

# EM 生物接触氧化反应器启动过程试验研究

冯 骞<sup>1</sup>, 王 超<sup>1</sup>, 汪 翊<sup>1</sup>, 钱 健<sup>2</sup>, 车美芹<sup>3</sup>, 薛朝霞<sup>1</sup>

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市规划局, 江苏 南京 210014;  
3. 苏州市水务局, 江苏 苏州 215004)

**摘要:**以啤酒废水为例, 讨论了不同填料、不同接种污泥对有效微生物群(EM)生物接触氧化反应器挂膜和启动过程的影响. 结果表明:生物接触氧化工艺中使用 EM 能够缩短反应器的启动时间, 提高启动阶段的处理效果. 陶粒填料和 EM 原液接种方式的采用有助于生物接触氧化反应器中 EM 菌群多种微生物的生长和繁殖, 能促进 EM 接触氧化工艺挂膜和启动的成功.

**关键词:**有效微生物群; 生物接触氧化; 填料; 挂膜

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2005)01-0055-04

有效微生物(EM, Effective Microorganisms)<sup>[1]</sup>是日本琉球大学比嘉照夫教授等于 20 世纪 80 年代初期研制出来的一种新型复合微生物制剂, 它是一种由好氧和厌氧微生物群组成的互利共生体, 各种微生物通过相互间的协同、共生和增殖, 形成一个组成复杂、结构稳定、功能广泛的生物菌群. 研究表明<sup>[2~6]</sup>, 在污水处理中使用 EM 菌液能够提高多种污染物质的去除率, 降低污泥的产率.

考虑到 EM 是水溶性溶液, 若在反应器中使用填料, 可以为菌体的滞留和繁殖提供良好的载体和场所, 更有助于 EM 菌作用的发挥<sup>[7]</sup>. 不同的附着生长环境对 EM 菌中微生物种群的影响有很大的差异, 如何选择合适的填料类型和污泥接种方式, 使得 EM 菌中的微生物种群能够迅速生长和繁殖, 充分发挥有机物的降解作用, 就成为 EM 应用中必须关注的问题之一. 本文以南京啤酒厂的啤酒废水为试验污水, 进行了生物接触氧化反应器中常温下的好氧挂膜和启动试验, 重点考察了填料类型和污泥接种方式对反应器挂膜特性和启动过程的影响.

## 1 试验装置与材料

### 1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示. 整个装置共设 3 组, 每组由高位水池、生物接触氧化反应器、沉淀池和曝气器组成. 其中生物接触氧化反应器由有机玻璃制成, 呈圆柱状, 内径 100 mm, 有效容积为 3.78 L. 上部配水区 and 填料区有效容积分别为 0.78 L 和 2.74 L, 底部积泥区为倒圆锥形状, 有效容积为 0.26 L. 试验中的溶解氧由设于填料区下部的两个曝气头提供, 出水经沉淀池沉淀后排出.

### 1.2 试验材料

试验中采用的填料为多孔塑料空心球和陶粒. 其中多孔塑料空心球填料平均粒径 90  $\mu\text{m}$ , 比表面积约 2.35  $\text{m}^2/\text{g}$ . 陶粒填料平均粒径 6 mm, 平均孔隙率 45%, 比表面积约 4.52  $\text{m}^2/\text{g}$ . 挂膜过程采用的污水取自南京啤酒厂, 用于接种的活性污泥取自啤酒厂污水处理站的二沉池, 污泥的质量密度为 12.4 g/L, 30 min 污泥沉降比

