



生物接触氧化法处理柑橘罐头废水的动力学研究

蔡涛, 宋碧玉

(武汉大学 资源环境学院, 武汉 430079)

摘要:通过对柑橘罐头生产企业生产废水的特点分析, 提出了采用酸化水解-接触氧化工艺处理柑橘罐头废水的方案, 根据试验结果进行动力学模型推导, 得出接触氧化法处理柑橘罐头废水的反应速率方程。

关键词: 生物接触氧化法; 柑橘罐头废水; 动力学模型

中图分类号: X792.031 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2455(2006)06-0016-04

Hydraulic research on treatment of wastewater from orange can production by biological contact oxidation process

CAI Tao, SONG Bi-yu

(School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: The scheme that using acidification hydrolysis-contact oxidation process to treat wastewater from orange can production was offered through the analysis of the characteristics of the wastewater from orange can production enterprises. The hydraulic model was deduced from the result of the test, and the function of reaction rate that using contact oxidation process to treat wastewater from orange can production was finally obtained.

Keywords: biological contact oxidation; wastewater from orange can production; hydraulic model

1 柑橘罐头加工废水处理工艺的确定

柑橘罐头废水是一种生物降解性较好的食品废水, 目前一般采用先经过格栅去除较大颗粒的悬浮物, 再加药混凝沉淀或气浮去除小颗粒的悬浮物及果胶, 最后经不同的好氧生化工艺处理排出。实际运行情况表明, 若加药混凝沉淀或气浮不能很好地去除污水中的果胶, 后续的好氧生化处理的出水水质很差, 难以达标排放, 而且加药混凝沉淀或气浮需增加药剂成本。

本试验工艺流程中考虑先经过机械格栅去除较大颗粒的悬浮物, 然后直接进入酸化水解池, 该池同时具有沉淀和水解功能, 选择合适的酸化水解时间, 可以使废水中的果胶得到分解转化, 有利于后续生化处理, 最后经生物接触氧化处理后达标排放。具体试验流程见图1。

试验用水取自某食品厂柑橘罐头生产混合废水, 当进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 的质量浓度分别不

大于 1 000、486、250 mg/L 时, 处理后最终出水水质达到污水综合排放标准(GB 8978-1996)中的一级标准。

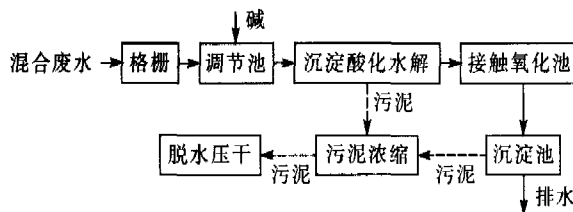


图1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Process flow of treatment of orange can wastewater

2 生物接触氧化法的特点

生物接触氧化系统具有以下特点^[1-2]:

①生物接触氧化法体积负荷高, 处理时间短。一般情况下, 以城市污水为例, 活性污泥法的容积负荷为 $1 \text{ kg}[BOD_5]/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 需曝气时间为 4~8 h; 而接触氧化法的容积负荷为 $3 \sim 5 \text{ kg}[BOD_5]/(\text{m}^3[\text{填料}] \cdot \text{d})$, 是普通活性污泥法的 3~5 倍, 曝气时间为 0.5~1.5 h。由于缩短了处理时间, 同样大小的设备体积, 处理能力提高了 2~5 倍, 使污

水生物处理工艺趋向高效并节省用地。

② 有较高的微生物浓度。由于填料比表面积大,池内充氧良好,单位容积生物量高于活性污泥法,故系统耐冲击负荷能力强,出水水质好且稳定。当进水浓度短期突变时,出水水质受影响很小;在毒物和 pH 值的冲击下,生物膜受影响小,恢复快。这已在国内外各地的废水处理试验中得到证实。

