

# 水解(酸化) - 好氧工艺处理混合工业废水试验研究

龚云华<sup>1</sup>, 卢成洪<sup>1</sup>, 杨新海<sup>1</sup>, 高廷耀<sup>2</sup>, 周增炎<sup>2</sup> (1. 上海市政工程设计研究院, 上海 200092; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要:** 水解(酸化) + 好氧工艺可以有效的用于城市污水与工业废水处理, 试验研究了不同工况条件下, 水解(酸化) + 好氧工艺处理混合工业废水的效果, 通过投加悬浮填料对水工艺过程进行优化, 使其处理系统更为有效。在总的水力停留时间分别为 11.5h、14.5h、19.0h, COD<sub>Cr</sub> 总的平均去除率分别为 72.1%、76.7%、77.6%, BOD<sub>5</sub> 的去除率为 89.6%、90.7%、91.5%, 废水经水解(酸化)处理后, BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 有上升趋势, 水解时间 3.5h、4.5h、6h 对应的 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 比值分别提高了 3%、11%、17%, 表明水解(酸化)提高了混合工业废水的可生化性。针对上海市某工业区混合废水建议水解(酸化)时间控制在 6h 以上、好氧反应控制在 10.0h。

**关键词:** 悬浮填料; 水解(酸化); 混合; 工业废水

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008 - 2301(2002)03 - 0021 - 04

**Study on Treatment of Mixed Industrial Wastewater Test by Hydrolysis(Acidification) - Aerobic Processing.** GONG Yun - hua<sup>1</sup>, LU Cheng - hong<sup>1</sup>, YANG Xin - hai<sup>1</sup>, GAO Ting - yao<sup>2</sup>, ZHOU Zeng - yan<sup>2</sup> (1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute, Shanghai 200092; 2. Environment Science and Engineering College of Tongji University, Shanghai 200092, China). Environmental Protection of Xinjiang 2002, 24(3): 21 ~ 24

**Abstract:** The biological process of hydrolysis (acidification) - aerobic processing can be efficiently used to treat municipal wastewater and non - biodegradable industrial wastewater. The test study shows the results from different operating conditions to treatment mixed industrial wastewater by hydrolysis (acidification) - aerobic processing. Optimization of processing can make its whole treatment system more efficient by adding suspended carriers to hydrolysis (acidification) - aerobic processing, the total hydraulic retention period respectively obtained 11.5h, 14.5h, 19.0h COD<sub>Cr</sub>, the total rate of average dislodgement is 72.1%, 76.7% and 77.6%, the rate of BOD<sub>5</sub> dislodgement as 89.6%, 90.7% and 91.5%, after hydrolysis(acidification), treating, BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> of wastewater is rising trend; the corresponding BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> ratio of hydrolysis time 3.5h, 4.5h and 6.0h have respectively raisen 3%, 11% and 17%. and the result indicates that the hydrolysis(acidification) - aerobic processing raise biochemistry performance of mixed industrial wastewater. The article proposals that time of hydrolysis (acidification) should control over 6h and aerobic reaction as 10.0h pointing at the mixed wastewater of industrial region of Shanghai city.

**Key words:** suspended carriers; hydrolysis (acidification) mixed; industrial wastewater

水解(酸化)——好氧污水处理工艺目前已被广泛应用于城市生活污水与工业废水的处理。该工艺是将控制在厌氧反应水解(酸化)阶段的反应器串联一个好氧处理系统;目的是利用厌氧消化的第一、第二阶段实现污水中有机污染物的水解(酸化)、大分子复杂有机污染物得到初步降解,再在后续的好氧处理系统中得以去

除。水解(酸化)细菌属于专性厌氧菌与兼性厌氧菌,稳定的操作条件、良好的细胞活性、较高细菌的分布密度都是提高水解(酸化)效果的重要措施<sup>[1,2]</sup>。

本文通过对采用中试规模的悬浮填料生物膜反应器实现水解(酸化)——好氧工艺处理混合化工废

收稿日期:2002 - 07 - 18

水的初步试验研究,探索了该工艺对混合化工废水的处理效果及其影响因素。

悬浮填料生物膜工艺中生物膜生长在反应器内的悬浮填料上,这些填料随反应器内混合液的混合翻转作用而自由回转移动,在水解(酸化)反应器内这种混合翻转动力通过机械搅拌作用提供,而在好氧反应器中则由曝气提供。悬浮填料生物膜工艺可以结合生物接触法与生物流化床的特点,在厌氧条件下能在水解(酸化)反应提供稳定的最佳操作条件,使细菌均匀地附着生长在填料上并保持较高的活性;作为好氧工艺它既能解决固定床反应器易堵塞、需要定时反冲洗、流化床填料易流失等问题,具有传统附着生长工艺耐冲击负荷、生物相丰富、剩余污泥少的特点,又具有悬浮生长系统处理效率高、运行稳定等优点<sup>[3,4,5]</sup>。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 废水水质

