

加压生物氧化法处理印染废水的动力学研究*

黄江丽¹ 赵文生¹ 施汉昌² 钱 易²

(1. 吉林化工学院环境科学与工程系, 吉林 吉林 132022;

2. 清华大学环境科学与工程系 环境模拟与污染控制国家联合重点实验室, 北京 100084)

摘要 加压生化法与其他处理印染废水的方法相比, 具有工艺简单、耐冲击能力强、投资低、操作参数仪表控制、剩余污泥量少等优点。探讨了在加压曝气条件下处理印染废水的生化反应机理, 测定其动力学参数, 建立加压生物氧化法处理印染废水的生物氧化反应动力学模型, 为印染废水的加压生化处理提供了可靠的设计与运行参数。

关键词 加压生化法 印染废水 动力学模型

印染废水是指棉、毛、化纤等天然纤维和化学纤维纺织品在染色、印花和整理过程中所产生的废水。目前, 印染废水的处理大多采用以生化处理为主体的工艺, 但其设计大多根据经验数据进行, 缺乏相应的理论依据, 不利于优化设计和操作运行的优化管理。近年来, 生物反应过程的动力学在理论和应用方面的研究都得到了深入的发展。加压生化法与其他处理印染废水的方法相比, 具有工艺简单、耐冲击负荷能力强^[1]等优点。本文为了更加明确在加压曝气条件下印染废水生物处理的生化反应机理, 在大量试验研究的基础上, 测定相应的动力学参数, 建立了加压生物氧化法处理印染废水的生物氧化反应动力学模型。该模型为印染废水加压生物处理的工业化提供了理论依据。

1 加压生化法处理印染废水动力学参数的求定

1.1 加压曝气供氧能力分析

在气液混合过程中, 气体溶解和析出达到平衡的条件下, 曝气器供给混合液(废水、微生物、活性污泥等)的氧全部被微生物利用^[2]。曝气器的供氧速率为:

$$\frac{dc}{dt} = \alpha KL_a (\beta C_s - C) \quad (1)$$

式中: $\frac{dc}{dt}$ 为曝气器供氧速率, $\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$; α 为转移系数比; β 为废水中饱和 DO 修正值; KL_a 为清水中曝气器的氧传递系数, h^{-1} ; C_s 为操作温度下的清水中饱和 DO, mg/L ; C 为混合液中实际 DO, mg/L 。

对于加压生物氧化法处理印染废水, 修正系数 α β 可通过下述方法分别求得。

1.1.1 印染废水的 α 值的确定

印染废水中含有糖类溶解性有机物质, 它们与水、气具有较强的亲和力, 聚集在气、液界面上, 增加了氧传递过程的阻力, 阻碍氧分子的扩散转移, 造成了 KL_a 的下降, 为此引入了 α 修正系数: $\alpha = \frac{KL_{av}}{KL_a}$ (式中 KL_{av} 为印染废水中曝气器的氧传递系数), 图 1 所示的是脱氧清水及脱氧印染废水的充氧曲线(自制的曝气池体积 5 L, 曝气量 30 L/h, 水温 20℃, 采用微孔扩散器)。以 20℃ 为例, 对数据进行处理。以 $\lg[(C_s - C_0)/(C_s - C)]$ 对时间作图得一直线, 其中 C_0 为 20℃ 时水中的 DO (mg/L), 其斜率即为 KL_{av} 。经计算分别求得 20℃ 时, $KL_a = 82.8 \text{ h}^{-1}$, $KL_{av} = 62.6 \text{ h}^{-1}$ 。则印染废水的 $\alpha = 62.6/82.8 = 0.76$ 。

1.1.2 印染废水 β 值的确定

氧在水中的饱和溶解度受到水质特性的影响, 主要是水中所含物质的影响。印染废水中含有大量的有机物及少量无机盐, 因此氧在印染废水中的饱和溶解度会低于在蒸馏水中的饱和溶解度。

