治理技术

三相流化床中混合载体的协同作用

蔡建安　李　俊　钟梅英

（华东冶金学院化工系，马鞍山　243002）

摘要　在侧边沉降的三相气提升流化床反应器中使用粗粒焦炭和细粒石英砂混合构成载体来处理废水具有良好的协同作用。处理焦化废水的实验表明，与单一载体相比，混合载体不易流失；COD 容积负荷高达 11 kg/(d·m³)；对酚氰等有害物质的耐冲击能力好；高负荷运行时酚和氰的出水浓度仅为单一载体的⅕—⅓；使用混合型载体还有利于挂膜和降低曝气能耗。

关键词　载体，气提升，三相流，污水处理。

气提升循环式流化床反应器中，载体材料对于生物膜的生长，氧传输和流体动力学特征均具有重大影响[1,2]。与废水处理工艺相关的载体颗粒的物理特征主要有：尺度，密度，形状和表面粗糙程度。已有多种类型的载体材料试验[3-6]。研究表明[1,3]，细小的载体颗粒虽然要比粗大的载体颗粒具有更大的比表面积，在处理效率上更具优势，但难于沉降，所以有较高的流失率。密度大的载体颗粒沉降快，但通常这类材料表面光滑，挂膜较慢。由于三相流的平均密度随载体密度的升高而升高，使曝气风压和能耗也随之上升。本研究的目的在于考察混合类型载体的流化和沉降特性，并获得较使用单一类型载体更佳的处理效果和技术参数。

1　实验装置和方法

侧边沉降式三相气提升流化床反应器结构[7]和试验流程如图 1 所示。反应器采用内循环结构，升流区和降流区在反应器内筒体的顶部和底部直接连通。使用中微孔刚玉陶瓷曝气器，可形成均匀的微小气泡。曝气流量在 35—150 L/h 之间，曝气器置于升流区内而不是在反应器的底部，以改善液体的流动特性[1]。由于该反应器中不存在“床身层”，所以反应器的结构和操作都极其简单，流体的流动阻力也很小。反应器的出水在侧边沉降区进行固液分离，其中大部分载体将在此沉降并重返循环。三相气提升流化床反应器循环区容积为 1 L。江浦产铸造用 5# 天然石英砂和粒径为 0.4—0.6 mm 的碎焦炭按堆体积 1∶1 的比例混合起来构成实验用混合类型载体。石英砂粒径小于 0.2 mm 的占 34%，粒径在 0.2 mm—0.3 mm 的占 34%，粒径大于 0.3 mm 的占 32%。石英砂密度为 2660 kg/m³，焦炭的堆密度为 1410 kg/m³。

混合载体和 2 种单一型载体分别进行流化沉降的清水实验和处理焦化废水的实验。清水实验中，不调节供气阀门，逐渐加大载体的加载率(以载体的堆体积计)，测量各种加载率下的气流量。然后将曝气流量控制在 75 L/h，在

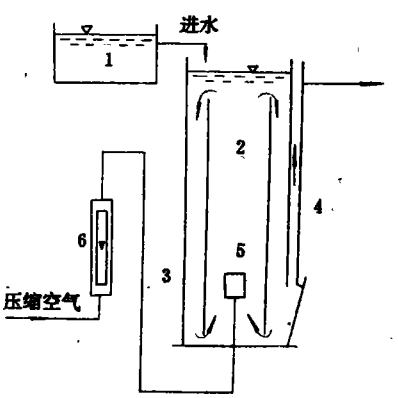

图 1　反应器结构和试验流程

1. 高位水槽　2. 升流区　3. 降流区
4. 侧边沉降区　5. 曝气器　6. 转子流量计

收稿日期：1995-03-31

饲入流量 1.0 L/h 下连续运行 4 h，测量出水中载体含量并求出流失率。处理焦化废水的实验，初始加载率取 2.8%，曝气流量 75 L/h，饲入流量在 0.3—0.8 L/h 之间。待处理的焦化废水中 COD 含量为 1224 mg/L，酚 243 mg/L，氰 44.5 mg/L，以磷酸二氢钠为外加磷源。废水处理实验的生物膜培养阶段采用相同的培养方法和间歇进水过程，30 d 后进入连续运行阶段。在稳定运行情况下，采样分析出水水质。

