

活性污泥 1号模型模拟糖厂废水处理关键参数测定

Measurement of Key Parameters in ASM1 to Simulate Sugar Refinery Wastewater

温中海, 邓超冰, 冼萍, 李英花

WEN Zhong-hai, DENG Chao-bing, XIAN Ping, LI Ying-hua

(广西大学环境学院, 广西南宁 530004)

(College of Environment, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要: 采用呼吸计量法测定钦州某糖厂废水的异氧菌产率系数 Y_H 、异氧菌衰减系数 b_H 和异氧菌最大比增长速率系数 $\mu_{m,H}$ 3个活性污泥 1号模型 (ASM1) 模型参数, 并与国际水质协会给出的 ASM1 模型中 20℃ 时城市生活污水的参数推荐值进行比较。结果显示, Y_H 为 0.700, 比推荐值 (0.67) 略高, 说明对糖厂废水的处理, 较之生活污水处理难度要大; b_H 为 0.56, 比推荐值 (0.62) 略低, 说明微生物在处理糖厂废水时自生生长的速度不及处理生活污水的快; $\mu_{m,H}$ 为 5.71, 比推荐值 (6.0) 略低, 说明微生物在糖厂废水中的生存难度大于城市生活污水。

关键词: 废水 糖厂 呼吸计量法 参数 测定

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2009)04-0465-04

Abstract One of Qin Zhou sugar refinery wastewater Y_H , b_H and $\mu_{m,H}$ in Activated Sludge Model 1 (ASM1) were measured by respirometric method and compared with the recommended value by IAWQ for urban residential waste water at the temperature of 20℃. The conclusion is drawn that Y_H is 0.700, a bit higher than the recommended value (0.67), it shows that, compared with urban residential wastewater treatment, the degradation rate is relatively lower, the experiment draws a conclusion that, it is more difficult to treat industry wastewater than residential wastewater; b_H is 0.56, a bit lower than the recommended value (0.62), this shows that, when treating sugar refinery waste water, microorganism grows faster than the speed at which it treats the waste water; $\mu_{m,H}$ is 5.71, a bit lower than the recommended value (6.0), this shows that, for microorganism, it is more difficult for microorganism to live in industry wastewater than in residential wastewater.

Key words wastewater, sugar making industry, respirometric method, parameters, measurement

对活性污泥法的数学模拟始于 20 世纪 60 年代^[1], 国际水污染研究与控制协会 (IAWPRC) 发布了 ASM1、ASM2、ASM2D 和 ASM3 等数学模型^[2]。ASM1 模型是建立在物质质量守恒的基础之上, 以数学矩阵的形式反映系统的碳氧化、硝化和反硝化过程的模型^[3], 它包括 13 种组分、5 个化学计量数、14 个动力学参数和 8 个生化反应过程^[4], 其化学计量系数描述了单个过程中各组分之间的数量关系^[5], 动力学参数描述了相关组分对反应速率的影响^[6]。ASM1 模型中各参数取值的准确性, 直接关系到模型应用的成功与否^[7]。目前 ASM1 模型只有城市生活污水的各相关参数推荐值

本文针对糖厂废水, 选取异氧菌产率系数 Y_H 、异氧菌衰减系数 b_H 和异氧菌最大比增长速率系数 $\mu_{m,H}$ 3 个参数进行测定^[8], 并与国际水质协会给出的 ASM1 模型中 20℃ 时城市生活污水的推荐值比较, 为 ASM1 模型在糖厂废水处理中的应用提供设计依据。其中 Y_H 是异氧微生物的生长速率与底物的降解速率之间的比例系数, 它与反应器总的耗氧速率有直接的关系, 其值增加, 总的耗氧速率降低, 异氧微生物的产率增高, 意味着单位量的微生物所消耗的有机物少, 有机物的降解速率低^[9]。 b_H 是以活性污泥死亡-再生模式为基础, 描述微生物衰减过程的重要动力学参数, 它对于污泥产率和需氧量的预测至关重要^[10]。 $\mu_{m,H}$ 的主要功能是预测耗氧速率 (OUR) 的最大值, 它可以反映出微生物在特定废水中生存的难易程度^[11]。

收稿日期: 2009-03-13

修回日期: 2009-04-23

作者简介: 温中海 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事水污染的控制研究。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验采用容积为 1.2L 的序批式呼吸计量反应器(图 1),主体设备包括主反应器、磁力搅拌器、恒温水浴、溶氧仪、空气压缩机等。