③ 动力消耗低。由于在接触氧化池内有填料存在,增加了氧的传递效率,且因省去污泥回流也使能耗下降,因此采用接触氧化法处理污水,动力消耗比活性污泥法减少 20%~30%。

④ 污泥产率低,不需污泥回流,无污泥膨胀问题。与活性污泥法相比,接触氧化法的容积负荷高 2~5 倍,但污泥产量不仅不高,反而有所降低。当容积负荷为 1~3 kg[BOD₅]/(m³·d)时,去除每千克 BOD₅ 产生的污泥仅为 0.18~0.58 kg;生物接触氧化法由于微生物附着在填料上,生物膜的脱落和增长能保持平衡,不需污泥回流,且不会产生污泥膨胀问题。

本试验在好氧生物接触氧化工艺之前,进行水解酸化处理,利用产酸菌的生物酶将不易被好氧微生物所降解的果胶等大分子有机物断链,使固体物质转化为溶解物质,大分子物质转化为小分子物质,成为各种易于被降解的有机酸,提高污水的可生化性,提高好氧生物接触阶段的效果。

3 生物接触氧化生物处理系统反应动力学模型的导出

生物接触氧化池反应器见图 2。

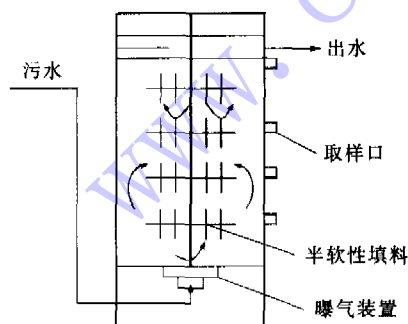


图 2 生物接触氧化池反应器
Fig. 2 Bio-contact oxidation tank

生物接触氧化池反应器中设半软性复合填料(以硬性塑料为支架,上面缚以软性纤维),曝气装置设在填料底部,填料层间紊流激烈,经测定反应

器内流体的 COD_C 沿深度方向分布基本相同,可知反应器内水流属于完全混合型,因此可以认为反应器内各空间点的底物浓度基本相同,出水浓度即池中浓度,而附着在填料表面的生物膜也是均匀分布的,以反应器为独立体系^[3],根据化学反应动力学理论,接触氧化反应器中的每一个局部单元都存在着如下的物料平衡关系^[4]:

$$(-ds/dt)V = QS_0 - [(-ds/dt)_a V_a + (-ds/dt)_s V_s + QS] \quad (1)$$

式中: $-ds/dt$ ——氧化池中基质变化的速率, mg/(L·s);

$(-ds/dt)_a$ ——附着生物膜去除基质的速率, mg/(L·s);

$(-ds/dt)_s$ ——悬浮的生物体去除基质的速率, mg/(L·s);

V ——氧化池的容积, L;

V_a ——附着的生物膜的体积, L;

V_s ——悬浮生物体体积(即氧化池液体的体积), L;

S_0 ——进水基质的质量浓度, mg/L;

S ——出水基质的质量浓度, mg/L。

忽略维持反应所需的能量与生物的内源衰减,则生物增长与基质利用有如下关系:

$$(-dX/dt)_{A_g} = Y_A (-ds/dt)_a \quad (2)$$

$$(-dX/dt)_{S_g} = Y_S (-ds/dt)_s \quad (3)$$

式中: $(-dX/dt)_{A_g}$ ——附着生物膜的绝对生长速率, mg/(L·s);

$(dX/dt)_{S_g}$ ——悬浮生物体的绝对生长速率, mg/(L·s);

Y_A ——附着生物膜的产生系数;

Y_S ——悬浮生物体的产生系数;

式(2)和式(3)两边分别乘以 X_a/X_a 和 X_s/X_s , 并改写成

$$\{[(dX/dt)_{A_g}/X_a]X_a/Y_A\} = U_a X_a/Y_A = (-ds/dt)_a \quad (4)$$

$$\{[(dX/dt)_{S_g}/X_s]X_s/Y_S\} = U_s X_s/Y_S = (-ds/dt)_s \quad (5)$$

式中: X_a ——附着生物膜的活性生物量, mg/L;

