

污水复合式厌氧水解酸化预处理试验研究

彭永臻, 王建龙, 王淑莹, 高永青
(北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘 要: 针对现有污水水解酸化预处理工艺运行效率低等问题, 提出了一种复合式污水水解酸化处理工艺. 自下至上依次经过悬浮污泥区、泥水分离区、生物膜强化出水区. 通过处理配制啤酒废水试验表明, 进水 $\rho(\text{COD})$ 在 $0.6 \sim 1.0 \text{ g/L}$ 时, $\rho(\text{COD})$ 去除率大于 50% , $\rho(\text{SS})$ 去除率大于 70% , $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 升高 0.25 . 试验还研究了悬浮污泥段污泥浓度、水力停留时间、进水有机物负荷对水解酸化效果的影响以及污泥减量化特性. 该工艺耐有机负荷冲击能力强、对有机物去除率高、剩余污泥产量小、水解酸化效率高、占地面积小、便于一体化施工管理.

关键词: 水解酸化; 厌氧; 污水预处理; 复合生物反应器

中图分类号: X 703.1

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2008)01-0080-05

水解酸化作为污水生物预处理技术在国内外已有大量研究和应用^[1-3]. 普遍认为, 水解酸化作用是利用产酸性厌氧、兼性细菌将污水中大分子有机物分解成小分子有机物, 将不溶性有机物水解成可溶性物质, 从而提高污水的可生化性, 以利于后续生物处理^[4-7]. 因此, 此工艺目前多用于难生物降解有机废水的预处理. 经过多年研究与开发, 水解酸化工艺作为生物预处理工序或好氧-厌氧联合生化处理工艺中的前处理工序, 已日益成熟并受到广泛关注. 目前, 应用较广泛的水解酸化处理技术有厌氧流化床反应器、固定生物膜法厌氧反应器和 UASB 活性污泥法厌氧反应器等^[8-10]. 考虑到我国作为发展中国家的国情、污染的现状以及污水厌氧处理技术具有成本低、产泥量少、便于管理等诸多优点, 针对现有污水水解酸化处理工艺实际运行中存在的问题, 设计了一种活性污泥法和生物膜法相结合的一体化复合式污水水解酸化预处理工艺, 其构造简单、无需三相分离器、制造成本低. 试验结果表明, 其耐负荷冲击能力强并具有较高水解酸化效率. 该技术的应用将大大降低城市污水和工业废水处理工程的投资和运行费用, 具有较高的应用价值.

1 试验材料和方法

1.1 试验设备

本试验装置为有机玻璃制成, 总有效容积 21L , 污水自下至上依次经过悬浮污泥区、泥水分离区、生物膜强化出水区. 悬浮污泥区设有污泥循环装置, 从而使污泥处于悬浮状态, 保证污泥与污水的充分接触, 中间设有排泥口, 泥水分离区通过改变管径从而改变上升流速, 实现泥水分离, 沉淀污泥通过循环装置与进水混合, 上清液进入强化出水区, 在强化出水区内填充瑞琪生物填料, 上部出水采用溢流堰式, 集水槽底部设有出水口. 反应器如图 1 所示.

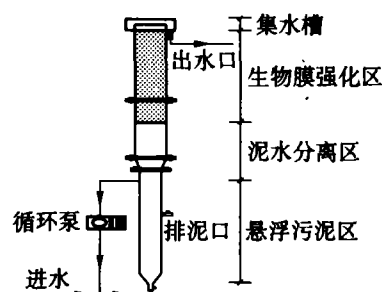


图1 实验装置

Fig.1 Experiment reactor

收稿日期: 2007-01-04.

基金项目: “十一五”科技支撑计划项目(2006BAC19B03);北京市属市管高等学校人才强教“创新团队”项目(05005013200504);高等学校博士学科点专项科研基金(00600050002).

作者简介: 彭永臻(1949-),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师.

1.2 污水水质及检测方法

试验以北京某学校家属区的生活污水作为基质,投加啤酒配制试验用水,通过计量泵控制进水流量. 试验期间室内温度为 23~25 ℃,进水 pH 为 7.31~7.54. 生活污水和试验用水的主要水质参数及测定方法见表 1.