废水取自上海某工业区污水处理厂均质池出水,该工业区污水源头主要是生产染料、涂料、医药、香料、油墨精细化工产品的企业。废水来源复杂,有机物含量高,其中生物难降解物质所占的比例高。该试验研究期间,进水  $COD_{Cr}$  浓度范围:317.5 ~ 624.4mg/L,平均  $COD_{Cr}$  浓度为 445.1mg/L,  $BOD_5$  浓度范围:121.2 ~ 236.6mg/L,平均  $BOD_5$  浓度为 160.3mg/L,SS 50 ~ 200mg/L, pH 6 ~ 9,  $NH_3 - N$  15 ~ 55mg/L,平均水温在 25 以上。

### 1.2 悬浮填料

本试验采用国产专利技术制造的新型悬浮填料,是一种以聚丙烯为主要材料的特殊塑料制品,空心柱体,内有多叶瓣翼片,柱体外径 50mm,高度 100mm,比表面积为  $278m^2/m^3$ ,密度为  $0.96 \sim 0.99g/cm^3$ 。

### 1.3 试验流程与装置

试验的基本流程如图 1 所示。

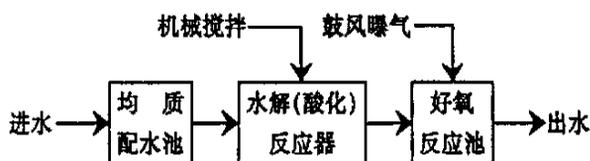


图 1 实验基本流程

Fig. 1 The basic flow chart of experiment

水解(酸化)反应器与好氧反应器均采用钢板焊接而成,水解酸化反应器整体尺寸为:长 × 宽 × 高 = 1.5m × 1.25m × 1.25m,有效水深 0.9m,总有效容积  $1.7m^3$ ,填料填充率(按堆积体积计算)45%,采用机械搅拌;好氧反应器整体尺寸为:长 × 宽 × 高 = 3.0m × 1.25m × 1.25m,沿纵向等分为四格,有效水深 1.00m,总有效容积  $3.75m^3$ ,填料填充率为 50%,即占反应器有效容积的 1/2;采用穿孔管曝气。

### 1.4 测试指标、方法及要求

$COD_{Cr}$ :标准重铬酸钾法; $BOD_5$ :容量法;温度:温度计直接测量;溶解氧:YSI 溶氧仪;pH:pH 计;生物膜量:105 烘干 2h;称重:定期对生物相进行镜检。

根据实际要求,要求  $COD_{Cr}$  总去除率达到 75% 以上、 $BOD_5$  去除率在 90% 以上,出水 pH 值控制在 6 ~ 9。

## 2 启动与调试

### 2.1 水解(酸化)反应器启动与调试

本试验中,接种污泥取自该污水处理厂污泥浓缩池,将污泥置于反应器内与填料在开动机械搅拌的条件下充分接触,以促进厌氧微生物的附着、生长,缩短挂膜时间;48h 后,发现填料表面有变黑,开始将水力负荷控制在  $3.0 \sim 4.0m^3/m^3 \cdot d$ ,有机负荷控制在  $1.0 \sim 2.5kg COD/m^3 \cdot d$ ,进行挂膜,一周后,填料表面形成一层黑色薄膜,此时  $COD$  去除率在 15% 以内;将水力负荷调节至  $5.0 \sim 6.0m^3/m^3 \cdot d$ ,有机负荷控制在  $1.5 \sim 3.5kg COD/m^3 \cdot d$ ,两周后,生物膜生长均匀,厚度在 1mm 左右, $COD$  去除率在 20% 左右,挂膜完成,由于直接采用污水处理的剩余污泥接种,故不需要驯化过程。

### 2.2 好氧生物反应器启动与调试

在水解(酸化)反应器运行前,好氧反应器已稳定运行较长时间,好氧反应器在冬天低温条件下采用自然方法进行启动:将已露天堆放达 20d 的旧填料作为载体置于反应器中,水力停留时间控制在 6 ~ 7h 之间,保证在较高的水力负荷条件下使填料挂膜,开始 10d 左右,老的生物膜相继脱落,由于水温较低(10 ~ 18)新的生物膜生长缓慢,20d 以后新的生物膜逐渐形成,40d 后处理出水指标基本趋于稳定,认为