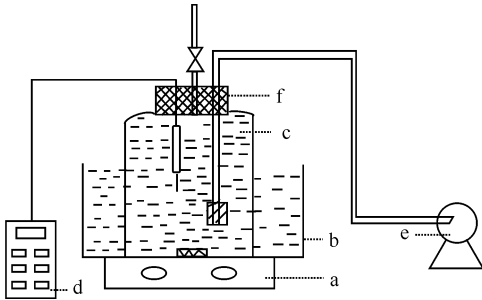


图 1 序批式呼吸计量反应器

Fig. 1 Experiment set-up of sequencing batch respiratory measurement

a. 磁力搅拌器; b. 恒温水浴; c. 主反应器; d. 溶氧仪; e. 空气压缩机; f. 多孔密封塞

a. Magnetic stirrer; b. water bath; c. the main reactor; d. oxygen analyzer; e. air compressor; f. stopper.

1.2 实验用水及污泥

实验用的废水和污泥取自钦州某糖厂。将取回的糖厂废水,加入适量 $ZnSO_4$ 溶液混凝沉淀,然后用 0.45 μ m 滤膜过滤,所得滤液作为溶解性实验水样。

将从处理糖厂废水的活性污泥曝气池中取回的适量污泥混合液放入序批式呼吸计量反应器中,进行曝气直至污泥达到内源呼吸水平。分离泥、水,污泥用蒸馏水清洗数遍(消除残留 COD_G 的影响)后作为实验污泥。

1.3 实验过程

1.3.1 异氧菌产率系数 Y_H 的测定

选择序批式呼吸计量法^[12]为 Y_H 的测定方法。将实验污泥及废水加入密闭的序批式呼吸计量反应器中,让其进行生化反应。测出反应器内 OUR 的变化规律。随着反应的进行,OUR 值降低并趋于稳定,微生物处于内源呼吸阶段,根据公式

$$Y_H = \frac{COD_{deg} - \int [OUR - OUR_e] dt}{COD_{deg}} \quad (1)$$

即可换算出异氧菌产率系数 Y_H ^[12], (1)式中: COD_{deg} 为废水降解掉的 COD 值 (mg/L); OUR 为任一时刻微生物反应的耗氧速率 (mg/(L·h)); OUR_e 为微生物内源呼吸阶段的耗氧速率 (mg/(L·h))

在污泥浓度相同的条件下,调节不同的废水浓度,在污泥有机负荷比 $F/M = 0.03 \ 0.04 \ 0.05 \ 0.07 \ 0.08 \ 0.10$ 这 6 个梯度条件下进行实验。向批量反应器中加入一定量的实验污泥和废水水样(加入适

量的尿素和磷酸二氢钾补充微生物生长所需 N、P,使得 C:N:P = 100:5:1) 投加一定量的丙烯酸硫脲(ATU),使反应器内 ATU 的浓度为 20mg/L 左右,以抑制自养菌的活动。将反应器置于恒温水浴,反应器内温度稳定在 $(20 \pm 0.5)^\circ C$ 。用磁力搅拌器对反应器内溶液进行搅拌。将反应器密封,应用微孔曝气头对其大量曝气充氧,在反应器内溶解氧(DO)浓度大于 6.5mg/L 时停止曝气,用溶氧仪连续测定反应器内溶解氧的变化情况。当 DO 浓度小于 1mg/L 时继续曝气充氧,然后继续读取反应器内 DO 浓度变化情况。直至反应器内 OUR 稳定,即活性污泥重新达到内源呼吸水平。

1.3.2 异氧菌衰减系数 b_H 的测定

对 b_H 的测定选择 Ekama 等人推荐的呼吸计量测定方法^[8,10],即通过连续几天多次测量 OUR 值,其氧吸收速率的自然对数与时间关系曲线的斜率就是传统衰减系数 b_H ^[13]。

$$\ln OUR_t = \ln[(1 - f'_p)b'_H X_{H(0)}] - b_H t, \quad (2)$$

(2)式中, $X_{H(0)}$ 为初始时异氧菌微生物浓度; f'_p 为传统衰减模式中活性微生物转化为细胞残留物的比例。得出 b'_H 后,根据公式

$$b_H = \frac{b'_H}{1 - Y_H(1 - f_p)} \quad (3)$$

换算出 b_H ^[14], (3)式中: Y_H 为异氧菌产率系数,取实验测定值 0.7; f_p 为死亡-再生模式中活性微生物转化为细胞残留物的比例,取 ASM 中的推荐值 0.08

