

# 流动系统内生物膜的形成及控制\*

刘 雨 杨学富 高大林

(北京工商大学化工系, 北京 100037)

**摘要** 应用辐射流动室(Radical Flow Chamber, RFC)技术定量地研究了水力剪切力对硝化细菌在聚苯乙烯(PS)载体表面固定的影响,发现水力剪切力直接影响硝化细菌的固定.当作用于PS表面的水力剪切力大于 $8.0\text{N}/\text{m}^2$ 时,硝化细菌基本不能在PS表面附着;水力剪切力小于 $8.0\text{N}/\text{m}^2$ 时,硝化细菌的固定程度随剪切力的减小而得到加强,直至达到最大.实验表明辐射流动室技术为定量研究生物膜形成及控制与水力剪切力间的关系提供了手段.

**关键词** 细菌固定,水力剪切力,辐射流动室,硝化细菌.

## Biofilm Formation and Control in Flowing System

Liu Yu Yang Xuefu Gao Dalin

(The Chemical Engineering Department, Beijing Institute of Light Industry, Beijing 100037, China)

**Abstract** This paper quantitatively studied the effect of hydraulic shear stress on adhesion of nitrifying bacteria on PS surface using Radical Flow Chamber. It was found that hydraulic shear stress closely affected adhesion of nitrifying bacteria. As the hydraulic shear stress was greater than  $8.0\text{N}/\text{m}^2$ , nitrifying bacteria were not able to adhere to PS surface. When the hydraulic shear stress exerted on PS surface was less than  $8.0\text{N}/\text{m}^2$ , adhesion of nitrifying bacteria was increased up to its maximum with decreasing the hydraulic shear stress. Experiments show that Radical Flow Chamber technique provides a mean for study of quantitative relation between bacteria adhesion and hydraulic shear stress in a flowing system.

**Keywords** bacteria adhesion, hydraulic shear stress, radical flow chamber, nitrifying bacteria.

生物膜反应器技术近几年来在废水生物处理中得到了广泛的应用.在生物膜形成初期,环境水力学条件是一个至关重要的因素.目前有很多方式研究生物膜形成与水力剪切力间的关系<sup>[1~3]</sup>,从简捷实用角度考虑,辐射型流动室(Radical Flow Chamber, RFC)技术最具优势.本文将利用RFC技术研究硝化细菌在聚苯乙烯(PS)载体表面的固定与水力剪切力的关系.

### 1 试验方法

图1为RFC实验系统,它由RFC及细菌悬浮液储槽组成.RFC是由2块同心圆盘状材料组成,上盘为受试生物膜载体材料盘.目前聚苯乙烯作为生物膜载体已得到大量应用<sup>[4~6]</sup>.因此本实验中受试盘选为聚苯乙烯.PS受试盘直径为100mm,实验前分别用乙醇溶液(70%)及去离子水清洗.RFC受试盘与下盘之间间隙为1mm.储槽悬浮硝化细菌浓度控制在 $5 \times 10^8\text{cfu}/\text{ml}$ ,为保持细菌活性,悬浮细菌由生理盐水(0.9%)配制而成<sup>[7]</sup>.含有细菌的悬浮液经计量式蠕动泵以 $5.0\text{L}/\text{min}$ 流速泵入RFC,为

防止细菌生长的影响,每次实验持续30min左右.实验结束后从RFC中取下受试盘,对其进行染色处理.由于所用PS盘为不透明体,因此采用0.01%的acridine orange固定染色法<sup>[3]</sup>.染色后的受试PS盘可在100倍的荧光显微镜下记数.本研究的数值为受试PS盘4个垂直方向的平均值.

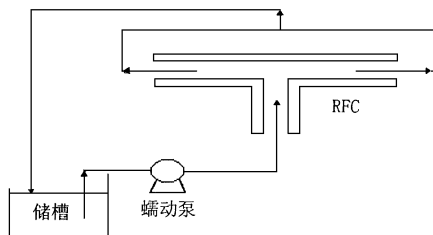


图1 RFC系统示意图

### 2 实验结果

RFC事实上可以抽象为图2.