β 值的测定: 用脱氧清水及经消毒或氯化汞和硫酸铜抑制的印染废水曝气至饱和, 测清水饱和 DO 和印染废水的饱和 DO, 其比值即为 β 值, 即 $\beta = \frac{C_{sv}}{C_s}$ (式中 C_{sv} 为印染废水中饱和 DO), 图 2 所示为不同温度条件下, 氧在清水及印染废水中的饱和溶解度。通过图中数据计算得 20℃ 时 $\beta = 6.7/9.17 = 0.67$ 。

按式(1)计算: $\frac{dc}{dt} = 0.76KL_a(0.67C_s - C)$ 。由此可知: 为了满足加压生物氧化法的高耗氧速率, 可从

第一作者: 黄江丽, 女, 1958 年生, 硕士研究生, 副教授, 主要从事水污染控制工程方面的研究。

* 吉林省科委“有机废水高效处理设备的开发与应用”资助项目(N0. 吉科合字第 962801-2), 该项目获吉林省科技进步三等奖。

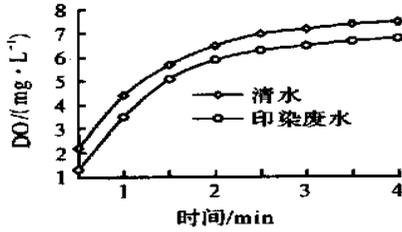


图1 脱氧清水及脱氧印染废水的充氧曲线

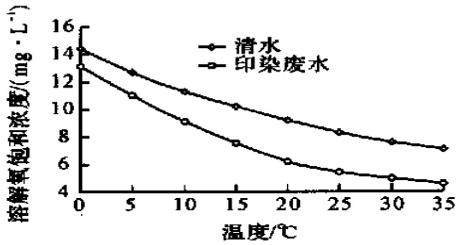


图2 氧在清水及印染废水中的饱和溶解度

曝气设备的两个方面加以强化: (1) 改变曝气器的结构, 采用中微孔曝气器, 在相同曝气量的条件下, 提高曝气器的 KL_a , 可以达到提高 $\frac{dc}{dt}$ 的目的; (2) 提高 C_s , 也可以达到提高 $\frac{dc}{dt}$ 的目的。实验采用的加压曝气法是提高曝气充氧能力的有效措施。

1.2 动力学参数 K 的求定^[3]

在水温为 12~ 25 , 保持活性污泥系统的污泥质量浓度 X (5~ 7 g/L) 及进水 COD_{Cr} (800~ 1400 mg/L) 大致不变, 改变水力停留时间 t (7, 8, 9 h), 测定相应的进、出水 COD_{Cr} (S_0, S_e), 计算相应的 $(S_0 - S_e)/Xt$, 以 S_e 为横坐标, 以 $(S_0 - S_e)/Xt$ 为纵坐标代入程序作图, 得一直线(见图3)。直线方程为: $y = 0.0032x - 0.525$ 直线斜率即为 $K = 0.0032 L/(mg \cdot d)$ 。

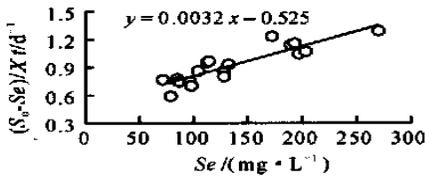


图3 图解法求 K 值

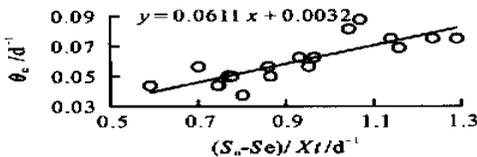


图4 图解法求 K_d 和 Y 值

1.3 微生物产率系数 Y 和衰减系数 K_d 的求定

保持生化塔内的污泥质量浓度大致在 5~ 7

g/L, 进水 COD_{Cr} 在 1 200~ 1 800 mg/L, 测定不同水力停留时间条件下的出水 COD_{Cr} 及每日从生化塔内排出的剩余污泥(即不同的细胞停留时间)。根据式(2)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \times q - K_d = Y \times \frac{S_0 - S_e}{Xt} - K_d \quad (2)$$