2　实验结果和讨论

2.1　清水的流化和沉降实验

2 种加载率下，3 种载体的 4 h 流失率如表 1 所示。进一步的观察表明，石英砂载体的高流失率主要发生在其粒径小于 0.2 mm 的组分上。在混合载体中，这部分载体的流失情况得到明显的改善，原因是：① 焦炭表面对石英砂细末的吸附作用；② 侧边沉降区中载体沉降时的边界效应，由于边界层中较大焦炭颗粒的存在，增大了对石英砂的摩擦效应；③ 较大颗粒在向下沉降时形成的局部流动对石英砂细末的作用。

表 1　载体的 4 h 流失率(%)

加载率(%)	砂	焦炭	混合载体
1.5	5.1	0.32	0.65
3.0	5.3	0.34	0.76

曝气流量和风压的乘积反映了能量的消耗。由于采用相同的曝气器，在相同的曝气流量下压力损失相等。这时能量的消耗主要受曝气器上三相流液柱静压的影响。三相流液柱的静压为 $\rho_t gh$，其中 ρ_t 为三相流液柱的平均密度，g 和 h 分别为重力加速度和液柱高度。

若三相流的气、液、固体积含量分别为 ξ_g、ξ_l 和 ξ_u

$$\xi_g + \xi_l + \xi_u = 1$$

$$\rho_t = \rho_g\xi_g + \rho_l\xi_l + \rho_u\xi_u$$

因气体和液体的密度 $\rho_g \approx 0$，$\rho_l \approx 1$，所以

$$\rho_t = \xi_l + \rho_u\xi_u$$

对混合型载体，上式可进一步写成

$$\rho_t = \xi_l + \rho_s\xi_s + \rho_c\xi_c$$

式中下标 s 和 c 分别表示对应于石英砂和焦炭。本研究中以堆密度和堆体积计量，由于焦炭的多孔结构和保留气泡的能力，确切计算 ρ_c 和 ξ_c 是不可能的。但因

$$\xi_u = \xi_s + \xi_c，且$$

$$\rho_u\xi_u = \rho_s\xi_s + \rho_c\xi_c$$

考虑到 $\rho_s > \rho_c$，在相同固含量的条件下，使用混合载体必较使用石英砂单一类型载体降低能耗。图 2 为 3 种载体在不同加载下曝气流量的衰减情况，可以用作对上述结论的证明。

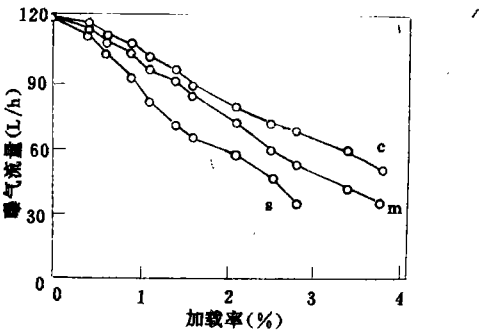

图 2　不同加载下曝气流量的衰减

s. 石英砂　c. 焦炭　m. 混合载体

2.2　生物膜的生长

在室温下(15—20℃)经过 3 d 培养，显微镜检表明，在焦炭表面开始有生物膜生长，绝大部分石英砂仍表面光滑，在少数细末表面附着有菌胶团。20 d 后焦炭表面的生物膜基本形成，石英砂载体形成生物膜的不足 50%。30 d 后石英砂载体形成生物膜的约占 75%。部分砂粒表面仍很光滑。混合载体经 20 d 培养后，生物膜已基本形成，虽有部分砂粒表面仍光滑，但它们大多为大颗粒砂粒。因此混合载体的挂膜速度快于石英砂单一载体。

