

13-17

生物膜反应器挂膜方法的试验研究

俞汉青 顾国维
(同济大学环境工程学院)

X 703

摘 要

对生物膜反应器的挂膜方法和影响挂膜的几种因素进行了研究。结果表明,快速排泥挂膜法符合生物膜形成的微生物学原理,比目前应用广泛的循环挂膜法优越,且适用于好氧、缺氧和厌氧条件下的挂膜。影响挂膜的因素,除运行条件外还有接种污泥的特性、废水的成分和浓度及载体的特性等。

一、引言

目前,有关挂膜方法及其影响因素的研究较少,应用广泛的挂膜方法是密闭循环法,即把预先培养好的活性污泥与污水混合后,泵入反应器中,出水流入循环池,经过2~3天密闭循环,以小水量直接进水并逐渐加大进水量,直至挂好膜。密闭循环法(以下简称为“循环法”)挂膜,需要设置循环池和循环泵,且需要数量较多的接种污泥,操作不方便。

基于生物膜是微生物在载体上生长、繁殖的这一原理,通过实验和理论分析逐渐形成了“快速排泥挂膜法”(以下简称为“排泥法”),即

将接种的活性污泥和污水混合后泵入反应器中,静置6~8小时,使污泥与载体接触起到接种微生物的作用,之后全部排放掉,再连续进不含污泥的污水,并逐渐加大进水量。在适宜的温度下,3~4天可完成挂膜。

为了验证排泥法并探讨挂膜的影响因素,首先进行了好氧条件下循环法和排泥法的对比试验,后又分别进行了缺氧条件下的生物转盘和厌氧条件下的上流式固定滤床的挂膜试验。

二、试验部分

1. 好氧生物膜法挂膜试验

为比较在好氧条件下排泥法与循环法挂膜

参考文献

- 1 Хромченко Я. Л., Рубинский В. А., Рубенко Б. А., Влияние некоторых факторов на процесс образования хлороформа в питревых водах // Там же, -1982, -4 No. 5, -С. 428-430.
- 2 Гюнтер Л. И., Алексеева Л. И., Хромченко Я. Л. Влияние условий Хлорирования воды на образование хлороформа // Там же -1985 -7 No. 6, -С. 65-67.
- 3 Расчётная модель процесса образования хлороформа в питревой воде. Л. И. Алексеева, С. Е. Ловов, Я. Л. Хромченко. {Химия и Технологии воды} 1987. 7. 9 No. 4, 302-304.
- 4 Trusse R. R. et al, Empirical kinetic model of trihalomethane formation; Application to meet the proposed THM Standard, J. AwwA. 80: 10: 578 (oct. 1980)
- 5 Moore, G. S. et al, A Statical model for predicting chloroform levels in chlorinated surface water supplies. J. AwwA. 71: 1: 37 (Jan. 1989)
- 6 黄君礼,《黑龙江化工》,4/1985 (总第39期)
- 7 黄君礼,“水中三卤甲烷的测定方法”,《环境科学丛刊》8 (1) P44-55,1987.

效果的优劣,共进行了三组小型平行对比试验,即在控制各种运行条件相同的条件下,同时进行排泥法与循环法的挂膜试验。

(1) 试验装置

装置共有三组:第一组是接触氧化池,用内径为 10cm 的有机玻璃筒制成,池中填充纤维软性填料,有效容积为 8.0L;第二组是直径为 20cm 的好氧生物转盘,盘片采用聚丙烯材料,有效容积 16.0L;第三组是塔式滤池,池体为内径 15.0cm 的有机玻璃圆筒,池内填充瓷环填料,有效容积 20.0L。

(2) 废水水质

接触氧化池进水采用城市污水;生物转盘则采用啤酒稀释而成的模拟废水;塔式滤池进水由豆制品废水和城市污水混合而成。三种废水的水质情况见表 1。

表 1 对比试验废水的水质指标

项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	pH
城市污水	250~300	100~110	40~60	6.5~7.5
啤酒稀释水	850~900	550~600	50~60	4.5~5.0
混合废水	950~1000	500~550	100~120	6.0~6.5