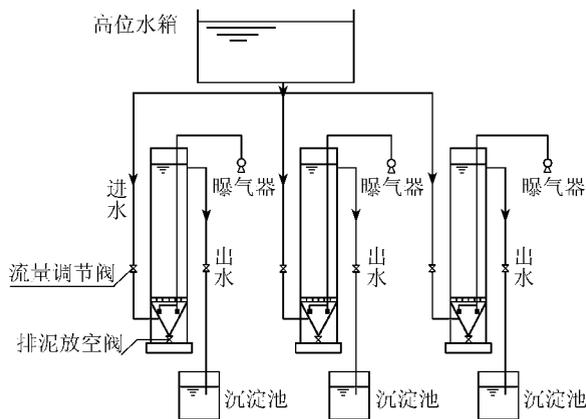


图 1 试验装置流程

Fig.1 Set-up of experiment model

$SV_{30}$ 为40%。EM-1原液由日本株式会社爱睦乐环保生物技术有限公司提供,污泥接种中的EM原液为4%的EM-1原液加96%蒸馏水稀释而得。

### 1.3 试验测试项目及方法<sup>[8]</sup>

试验中的主要测试项目及测试方法见表1。

## 2 试验过程

### 2.1 试验方法

试验中采用“闷曝法”挂膜。在各个反应柱中先加入等量的接种污泥或EM,然后将反应柱注满污水,浸没反应器中的填料,控制 $\rho(\text{DO})$ 在2~3 mg/L闷曝(曝气而不进污水)2 d,之后静沉2 h,换掉反应器中1/2上清液,再补充污水继续曝气2 d,之后重复前述操作。如此反复运行8 d,运行至9 d时开始连续进水,逐步提高进水 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的质量浓度和负荷,降低水力停留时间。经过一段时间的运行后,当 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 去除率超过50%,同时填料的微生物镜检中出现较为稳定的生物膜时,说明填料已挂膜成功。其中:运行时间在1~8 d时间歇进水,此阶段为挂膜静置期;运行9 d至挂膜结束为连续进水,此为挂膜流动期。

### 2.2 试验过程

挂膜启动试验根据填料类型的不同分别进行。先采用多孔塑料空心球填料,在I号、II号、III号反应器中分别采用50 mL EM原液、30 mL EM原液加20 mL活性污泥、50 mL活性污泥,进行挂膜启动试验。30 d后待试验结束,更换填料类型,用陶粒填料继续进行试验。

两次试验进水水质情况见表2。挂膜过程中分别通过进水管上的流量控制阀和曝气管上的气量控制阀调节进水的有机负荷和反应柱中的溶解氧浓度,试验期间保持3个反应器的进水流量和进水浓度大致相当,溶解氧质量浓度均维持在3~4 mg/L,反应柱启动阶段的运行管理指标见表3。

表2 挂膜启动阶段进水水质

Table 2 Water quality of wastewater for biofilm culturing stage

填料类型	阶段	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ / (mg·L <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{BOD}_5)$ / $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$
塑料多面球	挂膜静置期	887~1360	0.75
	挂膜流动期	1512~1742	0.69
陶粒	挂膜静置期	865~1389	0.68
	挂膜流动期	1484~1760	0.73

表1 测试项目及方法

Table 1 Items and methods of wastewater test

指标	测定方法	频率
$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	重铬酸钾标准法	2天测1次
pH值	pH仪	1天测1次
$\rho(\text{DO})$	美国HACH溶氧仪	1天测1次
生物相	光学显微镜镜检	1天测1次

表3 挂膜启动阶段运行管理指标

Table 3 Operation and management indexes for biofilm culturing stage

阶段	时段/d	HRT/h	COD有机负荷 / (kg·(m <sup>3</sup> ·d) <sup>-1</sup> )	$\rho(\text{DO})$ / (mg·L <sup>-1</sup> )
挂膜静置期	1~8			3~4
	9~16	48~36	2.69~3.72	3~4
挂膜流动期	17~32	32~19	4.09~8.42	3~4