以 $\frac{S_0 - S_e}{Xt}$ 为横坐标, 以 $1/\theta_c$ 为纵坐标(θ_c 为污泥龄)作图得一直线, 直线在纵轴上的截距为 K_d , 直线的斜率为 Y 。图解法求 K_d, Y (见图4, 温度为 14~ 21)。

$$\text{图解求得方程: } y = 0.0611x + 0.0032 \quad (3)$$

则 $Y = 0.0611$ (单位 MLSS 与单位 COD_{Cr} 的比值); $K_d = 0.0032 d^{-1}$ 。

1.4 表观产率系数 Y_{obs} 的求定

通过式(2)及 $Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d/\mu}$, $\mu = 1/\theta_c$ 即可以求出相应的 Y_{obs} 值, 其值范围应该在 0.056~ 0.060 (单位 MLSS 与 COD_{Cr} 的比值)。

1.5 动力学常数 a, b 值的求定

1.5.1 b 值的求定

$$\Delta O_2 = aQ(S_0 - S_e) + bVX \quad (4)$$

式中: ΔO_2 为生化需氧量, kg/d; $(S_0 - S_e)$ 为基质去除量, kg/d; VX 为微生物量, kg; a 为合成的氧利用系数, kgO_2/kg 基质; b 为维持细胞活动的氧利用系数, d^{-1} ; Q 为进水量, m^3/d 。当 $S_0 = 0$ 时, (即进水 $COD_{Cr} = 0$) 时, $\Delta O_2 = bVX$ 。测定活性污泥内源呼吸的耗氧速率, 即可求定 b 值。具体测定过程如下: 取培养驯化好的污泥, 沉淀 1 h 后, 弃去上清液, 加入蒸馏水, 保持混合液 DO 在 5~ 6 mg/L, 充分曝气 8 h, 测定不同污泥条件下的废水耗氧速率, 以污泥浓度为横坐标, 以耗氧速率为纵坐标, 作图得一直线, 直线的斜率即为 b 值。印染废水 b 值的图解如图 5 所示。

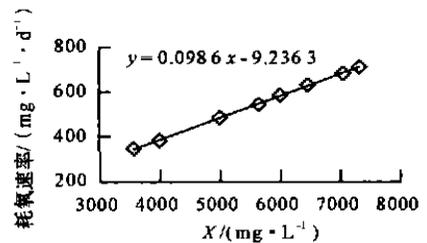


图5 图解法求印染废水的 b 值

图解得方程为 $y = 0.0986x - 9.2363$ 斜率即为 $b = 0.0986 d^{-1}$ 。

1.5.2 a 值的求定

将求得的 b 值代入式(4)得 $\Delta O_2 = aQ(S_0 - S_e)$

+ 0.0986VX 整理得:

$$R = \frac{O_2}{V} = a(S_o - S_e)/t + 0.0986X \quad (5)$$

式中: R 为混合液耗氧速率, $mg/(L \cdot h)$; $t = \frac{V}{Q}$ 。测定不同进水浓度、停留时间条件下的混合液耗氧速率 R , 以 $\frac{S_o - S_e}{t}$ 为横坐标以 R 为纵坐标作图(见图 6)。直线的斜率即 a 为 0.561(单位 O_2 与 COD_{Cr} 的比值)。

