

水解酸化池预处理低碳生活污水的效能分析

曹艳晓^{1,2}, 龙腾锐², 黄祥荣³, 傅婵媛², 龚正²

(1. 中南财经政法大学 信息与安全工程学院, 湖北 武汉 430073; 2. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 3. 机械工业第三设计研究院, 重庆 400039)

摘要: 为了提高低碳氮比生活污水的脱氮效能, 在缺氧池前设置水解酸化池, 通过水解酸化作用改善进水碳源, 同时对回流剩余污泥进行降解, 以期达到改善进水碳源可生化性、提高其可利用率、减少外碳源投加量并实现污泥减量的目的。分别考察了水解酸化池对污水单独进行预处理以及对污水和回流污泥同时进行预处理情况下的作用效能及其对系统脱氮的影响。结果表明: 两种预处理条件下, 理论 B/C 值都大于 0.65, 出水 SCOD/COD 的平均值和出水 VFA 浓度均高于进水, 单独污水水解酸化的出水 SCOD 减少较多, 对 TN 的去除率仅为 47.8%; 回流剩余污泥后, 温度 >20℃ 且每日分 4 次共回流 20 L 剩余污泥的 TN 去除效果明显优于单独污水水解酸化和温度 <20℃ 且每日分 2 次共回流 10 L 的运行效果, 两种回流量条件下对 TN 的去除率分别为 71.9% 和 66.1%, 污泥减量率分别为 58% 和 56.3%。

关键词: 水解酸化池; 生活污水; 可生化性; 低 C/N 值

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2012)03-0060-04

Analysis on Efficiency of Hydrolysis Acidification Tank for Pretreatment of Sewage with Low Carbon Source

CAO Yan-xiao^{1,2}, LONG Teng-rui², HUANG Xiang-rong³, FU Chan-yuan², GONG Zheng²

(1. School of Information and Safety Engineering, Zhongnan University of Economic and Law, Wuhan 430073, China; 2. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. China CTDI Engineering Corporation, Chongqing 400039, China)

Abstract: In order to improve the nitrogen removal efficiency from domestic sewage with low C/N ratio, the hydrolysis acidification tank was set before the anoxic reactor to improve the influent carbon source through hydrolysis acidification, meanwhile excess sludge was degraded to increase the biodegradability and availability of influent carbon source, decrease the addition of external carbon and realize the sludge reduction. The efficiency of hydrolysis acidification tank and its effect on the whole nitrogen removal system were investigated under two different conditions: single wastewater pretreatment or wastewater and recycle sludge pretreatment at the same time. The results showed that under two pretreatment conditions, the theoretical B/C was always above 0.65, both the effluent SCOD/COD and VFA were higher than the influent, the effluent SCOD was decreased more in single wastewater pretreatment, and the TN removal rate was only 47.8%. When the excess sludge was recycled, TN removal efficiency

基金项目: 广西环境工程与保护评价重点实验室开放基金资助项目(桂科能 0704K031)

was better when the temperature was above 20 °C and the excess sludge was recycled 4 times everyday and 20 L in total than in single wastewater pretreatment as well as when the temperature was below 20 °C and the recycle sludge was decreased to 2 times and 10 L in total. The TN removal rates under two recycle conditions were 71. 9% and 66. 1% respectively , and the sludge reduction rates were 58% and 56. 3% respectively.

Key words: hydrolysis acidification tank; domestic sewage; biodegradability; low C/N ratio

水解酸化池作为生活污水脱氮预处理工艺已有较多的研究 ,目前的研究多集中在以下 3 个方面: 采用水解酸化池取代初沉池 ,提高对 COD 和 SS 的去除率 ,减少后续好氧工艺的能耗^[1]; 水解酸化池用于改善进水水质 ,为后续脱氮除磷工艺提供可快速利用的碳源^[2-3]; 水解酸化池用于污泥减量^[2-6]。采用厌氧水解酸化池取代初沉池作为生物脱氮的预处理工艺应用于低碳源污水的处理可有效提高后续生物处理工艺的效率 ,并可补充一定量的反硝化碳源^[7] ,但由于水解酸化池对颗粒性物质的较强截留作用^[8-12] ,使得其在改善可生化性的同时也消耗了部分碳源 ,难以实现增加后续反硝化碳源的目的。已有研究表明 ,水解酸化池同时对剩余污泥和污水进行预处理可增加后续脱氮工艺的碳源^[2,3,6] ,但对常温下水解酸化池处理低碳源污水的性能及对脱氮的影响分析较少。笔者通过对比试验 ,分别进行了水解酸化池处理单纯污水以及同时处理污水和二沉池回流剩余污泥的研究 ,考察两种条件下水解酸化池进、出水指标变化及对系统脱氮效能的影响 ,以期为实际的污水处理工艺改造提供理论依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验工艺

