两个重要动力学参数,不仅影响工艺的处理效果,还直接决定了生物反应器容积的大小,进而影响到工程的基础投资。

## 1 试验装置与方法

### 1.1 试验装置与流程

试验流程如图 1 所示。

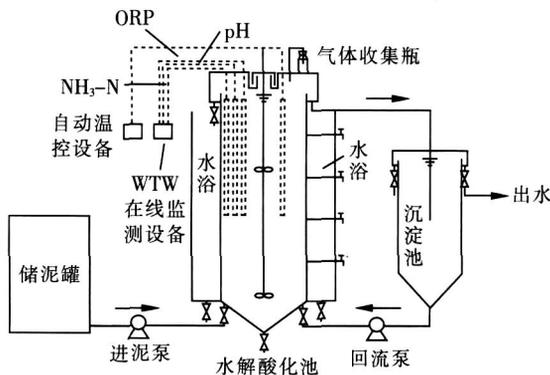


图 1 初沉污泥水解酸化工艺流程

Fig 1 Flow chart of primary sludge hydrolysis acidification  
试验装置采用有机玻璃制造,有效容积为 50

L,外围设水浴槽,顶部采用水封装置以收集厌氧消化过程中产生的气体。试验中控制温度为 35 ,采用连续搅拌的方式保证水解酸化池内微生物与基质的充分混合,以强化传质效应。

### 1.2 污泥的接种与驯化

厌氧系统启动时,一般需要检验装置的气密性,以保证系统的厌氧环境。由于本试验是基于水解酸化为目的的活性污泥系统,微量氧的存在可以有效抑制产甲烷菌的生长,而对产酸菌的影响不大,因此在接种污泥之前无需检验装置的气密性,可以认为水解酸化反应器内的厌氧环境是自然形成的。

接种污泥取自高碑店污水处理厂厌氧消化池的消化污泥,采用连续培养的方式,每日测定水解酸化池和回流污泥的浓度,控制污泥停留时间为 3 d,实现产甲烷菌的流失,使产酸菌成为优势菌种。

### 1.3 底物

初沉污泥取自高碑店污水处理厂的初沉池,定期取用,并用规格为 1 mm × 1 mm 的滤网过滤,去除初沉污泥中粒径较大的颗粒物,以防止堵塞进泥管,从而保障进泥泵以及整个工艺的连续稳定运行。将预处理后的初沉污泥倒入储泥罐中进行试验。初沉污泥的主要理化指标见表 1。

表 1 初沉污泥的理化指标

Tab 1 Physicochemical parameters of primary sludge

项目	数值	项目	数值
pH	6.6 ~ 6.9	TOC / (mg · L <sup>-1</sup> )	124 ~ 152
相对密度	1.02 ~ 1.03	SCOD / (mg · L <sup>-1</sup> )	175 ~ 280
碱度 / (mgCaCO <sub>3</sub> · L <sup>-1</sup> )	475 ~ 590	MLSS / (mg · L <sup>-1</sup> )	16 500 ~ 23 540
TCOD / (mg · L <sup>-1</sup> )	21 300 ~ 25 000	固体颗粒密度 / (g · cm <sup>-3</sup> )	1.3 ~ 1.5

### 1.4 分析项目及测定方法

试验在高碑店污水处理厂进行,定期取水解酸化工艺的进泥、水解酸化池的出水和回流污泥进行相关指标测定。主要指标及检测方法如表 2 所示。

表 2 水质分析方法

Tab 2 Parameters and analytical methods

项目	分析方法	项目	分析方法
TCOD、SCOD	分光光度法	TOC	TOC分析仪
碱度	酸碱滴定法	VFA	五点 pH法
MLSS	烘干称重法	pH	玻璃电极法

本试验以污泥为研究对象,对相关指标进行检测时都需采取一些预处理措施,具体的预处理方法如表 3 所示。

表 3 泥样的预处理方法

Tab 3 Methods for sample pretreatment

项 目	离心	加药	过滤
SCOD	在 5 000 r/m in 下离心 10 m in 后取上清液	加入 1 mL 的 10%硫酸锌和 0.3 mL 的 25%氢氧化钠搅拌,絮凝、沉淀后取上清液	0.45 μm 的微孔滤膜过滤
VFA		无需加药处理	普通定性滤纸过滤
TOC			0.45 μm 的微孔滤膜过滤

## 2 结果与讨论

### 2.1 SRT对水解酸化效果的影响

各种微生物都有其不同的比生长速率,比生长速率快的微生物在较低的 SRT 下即可实现自身的生长富集;相反,比生长速率慢的微生物只有在较长的 SRT 下才能实现自身的生长富集。在水处理工艺中,常常根据微生物之间不同的比生长速率,通过控制一定的 SRT 来实现目标微生物的富集生长及非目标微生物的流失。