## 3 试验结果与分析

### 3.1 试验结果

两次启动试验的挂膜过程及效果如图2和表4所示。

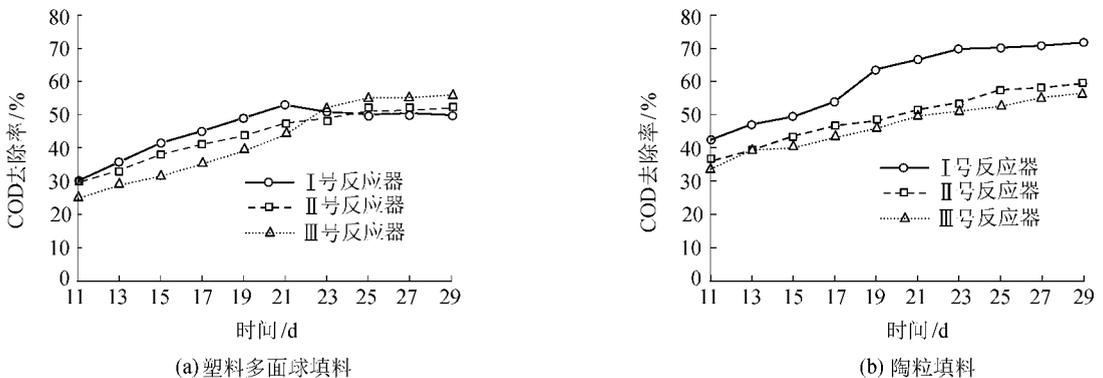


图2 挂膜效果曲线

Fig.2 Curves reflecting effects of biofilm culturing

### 3.2 不同填料类型下 EM 菌挂膜特性比较

从表 4 和图 2 可以看出 (a) 陶粒填料挂膜速度比多孔塑料空心球填料挂膜速度快. 在使用 EM 原液和 EM 原液加活性污泥接种的情况下, 陶粒填料试验至 6 d 时开始挂膜, 分别于 16 d 和 20 d 时结束挂膜, 而多孔塑料空心球填料到 7 d 镜检时才出现生物膜附着特征, 两个反应柱的挂膜完成的时间分别比陶粒填料长 13 d 和 5 d. (b) EM 菌中微生物生长状况在陶粒表面比多孔塑料空心球填料好, 陶粒填料表面的挂膜率也比多孔塑料空心球表面的挂膜率大. 当两种填料挂膜试验结束时, 污泥接种中使用 EM 菌的 I 号、II 号生物接触氧化反应柱, 陶粒填料的挂膜情况明显好于多孔塑料空心球的挂膜情况. 多孔塑料空心球填料上的生物膜较陶粒的薄, 独立的菌胶团遍布其表面, 观测过程中可见到裸露的塑料多孔球表面; 而陶粒填料表面几乎完全被结构致密、厚度较大的生物膜所覆盖. 从表 4 结果来看, 采用 EM 菌的 I 号和 II 号反应柱, 使用陶粒填料时的挂膜率分别是采用多孔塑料空心球填料时的 2.88 倍和 2.03 倍. (c) 在污泥接种中使用 EM 菌的情况下, 陶粒填料有着明显优于塑料球填料的有机物去除能力. 从图 2 所示两次试验 6 组反应柱对有机物的去除效果来看, 使用 EM 菌挂膜的 I 号、II 号反应柱终期  $COD_{Cr}$  去除率, 陶粒填料分别是多孔塑料空心球填料的 1.45 倍和 1.14 倍.

不同填料类型下 EM 菌挂膜情况不同, 主要是因为微生物在填料表面的附着受填料的比表面积、表面粗糙度和生物特性等诸多因素的影响. 陶粒填料的比表面积是多孔塑料空心球填料的 2.03 倍, 这为 EM 中复合菌群微生物的生长提供了良好的附着场所和相对稳定的内部空间; 此外, 尽管经过适当打磨, 多孔塑料空心球填料仍然较陶粒填料表面更为光滑, 因而使陶粒填料表现出明显优于多孔塑料空心球填料的微生物附着特性. 更重要的原因在于系统投加 EM 菌后出现了多个微生物种群共同生长的状况, 而不同种群微生物产生的菌胶团对附着条件的要求不同. 啤酒污水活性污泥中的菌群以好氧类的杆菌、单球菌为主, 投加 EM 后优势菌群发生变化, 优势微生物菌群中出现放线菌等其他菌群, 这些菌群对生物附着条件要求更高, 故采用多孔塑料空心球填料时挂膜效果较差, 而改用陶粒后能得到较好的效果.

### 3.3 不同接种污泥下 EM 挂膜启动过程分析

图 2 表示了同种填料情况下, 不同接种污泥在挂膜启动过程有机物的去除率变化. 从图 2 可以看出, 不同接种污泥对反应器的启动有十分明显的影响. 在使用多孔塑料空心球填料进行挂膜启动时, I 号反应柱生物膜生长最差, 启动结束时终期  $COD_{Cr}$  去除率仅为 50.2%, II 号反应柱略好, 终期  $COD_{Cr}$  去除率是 I 号反应柱的 1.03 倍, III 号反应柱生物膜生长最好, 终期  $COD_{Cr}$  去除率是 I 号和 II 号反应柱的 1.13 倍和 1.09 倍. 采用陶粒填料挂膜时情况则发生变化, 采用 I 号反应柱生物膜生长最好, 启动结束时终期  $COD_{Cr}$  去除率达到 72.7%, II 号反应柱次之, 终期  $COD_{Cr}$  去除率为 59.2%, 采用啤酒污水活性污泥接种的 III 号反应柱生物膜生长最差, 终期  $COD_{Cr}$  去除率分别为 I 号、II 号反应柱的 0.79 倍和 0.97 倍.

不同接种污泥诱发微生物的特性、优势种群的种类和数量存在明显差异. EM 作为一种复合微生物制剂, 其中含有大量的好氧和厌氧微生物群, 复壮后活菌数远大于等量活性污泥中的活菌数. 陶粒填料比表面积大, 附着性能良好, 因此反应器中活性微生物随 EM 投加量的增加而增加, 生物膜的生长情况随 EM 投加量的增加而变好, 启动过程终期去除率也随 EM 投加量的增加而有所提高. 采用多孔塑料空心球填料时, 尽管产生的活性微生物量仍符合上述规律, 但由于填料比表面积小, 对 EM 优势菌群的附着性能不佳, 导致挂膜过程大量微生物的流失, 因此表现出 EM 投加量越大终期去除率越低的规律.