2.3　焦化废水的处理

焦化废水处理实验结果如图 3—5 所示。图 3 中 F_r 为 COD 去除的容积负荷，F_L 为以进水 COD 计的容积负荷。图 4 和图 5 分别表示在不同进水条件下，出水中酚和氰的浓度值。显然混合载体的 F_r 始终高于 2 种单一载体，在高负荷情况下这种优势更为突出。对出水中酚和氰浓度的分析也说明，使用混合载体反应器的出

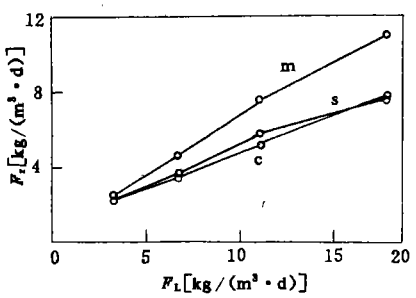

图3　F_r 与 F_L 的关系

s. 石英砂　c. 焦炭　m. 混合载体

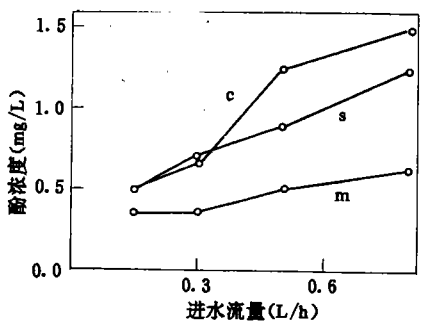

图4　出水酚浓度与进水流量的函数关系

s. 石英砂　c. 焦炭　m. 混合载体

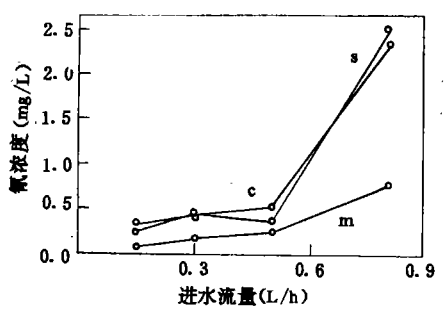

图4　出水氰浓度与进水流量的函数关系

s. 石英砂　c. 焦炭　m. 混合载体

水水质较好。特别是当饲入流量超过 0.5 L/h 后，2 种单一型载体的出水氰浓度迅速上升，而混合型载体的出水氰浓度只有少许提高，说明混合型载体的流化床在处理焦化废水时具有较好的耐冲击负荷能力。

在焦化废水处理实验中，混合型载体所表现出的上述优点是不难得到解释的。由于石英砂载体中粒径小于 0.2 mm 的超过⅓，这部分砂粒很难在反应器中长期保留，所以起不到载体的作用。焦炭载体尽管有生物膜生长完整等优点，但比表面积小是其一个根本的缺点。在混合载体中，上述 2 种载体的优点都得到充分发挥，而同时又避免了各自的缺点，所以混合载体具有良好的协同作用。

3　结论

（1）在侧边沉降区中细小颗粒载体的可沉降性受边界效应的影响获得极大的改善。

（2）在保证充分比表面积前提下，以混合载体形成的三相流平均密度低，可以降低曝气能耗。

（3）在生物膜培养和生长阶段，使用混合载体可以缩短挂膜周期和改善细胞固定化。

（4）焦化废水处理实验中，使用混合载体可使 COD 去除的容积负荷提高，最高达 11 kg/(d·m³)；对酚氰等有害物质的耐冲击能力增强；出水水质改善，高负荷运行时酚和氰的出水浓度仅为单一载体出水浓度的⅕～⅓。

参 考 文 献

1　Cai J, Nieuwstad T Kop. J. Wat. Sci. Tech.. 1992, **26**(9): 2481

2　Cai J, Nieuwstad T. Environ. Tech.. 1992, **13**(2): 101

3　Fan L, Koichi F et al.. Biotech. & bioeng.. 1987, **30**(5): 498

4　Verlaan P, Tramper. J Proc. Int. Conf. on Bioreactors and Biotran. U. K. Elseviers Science Publishers B. V. Amsterdam 1987: 9—12