中试装置采用水解酸化/缺氧悬浮填料移动床 (AMBBR) /好氧组合工艺。其中 ,水解酸化池有效容积为 150 L ,AMBBR 池有效容积为 180 L ,好氧池有效容积为 300 L ,试验流程如图 1 所示。

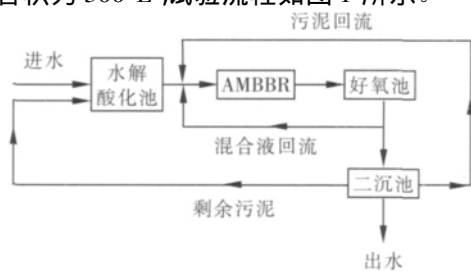


图 1 组合工艺流程

Fig. 1 Flow chart of combined treatment process

试验均设定进水流量为 50 L/h ,水解酸化池为上流式污泥床反应器 ,水力停留时间调节为 2. 5 h , AMBBR 水力停留时间为 3 h ,好氧池水力停留时间为 6 h ,硝化液回流比为 300% ,AMBBR 中填料的填充率为 30% 。

1.2 原水水质和分析方法

原水取自重庆大学 B 区学生公寓污水 ,试验在常温下进行 ,历时 3 个月 ,期间温度变化范围为 16. 8 ~ 26. 4 °C。试验水质情况及测试方法如下: COD 为 154 ~ 282 mg/L (哈希消解法) ,氨氮为 20 ~ 58. 2 mg/L (纳氏试剂比色法) ,总氮为 24. 97 ~ 68. 5 mg/L (紫外分光光度法) ,总磷为 2. 5 ~ 5. 4 mg/L (钼酸盐分光光度法) ,VFA 为 21 ~ 88. 2 mg/L (蒸馏法) ,碱度为 265. 7 ~ 382. 91 mg/L (酸碱指示剂滴定法) , pH 值为 7. 0 ~ 8. 08 (仪器直读法) 。

2 结果与分析

2.1 无污泥回流情况下的处理效能

吴一平等^[13]通过试验发现 ,污泥水解产物用作低 C/N 值污水的反硝化碳源 ,在水力停留时间为 1 h 时约可利用其中 SCOD 的 43. 11% ,水力停留时间为 3 h 时被利用的 SCOD 占 80. 27%。由于水解过程是将大分子不溶性有机物水解成小分子水溶性的有机物 ,试验选取 SCOD 和挥发性脂肪酸 (VFA) 的变化情况、理论 B/C ($BOD_{5理论}/COD_{进水}$) 值等来考察水解作用对污水和污泥可生化性的改善 ,并结合碱度的变化分析水解酸化的进行情况。

2.1.1 SCOD/COD 及理论 B/C 值的变化

试验结果表明 ,当进水的 SCOD/COD 平均值为 0. 68 时 ,出水平均值为 0. 79 ,提高了 11% ,说明污水经水解酸化作用后部分颗粒性物质和胶体物质转化为溶解性物质 ,但由于过程中微生物的生命活动消耗了一部分溶解性有机物 ,实际出水的 SCOD 值低于进水 ,这使水解酸化池在改善进水碳源的同时也减少了可利用的碳源量。穆军等通过试验建立了废水可生化性的评价指标 ,认为理论 B/C 值较直观

B/C 值(出水本身的 B/C 值)更能全面反映酸化过程对废水可生化性改变所起的作用^[14]。试验中理论 B/C 的平均值为 0.66。

2.1.2 碱度和 VFA 的变化情况

运行期间水解酸化池出水碱度和 VFA 都较进水高,在进水平均碱度为 347.12 mg/L 的情况下,出水平均碱度为 378.10 mg/L,平均增长幅度为 30.98 mg/L;当进水 VFA 平均浓度为 41.4 mg/L 时,出水 VFA 的增长幅度在 10~25 mg/L 之间波动,平均浓度提高了 15.9 mg/L。碱度和 VFA 的增长表明水解池内发生了有效的水解和酸化反应。

2.1.3 系统的脱氮效能

单独的污水水解酸化时,试验进水 COD 为 181~254 mg/L,虽然污水的可生化性得到改善,但碳源在微生物的利用下发生了减量,使进入后续反硝化反应器的碳源量减少,也影响到脱氮效果,当进水 TN 平均浓度为 31.7 mg/L 时,平均出水 TN 为 16.3 mg/L,去除率只有 47.8% (见图 2)。