(3) 试验过程和试验结果

三组试验均是在室温为 18℃~20℃ 条件下进行的。在试验过程中,每天测定反应器 COD 和 BOD₅ 的去除率及反应器中混合液的溶解氧,并从填料或载体上取出生物膜,测定生物膜厚度,同时进行微生物镜检,以了解挂膜情况。参照实际运行经验,在上述试验条件下挂膜成功的主要标志为:COD 去除率>55%,BOD₅ 去除率>70%,生物膜厚度>0.2mm,镜检微生物相良好且稳定。三组对比试验所需挂膜时间列于表 2,反应器 COD 去除率和生物膜厚度的变化情况如图 1 所示。

表 2 挂膜成功所需时间(d)

反应器类别	方法类别	排泥法	循环法
接触氧化池		3	5
生物转盘		5	7
塔式生物滤池		4	5

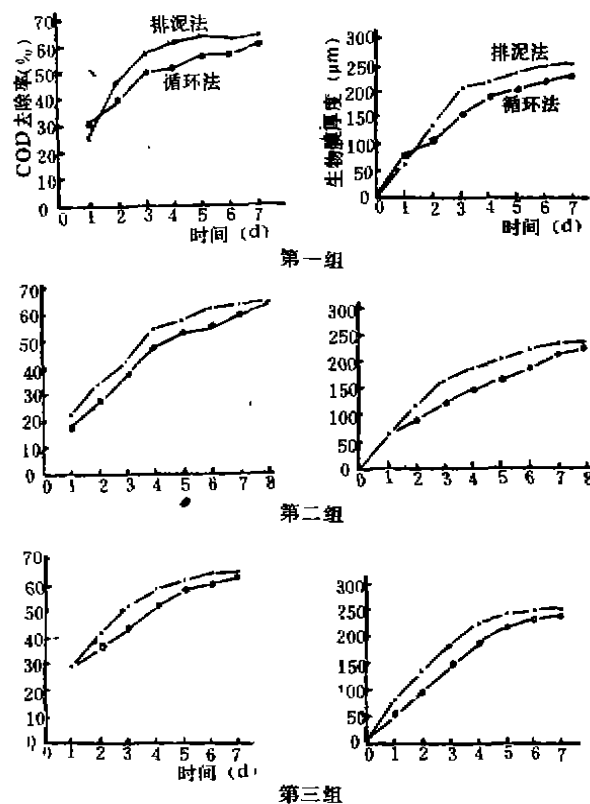


图 1 COD 去除率和生物膜厚度的变化情况

上述试验结果表明,排泥法的挂膜速度快于循环法。

2. 缺氧生物转盘挂膜试验

上述对比试验是在好氧条件下进行的。为进一步探讨快速挂膜的其它条件,又进行了缺氧条件下的反硝化细菌的挂膜试验。

(1) 试验装置

采用浸没式四级缺氧生物转盘。盘片为聚丙烯黑色拉毛片,每级转盘有 10 个盘片,直径 16cm,厚 0.9mm,盘片总面积 1.61m²。转盘直径 20cm,全长 60cm,其有效容积 16L,见图 2。

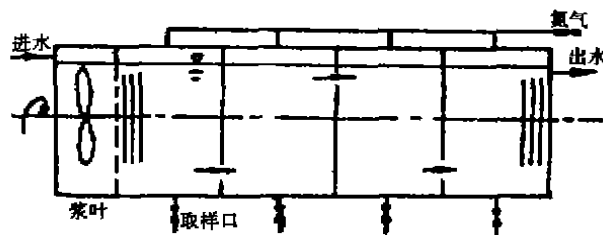


图 2 浸没式缺氧生物转盘

(2) 进水水质

试验用废水是将某豆制品厂的黄泔原水适

当稀释后,配加 KNO_3 和 Na_2CO_3 而成的。其中, KNO_3 作为反硝化细菌的硝酸氮源, Na_2CO_3 则用于将废水 pH 调整至 7.0~7.5, 以满足反硝化脱氮的碱度要求。废水中的 $\text{BOD}_5/\text{NO}_3\text{-N}$ 在 3.6~4.0 之间, 废水水质列于表 3。

转盘挂膜试验的废水水质 表 3

项目	COD (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	pH
浓度	841~1063	98~121	403~457	7.0~7.5