5　Worden R Donaldson T. Biotech. & bioeng.. 1987, **30**(4): 398

6　Qian Y, Nieuwstad T. ISSN-0169-6246. TU. Delft, 1989: 9—20

7　蔡建安. 一种侧边沉降式三相气提流化床反应器. 实用新型 ZL 93, 236114.5, 93; BJ1452

Science, Jilin University, Changchun 130023): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(6), 1995, pp. 40—42

On the basis of some classical value theories, a theory on the functional values of natural resources was discussed in this paper, by building its elementary accounting model, studying the water resource in detail and giving an example. A new point of view was provided for the study on value theories of natural resources, together with a new method for pricing in the course of accounting.

Key words: natural resources functional value, integrated economical loss due to polltuion.

Development of a Planning and Management Model for Pollutants Discharge into a Tidal River. Huang Ping and Zhou Jingfeng (Dept. of Environ. Sci., Zhongshan University, Guangzhou 510275): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(6), 1995, pp. 43—46

Based on a differential river water quality model, a planning and management model for pollutants discharge into a tidal river has been derived, which described the relationship between a permissible discharge from each of all outfalls along the river reach, P_j, and its permissible discharge when they were discharging separately, Y_j, as a sum of $P_j/Y_j=1$. Examples were used to present the application and validation of the model. It was concluded that the model was simple in structure, easy to calculate, and convenient to be used in planning, management and real time control for pollutants discharge into a tidal river.

Key words: outfall, permissible discharge, water quality management.

Coordination Planning of Economy and Environment: Comprehensive Planning of Benxi Shiqiaozi Development Zone. Ru Jiang et al. (Center for Environmental Sciences Peking University, Beijing 100871): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(6), 1995, pp. 47—49

To achieve sustainable developemnt, it is essential to address environmental and economic construction in the planning stages. But it is recognized that how to evaluate the coordination of plans becomes the key problem for planning. Using environmnetal supporting capacity (ESC), this presentation assesses three plans of Benxi Shiqiaozi development zone and chose one plan, which is sounds more practicable and reasonable on the comprehensive analysis of economic outputand the consequent environmental impacts, including the demands for resources and the relevant discharges of pollutants from the economic development.

Key words: coordination development, environmental supporting capacity (ESC), development zone, sustainable development.

Cooperation of Mixed Carriers in a Three Phase Airlift-Loop Reactor. Cai Jian'an et al. (Dept. of Chem. Eng., East China Institute of Metallurgy, Maanshan, Anhui 243002): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(6), 1995, pp. 50—52

Mixed carriers consisting of fine sand grains and coarse coke grains were found to have a good cooperation in a three phase airlift-loop reactor with a side settling zone for wastewater treatment. The treatment of coking industrial wastewater in this reactor indicated that, as compared to a single carrier, the mixed carriers were not easy to lose with effluent and gave a higher COD removal rate [11 kg/(d • m^3)], a better effluent quality (e. g., phenol or cyanide had a concentration of 1/3 — 1/5 times that in the case of a single carrier), the biomass easy to grow up on the surface of the carriers, and lower energy consumption.

Key words: carrier, airlift, three phase flow, wastewater treatment.

Study on a Straw Feed Treated with Mineral Saccharide. Fan Xiuying and Sun Lianchao et al. (EIA Unit, Chinese Academy of Scineces, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(6), 1995, pp. 53—54

A new straw feed has been developed by using a mineral saccharide, a filtrate left from straw pulping black liquor after recovering liqnin and chemicals from it, to treat crop stalks mixed with urea, resulting in an increased utility of crop stalks as domestic animal feed. The mineral saccharide was found to be rich in amino acids, raw proteins, essential elements and saccharides, to comply with the national standards (GB 13078-91) for feed hygiene, and to enable providing a source of nutrients for domestic animal and erecting straw due to its residual alkalinity. The 48 hours dry matter disappearance (DMdp) in the remen of sheep was used as an indicator of straw availabity for animal. Rice straw had a DMdp increased by 40% and a NDF (Neutral Detergent Fiber) reduced by 22.6%, when the straw was