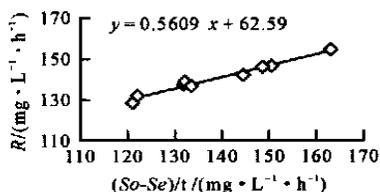


图 6 图解法求 a 值

2 加压生物氧化法处理印染废水的动力学模型

2.1 微生物比底物利用率公式^[4]

$$q = K(S_e - S_n) \quad (6)$$

式中: q 为微生物比底物利用率, d^{-1} ; K 为有机物降解速率常数, $L/(mg \cdot d)$, 存在 $\frac{S_o - S_e}{Xt} = K \times S_e$ 关系, 通过做图法求得, 同 K_d ; S_o, S_e 为进、出水 COD_{Cr} , mg/L ; S_n 为不可生物降解部分 COD_{Cr} , mg/L ; X 为活性污泥质量浓度, g/L ; t 为水力停留时间, d 。

从而可得微生物比底物利用率模型:

$$q = 0.0032(S_e - S_n) \quad (d^{-1}) \quad (7)$$

2.2 微生物增长速率公式^[5]

在反应器内, 微生物量因增殖而增加, 同时又因内源代谢而减少, 其中的变化可以通过 Lawrence-McCarty 模型表示:

$$\frac{dx}{dt} = Y \left(\frac{ds}{dt} \right)_u - K_d \cdot X \quad (8)$$

式中: Y 为微生物产率系数, 单位生物量与降解的有机基质的比值; K_d 为微生物内源代谢作用的自身氧化率, d^{-1} ; $\frac{dx}{dt}$ 为微生物净增殖速率, $mg/(L \cdot d)$; X 为反应器内微生物质量浓度, mg/L ; $\left(\frac{ds}{dt} \right)_u$ 为基质降解速率, $mg/(L \cdot d)$ 。

$$\text{微生物增长速率模型} \quad \frac{dx}{dt} = 0.0611 \times \frac{ds}{dt} - 0.0032X \quad (9)$$

2.3 基质降解与需氧量之间的关系公式

采用 EcKenfelder 等提出的合成系数法公

式^[6], 即公式(4): $\Delta O_2 = aQ(S_o - S_e) + bVX$ 将上面求得的各系数代入, 即可得有基质降解与需氧量间的关系模式:

$$\Delta O_2 = 0.561Q(S_o - S_e) + 0.0986VX \quad (kg/d) \quad (10)$$

2.4 基质降解与生物增长量之间的关系公式

采用 EcKenfelder 提出的合成系数法公式^[6]:

$$\Delta X = YQ(S_o - S_e) - K_dVX \quad (11)$$

式中: ΔX 为微生物增长量, kg/d ; Y 为微生物产率系数, 无因次; K_dVX 为反应器由于微生物内源呼吸而失去的生物量, kg/d ; Q 为废水流量, m^3/d ; S_o, S_e 为进出水基质质量浓度, mg/L 。

基质降解与生物增长关系模型:

$$\Delta X = 0.0611Q(S_o - S_e) - 0.0032VX \quad (kg/d) \quad (12)$$

3 结论

以印染废水为研究对象, 针对加压反应器的气体转移理论、耗氧速率、供氧能力的分析, 揭示了在加压条件下, 系统内有机物降解、污泥增长、耗氧等作用与各项设计参数、运行参数及环境因素之间的关系。

加压生物氧化法动力学模型反应了微生物比底物利用率、增长速率、基质降解与需氧量及生物增长之间的关系, 较好地体现了印染废水加压生物处理的有机物降解及生物增长规律, 为工业化处理装置的设计及运行提供了一定的依据, 为实际应用奠定了理论基础。

参考文献

- 1 黄江丽 利用加压生物氧化法处理印染废水的研究 环境工程, 2001, 20(5): 24~ 28
- 2 Li L, Chen P G, Loyna E F. Generalized kinetic model for wet oxidation of organic compounds A IChEJ, 1991, 37: 1687~ 1697
- 3 Orupold K. Estimation of treatability of different industrial wastewaters by activated sludge oxygen uptake measurements Wat Sci Tech, 1999, 40(1): 31~ 36
- 4 Henze M. Activated Sludge Model No. 1. London: IAWPRC, 1987
- 5 顾夏声 废水生物处理数学模型 北京: 清华大学出版社, 1993 120~ 160
- 6 张 建, 黄 霞, 丁文明, 等. 草浆造纸中段废水的生物处理动力学 环境科学, 2002, 23(5): 84~ 87