X_s ——悬浮生物体的活性生物量, mg/L;

U_a ——附着生物膜的比增大速率, L/s;

U_s ——悬浮生物体的比增大速率, L/s。

把式(4)和式(5)代入(1)式得

$$(-ds/dt)V = QS_0 - QS - U_a X_a V_a/Y_A - U_s X_s V_s/Y_S \quad (6)$$

设填料的比表面积为 $A(\text{m}^2/\text{m}^3)$ ，活性生物膜的平均厚度为 $D(\text{m})$ ，池内填料体积为 $N(\text{m}^3)$ ，则附着在填料表面上的生物膜总体积为 $V_a = NAD$ 。在稳态条件下，低底物浓度时，微生物的比增大速率遵循 Monod 式，则(6)式可写成

$$Q(S_0 - S) = (U_a X_a NAD/Y_A)[S/(K_s + S)] + (U_s X_s V_s/Y_s)[S/(K_s + S)] \tag{7}$$

接触氧化池中的生物膜量多且活性高，当主要的有机物被微生物解体时，脱落的生物膜悬浮体量少且趋于老化，代谢能力差。故池内悬浮生物代谢可忽略不计，于是式(7)可表示为：

$$Q(S_0 - S) = (U_{\max} X_a NAD/Y_A)[S/(K_s + S)] \tag{8}$$

式中： $U_{\max}$ ——附着生物膜最大比增大速率， L/s 。

当进水基质负荷达到一定值以后，在溶解氧保持一定值以及其它环境条件，如水温、 pH 值等因素均保持不变时，附着在填料上生长的生物膜平均厚度可以认为是不变的。因此，附着在单位填料表面上的活性生物量是一定的，因而式(8)中

$$U_{\max} \cdot X_a / Y_A = (-ds/dt)_{a\max} \tag{9}$$

式中： $(-ds/dt)_{a\max}$ ——附着生物膜最大去除基质的速率， $\text{mg}/(\text{L} \cdot \text{s})$ 。

上式两边同乘以 $NAD=V_a$ ，即为氧化池附着膜总的最大去除基质的速率。上式两边同乘填料表面积 NA ，可得单位填料表面积上附着生物膜最大利用基质的速率

$$U_{\max} X_a NA / Y_A = -(ds/dt)_{a\max} NA \tag{10}$$

由于基质利用率在数值上等于基质的去除率，

用 $\mu_{\max}$ 代表单位填料表面积上附着的生物膜最大去除基质的速率，由式(9)表示为 $\mu_{\max} = \mu_{\max} X_a / Y_A D$ 。由此，氧化池附着生物膜总的最大去除基质的速率可表示为

$$Q(S_0 - S)/NA = \mu_{\max} S/(K_s + S) \tag{11}$$

式左边即单位填料面积基质去除速率，也是单位填料面积的基质去除负荷率。令

$$U = Q(S_0 - S)/NA, \text{ 并代入式(10), 得}$$

$$U = \mu_{\max} \cdot S/(K_s + S) \tag{12}$$

式中： U ——填料表面基质去除速率， $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ；
 $\mu_{\max}$ ——饱和浓度时填料表面附着的生物膜最大基质去除速率， $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。
 K_s ——饱和常数。

当废水中含有不可生物降解物质时， S 包括可生物降解及不可生物降解物质，不可生物降解物质在应用上述公式时应该从实测到的 S 中减去，如不可生物降解物质浓度用 S_n 表示，则式(12)相应的变为：

$$U = \mu_{\max} \cdot (S - S_n)/[K_s + (S - S_n)] \tag{13}$$

4 生物接触氧化池动力学常数 K_s 、 $\mu_{\max}$ 与反应速率确定

试验装置采用内径 200 mm，高 2 200 mm 的 PVC 圆柱，有效容积 100 L，曝气装置采用可变微孔曝气器，材料为 ABS。经测定，氧化池填料总体积为 1 550 mL，填料的比表面积为 1 458 m^2/m^3 ，填料总表面积为 2.26 m^2 ，填料容积负荷为 1.3 $\text{kg} [\text{COD}_G]/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，试验结果列于表 1。