(3) 试验过程和试验结果

挂膜用的接种污泥取自某城市污水处理厂的厌氧消化污泥。将接种污泥和上述废水以泥水比 2:3 混合加入转盘中, 总量 5.5L, 约占转盘有效容积的 1/3。启动转盘, 间歇进水至第 8 天整个转盘装满, 而后用蠕动泵连续将废水泵入转盘。

转盘挂膜试验观察结果 表 4

时间(d)	运行方式	观察结果
1~8	间歇进水	盘片上人工拉毛沟道清晰可见, 基本无膜, 悬浮污泥中有大量菌胶团。
9~18	连续进水, 第 16 天排接种污泥	盘片上有一层薄薄的生物膜, 悬浮污泥的菌胶团大而密实, 且有大量鞭毛虫。
19~21	连续进水	盘片上生物膜剧增, 出现大量白色丝状菌, 1、2 级盘片上丝状菌膨胀严重。
22~25	连续进水	盘片上生物膜平均厚度达 4.5mm, 膜上有大量的小气泡 (N_2) 产生。

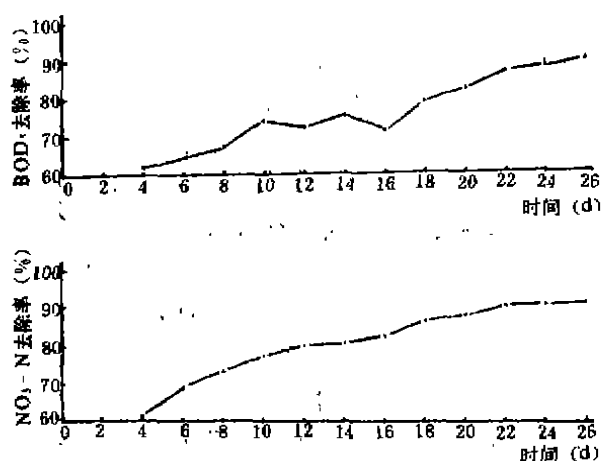


图 3 生物转盘运行参数的变化情况

试验初期挂膜效果不明显。第 16 天将转盘

内呈悬浮状态的污泥排除, 并加大负荷运转时, 生物膜剧增。3 周以后转盘的 BOD_5 去除率和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 去除率均超过 90%, 且生物膜厚而密实, 至此, 认为已经完成了驯化挂膜。试验的观察结果见表 4。转盘的 BOD_5 去除率、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 去除率见图 3。

3. 上流式厌氧滤床挂膜试验

(1) 试验装置

试验中采用的反应器是不带三相分离器的上流式固定滤床, 由直径 15cm、高 130cm 的有机玻璃筒制成。反应区填充一种新型的软性和半软性填料的结合体盾式填料。反应器放置在恒定温度 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 的恒温木箱中。反应器如图 4 所示。

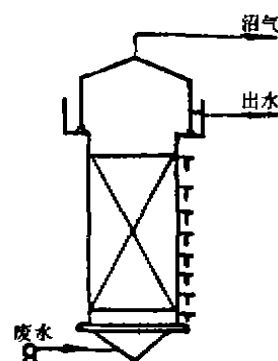


图 4 上流式厌氧固定滤床

(2) 试验废水

进水是用豆制品废水稀释并配加 NaHCO_3 调整 pH 而成的。废水的 $\text{COD} = 5000 \sim 6500 \text{mg/L}$, $\text{BOD}_5 = 2400 \sim 3100 \text{mg/L}$, $\text{VFA} = 2900 \sim 3100 \text{mg/L}$, $\text{TKN} = 280 \sim 300 \text{mg/L}$, $\text{pH} = 6.5 \sim 7.0$ 。

为加快厌氧产甲烷菌的生长, 挂膜过程在进水中 4 次投加了微量元素, 其中 CaCl_2 为 100mg/L , MgSO_4 为 30mg/L , FeCl_2 为 60mg/L , NiCl_2 为 0.5mg/L 。

(3) 试验过程和试验结果

取某公园污水处理站污泥消化池中的厌氧污泥, 用 $\text{COD} = 4000 \text{mg/L}$ 的豆制品废水进行间歇培养。1 个月以后将活性已很好的厌氧污泥 10L 装入反应器中, 再加入 $7.2 \text{L COD} = 4000 \text{mg/L}$