表 1 污水水质及检测方法

Table 1 Main parameters of wastewater and analytical methods					mg·L ⁻¹
水质参数	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{SS})$	$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$	$\rho(\text{PO}_4^{3-}-\text{P})$
生活污水均值	276	132	75	51	7
试验用水均值	712	397	84	48	8
检测方法	5B-1 型 COD 快速测定仪	BOD ₅ 快速测定仪	重量法	纳氏试剂法	钼锑抗分光光度法

1.3 工艺特点

该反应器独特之处在于将活性污泥耐负荷冲击能力高和生物膜微生物停留时间长特点结合起来. 污水首先进入悬浮污泥区,该区设有循环装置使污泥处于悬浮状态,从而使污水与污泥充分接触,主要通过吸附作用去除颗粒性物质和胶体物质,同时水解产酸菌将污水中难降解的大分子有机物转化为小分子有机物;在泥水分离区实现泥水分离,沉降污泥通过循环装置在反应器底部与进水充分混合,从而保证反应器较高的水解酸化效率,防止污泥进入生物膜区堵塞生物膜;上清液进入生物膜强化区,由于水解酸化细菌生长缓慢,生物膜系统易于水解酸化菌的生长,该段对胶体物质和可溶性大分子有机物继续进行降解,将其转化为易生物降解的小分子有机物,同时对泥水分离区出水中的悬浮物起拦截作用,可使出水中 $\rho(\text{SS})$ 降至 30 mg/L 以下.

2 试验结果与讨论

2.1 系统启动

系统启动包括 2 个阶段:第 1 阶段为生物膜培养阶段,此阶段在高负荷条件下运行,进水流量为 10 L/h,运行 21 d. 生物膜培养初期采用微曝气方式使接种污泥与填料充分接触,使得污泥中的微生物可以附着在填料上生长. 生物膜培养 3 周后始见填料上有少量生物膜出现. 第 2 阶段,生物膜培养与污泥驯化同时进行,此时进水流量为 8 L/h. 2 个月后水解酸化反应器正式投入运行. 设计进水流量为 6 L/h,水力停留时间为 3.5 h,此时系统的 $\rho(\text{COD})$ 、 $\Delta(\rho(\text{CBOD}_5)/\rho(\text{COD}))$ 、 ΔpH (pH 降低值)、 $\rho(\text{SS})$ 的去除率分别为 52%、21%、26%、67%(见图 2).

2.2 污泥质量浓度对水解酸化效果影响

控制进水流量在 6 L/h,进水 $\rho(\text{COD})$ 在 700 mg/L 左右,温度为 24 ℃,pH=7.43~7.52,水力停留时间(T_{HR})为 3.5 h. 在此条件下,研究了悬浮污泥段 $\rho(\text{MLSS})$ 分别在 2、4、6、8、10 g/L 进行的动态试验. 结果如图 3 所示,随着 $\rho(\text{MLSS})$ 的增大, $\rho(\text{COD})$ 的去除率增大, ΔpH 增大,出水 $\rho(\text{SS})$ 降低,污水 $\Delta(\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}))$ 升高. 当 $\rho(\text{MLSS})=6$ g/L 时, $\rho(\text{COD})$ 去除率、 ΔpH 和 $\Delta(\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}))$ 均达到最大值. 随着 $\rho(\text{MLSS})$ 的增大,酸化出水 $\Delta(\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}))$ 快速下降, $\rho(\text{COD})$ 去除率和 ΔpH 去除率也逐渐下降,同时出水中 $\rho(\text{SS})$ 也开始升高. 说明控制适当的 $\rho(\text{MLSS})$ 可以提高系统的水解酸化效果,使 $\rho(\text{COD})$ 的去除率显著增加. 然而 $\rho(\text{MLSS})$ 过大,会造成污泥的有机负荷降低,有机物浓度成为限制微生物生长的条件,因此, $\rho(\text{COD})$ 去除率反而下降,而 $\rho(\text{BOD}_5)$ 部分被微生物快速消耗利用, $\rho(\text{BOD}_5)$ 去除率升高,从而系统出水 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 降低.