在初沉污泥的水解酸化试验中,为研究 SRT 对初沉污泥水解酸化的影响,在固定 HRT 为 32 h 的前提下,进行了 4 种不同 SRT (2、4、7、10 d) 的试验研究。试验过程中检测了进泥 SCOD 以及系统出水 SCOD 和 TOC,结果如图 2 所示。

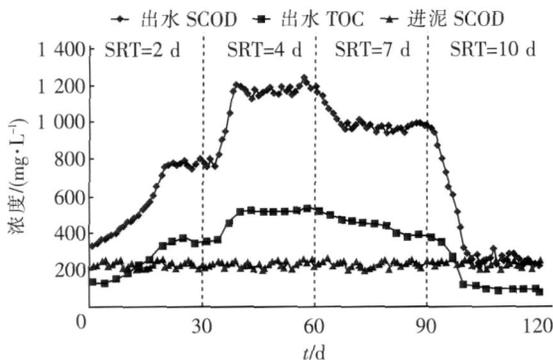


图 2 不同 SRT 下进泥及出水 SCOD 的变化

Fig 2 Variation of SCOD in influent and effluent with different SRT

在 120 d 的运行过程中, SRT 为 4 d 的水解酸化效果最好, SRT 为 7 d 的次之,而当 SRT 增加到 10 d 时,系统出水的 SCOD 与进泥的 SCOD 接近,有时甚至低于进泥的 SCOD,说明在该 SRT 下,乙酸产甲烷菌得以保留并开始生长繁殖,将水解酸化阶段产生的 VFA s 加以利用进行产甲烷反应。当 SRT 为 2 d 时,由于停留时间较短,导致系统中水解酸化菌和产

甲烷菌的流失量都很大。从图 2 可以看出,系统出水的 SCOD、TOC 呈缓慢增加的趋势,说明在 SRT = 2 d 的情况下,水解酸化菌在不断流失的过程中仍得以生长繁殖,直至第 22 天才出现了较稳定的水解酸化效果。在 4 种不同的 SRT 下,系统运行稳定后出水 SCOD、TOC 的平均值如表 4 所示。

表 4 各工况下出水 SCOD、TOC 的平均值

Tab 4 Average SCOD and TOC in effluent under different SRT

SRT/d	2	4	7	10
SCOD / (mg · L <sup>-1</sup> )	768.82	1 178.19	971.5	252.92
TOC / (mg · L <sup>-1</sup> )	345.93	517.34	407.67	90.54

由图 2 可知,随 SRT 的改变,系统出水 SCOD 经历了两起两落的四个变化过程,分别是 SRT = 2 d 和 SRT = 4 d 时的两次上升,以及 SRT = 7 d 和 SRT = 10 d 的两次下降过程,这充分表明了 SRT 对初沉污泥水解酸化的影响较大。当 SRT = 2 d 时,直到第 21 天才出现较稳定的产酸效果,说明在该工况下,产酸菌和产甲烷菌的流失都较多,经历较长时间后,才出现了一定程度的水解产酸菌的积累;而在 SRT = 4 d 的工况下,仅需 8 d 系统就出现了稳定的产酸效果,表明产酸菌已成为系统的优势菌种,取得了良好的水解酸化效果。当 SRT 增加到 7 d 和 10 d 时,出水 SCOD 经历了两次降低的过程,这是因为随着 SRT 的增加,乙酸产甲烷菌的流失率逐渐减小,使得水解酸化阶段产生的大量 VFA s 被乙酸产甲烷菌利用而消耗,从而导致系统出水的 SCOD、TOC 降低。在 SRT = 7 d 的工况下,系统出水的 SCOD、TOC 较 SRT = 4 d 时有一定程度的降低,但仍分别维持在 971.5、407.67 mg/L;当 SRT 增加到 10 d 时,系统出水的 SCOD 远小于前三种 SRT 的,说明在这种情况下,初沉污泥水解酸化系统已经能够完成一个完整的厌氧消化过程,显然这对以开发碳源为目的的水解酸化系统是不利的。

### 2.2 SRT对污泥浓度的影响

在生物处理工艺中,污泥浓度是决定生物处理稳定性的重要因素,适当的污泥浓度能保证生物处理工艺的处理效率<sup>[5]</sup>。同时,水解酸化池中的污泥浓度也是控制 SRT 的关键参数。SRT 对水解酸化池污泥浓度的影响见图 3。