作者简介:刘雨(1964~),男,博士后,教授,主要研究方向为水污染控制工程  
收稿日期:1999-03-03

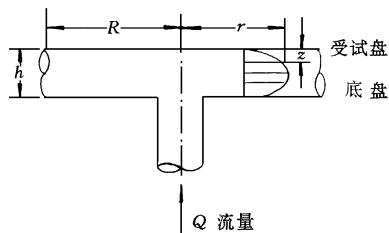


图2 RFC 中流体分布

含有细菌的悬浮液当以流量  $Q$  从 RFC 中心泵入后,呈辐射状从受试盘及底盘边缘流出.沿着盘半径方向,随着流体表面增加,流体线性速度及盘间水力剪切力势必下降.因此在 RFC 中沿半径方向形成一连续的剪切力分布,且在中心进水处受试盘承受最大剪切力作用,而在边缘剪切力最小.在 RFC 运行中,有 2 种状态:一是层流状态,另一种是紊流状态.考虑到紊流状态计算 RFC 中的剪切力较为复杂,在本实验 RFC 中流体控制为层流,即  $Re < 2000$ . 在层流状态下, RFC 中沿半径方向的流速分布可按下列式计算:

$$u = \frac{3Q}{\pi rh} \left[ \frac{z}{h} - \left( \frac{z}{h} \right)^2 \right] \quad Re < 2000 \quad (1)$$

而对应的剪切力分布为:

$$\tau = \mu \frac{du}{dz} = \frac{3Q\mu}{\pi rh^2} \quad Re < 2000 \quad (2)$$

(1)、(2) 式中,  $\mu$  为流体粘度,  $u$  为流量,  $r$  为计算点到中心的距离,  $z$  为计算点到受试盘的距离,  $h$  为受试盘与下盘的距离.

图 3 和图 4 分别为硝化细菌沿受试盘半径方向的分布以及对应水力剪切力对硝化细菌固定的影响.图 3、图 4 表明,硝化细菌 PS 表面的固定对于水力剪切力的变化非常敏感.当水力剪切力大于  $8.0 \text{ N/m}^2$  时,在受试 PS 盘表面上基本没有观察到固定的硝化细菌.只有当水力剪切力小于  $8.0 \text{ N/m}^2$ ,硝化细菌的固定过程才发生.由于硝化细菌的比增长速率很小,一般世代时间为 3d 至 5d 左右,因此硝化细菌的固定过程首先是可逆过程.这时水力剪切力对硝化细菌的固定及硝化生物膜的形成都起着至关重要的作用<sup>[7]</sup>.当反应器中存在较强的水力作用时,例如气提式搅动床,硝化生物膜形成的时间

要比在层流反应器中长几倍甚至几十倍<sup>[3,4]</sup>.

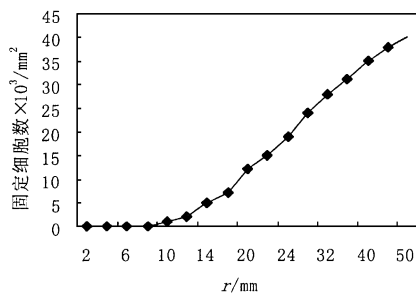


图3 固定硝化细菌沿 RFC 半径的分布

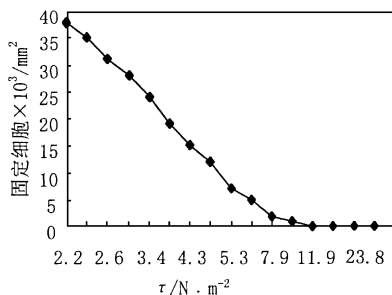


图4 水力剪切力对硝化细菌在 PS 盘表面固定的影响

### 3 结论

硝化细菌的固定过程对环境水力条件较为敏感.当水力剪切力大于  $8.0 \text{ N/m}^2$  时,硝化细菌固定过程受到严重抑制甚至不能发生.本文表明 RFC 技术为定量研究生物膜形成与水力剪切力的关系提供了定量手段.

### 参 考 文 献

- 1 Rittman B E. The effect of shear stress in biofilm lose rate. *Biotechnol. Bioeng.*, 1982, **24**, 501 ~ 506
- 2 Characklis W G. *Biofilm Processes In: Biofilm*. John Wiley & Sons, Inc., 1990, 195 ~ 231
- 3 Liu Y. *Dynamipue de croissance de biofilm nitrifiants appliques aux traitement des eaux*. Ph. D. Thesis INSA-Toulouse, France, 1994
- 4 Moreau M, Liu Y et al. Kinetic behaviors of heterotrophic and autotrophic biofilm in wastewater treatment process. *Wat. Sci. Technol.*, 1994, **29**: 385 ~ 391
- 5 Liu Y and Capdeville B. Specific activity of nitrifying biofilm in water nitrification process. *Wat. Res.*, 1996, **30**: 1645 ~ 1650
- 6 Liu Y. Estimating minimum fixed biomass concentration and active thickness of nitrifying biofilm. *J. Environ. Eng.*, ASCE, 1997, **123**: 198 ~ 202
- 7 Liu Y. Adhesion kinetics of nitrifying bacteria on various thermoplastic support. *Colloids and Surfaces B: Biointer-faces*, 1995, **5**: 213 ~ 219