## 4 结 论

a. 在污泥接种过程中使用 EM, 可以有效地增加活性菌群数量, 在周围环境合适时(填料附着性能良好), 可大大缩短生物接触氧化反应器的启动时间, 大大提高终期  $COD_{Cr}$  的去除率. 试验中采用陶粒填料时,

表 4 试验测试结果及挂膜启动结果

Table 4 Results of biofilm culturing

填料种类	反应器编号	终期 $COD_{Cr}$ 去除率/%	开始挂膜时间/d	挂膜时间/d	填料最大挂膜率
塑料多面球	I	50.2	7	29	0.025
	II	51.8	7	25	0.032
	III	56.7	7	23	0.036
陶粒	I	72.7	6	16	0.072
	II	59.2	6	20	0.065
	III	57.2	6	22	0.062

注: 填料挂膜率指每克填料上能生长的微生物质量.

使用 EM 原液接种的反应柱挂膜时间较使用活性污泥的反应柱启动时间缩短了 6 d, 终期去除率提高了 27%。

b. 附着性能良好的陶粒填料能够为 EM 菌的生长繁殖提供良好的环境, 有利于 EM 菌中多种菌种和菌胶团的附着生长, 可以形成对水中有机物具有良好絮凝、吸附和氧化性能且结构致密的生物膜, 为有机物的降解提供良好的场所, 因此这一类型的填料可以作为使用 EM 时优先考虑的填料类型。

c. 在使用附着性能良好的填料挂膜前提下(本试验为陶粒填料), 采用 EM 原液进行污泥接种效果最好, 有助于 EM 菌中菌群发挥作用, 而使用 EM 原液加活性污泥接种的投菌活性污泥法由于存在本地菌种的竞争, 因而制约了 EM 菌作用的发挥。

d. 生物接触氧化工艺中最大的问题是填料堵塞。填料堵塞会产生厌氧区, 影响处理效果。试验发现, 在陶粒挂膜的 I 号、II 号反应柱中的生物膜, 大部分呈淡黄色, 但在填料中下部出现了部分黑色生物膜, 这表明厌氧菌在生物膜中生长, 但投加 EM 后的生物接触氧化反应器运行过程受到的影响很小, 污染物去除效率仍然维持在较高水平。因此, EM 菌作为一种好氧、厌氧共生的复合菌群, 合理使用则可以有效地解决生物接触氧化工艺中的填料堵塞问题。

#### 参考文献:

- [1] 比嘉照夫. 拯救地球大变革[M]. 冯玉润译. 北京: 中国农业大学出版社, 1992. 21—22.
- [2] 孟范平, 李桂芳, 李科林. 系统评价 EM 菌液在生活污水处理中的应用效果[J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(5): 4—7.
- [3] 朱亮, 汪翔, 朱雪诞. EM 菌富集培养及降解污水试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版) 2002, 30(2): 6—8.
- [4] 邵青. EM 对生活污水中常见污染物的去除效果[J]. 中国给水排水, 2001, 17(3): 74—76.
- [5] 朱亮, 汪翔, 王超. EM 富集培养液的絮凝特性试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版) 2001, 29(5): 43—45.
- [6] 程晓如, 陈永祥, 孙迎霞. EM 菌强化 SBR 脱氮除磷的试验研究[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(5): 55—57.
- [7] 车美芹, 汪翔, 朱亮. 有效微生物(EM)处理食品废水的试验研究[J]. 环境科学研究, 2002, 15(3): 53—55.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 210—213.

## Experimental study on starting process of effective microorganism biological contact oxidation reactor

FENG Qian<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, QIAN Jian<sup>2</sup>, CHE Mei-qin<sup>3</sup>, XUE Zhao-xia<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Nanjing Planning Bureau, Nanjing 210014, China;

3. Water Affairs Bureau of Suzhou City, Suzhou 215004, China)

**Abstract:** With the wastewater from a brewery as an example, studied was the effect of different filling materials and different inoculation sludge on the biofilm culturing and starting process of the Effective Microorganism(EM). The result shows that the adoption of the biological contact oxidation technique shortens the starting process of the reactor and improves the effect of treatment during the starting process, and that the haydite filling material and the inoculation with primary EM provide a favorable condition for the growth and propagation of EM in the biological contact oxidation reactor, leading to the success in biofilm culturing in the EM contact oxidation technique.

**Key words:** effective microorganism; biological contact oxidation; filling material; biofilm culturing