将处理后的污泥 1L 加入序批式呼吸计量反应器中,再加入一定量的 ATU,使反应器内的 ATU 浓度为 20mg/L 左右,以抑制自养菌的影响。密封反应器并置于恒温水浴,稳定温度在 $(20 \pm 0.5)^\circ C$,用微孔曝气头对反应器进行连续曝气,每天测定 OUR 进行 6 次平行实验。

1.3.3 异氧菌最大比增长速率系数 $\mu_{m,H}$ 的测定

在溶解氧浓度和基质浓度很高的条件下,溶解氧浓度和基质浓度这两种因素已经不再限制微生物处理废水的效率,影响 OUR 的只有异氧菌的浓度。此时序批式呼吸计量反应器内任意时刻的 OUR ^[15] 可以表示为:

$$OUR_t = \frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_{m,H} X_{BH(t)} + (1 - f'_p)b'_H X_{BH(t)}, \quad (4)$$

式中 $X_{BH(t)}$ 为 t 时刻反应器内异氧微生物浓度

这种情况下序批式呼吸计量反应器内异氧菌的物料平衡为

$$\frac{dX_{BH(t)}}{dt} = (\mu_{m,H} - b'_H)X_{BH(t)} \Rightarrow X_{BH(t)} =$$

$$e^{-m_H - b_H'} X_{BH(0)}, \quad (5)$$

(5) 式中 $X_{BH(0)}$ 为初始时反应器内异氧微生物浓度。

将 (5) 式带入 (4) 式并取对数得

$$\ln \text{OUR}(t) = \ln \left[\frac{1 - Y_H}{Y_H} (-m_H - b_H') + (1 - f_p') b_H \right] X_{BH(0)} + (-m_H - b_H') t, \quad (6)$$

由 (6) 式可以直观的看出, $\ln(\text{OUR})$ 和时间 t 存在着线性关系, 且对其作图后所得直线的斜率即为 $-m_H - b_H'$ 。那么, 在 b_H 已知的情况下, 即可得出 $-m_H - b_H'$ 的测定需要待处理废水有着较高的有机物浓度, 但是糖厂的冷凝冷却废水一般 COD_{Cr} 浓度不超过 1000mg/L , 达不到实验所需有机负荷, 即不能保证 $\ln(\text{OUR})$ 和时间 t 的曲线呈明显上升趋势。故实验需要向经膜过滤后的糖厂废水中加入一定量的葡萄糖, 以提高有机物浓度, 以此作为实验水样。对 $-m_H - b_H'$ 的测定分别按 $F/M = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2$ 进行 6 次实验。 $-m_H - b_H'$ 的测定过程与 Y_H 测定过程相同。

2 结果与分析

2.1 异氧菌产率系数 Y_H

图 2 为 6 次实验得出的其中两组 OUR 与时间变化关系的曲线。由图 2 可见, 在实验开始的一段时间里, OUR 值在一个较高的水平上, 随后耗氧速率曲线经过一个快速下降过程之后, 又在在一个较低的 OUR 值范围内停留一段时间, 最终, OUR 曲线经过两次下降之后, 趋于平稳, 实验结束。

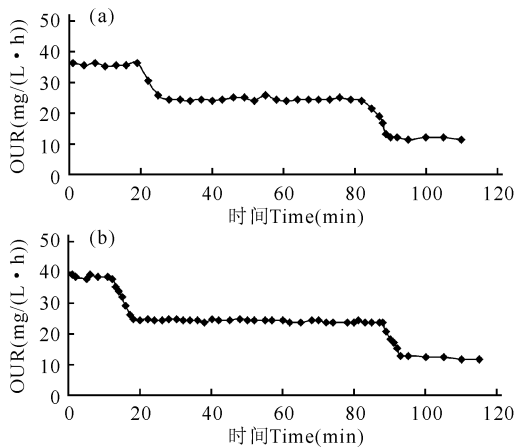


图 2 OUR 与时间变化关系曲线

Fig. 2 Relationship curve between OUR and time

(a) $F/M = 0.04$; (b) $F/M = 0.05$.

