

橡胶促进剂 CBS 废水生化处理的动力学分析

王力友, 张显球, 江亭桂

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 橡胶促进剂 CBS 废水盐分高、COD 浓度高, 废水中含多种杂环有机物, 难降解、难生化, 属于高浓度难降解有机废水。废水经蒸馏预处理后采用生物接触氧化法处理, 试验考查了生物降解效果, 并对橡胶促进剂 CBS 废水生物接触氧化处理过程进行了动力学分析, 以 Monod 关系式为基础, 建立了生物接触氧化法的动力学方程。依据实验结果归纳出生物接触氧化法处理 CBS 废水动力学方程:  $\frac{t}{S_0 - S_e} = 2.629 \frac{1}{S_e} + 2.158$ 。同时求得橡胶促进剂 CBS 废水 20 ~ 25℃ 时的动力学参数  $U_{max} = 0.463 \text{ g/L} \cdot \text{h}$ ,  $K_s = 1.218 \text{ g/L}$ , 为废水生物处理系统的设计和运行提供了依据。

[关键词] 生物处理, 接触氧化法, 橡胶促进剂 CBS 废水, 动力学

[中图分类号] X783.3 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2005)04-0074-03

Analysis of Kinetic Process for Bio-Contact Oxidation Treatment on Accelerator CBS Wastewater

WANG Liyou ZHANG Xianqiu JIANG Tinggui

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

**Abstract** Accelerator CBS wastewater contains heterocyclic organics and high concentrations of salinity and COD, and is difficult to be degraded and bio-treated. The experiment on wastewater treatment by bio-contact oxidation process is conducted after pretreatment by distillation. The kinetic process of bio-contact oxidation treatment on accelerator CBS wastewater is discussed. Based on Monod equation, a kinetic equation  $\frac{t}{S_0 - S_e} = 2.629 \frac{1}{S_e} + 2.158$  is proposed aiming at bio-contact oxidation process. According to the experimental data on CBS wastewater treatment by bio-contact oxidation process, the kinetic parameters  $U_{max} = 0.463 \text{ g/L} \cdot \text{h}$ ,  $K_s = 1.218 \text{ g/L}$ , within 20 ~ 25℃ are determined, which might provide a reliable basis for engineering design and operation parameters.

**Key words** biobgy treatment, contact oxidation, accelerator CBS wastewater, kinetics

生物接触氧化法由于填料浸没在污水中, 而且采用强制曝气, 因此具有活性污泥法和生物膜法的特点, 接触氧化池内生物量大, 存在大量丝状菌, 处理能力强, 容积负荷高, 维护管理方便, 是一种理想的中小型污水处理工艺<sup>[1]</sup>。本项目对橡胶促进剂 CBS 废水的生物接触氧化处理过程进行了动力学分析, 确定了动力学参数, 为处理系统的优化设计及运行研究提供理论指导。

1 动力学模型的建立

1.1 莫诺特 (Monod) 关系式<sup>[2]</sup>

微生物降解废水中有机物时, 有机物浓度与微

生物比增长速率之间的关系可用 Monod 关系式表示:

$$\mu = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S}$$

式中,  $\mu$  为微生物比增长速率;  $\mu_{max}$  为在饱和浓度中微生物最大比增长速率;  $K_s$  为饱和常数, 其值为  $\mu = \frac{\mu_{max}}{2}$  时的基质浓度;  $S$  为溶液中限制细菌增殖的基质浓度 / (g/L)。

1.2 生物接触氧化法动力学方程的建立<sup>[3,4]</sup>

假定反应器中的液体处于完全混合状态, 填料上附着的生物膜为均匀分布, 基质浓度是决定生化

收稿日期: 2005-06-22  
基金项目: 江苏省教育厅科研开发基金资助项目 (00KJD61001)。  
作者简介: 王力友 (1960-), 实验师, 主要从事给排水及水处理等方面的教学与科研工作。E-mail wangliyou@njnu.edu.cn

反应速率的控制因素,对基质进行物料平衡,在稳态条件下得:

$$QS_0 + \left(\frac{dS}{dt}\right)_A V_A + \left(\frac{dS}{dt}\right)_S V_S = QS_e \tag{1}$$