L 的豆制品废水,静置 1 天后开始小水量进水,废水 COD=4000mg/L 左右。每天取样分析进出水的 COD、VFA、pH、碱度及产气气相中的 CH_4 含量。若反应器的 COD 去除率和气相中 CH_4 含量增加,出水的 VFA 浓度降低,则提高进水流速和浓度,但提高幅度较小。在试验的第 10 天和第 14 天分别从反应器底部排除 1L 污泥。

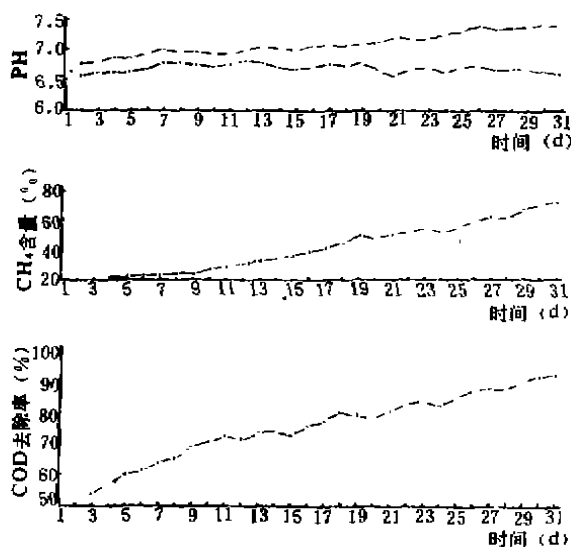


图 5 反应器运行指标的变化情况

经过 1 个月的驯化运行,反应器的 COD 去除率高于 93%,出水 pH 达 7.3, VFA 浓度在 200mg/L 以下,气相中 CH_4 含量超过 70%;从填料上取出的生物膜厚而密实,镜检发现其中有大量丝状菌、球菌和八叠球菌,故可以认为已完成厌氧滤床的驯化挂膜。

根据文献报道^[2],厌氧滤床的挂膜时间一般为两个月左右,但本试验在一个月时间内完成了驯化挂膜,试验中反应器有关运行指标的变化情况见图 5。

三、分析和讨论

上述试验结果表明,排泥法挂膜优于传统的循环法,且缺氧生物转盘和上流式厌氧滤床的挂膜时间明显少于普通方法。

1. 排泥法的理论分析

由对比试验结果可知,在接种污泥和进水水质相同时,运行方式对挂膜快慢有着很大的影响。

接种污泥加入反应器后,少量污泥截留附着在载体表面,这些固着态微生物将摄取废水中的营养物,进行降解代谢有机物的生命活动,并在载体表面生长、繁殖,逐渐形成薄的胶质粘膜。随着时间的增长,微生物不断增长,从载体表面向外扩展,并分裂为新细胞,逐步覆盖先前已形成的膜层,进而形成成熟的生物膜。

分析生物膜的形成过程,得知载体上的生物膜不是靠悬浮态微生物的粘附而是载体上固着态微生物自身生长的结果。为使反应器挂膜速度较快,促使固着态微生物高速繁殖,就必须保证充足的营养基质。如果接种污泥在反应器中滞留时间过长,呈悬浮态的微生物浓度较高,在对营养物的争食中占有明显的优势,则减弱了生物膜中固着态微生物的生长,使挂膜速度减慢。反之,采用排泥法在载体截留一些微生物后,将大部分呈悬浮态微生物快速排除,以保证固着态微生物获得很好的生长条件而大量繁殖,达到快速挂膜的目的。

在缺氧生物转盘和上流式厌氧滤床挂膜试验中,特别是前者,把悬浮态污泥排除后,生物膜即开始大量生长。说明排泥法的微生物学原理,在好氧、缺氧及厌氧条件下是一致的。

2. 反应器挂膜的其它条件

除运行条件外,反应器挂膜还与接种污泥的性质、废水的成分和浓度及载体的特性等有关。

(1) 接种污泥的性质

挂膜过程首先是生物污泥的培养和驯化过程,因此选择活性良好的接种污泥是挂膜成功的第一步。在生物转盘反硝化细菌挂膜试验中,考虑到反硝化细菌难于培养驯化,而处理城市污水的曝气池由于曝气时间较长有一定的硝化作用,其剩余污泥在消化池中易发生反硝化作用,含有反硝化细菌^[1]。用这种污泥进行接种,无疑为快速驯化挂膜打下了良好的基础。上流式厌氧滤床用于挂膜的接种消化污泥,在加入反应器之前已进行了初期驯化,即用豆制品废水间歇培养,豆制品废水中的营养物已完全为污泥中的厌氧微生物所适应。动态运行初期,进