从图 3 可以看出, SRT 对水解酸化池中污泥浓度的影响甚大,随着 SRT 的延长,MLSS 和 MLVSS

均不断增加,同时 MLVSS/MLSS 值也呈不断上升的趋势。表明随着 SRT 的增大,水解酸化系统的微生物量不断增加。在 SRT=2 d 的条件下,系统以水解酸化菌为主,但是由于 SRT 较小,水解酸化菌不能大量繁殖,因此水解酸化菌的数量并不多;当 SRT 增加为 4 d 时,水解酸化菌的流失率大大降低,在适宜的环境下能够快速生长繁殖,使得系统出水的 SCOD、TOC 快速上升;当将 SRT 调整为 7 d 时,MLSS、MLVSS 仍增长,而系统出水的 SCOD、TOC 开始下降,说明此时有部分产甲烷菌在生长繁殖,但其流失率较大,使得产甲烷菌的数量不能快速增长;当 SRT 为 10 d 时,系统出水的 SCOD、TOC 出现了较大的波动且快速下降,表明产甲烷菌已开始快速增殖,并消耗水解酸化菌产生的大量 VFA<sub>s</sub>。

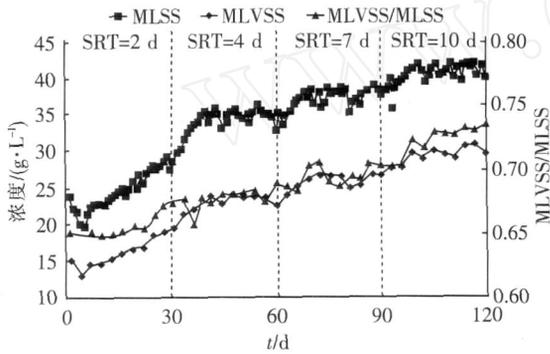


图 3 不同 SRT 下污泥浓度和 MLVSS/MLSS 的变化

Fig 3 Variation of MLSS and MLVSS/MLSS with different SRT

在运行初期,MLSS 和 MLVSS 均经历了一个下降过程,这可能是由于微生物不能快速适应新环境造成的,从第 5 天开始,系统的污泥浓度开始逐渐增大。

在 120 d 的试验中,水解酸化池的 MLVSS/MLSS 值随着 SRT 的增加而逐渐增大,并保持在 0.63~0.73 的范围内,说明在整个运行期间,水解酸化池中的有机组分逐渐增加,但并没有引起无机物的累积。

### 2.3 SRT 对碱度的影响

在厌氧系统中总碱度包括碳酸氢盐碱度和 VFA 碱度(其中前者约占 20%,后者约占 80%)<sup>[6,7]</sup>。碱度的变化对厌氧系统处理效果的影响非常大,这是因为各种细菌对 pH 有不同的适应范围。产酸菌在 pH 值为 5.0~8.5 时生长良好,在 pH<5.0 时仍能生长,而产甲烷菌适宜生长的 pH

值为 6.5~7.8,这也是通常情况下厌氧处理所应控制的 pH 值范围<sup>[8]</sup>。任南琪等<sup>[9]</sup>认为 pH 和碱度都是产酸反应器运行中的重要控制参数。当环境 pH 值低于厌氧活性污泥的耐受下限时,会导致微生物的活性下降、正常的生理代谢受到抑制,甚至导致微生物死亡,一定碱度的存在能有效缓冲反应体系 pH 值的下降,增加系统运行的稳定性。Raghid Lepisto<sup>[10]</sup>认为在产甲烷阶段,当反应器中没有足够的碱度中和 VFA 时,未分解的 VFA 将抑制产甲烷菌的生长,从而造成 VFA 的积累,导致系统酸化。

不同 SRT 时系统碱度和 pH 的变化如图 4 所示。

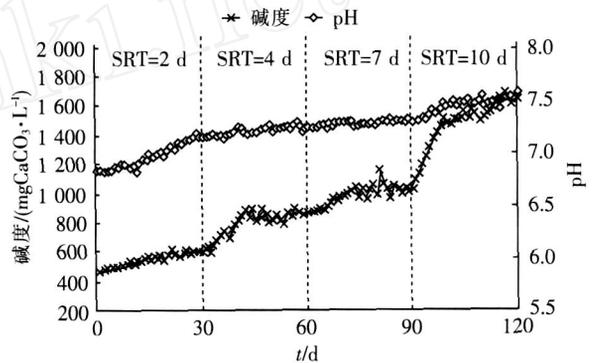


图 4 不同 SRT 下碱度和 pH 的变化

Fig 4 Variation of alkalinity and pH value with different SRT

从图 4 可以看出,SRT 对水解酸化系统的碱度和 pH 都有一定的影响,但是对碱度的影响要明显强于对 pH 的影响,说明一定的碱度能够保证系统酸碱平衡的稳定性。当 SRT=2 d 时,碱度维持在 568 mgCaCO<sub>3</sub>/L 左右;当 SRT 增加为 4 d 时,系统的碱度开始以较快的速度增加,待稳定运行后,碱度保持在 854.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L 左右;当 SRT 为 7 d 时,系统的碱度进一步升高,并逐渐稳定在 1 029.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L 左右;而当 SRT 继续增加到 10 d 时,系统的碱度快速增大,最后稳定在 1 595.6 mgCaCO<sub>3</sub>/L 左右。

