

生物膜反应器进出水底物浓度相关性研究

刘 雨 赵庆良

(香港科技大学) (哈尔滨建筑大学, 哈尔滨 150001)

摘要 从厌氧生物膜反应器、异养-好氧生物膜反应器和硝化生物膜反应器三方面, 全面考察了进水底物浓度 (S_0) 对生物膜反应器稳态出水水质 (S_e) 的影响, 发现 S_e 随 S_0 的变化呈现半 U 形曲线. 在传统的线性模型基础上, 提出了非线性 S_e - S_0 的模型, 该模型能很好地定量描述试验所得数据, 并从文献中的数据得到了进一步的验证. 所提出的临界进水底物浓度的概念在实际生物膜反应器设计及运行中, 具有重要应用意义.

关键词 生物膜, 底物, 反应器, 模型.

在实际应用中, 生物膜反应器并非处于稳态, 而是受到进水底物浓度变化的冲击. 关于冲击负荷对悬浮生长活性污泥法的影响业已有大量报道^[1-3], 而其对附着生长的生物膜反应器的影响还缺少系统的研究. 随着对生物膜反应器研究的不断深入, 全面而系统地考察进水底物浓度变化对生物膜反应器的影响, 无疑将有助于今后生物膜反应器的设计与运行管理. 本研究将基于厌氧生物膜反应器、好氧生物膜反应器和硝化生物膜反应器, 全面探讨进水底物浓度对生物膜反应器稳态出水水质的影响.

1 试验设施与方法

试验装置主要由生物膜反应器和为培养生长不同种类生物膜而设置的附属控制设施所组成. 进水底物浓度变化对硝化生物膜反应器出水水质影响的整套设施见图 1. 底物由人工合成, 厌氧、异养-好氧生物膜反应器主要采用葡萄糖及其它必要营养物; 硝化生物膜反应器主要用氯化铵、碳酸氢钠及其它必要的微量物质. 厌氧及异养-好氧生物膜反应器的接种主要采用活性污泥, 而硝化生物膜反应器由硝化细菌占主导的微生物种群接种, 此优势种群是经过长达 1.5 a 的选择培养后从硝化后的活性污泥中分离出来的.

检测的指标及手段: 总有机碳 (TOC) 采用

TOC 测定仪, 总需氧量 (TOD) 用 TOD 测定装置, 氨氮采用标准法^[4].

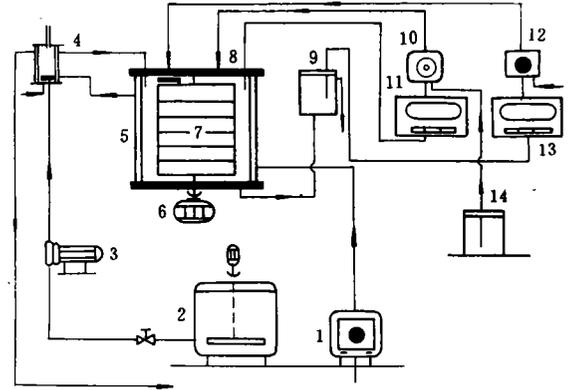


图 1 硝化生物膜反应器系统

1. 恒温控制系统
2. 基质储存罐
3. 蠕动泵
4. 预曝气系统
5. 生物膜反应器
6. 电动机
7. 旋转转盘
8. pH 计
9. 氧电极
10. 脉冲泵
11. pH 控制器
12. 电子阀
13. 溶解氧控制器
14. 缓冲液

2 试验结果与讨论

2.1 厌氧生物膜反应器

图 2 所示为 $HRT=9$ h 的条件下, 进水底物浓度对厌氧生物膜反应器的稳态出水水质变化的影响. 从图 2 可以看出, 随不同进水 TOC (S_0) 的增加, 稳态出水 TOC (S_e) 也逐渐增加; S_e 与 S_0 之间呈非线性关系, 而是半 U 曲线. 这表

收稿日期: 1995-12-19

明在较高 S_0 时, 厌氧生物膜反应器对进水底物浓度的扰动更为敏感。

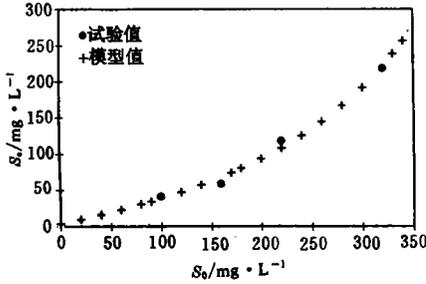


图2 厌氧生物膜反应器中 S_{0c} 随 S_0 的变化(TOC)