在实验开始时, 废水中因含有较多的易生物降解物质, 而被活性污泥微生物快速降解, 使得 OUR 值保持在一个较高的水平。随着反应的进行, 废水中易生物降解的物质被快速利用后, 废水生物反应过程需氧量减少, OUR 值变小, 但是最终值不会降为 0, 因为废水中积累的慢速生物降解物质在一段时间里会以

相同的速率继续被利用。

由表 1 结果可知, 在不同 F/M 条件下进行 6 次实验得出的 Y_H 算数平均值为 0.700, 这与国际水质协会给出的 20°C 时城市生活污水的推荐值 (0.67) 相比, 其值略高, 说明活性污泥法对糖厂废水的处理效果, 较之城市生活污水, 有机物的降解速率相对较低。这也说明了工业废水的处理难度较之生活污水要大。

表 1 异氧菌产率系数 Y_H 实验测定值

Table 1 Experimental determination data of Y_H

F/M	Y_H	F/M	Y_H	F/M	Y_H
0.03	0.708	0.05	0.696	0.08	0.698
0.04	0.679	0.07	0.715	0.10	0.704

2.2 异氧菌衰减系数 b_H

图 3 为 6 次实验得出的其中两组的 $\ln(\text{OUR})$ 与时间的变化关系图。由图 3 可以看出, 实验基本上在 7d 左右完成。实验测定的 b_H' 值在 0.200 左右, 相关系数 R 值也在 0.9947 之上, 平行实验之间的偏差较小, 结果比较准确。因此, 可以认为试验中采取呼吸计量法测定的结果能正确反映异养菌的生长特性。

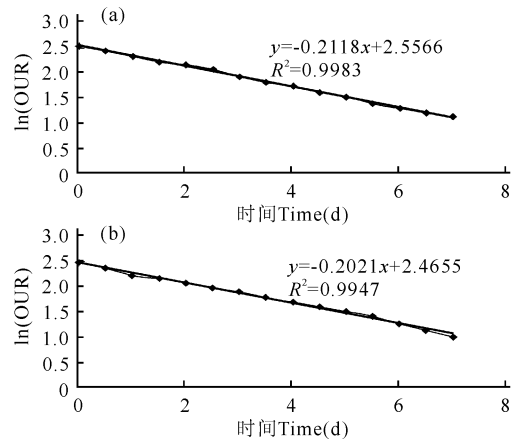


图 3 $\ln(\text{OUR})$ 与时间的变化关系

Fig. 3 Relationship curve between $\ln(\text{OUR})$ and time

(a) $b_H' = 0.212$; (b) $b_H' = 0.202$.

根据 6 次实验测得的好氧速率数值, 结合公式 (2), 可得出传统衰减系数 b_H' 如表 2 所示。

表 2 传统衰减系数 b_H' 实验测定值

Table 2 Experimental determination data of b_H'

批次 Batch	b_H'	批次 Batch	b_H'	批次 Batch	b_H'
1	0.212	3	0.196	5	0.192
2	0.202	4	0.194	6	0.198

6 次实验测定的平均值 $b_H' = 0.20$, 结合公式 (3), 计算得出 $b_H = 0.56$ 与国际水质协会给出的 20°C 时城市生活污水的推荐值 (0.62) 相比, 其值略低。因为糖厂废水有机物浓度较之生活污水偏低, 其易生物降解有机物浓度也较低, 微生物在处理糖厂废水时自生生长的速度便不及处理生活污水的快。

2.3 异氧菌最大比增长速率系数 $\mu_{m,H}$

图 4 为 6 次实验得出的其中两组的 $\ln(\text{OUR})$ 与时间的变化关系图。由图 4 可以看出,实验测定的 $\mu_{m,H} - b'_H$ 值在 5.500 左右,相关系数 R 值也在 0.9920 之上,各组实验之间的偏差较小,结果比较准确。分析原因,这跟实验操作的过程及条件有关。影响实验测定结果的因素主要包括两个部分:污泥的培养状态和实验进行的时间。首先,本次实验接种污泥直接从污水厂生物反应系统中取得,并没有在实验室中培养,充分保证了微生物活性基本不受影响。此外,从图中还可以看出,本批实验持续时间一般在 0.12d 以内,与污水厂生物反应系统的污泥龄相比,此反应时间很短,反应时间给测定结果带来的干扰基本可以忽略不计。因此,可以认为在本试验中采取呼吸计量法测定的结果能正确反映异养菌的生长特性

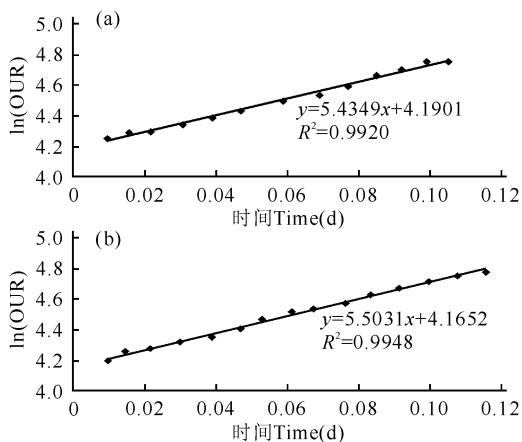


图 4 $\ln(\text{OUR})$ 与时间的变化关系

Fig. 4 Relationship curve between $\ln(\text{OUR})$ and time

(a) $F/M = 0.6$, $\mu_{m,H} - b'_H = 5.435$; (b) $F/M = 0.7$, $\mu_{m,H} - b'_H = 5.503$.