运行过程中,碱度经历了四次增大的过程,但是它们具有不同的变化速率。其速率按 SRT 排序为:10 d>4 d>7 d>2 d。结合图 2 可以认为:当 SRT=4 d 时,系统碱度快速增加的过程也是系统产酸效果变好的过程,而当 SRT=10 d 时,伴随碱度快速增加的是系统产酸效果的恶化。因此,初沉污泥水解酸化系统的碱度处在 854.3~1 029.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L 时,其能够保持良好的产酸效果。

### 3 结论

SRT是影响初沉污泥水解酸化工艺运行效果的重要参数。当控制 HRT为 32 h、温度为 35 ℃、污泥回流比为 1、SRT为 4~7 d时,水解酸化系统具有良好的产酸效果。

随着 SRT 的增大,水解酸化系统的 MLVSS/MLSS值逐渐升高,表明微生物的种类和数量都在增加。

当水解酸化系统的碱度处在 854.3~1 029.3 mgCaCO<sub>3</sub>/L 时,其能够保持良好的产酸效果,这对于提高碳源受限型污水的脱氮除磷效率及降低城市污水处理厂的运行成本具有重要意义。

### 参考文献:

- [ 1 ] Banerjee A, Elefsiniotis P, Tuhtar D. The effect of addition of potato-processing wastewater on the acidogenesis of primary sludge under varied hydraulic retention time and temperature[J]. J Biotechnol, 1999, 72 (3): 203 - 212
- [ 2 ] Hatziconstantinou G J, Yannakopoulos P, Andreadakis A. Primary sludge hydrolysis for biological nutrient removal [J]. Water Sci Technol, 1996, 34 (2): 417 - 423
- [ 3 ] 竺建荣,胡纪萃,顾夏声. 颗粒厌氧污泥中的产氢产乙酸细菌研究 [J]. 微生物学通报, 1994, 21 (4): 207 - 209.
- [ 4 ] 李建政,任南琪. 产酸相最佳发酵类型工程控制对策

[J]. 中国环境科学, 1998, 18 (5): 398 - 402

- [ 5 ] Huang Xia, Gui Ping, Qian Yi. Effect of sludge retention time on microbial behavior in a submerged membrane bioreactor[J]. Process Biochem, 2001, 36 (10): 1001 - 1006
- [ 6 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002
- [ 7 ] Anderson G K, Yang G. Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration [J]. Water Environ Res, 1992, 64: 53 - 59.
- [ 8 ] 贺延龄. 废水厌氧生物处理 [M]. 北京:中国轻工业出版社, 1998
- [ 9 ] 秦智,任南琪,李建政,等. 产酸相反反应器的过酸状态及其控制 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (9): 1105 - 1108
- [ 10 ] Raghid Lepista. Extreme thermophilic (70 ℃), VFA-fed UASB reactor: performance, temperature response, load potential and comparison with 35 and 55 ℃ UASB reactors[J]. Water Res, 1999, 33 (14): 3162 - 3170.

**作者简介:**任健 (1984 - ), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 研究方向为污水脱氮除磷技术。  
电话: 13911800049  
**E-mail:**wateren@126.com  
**责任作者:**李军  
**收稿日期:**2008 - 10 - 13

### (上接第 14 页)

- [ 9 ] 刘智晓,崔福义. 腐殖土活性污泥技术的除污效能及除臭效果 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (14): 18 - 22
- [ 10 ] 尹军,赵可. 腐殖土活性污泥工艺在日本和韩国的应用 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (4): 1 - 4.
- [ 11 ] Choi Y G, Chung T H. Effects of humus soil on the settling and dewatering characteristics of activated sludge [J]. Water Sci Technol, 2000, 42 (9): 127 - 134.
- [ 12 ] 陈若敦. 环境监测试验 [M]. 上海:同济大学出版社, 1993
- [ 13 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002

- [ 14 ] Kong Y H, Michael Beer, Gavin N R, et al. Function analysis of microbial communities in aerobic - anaerobic SBR fed with different phosphorus/ carbon (P/C) ratios [J]. Microbiology, 2002, 148 (8): 2299 - 2307.

**作者简介:**吴敏 (1964 - ), 男, 江苏无锡人, 工学博士, 副教授, 研究方向为废水处理工艺与技术。  
电话: 13764092956  
**E-mail:**weizun1@vip.sina.com  
**收稿日期:**2008 - 10 - 08