入反应器的废水量和浓度与间歇培养后期的废水量和浓度很接近,且此时污泥的产气活性和沉降性能都很好。

(2) 废水的成分和浓度

废水所含物质是构成生物膜微生物的食料,所以废水的成分和浓度对反应器挂膜至关重要。试验中进水所含的有机物大部分为易于微生物降解的糖类化合物,且 BOD_5/COD 在 0.50 左右,可生化性良好。由表 3 可知,生物转盘进水的 BOD_5/NO_3-N 在 3.6~4.0 之间,非常适宜反硝化细菌生长繁殖^[1]。另外,废水中配加了 Na_2CO_3 ,提高了进水碱度,有利于反硝化细菌的生长。

上流式厌氧滤床的进水 COD 为 5000~6500mg/L, VFA 为 2900~3100mg/L。Cohen^[2]等的研究表明,在进水 pH 和碱度较高时,高浓度的有机挥发酸进入反应器将有利于产甲烷菌的生长,加快挂膜速度,有利于产甲烷菌生长的最佳 pH 为 6.8~7.2,碱度为 3000~4000mg/L (以 $CaCO_3$ 计)。由于黄泔水稀释以后 pH 只有 4.5~4.7,且系统缓冲能力不足,因此投加 $NaHCO_3$,提高其 pH 为 6.5~7.0,同时也相应提高了进水碱度,有利于生物膜的形成;按照 Bruant 的观点^[3],厌氧微生物不仅需要碳源、氮源和磷、钾、镁、钙、硫、钠、铁等营养矿物质,同时也需要镍、铜、钴、锰等微量营养矿物质,这些元素在产甲烷菌群的生理活动中起着很重要的作用。本试验在挂膜过程中 4 次投加了含上述微量元素的盐,加快了挂膜速度。

(3) 载体的特性

影响生物膜附着性的因素除了载体(填料)的外观形状外,还有载体的表面粗糙度、表面电

位和亲水性^[4]。表面粗糙度是决定能否很快形成初期生物膜的主要因素,粗糙度大,挂膜就快;一般微生物表面带负电,因此载体表面电位愈高,生物膜中的微生物愈容易附着,生物膜生长愈快;由于微生物属于亲水性粒子,所以使用亲水性载体易形成生物膜。

本试验使用的转盘盘片是聚丙烯人工拉毛片,表面非常粗糙,其亲水性也好;上流式厌氧滤床填充物是以塑料为骨架、尼龙纤维丝为主体的盾式填料,其性质均有利于生物膜的生长。

四、结语

1. 排泥法是通过分析生物膜形成的微生物学原理而产生的,它在理论上成立,试验证明它在技术上也是可行的。

2. 排泥法挂膜只需少量的接种污泥,不需要设置循环池和循环泵,且挂膜速度快,因而是比目前应用广泛的循环法优越的挂膜方法。

3. 由于基于同样的微生物学原理,排泥法不仅可以用于好氧条件下的挂膜,而且适用于缺氧和厌氧条件下的挂膜。

4. 生物膜反应器挂膜,不仅与运行方式有关,而且与接种污泥的性质、废水的成分和浓度、载体填料的特性等有关。

5. 排泥法在生物膜反应器挂膜中的实际应用还有待于进一步研究。

参考文献

1. Chong, P. S., Water Pollution Control, 78(3), P318, 1979.
2. Cohen, A. S., et. al., Water Research, 14(6), P1439, 1980.
3. Bryant, M. P., 国外沼气, 第四集, P2, 科技文献出版社重庆分社, 1987.
4. 余霞申, 生物接触氧化法处理废水, 浙江科学技术出版社, 1983.