式中,  $Q$  为进水流量  $/(L/h)$ ;  $V_A$  为附着生物膜的体积  $L$ ;  $V_S$  为反应器内液体(混合液)体积  $L$ ;  $S_0$  为进水基质浓度  $/(g/L)$ ;  $S_e$  为出水基质浓度  $/(g/L)$ ;  $\left(\frac{dS}{dt}\right)_A$  为单位体积的生物膜去除基质的速度  $/(g/(L \cdot h))$ ;  $\left(\frac{dS}{dt}\right)_S$  为单位体积悬浮生物固体去除基质的速度  $/(g/(L \cdot h))$ . 与  $\left(\frac{dS}{dt}\right)_A V_A$  项相比,  $\left(\frac{dS}{dt}\right)_S V_S$  项很小,可以忽略,因此(1)式变为:

$$Q(S_0 - S_e) = - \left(\frac{dS}{dt}\right)_A V_A \tag{2}$$

$$\text{因为 } \left(\frac{dX}{dt}\right)_A = -Y_{0A} \left(\frac{dS}{dt}\right)_A, \left(\frac{dX}{dt}\right)_A = \mu_A X_A,$$

所以

$$Q(S_0 - S_e) = \frac{\mu_A X_A}{Y_{0A}} V_A \tag{3}$$

式中,  $X_A$  为单位体积附着生物膜质量;  $\mu_A$  为附着生物膜比增长速度;  $Y_{0A}$  为附着生物膜的表现产率. 其中,

$$V_A = N \cdot a \cdot d \tag{4}$$

式中,  $N$  为填料体积  $L$ ;  $a$  为填料比表面积  $/(m^2/L)$ ;  $d$  为填料上生物膜厚度  $mm$ ;  $V_A$  为附着生物膜体积  $L$ .

把(4)代入(3)式,得:

$$Q(S_0 - S_e) = \frac{\mu_A X_A}{Y_{0A}} \cdot N \cdot a \cdot d \tag{5}$$

利用莫诺特方程,得:

$$Q(S_0 - S_e) = \frac{(\mu_{max})_A X_A}{Y_{0A}} \cdot N \cdot a \cdot d \cdot \frac{S_e}{K_s + S_e} \tag{6}$$

当接触氧化池运转正常时,设填料体积与流量恒定,则池内所挂生物膜的比表面积  $a$  是一个确定的值,可视为一个常数,所以可把  $a$  纳入到动力学常数中.

$$\text{令 } \frac{Q(S_0 - S_e)}{N} = U, \frac{(\mu_{max})_A X_A}{Y_{0A}} \cdot d \cdot a = U_{max}$$

于是(6)式变为:

$$U = \frac{U_{max} S_e}{K_s + S_e} \tag{7}$$

式中,  $U$  为单位体积填料对基质去除速率  $/(g/(L \cdot h))$ ;  $U_{max}$  为单位体积填料对基质最大去

除速率  $(g/(L \cdot h))$ ;  $U_{max}$  和  $K_s$  都是动力学常数.

于是有:

$$\frac{Q(S_0 - S_e)}{N} = \frac{U_{max} S_e}{K_s + S_e} \tag{8}$$

设  $\frac{Q}{N} = \frac{1}{t}$ ,  $t$  为水力停留时间,则式(8)可改为:

$$\frac{S_0 - S_e}{t} = \frac{U_{max} S_e}{K_s + S_e} \tag{9}$$

将式(9)线性化可得:

$$\frac{t}{(S_0 - S_e)} = \frac{K_s}{U_{max}} \cdot \frac{1}{S_e} + \frac{1}{U_{max}} \tag{10}$$

结合实验数据,利用此式可得常数  $U_{max}$  和  $K_s$ ,进而得到稳定工作状态下接触氧化池处理废水的动力学方程式.对不同的进、出水基质浓度可以推算出水力停留时间,从而对指导实际生产中的运行时间有一定的参考价值.由于  $U_{max}$  和  $K_s$  的值的大小与基质的性质、微生物种群、填料的种类和环境条件有关,所以应通过试验求得.

## 2 实验部分

### 2.1 废水水质

橡胶促进剂 CBS(*N*-环己基-2-苯并噻唑次磺酰胺,是一种常用的后效性促进剂<sup>[5]</sup>,生产过程中的废水主要来源于水洗工序和过滤母液,所排放的废水盐分高、COD浓度高,废水中含多种杂环有机物,难降解,难生化,属于高浓度难降解有机废水.本项目试验所用废水取自中国石化南京化工厂,废水经蒸馏预处理<sup>[6]</sup>后为试验水样,主要水质指标如表1所示.