启动、挂膜已经完成。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生化反应试验结果与分析

水解(酸化)反应器启动达到稳定运行后,即与好氧反应器串联,各处理系统在不同的运行工况下进行全流程试验,在稳定条件下的运行效果见图 2、图 3,平均结果见表 1。

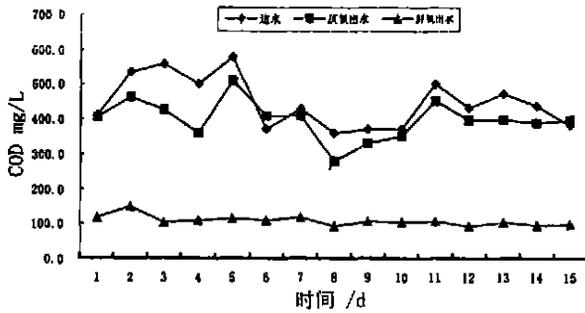


图 2 COD<sub>Cr</sub>的运行效果

Fig. 2 The operating effect diagram of COD<sub>Cr</sub>

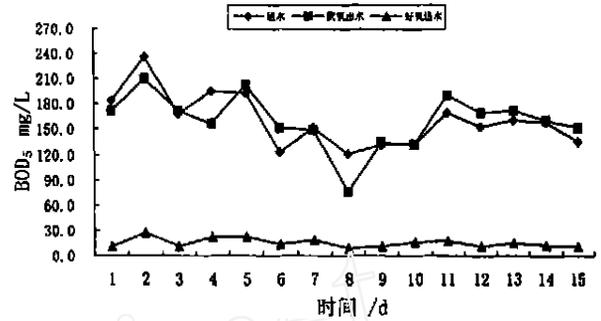


图 3 BOD<sub>5</sub>的运行效果

Fig. 3 The operating effect diagram of BOD<sub>5</sub>

表 1 水解(酸化) - 好氧工艺实验结果

Tab. 1 Experimental result of hydrolysis(acidification) - aerobic processing

| 反应器 | 总 HRT (h) | 有机负荷                                   |     | HRT (h) | COD <sub>Cr</sub> |      |         | BOD <sub>5</sub> |       |         | pH   |      | BOD <sub>5</sub> /COD <sub>Cr</sub> |    |         |
|-----|-----------|--|-----|---------|-------------------|------|---------|------------------|-------|---------|------|------|-------------------------------------|----|---------|
|     |           | COD <sub>Cr</sub> kg/m <sup>3</sup> ·d |     |         | 进水                | 出水   | 去除率 (%) | 进水               | 出水    | 去除率 (%) | 进水   | 出水   | 进水                                  | 出水 | 上升率 (%) |
| 水解  | 11.5      | 2.61                                   | 3.5 | 380.6   | 356.4             | 6.5  | 132.1   | 128.8            | 2.8   | 7.40    | 7.4  | 0.35 | 0.36                                | 3  |         |
| 好氧  |           |  |     |         |                   |      |         |                  |       |         |      |      |                                     |    |         |
| 水解  | 14.5      | 2.76                                   | 4.5 | 517.4   | 433.8             | 15.6 | 195.4   | 182.3            | 6.2   | 7.22    | 7.27 | 0.38 | 0.42                                | 11 |         |
| 好氧  |           |  |     |         |                   |      |         |                  |       |         |      |      |                                     |    |         |
| 水解  | 19.0      | 1.78                                   | 6   | 445.7   | 407.3             | 8.2  | 155.0   | 168.7            | - 8.9 | 7.44    | 7.40 | 0.35 | 0.41                                | 17 |         |
| 好氧  |           |  |     |         |                   |      |         |                  |       |         |      |      |                                     |    |         |

由结果可知:

- 1) 在总的水力停留时间分别为 11.5h、14.5h、19.0h COD<sub>Cr</sub> 总的平均去除率分别为 72.1%、76.7%、77.6%,BOD<sub>5</sub> 的去除率为 89.6%、90.7%、91.5%,在总 HRT 为 14.5h、19.0h 处理效果可达到预期要求。
- 2) 水解酸化反应对处理混合化工废水有一定的效果,COD<sub>Cr</sub> 平均去除率为 6.5%~15.6%,但 BOD<sub>5</sub> 去除率不高,甚至出现负值;但后续处理的好氧反应器出水 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 去除率始终保持稳定。说明水解(酸化)的主要目的是提高废水的可生化性、截留悬浮物,为后续的好氧处理提供更好的基质。
- 3) 废水经水解(酸化)处理后,BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 比值呈上