2.2 异养-好氧生物膜反应器

图3所示为 $HRT=1$ h 条件下, 进水底物浓度对异养好氧生物膜反应器的稳态出水水质变化的影响。与图2相比可以看出, S_0 对好氧生物膜反应器的影响也遵循相似的半U形曲线。

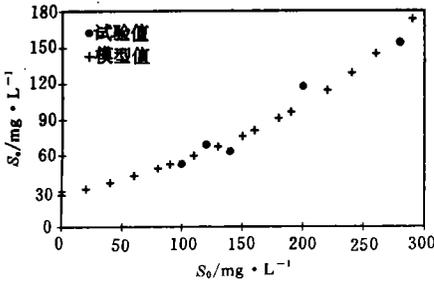


图3 好氧生物膜反应器中 S_{0c} 随 S_0 的变化(TOD)

按照经典的活性污泥完全混合理论, 微生物似乎不应该对其并不接触的进水底物浓度作出响应。Daigger 等人^[5]认为出水中的可溶性有机物并不是进水带来的原始底物, 而是微生物的代谢产物, 基于活性污泥既是有机物的消费者又是有机物的生产者这一概念, 出水中有机物浓度可用下述模型来表示:

$$Z = Y_T S_0 \left(\frac{K_0}{\mu} + K_2 + K_3 \right) + S_{en} \quad (1)$$

式中, Z 表示出水中总的有机物浓度, Y_T , S_0 和 S_{en} 则分别代表实际产率、进水底物浓度和出水中非生物降解有机物浓度, μ 为比增长率, K_0 、 K_2 和 K_3 分别为最终产物形成系数。

从(1)式可以看出: 出水中总有机物浓度与进水底物浓度直接相关, 若考虑到 μ 的变化范围很小, Z 与 S_0 之间可归结为近似线性。但(1)

式只是一种构造-机理性模型, 并不能对图2和图3作出合理的定量描述。

2.3 硝化生物膜反应器

图4为 $HRT=5$ h 条件下, 进水氨氮浓度对硝化生物膜反应器的稳态出水水质变化的影响。从图4可知, S_0 与 S_{0c} 之间仍呈半U形曲线关系。在进水氨浓度大于 60 mg/L 时, 硝化生物膜对 S_0 的变化异常敏感。对于硝化生物膜反应器, 很难想象从稳态出水中所检测到的氨氮浓度是源于微生物代谢, 相反它极有可能是源于起始进水底物浓度。事实上, 由固定微生物代谢过程所释放的氨氮可以忽略不计^[6], 因此 Daigger 等人提出的假说并不完全, 因为它对于硝化生物膜系统并不适用。基于上面的分析与讨论, 这里有必要更进一步地深入探讨 S_0 对 S_{0c} 的影响机制并建立起其间的定量模型。

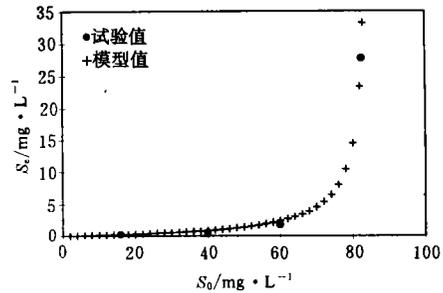


图4 硝化生物膜反应器中 S_{0c} 随 S_0 的变化(NH_4-N)

2.4 S_0 - S_{0c} 模型

目前, 在文献中所提出的 S_0 - S_{0c} 经验关系式, 不论它们的形式如何, 都可归于线性表达式。这些线性模型都不能对所观察到的大量非线性 S_0 - S_{0c} 关系作出合理的解释^[7-10]。

为了更好地描述 S_0 对生物膜反应器的影响, 本文根据底物去除动力学推导出了如下的 S_0 - S_{0c} 模型表达式:

$$S_{0c} = K \frac{S_0}{S_{0,c} - S_0} + S_{en} \quad (2)$$

式中, $S_{0,c}$ 和 K 分别是临界进水底物浓度和浓度系数, 从理论上讲, $S_{0,c}$ 代表了在给定条件下生物膜反应器所能承受的最大进水底物浓度。