责任编辑: 闵 怀 (修改稿收到日期: 2004-08-30)

nitrified liquor is 0.6, the removal rate is 83% ~ 89% for COD_{Cr}, 94% ~ 96% for BOD₅, 96% ~ 98% for SS and 58% ~ 70% for NH₃-N respectively. The process uses sludge as nutrient resource, it is turned mostly into bodies of earthworms and their excreta, which can be used as the high grade feed and fertilizer afterwards. The process also has the characteristics of saving energy consumption, low cost and easily managing.

Keywords: Municipal sewerage

Sludge

Microbial

Earthworm

Synchronous treatment

Research on the dynamics model of printing and dyeing wastewater treatment by pressurized bio-oxidation process

Huang Jiangli¹ Zhao Wensheng¹

Shi Hanchang² Qian Yi²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Jilin Institute of Chemical Engineering, Jilin Jilin 132022; 2. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

The method of pressurized activated sludge process contrasted with others has the following advantages: its techniques are simple and advanced, and the ability to endure loading strike is strong; it occupies fewer land area and its investment is lower; the most important one is that it has less residual sludge. The research on bio-oxidation reactive mechanism of printing and dyeing wastewater treatment by pressurized activated sludge process was described. The value of dynamics parameters in the course of experiment was obtained and the dynamics model was determined. At the same time, the designing and running parameters in treating printing and dyeing wastewater with pressurized bio-oxidation process were provided.

Keywords: Pressurized bio-oxidation process

Printing and dyeing wastewater

Dynamics model

Effect of hydraulic retention time on the treatment efficiency and operational characteristics of biological aerated filter

Qiu Liping^{1,2} Ma Jun³ Zhang Lixin²

(1. Postdoctoral Workstation Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090; 2. School of Civil Engineering, Jinan University, Jinan Shandong 250022; 3. School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090)

A bench-scale investigation was accomplished to evaluate the effect of hydraulic retention time (HRT) on the efficiency and operational characteristics of biological aerated filter (BAF) by using a synthetic domestic wastewater as feed water. The variations of operation pattern and treatment efficiency of the bioreactor resulted from the changing of hydraulic retention time were analyzed. The experimental results demonstrated that it was effective to remove the organic matters and turbidity when the hydraulic retention time was longer than 0.6 h. However, the removal efficiency of organic matters and turbidity decreased remarkably when the hydraulic retention time was 0.4 h. The nitrification and denitrification ability of BAF declined sharply with decreasing the hydraulic retention time. The ammonia and total nitrogen removal efficiency were more than 70% and 40% respectively when hydraulic retention time was longer than 1.25 h. In addition, it was also observed that nitrite accumulation could be carried out when the hydraulic retention time was shortened, and that a linear relationship between hydraulic retention time and operation time was also found in the study.

Keywords: Biological aerated filter (BAF)

Hydraulic retention time (HRT)

Treatment efficiency

Nitrite accumulation

Filter cycle time

Study on domestic wastewater treatment in a combined biofilm reactor

Guo Haiyan Zhuo Jiti Jiang Su Zhang Zhiyong

(Department of Environmental Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116023)

A combined biofilm reactor was developed on the principle of traditional oxic/anoxic nitrogen removal process and used for the treatment of domestic wastewater. Experimental result showed that COD and TN removal efficiencies of the reactor came up to 97% and 82% respectively under the optimal conditions in spite of the increased organic load. Control was achieved by varying aeration rate and wastewater inlet position. Microorganism activity assay demonstrated that nitrification occurred mainly in the aerobic zone and denitrification in the anoxic zone. Simultaneous nitrification and denitrification (SND) also happened throughout the reactor due to the existence of microenvironment in the biofilm.

Keywords: Nitrogen removal

Combined reactor

Biofilm

Nitrification

Denitrification

SND