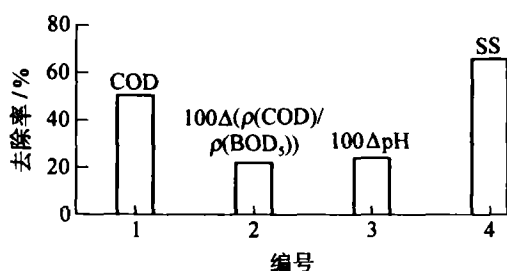


图2 水解酸化效果

Fig.2 Efficiency of hydrolysis

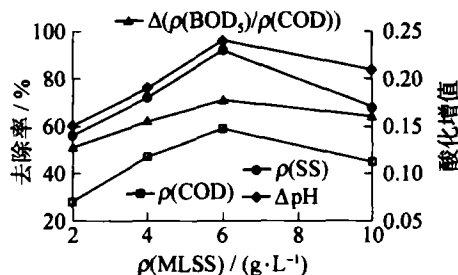


图3 污泥质量浓度对酸化效果影响

Fig.3 Effect of ρ(MLSS) on hydrolysis

2.3 水力停留时间对酸化效果影响

控制进水 $\rho(\text{COD})$ 在 700 mg/L 左右, 温度 24 ℃, 进水 pH=7.41~7.47, $\rho(\text{MLSS})=6 \text{ g/L}$, 研究了水力停留时间分别为 2、3、4、6、8 h 的动态试验, 结果如图 4 所示。水力停留时间愈长, $\rho(\text{COD})$ 去除率愈大, 但当水力停留时间为 3 或 4 h 时, 系统 $\rho(\text{COD})$ 去除率较高, 出水的可生化性较好, 当水力停留时间大于 4 h 时, 出水中 $\rho(\text{SS})$ 开始升高。这说明停留时间并非越长效果越好。这是因为随着停留时间的增加, 污水上升流速减小, 污泥易发生堆积, 系统的传质效率降低, 系统中的优势微生物由水解酸化菌(兼性微生物)向产酸、产氢菌(厌氧微生物)转化, 因此系统的水解酸化效果反而降低。

2.4 进水有机负荷对酸化效果影响

控制进水流量在 6 L/h, 温度 24 ℃, 进水 pH=7.41~7.47, $\rho(\text{MLSS})=6 \text{ g/L}$, 水力停留时间在 3.5 h, 研究了进水有机负荷分别为每天每 kg 的 MLSS 的 COD 质量为 1.0、1.8、3.0、4.2、6.3 kg 的动态试验, 结果如图 5 所示。有机负荷率从 1.0 kg 升高至 4.2 kg, 系统 $\rho(\text{COD})$ 去除率从 21.3% 升高至 48.5%, 出水中 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 也由 0.51 升高至 0.74, ΔpH 和 $\rho(\text{SS})$ 变化较小, 当有机负荷率大于 4.2 kg 时, 系统 $\rho(\text{COD})$ 去除率、 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 、 ΔpH 开始下降。因此, 该工艺具有较高的耐负荷冲击能力。一般认为, 水解酸化工艺对废水不溶性 $\rho(\text{COD})$ 的去除率较高, 而对溶解态 $\rho(\text{COD})$ 去除率低^[11]。污水经水解酸化处理后, 可使后续的好氧处理单元负荷大大降低, 从而后续处理工艺的工程投资和运行费都显著降低, 这对于污水处理厂的节能降耗和升级改造具有重要意义。