表 1 试验结果平均值
 Tab.1 Average values of experimental results

试验组合	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	$S_0/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$S/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	去除率/%	$Q(S_0 - S)/(\text{m}^3 \cdot \text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{L}^{-1})$	$U/(\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$	$\frac{1}{U}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{g}^{-1})$	$\frac{1}{S - S_n}/(\text{L} \cdot \text{mg}^{-1})$
1	0.240	744	50	89.1	166.56	73.70	0.0136	0.025
2	0.240	725	45	89.0	163.20	72.21	0.0138	0.029
3	0.240	752	51	89.4	168.24	74.44	0.0134	0.024
4	0.240	722	44	88.8	162.72	72.00	0.0139	0.029
5	0.240	700	42	88.9	157.92	69.87	0.0143	0.031

注：本表中数据为水力停留时间为 10 h 时测定值的平均值， S_n 为不可降解 COD_G ，由试验求得为 10 mg/L 。

对(13)式两边取倒数得下式：

$$1/U = 1/\mu_{\max} + (K_s/\mu_{\max}) \cdot 1/(S - S_n) \tag{14}$$

据表(1)中所得数据，做 $1/U \sim 1/(S - S_n)$ 的直线图(见图 3)，其回归直线方程为

$$1/U = 1.082 \times 10^{-2} + 0.1108/(S - S_n)$$

可以确定 $\mu_{\max} = 92.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ， $K_s = 10.2 \text{ mg}/\text{L}$ (相关系数 $r = 0.990$)。

图解值代入式(13)可得柑橘罐头加工废水的反应速率方程为

$$U = 92.4(S - S_n)/[10.2 + (S - S_n)]$$

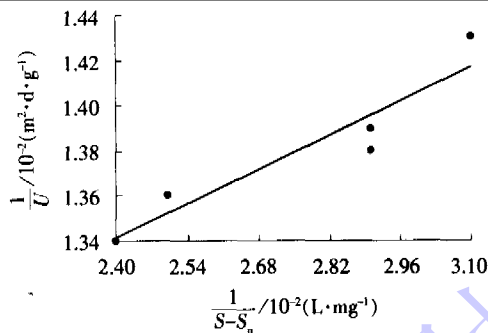


图3 直线回归

Fig. 3 Linear regression

5 结语

通过理论分析,对生物接触氧化池降解柑橘罐头加工废水有机物的动力学机理及动力学模式进行探讨,推导出了生物接触氧化池降解柑橘罐头加工废水有机物去除的动力学模型为:

$$U = 92.4(S - S_n) / [10.2 + (S - S_n)]。$$

该方程对于预测柑橘罐头废水出水水质,并根据进出水水质目标确定合理水力停留时间具有重要意义。

参考文献:

- [1] 郑元景. 生物膜法处理污水[M]. 重庆: 中国建筑工业出版社, 1986. 300-310.
- [2] 上海市环境保护局. 废水生化处理[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999. 75-77.
- [3] 陈玉莉, 卞华松, 张仲燕. 探求生物接触氧化法处理合成洗涤剂废水的动力学模型[J]. 上海大学学报(自然科学版), 1995, 1(2): 177-181.
- [4] 邱立平. 生物接触氧化过滤处理生活污水的动力学研究[J]. 本溪冶金高等专科学校学报, 2001, 3(3): 34-35.

作者简介: 蔡涛(1973-), 男, 河南郑州人, 华北水利职业学院讲师, 武汉大学资源与环境学院工程硕士, 研究方向为环境工程, (电子信箱)ctey511@yahoo.com.cn。