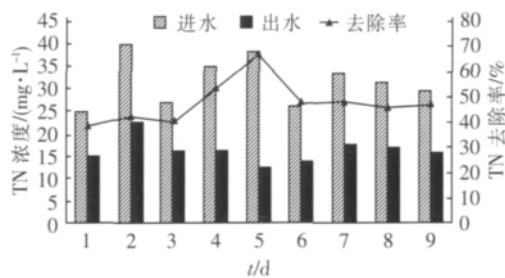


图 2 单纯污水水解时 TN 的去除情况

Fig. 2 Removal efficiency of TN under single wastewater hydrolysis

2.2 剩余污泥回流条件下的效能分析

采用水解酸化池处理剩余污泥,由于污泥停留时间较长,剩余污泥菌体外多糖粘质层有足够长的时间发生水解,使细胞壁打开,污泥液化化并重新回到污水处理系统^[5],所以水解酸化池厌氧菌除了对污水产生厌氧水解作用外,还可同时对污泥产生厌氧消化作用,在释放部分碳源的同时可对污泥的产生及消化达成平衡^[12]。本试验将二沉池剩余污泥回流至水解酸化池,在提高反硝化碳源的同时,实现剩余污泥的稳定化与减量化。

2.2.1 SCOD/COD 值及理论 B/C 值的变化

剩余污泥回流有两种情况:一是,当污水水温 > 20 °C 时每日等时间间隔回流剩余污泥 4 次,每次平均回流 5 L,回流剩余污泥浓度为 5~6 g/L;二是,

当污水水温 < 20 °C 时每日等时间间隔回流剩余污泥 2 次,每次平均回流 5 L,回流剩余污泥浓度在 5 g/L 左右。

与单纯的污水水解酸化一样,出水 SCOD/COD 值也高于进水:剩余污泥每日回流 4 次时,SCOD/COD 值由进水的 0.68 增加为出水的 0.86,出水 SCOD 浓度与进水相当或略大于进水浓度;每日回流 2 次时,剩余污泥量减少,SCOD/COD 值由进水的 0.65 增加为出水的 0.72。分析原因,当剩余污泥回流到水解酸化池后,回流污泥被大量截留在水解酸化池的污泥层中,水解酸化微生物作用于细胞物质,破坏其细胞壁,使内含物不断溶出,在温度较适宜的条件下,水解酸化菌活性良好,对污泥的水解速度较快,剩余污泥和进水中的部分难降解有机物一起“液化”,出水 SCOD 值增加的速率大于 COD 被消耗的速率,表现为出水 SCOD/COD 值的较大幅度增加;当温度下降时,系统剩余污泥量减少,回流频率下降,同时水解酸化菌活性受到影响,其作用强度减弱,表现为 SCOD/COD 值增幅较小。在两种不同条件下,理论 B/C 值分别为 0.7 和 0.67,可见回流剩余污泥条件下系统的可生化性有增强的趋势。

2.2.2 碱度和 VFA 的变化情况

该试验过程中碱度和 VFA 的变化情况与单独污水的水解酸化相同,在水解酸化池进水平均碱度为 324.00 mg/L 的情况下,出水平均碱度较进水提高了 36.34 mg/L。在水解酸化池进水平均 VFA 浓度为 54.65 mg/L 的情况下,出水平均 VFA 浓度为 93.67 mg/L,平均提高了 39.02 mg/L,远高于单独的污水水解酸化,表明剩余污泥回流到水解酸化池能在一定程度上增加后续反硝化碳源。

2.2.3 系统的脱氮效能

不同污泥回流量下系统的脱氮效能见图 3。

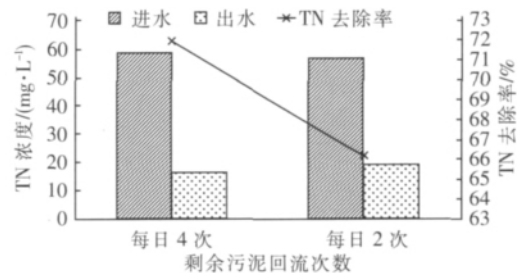


图 3 不同剩余污泥回流量下 TN 的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of TN under different recycle sludge flow

试验从 9 月初运行到 11 月中旬, 这期间跨越了一个较明显的温度界限, 在平均温度 $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、进水 COD 平均为 221 mg/L 、进水 TN 平均为 58.6 mg/L 时, 出水 TN 为 16.4 mg/L , 对 TN 的去除率达到了 71.9% 。当温度 $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 尽管进水 COD 平均为 232 mg/L , 系统污泥活性仍然呈现逐渐减弱的趋势, 剩余污泥量减少, 回流频率降为每日两次, 剩余污泥酸化对进水碳源的贡献减小, 当进水 TN 平均为 56.5 mg/L 时, 去除率降至 66.1% 。