当 $S_0 \ll S_{0,c}$, 亦即当生物膜反应器远远未达到它所能承受的最大负荷时, 方程(2)可简化为

下列线性形式:

$$S_e = \frac{K}{S_{0,c}} S_0 + S_{en} \quad (3)$$

由此可见, S_0 - S_e 之间的线性关系式只是方程(2)的一个特例. 很显然, 如果进水底物负荷大于底物去除率, 底物就会从反应器中流失, 正是由于底物供给及其去除之间有着这种内在联系, 也就决定了 S_0 - S_e 之间的关系. 当增加单位进水底物浓度就引起等价的出水水质变化时, 该生物膜反应器被定义为“被底物击穿”, 因此, 方程(2)的稳定性可用如下的边界条件来保证:

$$\frac{dS_e}{dS_0} = 1 \quad (4)$$

从理论上讲, 对于任何一个给定的 S_0 都存在对应的 S_e , 即当 $S_0 < S_{0,c}$ 时, 方程(2)可按连续性方程处理. 与 S_0 相比, 满足方程(4)的进水底物浓度被定义为实际临界进水浓度 ($S_{0,c}^*$). 方程(2)两边对 S_0 求导并将式(4)代入则得:

$$S_{0,c}^* = S_{0,c} - \sqrt{KS_{0,c}} \quad (5)$$

在生物膜反应器的设计和实际运行中, $S_{0,c}^*$ 概念的引入具有重要的意义, 它反映了生物膜反应器实际能承受的最大进水底物强度.

2.5 模型的验证

在图 2 至图 4 中, 十字曲线是方程式(2)的计算结果. 很显然, 方程式(2)能够令人满意地定量描述所获得的试验结果. 表 1 中列出了与图 2 至图 4 相对应的 K , $S_{0,c}$, $S_{0,c}^*$ 及 S_{en} 值, 从中可以看出: 在硝化生物膜反应器中不易生物降解氨氮等于零是很容易理解的. 在厌氧及异养好氧生物膜反应器出水中非生物降解有机物主要有 2 个来源, 一是原进水中所含, 再则是微生物代谢所产生的副产物. 同时表 1 中的数据还表明, 在给定的 HRT 下, 所研究的 3 种生物膜反应器在最大进水基质浓度下, 均已处于穿透状态, 即生物膜对基质的氧化去除能力已达到了所研究条件下的饱和状态.

为了进一步考察方程式(2)的普遍适用性, 笔者采用文献中的大量有关试验数据对其验证^[7-9,11], 结果表明, 该式能够满意地定量描述试验结果. 在此仅介绍一例. 图 5 比较了

Namkung 等人^[12]在研究进水底物浓度对生物膜代谢产物的影响时报道的 S_0 - S_e 数据与方程式(2)预测结果, 方程式(2)的预测值与试验数据相当吻合, 这些都进一步证实了方程式(2)的合理性. 由图 5 得出的相应的动力学常数同时也示于表 1 中.

表 1 动力学参数

参数	厌氧生物膜 (TOC) /mg · L ⁻¹	好氧生物膜 (TOD) /mg · L ⁻¹	硝化生物膜 (NH ₄ -N) /mg · L ⁻¹	Namkung 等人(C) /μg · L ⁻¹
$S_{0,c}$	552.25	557.30	85.5	2855.7
$S_{0,c}^*$	256.8	282.7	76.3	1685.2
S_{en}	3.62	26.3	0.0	11.9
K	158.04	135.3	1.0	479.8

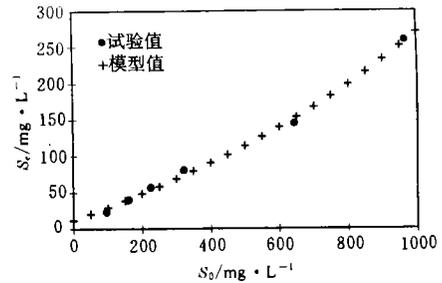


图 5 文献中试验数据与模型预测结果的比较(C)

3 结论

试验结果及理论分析表明, 在给定条件下, S_0 - S_e 之间的关系服从于半 U 形曲线, 这种关系是由底物供给率及去除率间的相互作用所决定的. 本文给出的数学模型能令人满意地定量描述所得到的试验数据. 在实际生物膜反应器设计及运行中, $S_{0,c}^*$ 具有实际应用意义.