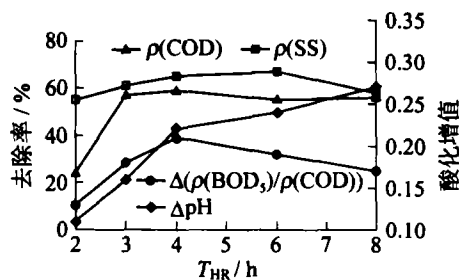


图4 水力停留时间对酸化效果影响

Fig.4 Effect of HRT on hydrolysis

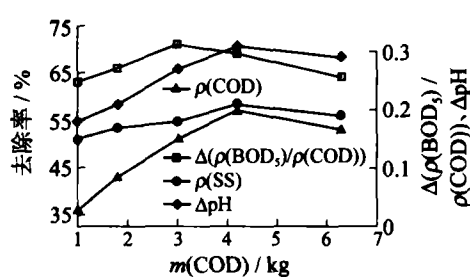


图5 有机负荷对酸化效果影响

Fig.5 Effect of organic loading on hydrolysis

2.5 悬浮污泥段污泥质量浓度变化

控制进水流量在 6 L/h, 温度 24 ℃, 进水 pH=7.41~7.47, 水力停留时间在 3.5 h, 研究了进水有机负荷为每天每 kg 的 MLSS 中 COD 的质量为 3.0 kg 时, 悬浮污泥段 $\rho(\text{MLSS})$ 的变化。结果如图 6 所示, 本阶段试验进水中颗粒物经过夜静置沉淀去除。随着运行天数增加, 系统 $\rho(\text{MLSS})$ 逐渐升高, 第 11 周 $\rho(\text{MLSS})$ 达到 6.43 g/L, 此后系统 $\rho(\text{MLSS})$ 增加速率降低, 并趋于恒定值, 同时发现随着运行天数的增加, $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 先升高, 6 周左右达最大值 0.675, 然后逐渐降低。并且试验发现, 有机负荷越

高, 污泥达到平衡浓度的时间越短. 这是由于水解池内污泥停留时间远远大于污水的水力停留时间, 污泥有足够长的时间内源降解, 变成可溶性 $\rho(\text{COD})$ 随水流入后续处理系统. 所以水解池中厌氧菌除了对污水产生厌氧水解作用外, 同时对污泥产生了厌氧消化作用, 因此, 悬浮污泥段可对污泥的产生及消化达成平衡, 故从水解池底部排出的厌氧污泥大部分为无机物, 如砂石、渣滓等. 这些物质是由进水带入的, 有研究表明, 酸化污泥中有机物降解高于消化污泥, 脱水性能、卫生指标不亚于消化污泥^[12-16].

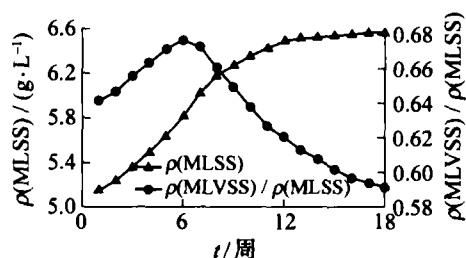


图6 悬浮污泥段污泥质量浓度变化

Fig. 6 The change of sludge in suspending activated sludge phase

3 结论

1) 该新型复合式厌氧水解酸化反应器, 将活性污泥耐有机负荷冲击能力高和生物膜易于水解酸化细菌富集生长等优点有机结合于一体, 从而具有较高的水解酸化效率和有机物去除率. 试验条件下(室温 24 ℃), 当进水 $\rho(\text{COD})$ 在 0.6 ~ 1.0 g/L 时, $\rho(\text{COD})$ 的去除率大于 50%, $\rho(\text{SS})$ 去除率大于 70%, $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 升高 0.25.

2) 悬浮污泥段污泥质量浓度、水力停留时间、进水有机物负荷率对水解酸化效果具有重要影响, 在实际工程中可根据污水水质, 将这些运行参数控制在一定范围内, 以提高系统的运行效率.

3) 由于水解池内污泥停留时间远远大于污水的水力停留时间, 系统中酸化菌除了对污水产生厌氧水解酸化作用外, 同时对污泥产生了厌氧消化作用, 可实现污泥减量化.