2.2.4 污泥减量计算

水解酸化对剩余污泥的减量主要是通过剩余污泥被微生物所分解而溶出溶解性 COD 和高浓度短链脂肪酸来实现的。在不计水解酸化池增殖的水解酸化菌的情况下, 考虑到系统排泥, 参考杨波等^[15]关于水解酸化池的污泥减量率计算公式, 得到: 回流剩余污泥减量率 = (回流剩余污泥总量 - 污泥取样量 - H 池增加的污泥量 - 系统外排污泥量) / 回流剩余污泥总量 $\times 100\%$ 。

试验中, 当水解酸化池温度 $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 排泥周期为 20 d, 排泥体积约为 3 L, 污泥浓度约为 160 g/L ; 但当水解酸化池平均温度 $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 水解酸化池在运行的近 30 d 里没有排泥。同时, 由于水解酸化池取样量很少, 且在厌氧条件下水解酸化池中的微生物生长更新缓慢, 因此计算中忽略以上两项。经计算得出温度 $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时水解酸化池的污泥减量率为 58% ; 当平均温度 $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 水解酸化池的污泥减量率为 56.3% 。

3 结论

对比单纯的污水水解酸化和回流剩余污泥与进水同时水解酸化的结果, 发现在进水 COD 浓度相近的情况下, 两种运行方式中污水可生化性都得到了改善, 但单纯的污水水解酸化只能改善污水的可生化性, 而不能提高水解酸化出水的 SCOD 总量; 而回流剩余污泥的水解酸化池增加了水解酸化出水中 SCOD 的总量, 理论 B/C 值大于单独的污水酸化, 出水 VFA 浓度较进水提高了 71% , 为后续反硝化提供了一定的可快速利用碳源。此外, 水解酸化出水的碱度增加, 这有利于缓解硝化液回流对反硝化的影响, 有效满足反硝化菌的需求, 表明水解酸化预处理能较好地改善和增加有机碳源, 在剩余污泥回流量恒定及一定温度下效果更优, 可同时实现剩余污泥的稳定化和减量。

参考文献:

- [1] 于宏兵, 张万友. 水解酸化/活性污泥法/人工湿地处理污水[J]. 中国给水排水, 2004, 20(12): 73-75.
- [2] 王建龙, 彭永臻, 刘莹, 等. 水解酸化/AAO 工艺的同步脱氮除磷及污泥减量研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(23): 1-5.
- [3] 王建龙, 彭永臻, 高永青, 等. 强化内源反硝化脱氮及污泥减量化研究[J]. 环境科学, 2008, 29(1): 134-138.
- [4] 韩洪军, 徐春艳. 无剩余污泥水解酸化法处理生活小区污水试验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(10): 1337-1339.
- [5] 李方, 杨波, 田晴, 等. 水解酸化应用于剩余污泥减量的试验研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(9): 1247-1250.
- [6] 彭永臻, 王建龙, 王淑莹, 等. 污水复合式厌氧水解酸化预处理试验研究[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(1): 80-84.
- [7] 李晓晨, 潘俊成. 水解作为污水生物脱氮预处理工艺的可行性研究[J]. 江苏环境科技, 2004, 17(1): 1-3.
- [8] 谢雄飞, 肖锦. 厌氧-交替好氧缺氧工艺(AAA)处理城市污水的研究[J]. 环境科学与技术, 2000, 1(1): 5-9.
- [9] 王凯军, 贾立敏. 城市污水生物处理新技术开发与应用——水解-好氧生物处理工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [10] 余静, 张林生. 生活污水处理回用技术研究[J]. 给水排水, 2001, 27(4): 31-34.
- [11] 袁骏, 郭琴, 徐浩昌. 水解-好氧工艺处理生活污水[J]. 环境工程, 2005, 23(1): 22-24.
- [12] 朱大庆. 水解(酸化)工艺在生活污水处理中的应用[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(z1): 167-169.
- [13] 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.
- [14] 穆军, 黄翔峰, 章非娟, 等. 酸化工艺影响有机废水可生化性的评价指标及其应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(7): 908-912.
- [15] 杨波, 陈季华, 奚旦立, 等. 厌氧水解酸化-好氧氧化 $A_1/A_2/O$ 工艺剩余污泥减量影响因素[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 478-492.

E-mail: caocyx@126.com

收稿日期: 2011-07-12