从表 3 可以得出 $\mu_{m,H} - b'_H$ 的平均值为 5.51, 又 $b'_H = 0.20$, 故 $\mu_{m,H} = 5.71$, 与国际水质协会给出的 20°C 时城市生活污水的推荐值 (6.00) 相比, 其值略低, 说明微生物在工业废水中的生存难度大于城市生活污水。

表 3 $\mu_{m,H} - b'_H$ 实验测定值

Table 3 Experimental determination data of $\mu_{m,H} - b'_H$

F/M	$\mu_{m,H} - b'_H$	F/M	$\mu_{m,H} - b'_H$	F/M	$\mu_{m,H} - b'_H$
0.5	5.486	0.7	5.503	1.0	5.474
0.6	5.435	0.8	5.596	1.2	5.539

3 结论

(1) 实验得出的异氧菌产率系数算数平均值为 0.70, 与国际水质协会给出的 20°C 时城市生活污水的推荐值 (0.67) 相比, 其值略高。说明活性污泥法对糖厂废水的处理效果, 较之城市生活污水, 有机物的降解速率相对较低。实验结果说明了工业废水的处理

难度较之生活污水要大。

(2) 实验得出的异氧菌衰减系数算数平均值为 0.56, 与国际水质协会给出的 20°C 时城市生活污水的推荐值 (0.62) 相比, 其值略低。说明微生物在处理糖厂废水时自生长的速度不及处理生活污水的快。

(3) 实验得出的异氧菌最大比增长速率算数平均值为 5.71, 与国际水质协会给出的 20°C 时城市生活污水的推荐值 (6.00) 相比, 其值略低, 说明微生物在工业废水中的生存难度大于城市生活污水。

参考文献:

- [1] Gujer W, Larsen T A. The implementation of biokinetics and conservation principles in ASM [J]. Wat Sci Tech, 1995, 31(2): 257-266
- [2] 赵振, 林卫青. 污水处理厂计算机仿真模拟研究 [J]. 化工环保, 2004, 24(2): 18-22.
- [3] Henze M, Grady C P L, Jr Gujer W, et al. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1 [R]. London: IAWPRC, 1987.
- [4] Henze M, Gujer W, Mino T, et al. 活性污泥数学模型 [M]. 张亚雷, 李咏梅, 译. 上海: 同济大学出版社, 2002 1-39.
- [5] 石婷, 鞠兴华. ASM1 中异养菌产率系数的方法测定研究 [J]. 山西建筑, 2007, 33(22): 197-198.
- [6] 于静洁, 马超, 李莉, 等. ASM1 中化学计量系数与动力学参数的测定 [J]. 环境污染与防治, 2006, 28(05): 24-26.
- [7] 刘芳, 周雪飞, 蓝梅, 等. 活性污泥 1 号模型废水特性的测定研究 [J]. 环境污染与防治, 2004, 26(2): 92-94.
- [8] 刘芳. 城市污水厂活性污泥数学模型的参数测定及模拟研究 [D]. 上海: 同济大学, 2004 82-94.
- [9] 张晶, 姚重华. 活性污泥过程模型中的动力学参数 [J]. 大连铁道学院学报, 1998, 19(2): 94-97.
- [10] 黄勇, 杨铨大, 王宝贞, 等. 生物处理动力学参数测定研究 [J]. 中国环境科学, 1996, 16(2): 123-127.
- [11] Kappeler J, Gujer W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic condition and characterization of wastewater for activated sludge modeling [J]. Wat Sci Tech, 1992, 25(6): 125-139.
- [12] 宋文清, 杨海真. 活性污泥数学模型中异氧菌产率系数的测定 [J]. 环境污染与防治, 2004, 26(4): 49-50
- [13] IWA. IWA task group on mathematical modeling for design and operation of biological wastewater treatment. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2 and ASM3 [R]. London: IWA, 2000.
- [14] Ekama G A. Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems [J]. Wat Sci Tech, 1986, 18(6): 91-114.
- [15] Insel G, Karahan Gal O, Orhon D, et al. Important limitations in the modeling of activated sludge: biased calibration of the hydrolysis process [J]. Wat Sci Tech, 2002, 45(12): 23-36.

(责任编辑: 韦廷宗)