参考文献:

- [1] 王凯军, 贾立敏. 城市污水处理新技术开发与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 66-133.
- [2] POHLAND F G, GHOSH S. Developments in anaerobic stabilization of organic wastes, the two-phase concept[J]. Envir Lett, 1971(1): 255-266.
- [3] AIVASIDIS A, WANDROY C. Recent developments in process and reactor design for anaerobic wastewater treatment[J]. Wat Sci Tech, 1998, 20(1): 211-218.
- [4] 王凯军. 低浓度污水厌氧酸化(水解)处理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 80-91.
- [5] 韩相奎, 桑连海, 叶长兵, 等. 高效水解酸化废水处理技术初步研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(6): 721-725.
HAN Xiang-kui, SANG Lian-hai, YE Chang-bing, et al. Wastewater treatment by high efficient hydrolysis-acidogenesis process[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2003, 23(6): 721-725. (in Chinese)
- [6] LATTY D D, CLIFFORD W R. Biological process design for wastewater treatment[J]. Prentice-Hall, Inc, 1980(5): 45-53.
- [7] YOUNG H A, KYUNG S M, RICHARD E S. Pre-acidification anaerobic sludge bed process treating brewery wastewater[J]. Water Research, 2001, 35(18): 4267-4276.
- [8] LETINGA G, HULSHOFF L W. UASB process design for various types of waste waters[J]. Water Sci Tech, 1991(24): 87-107.
- [9] WENTZEL M C, MOOSBRUGGER R E. Tentative guidelines for waste selection, process design, operation and control of upflow anaerobic sludge bed reactors[J]. Water Sci Technol, 1995, 31(12): 31-42.
- [10] SAXENA K L, KAUL S N, HASAN M Z, et al. Packed bed anaerobic reactor for treatment of meat wastes[J]. Asian Environ, 1986(8): 2-4.
- [11] OWEN W F. 污水处理能耗和能效[M]. 北京: 能源出版社, 1989: 113-114.
- [12] STRAND S, HAREM G, STENSE D. Activated2sludge yield reduction using chemical uncouplers[J]. Water Environment research, 1999, 71(4): 454-458.
- [13] WEI Y, RENZE T, HOUTEN V, et al. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment[J].

Wat Res, 2003(37): 4453-4467.

- [14] SAKAI Y, AOYAGI T, SHIOTA N, et al. Complete decomposition of biological waste sludge by thermophilic aerobic bacteria[J]. Wat Sci Technol, 2000, 42(9): 81-88.
- [15] 吴一平, 王旭东. 初沉污泥作为生物脱氮除磷快速碳源的转化因素研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2005, 35(4): 501-504.
- WU Yi-ping, WANG Xu-dong. Study on primary sludge hydrolysis as biological nitrogen and phosphorous removal[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology(Natural Science Edition), 2005, 35(4): 501-504. (in Chinese)
- [16] 丁峰, 彭永臻, 于德爽. pH 值对活性污泥沉降过程的影响[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(4): 39-42.
- DING Feng, PENG Yong-zhen, YU De-shuang. The effects of pH on activated sludge sediment[J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture, 2000, 33(4): 39-42. (in Chinese)

Hydrolysis and Acidification of Wastewater Pretreatment in a Novel Hybrid Anaerobic Bioreactor

PENG Yong-zhen, WANG Jian-long, WANG Shu-ying, GAO Yong-qing

(School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: A high efficient hydrolysis and acidification process for wastewater pretreatment was demonstrated in this study, through the analysis of the limitation of present hydrolysis and acidification processes used in many wastewater treatment plant. The novel process included suspending activated sludge phase, solid-liquid separation phase, biofilm phase, and the wastewater was treated by three phases in sequence. Through the treatment of the synthesis beery wastewater, when the $\rho(\text{COD})$ of influent was $0.6 \sim 1.0 \text{ g/L}$, more than 50% of $\rho(\text{COD})$, 70% of $\rho(\text{SS})$ removals were achieved under a HRT of 3.5 h, and $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ of effluent was increased by 25%. At the same time, the effect factors of MLSS in suspense phase, HRT and the organic load of influent for the nutrient removal and the sludge reduction in suspense phase were studied. In conclusion, the novel process has some merits: high endurance of the impact from the influent organic loading, excess sludge could be reduced effectively by the hydrolysis and acidification process, high efficiency of hydrolysis and acidification, occupancy land area is minor, and apt to unify construction and management.

Key words: hydrolysis and acidification; anaerobic; wastewater pretreatment; hybrid biological reactor