升趋势,表明水解(酸化)提高了混合工业废水的可生化性。从结果来看,水解时间 3.5h、4.5h、6h 对应的 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 比值分别提高了 3%、11%、17%。当水解时间较短(3.5h)废水进入反应器后在很短的时间内由于生物吸附的作用,COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 均有所降低,同时被大量吸附的主要是悬浮性的和 大分子难降解物质,故出水 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 较进水升高,但上升的比例仅为 3%;在 4.5h 左右,生物膜与污泥开始降解所吸附的有机物,使大分子有机物开始水解(酸化)为易降解小分子有机物,出水可生物降解部分比例(BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub>) 上升明显;而随着水解时间延长到 6h 时,更多的不溶性和难降解有机物已经获得了转化,BOD<sub>5</sub> 的下降速

率要低于  $COD_{Cr}$  的下降速率,结果表现为  $BOD_5/COD_{Cr}$  较进水上升达到 17%。为了充分利用水解酸化提高废水的可生化性,应将水解酸化时间控制在 6h 以上。

4) 在好氧反应器中, $COD_{Cr}$  的处理效果并没有随着对应的水力停留时间延长而显著增加,经分析主要是因为负荷已较低,在试验的有机负荷范围内,好氧反应器中较短的水力停留时间在 10.0h 即可满足  $COD_{Cr}$  去除率达到 75% 的要求。

### 3.2 生物膜性状与生物相观察

水解(酸化)反应器中成熟的厌氧生物膜呈黑色,由于填料采用机械搅拌,在反应器中能自由翻转,生物膜的更新快、且传质条件好;反应器中混合液中的成熟生物污泥呈深褐色,但呈明显的颗粒状污泥量少,污泥沉降性能一般。好氧生物膜的反应器中微生物相主要由附着生长在填料上的生物膜与混合液中的活性污泥组成,由于没有污泥回流,混合液中的污泥量较少,经镜检观察,污泥性状良好,并有大量细菌、藻类、放线菌、球衣菌,以及原生动物和小型后生动物,如钟虫、等枝虫;并比较突出地表现为由放线菌、球衣菌等组成的丝状菌构成的生物膜网状结构。稳定运行试验过程中发现,反应器第 1 格、第 2 格生物膜较后两格生物膜粗糙,后两格生物膜较光滑。生物填料上的膜分级现象明显,第一级生物膜呈深灰色,第二级呈灰色,第三、四级呈灰褐色,略带淡黄。此外,生物膜主要生长在填料柱体内多叶瓣翼片上,外表面几乎没有生物膜,膜的粘性较大。

通过试验数据结果和生物相观察表明,水解(酸化)反应器与好氧反应器内对污水处理主要作用的是生长在填料上的生物膜;在水解(酸化)反应器中,混合液中的厌氧污泥由于受机械搅拌,未呈现明显颗粒化,但其与厌氧生物膜共同构成了良好的水解(酸化)微生物生态系统。好氧反应器里混合液中污泥性状良好说明生物膜因水流紊动始终保持着很高的生物

活性,填料外表面由于受到较大水力剪切力和冲刷作用致使基本无生物膜生长。

## 4 结语

试验研究结果表明,投加悬浮填料的水解(酸化)+好氧工艺处理混合工业废水能够达到所要求的处理效果。其中水解(酸化)可以提高废水的可生化性,将难生物降解的有机物转化为可生物降解的小分子有机物,为后续好氧生物处理提供良好的基质条件,同时经水解酸化处理后的废水,处于缺氧和厌氧状态,进入好氧反应器后,可形成较大的溶解氧梯度,有利于提高好氧反应的氧利用率。生物反应器中由于投加了悬浮填料,更有利于微生物的生长、繁殖,并不需要污泥回流,节省了能耗。考虑实际效果和动力消耗,对于类似本试验中的混合废水,建议水解酸化反应时间控制在 6.0h 以上,好氧反应控制在 10.0h。

## 参考文献

- [1] 王凯军,等. 低浓度污水厌氧-水解处理工艺[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.
- [2] 朱文亭, 颜玲. 污水的水解(酸化)-好氧生物处理工艺[J]. 城市环境与生态, 2000, 13(5): 43-48.
- [3] H. DEGAARD, B. GISVOLD and J. STRICKLAND. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process[J]. Wat. Sci & Tech, 2000, 41(4-5): 383-391.
- [4] ANDREW STRECHLER and THOMAS WELANDER. A novel method for biological treatment of bleached kraft mill wastewaters[J]. Wat. Sci & Tech, 1994, 29(5-6): 295-301.
- [5] C. H. JOHNSON, M. W. PAGE and L. BLAHA. Full scale moving bed biofilm reactor results from refinery and slaughter house treatment facilities[J]. Wat. Sci & Tech, 2000, 41(4-5): 401-407.

**作者简介:** 龚云华(1976-), 男, 硕士, 毕业于同济大学环境科学与工程学院, 主要从事水污染防治和固体废弃物处理设计、研究工作。