参 考 文 献

- George T K et al. J. Environ. Eng., 1973, 43: 376
- Chudoba J. Wat. Res., 1985, 14: 471
- Grady CPL et al. Wat. Res., 1975, 9: 171
- APHA Standard Methods for Water and Wastewater Examination, 17th ed., Washington, American Public Health Association, 1987: 518
- Daigger G T et al. Wat. Res., 1977, 11: 1049
- Shin H K et al. J. Environ. Eng., 1988, 24: 1341
- Jeris J S. Wat. Sci. Tech., 1983, 29: 169
- Sutton P M et al. Wat. Sci. Tech., 1983, 15: 334
- Connolly J P et al. Modeling the Metabolic and Physiological Activities of Microorganisms. John Wiley & Sons, Inc., 1992: 249
- Liu Y et al. Environ Technol., 1994, 15: 1001
- Siber et al. Wat. Res., 1985, 14: 471
- Namkung E et al. Wat. Res., 1986, 20: 795

the U content after purification decreases with decrease of U content in digested solution. The optimum pH for coprecipitation is about 5.8.

Key words: U, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, coprecipitation, removing uranium.

Study on Correlation Between Influent and Effluent Substrate Concentrations of Biofilm Reactor. Yu Liu (Dept. of Civil and Structural Eng., Hong Kong Univ. of Science and Technology, Hong Kong), Qingliang Zhao (Dept. of Environ. Eng., Harbin Univ. of Architecture and Eng., Harbin 150001); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(4), 1996, pp. 28–30

This paper mainly investigated the effect of influent substrate concentration (S_0) on steady state effluent quality (S_e) for anaerobic, heterotrophic-aerobic and nitrifying biofilm reactors. It was found that variation pattern of S_e as S_0 changes is subject to a semi-U shaped curve. Based on the known linear model, a nonlinear S_0 - S_e model was developed. It was demonstrated that this model can provide a quantitative description for experimental data, also was confirmed by the data from literature. The proposed concept of critical influent substrate concentration has great importance in future design and operation of biofilm reactor.

Key words: biofilm, substrate, reactor, modeling.

Automatic Control of Polymer Addition for Belt Press Sludge Dewatering System. Tian Xiumin et al. (Research Institute of Machinery Science and Technology, Beijing 100044); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(4), 1996, pp. 31–32

The relation between polymer dosage and sludge concentration had been determined. The model of automatic control for polymer addition was established. The control system was installed on a two-metre belt press dewatering raw sludge of Tangshan Xijiao Sewage Treatment Plant by measuring sludge concentration and flow rate in line. The evaluation was conducted by comparing the results of historical manual operation with those achieved on the same press under automatic control. Analysis of the data indicated that average 15% polymer can be saved, the dewatering effect can be improved and more uniform performance of the dewatering machine will be realized.

Key words: sludge dewatering, belt press, automatic control for dosage.

Photocatalytic Degradation of Organophosphorus Pesticides Using TiO_2 Supported on Fiberglass. Chen Shifu et al. (Dept. of Chem. Eng., Zhengzhou Institute of Technology, Zhengzhou 450002); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(4), 1996, pp. 33–35

Photocatalytic degradation of organophosphorus pesticides using supported TiO_2 as a catalyst, which is prepared by thermal decomposition and calcination of colloidal solution made from hydrolytic of titanium tetraisopropoxide [$\text{Ti}(\text{iso-OC}_3\text{H}_7)_4$] on fiberglass was studied. The results showed that four organophosphorus pesticides of lower concentrations were completely photocatalytically degraded into PO_4^{3-} within a short time illumination with a medium pressure mercury lamp of 375 W. The TiO_2 supported on the fiberglass was not removed easily, after 120 h illumination there was no significant loss of the photocatalytic activity of TiO_2 , it could be used continually. The reasons of the different chemical structures of organophosphorus pesticides affecting photodegradation efficiency were investigated.

Key words: supported TiO_2 , photocatalytic degradation, organophosphorus pesticides, titanium tetraisopropoxide.

Ecological Effects of Multi-Effects-Triazole on Soil Microbe. Gong Ping (Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015), G. Beudert (Institute for Aquatic Environmental Engineering, University of Karlsruhe, D-76128 Karlsruhe, F. R. Germany); *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(4), 1996, pp. 36–38

Effects of multi-effects-triazole (MET) on soil nitrification, dehydrogenase activity (DHA), respiration and microbial biomass C were investigated through laboratory incubation and field experiments. It is derived from this study that MET has no adverse long-term influence on soil microbe. However, its short-term effects are notable and need further studies.

Key words: multi-effects-triazole (MET), soil microorganism, ecological effects.

An Interaction between *Scenedesmus obliquus* and N-(2, 4-dimethylphenyl)-N'-methylformamide. Yan Hai et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ.*