表 1 废水水质指标

COD $/(g/L)$	BOD <sub>5</sub> $/(g/L)$	pH	色度 倍
3.200	0.750	6.5~7.5	50

### 2.2 试验方法

在 2L 的反应器中放入组合填料,并投加适量的取自该厂废水生化处理站的剩余活性污泥,废水按 BOD<sub>5</sub>:N:P=100:5:1 的配比加入氮、磷源,进行挂膜<sup>[7]</sup>.整个反应器在恒温箱内保持水温 20~25℃之间.以微波消解法快速测定装置测定 COD.

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 试验结果

按试验方法,测得不同处理时间的  $S_0$ 、 $S_e$ .并计算出  $t/(S_0 - S_e)$  和  $1/S_e$ .结果如表2所示.

表 2 试验结果及计算

$t/h$	$S_0/(g/L)$	$S_e$ $/(g/L)$	$t/(S_0 - S_e)$ $/(L \cdot h/g)$	$1/S_e$ $/(L/g)$
4	0.992	0.451	7.39	2.217
6	0.992	0.368	9.62	2.717
8	0.992	0.292	11.43	3.425
10	0.992	0.245	13.39	4.082
12	0.992	0.196	15.08	5.102

3.2 动力学参数的确定

令  $y = \frac{t}{S_0 - S_e}$      $x = \frac{1}{S_e}$

则 (10) 式变为:

$$y = \frac{K_s}{U_{max}} \cdot x + \frac{1}{U_{max}} \tag{11}$$

动力学参数可以用图解法求得, 利用表 2 中的数据, 分别计算  $y, x$ , 以  $x$  为横坐标、 $y$  为纵坐标, 作得一直线如图 1 所示.

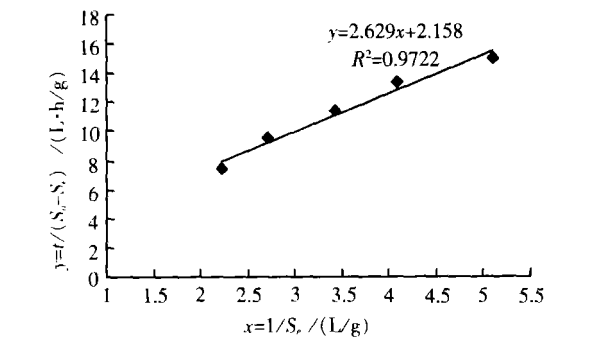


图 1 按 Monod 关系式拟合的结果

对直线进行回归分析, 得回归方程为:

$$y = 2.629x + 2.158 \quad R^2 = 0.9722$$

由回归方程求得:

$$U_{max} = 0.463 \text{ g/L} \cdot \text{h} \quad K_s = 1.218 \text{ g/L}$$

由图 1 可知, 按 Monod 关系式拟合所得的结果相关关系显著, 因此采用生物接触氧化法处理橡胶促进剂废水, 当停留时间在 12 h 以内, 废水中有机物的降解近似地符合 Monod 关系式.

4 结论

采用生物接触氧化法处理橡胶促进剂废水具有较好的效果. 在本试验条件下, 当停留时间在 12 h 以内, 生物接触氧化法处理橡胶促进剂废水过程近似地符合 Monod 关系式, 动力学方程可表达为:  $\frac{t}{S_0 - S_e} = 2.629 \frac{1}{S_e} + 2.158$  动力学常数  $U_{max} = 0.463 \text{ g/L} \cdot \text{h}$   $K_s = 1.218 \text{ g/L}$  该动力学方程可为橡胶促进剂废水处理工程的设计及运行研究提供理论指导.

[参考文献]

[1] 张自杰. 排水工程(下册) [M]. 4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000

[2] 周群英, 高廷耀. 环境工程微生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

[3] 顾夏生. 废水生物处理数学模式 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1993

[4] 黄江丽, 赵文生, 施汉昌, 等. 加压生物氧化法处理印染废水的动力学研究 [J]. 环境污染与防治, 2000, 4 (6): 430-432

[5] 武振宇, 王翠珍, 张跃. 硫化促进剂 CBS 合成新工艺 [J]. 河北化工, 1997(4): 13-15

[6] 侯小刚, 张显球, 王力友, 等. 橡胶促进剂 CBS 废水处理的初步试验 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2002, 2(2): 66-68

[7] 马占青. 水污染控制与废水生物处理 [M]. 北京: 中国水利电力水电出版社, 2003

[责任编辑: 严海琳]