

# 生物膜填料塔净化低浓度 CS<sub>2</sub> 废气的实验研究

王洁<sup>1</sup>, 孙石<sup>1</sup>, 束嘉秀<sup>2</sup>, 孙学习<sup>1</sup>, 杨淑仙<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 昆明理工大学 生物与化学工程学院, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 介绍了生物膜法净化低浓度 CS<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 含硫废气的基本原理, 采用生物膜填料塔进行了净化低浓度 CS<sub>2</sub> 废气的实验研究. 结果表明: 生物膜填料塔在最佳操作条件(进口气体浓度 100mg/m<sup>3</sup>、气体流量 0.1 m<sup>3</sup>/h、循环液流量 20L/h、pH=4.0)操作时, 对 CS<sub>2</sub> 去除率可达到 80%. 表明生物膜填料塔净化低浓度的 CS<sub>2</sub> 废气是可行的.

**关键词:** 生物膜填料塔; CS<sub>2</sub> 废气; 实验研究

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2004)06-0108-03

## Experimental Study on Purification of CS<sub>2</sub> Waste-Gas in Low Concentration by Using a Biological Trickling Filter

WANG Jie<sup>1</sup>, SUN Pei shi<sup>1</sup>, SU Jia-xiu<sup>2</sup>, SUN Xue-xi<sup>1</sup>, YANG Shu-xian<sup>1</sup>

(1. Faculty of Environment & Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Faculty of Biological & Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** The basic principle of using biological method about purification of CS<sub>2</sub> waste gas containing sulpho-compound is introduced and an approach to purification of CS<sub>2</sub> waste gas in low concentration by using a biological trickling filter is studied. The results of preliminary experiment show that when the bio-filter is operated at the optimum operation conditions (the concentration of CS<sub>2</sub> in influent gas is 100 mg/m<sup>3</sup>, the gas flow is 0.1 m<sup>3</sup>/h, circulated liquid flow is 20 L/h and pH is 4.0), the removal efficiency of CS<sub>2</sub> can reach 80%. It indicates that biological trickling filters can be used to bio-purify CS<sub>2</sub> waste gas.

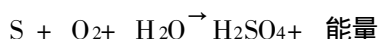
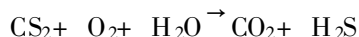
**Key words:** biological trickling filter; CS<sub>2</sub> waste gas; experimental study

### 0 引言

随着环保意识的提高, 粘性纤维工厂生产排放的废气中含有的 CS<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 对环保的危害日益受到人们的重视, 生物法废气净化技术以其较低廉的、较少的原材料投入, 对废气中低浓度有毒、有害物质的有效去除等优点, 使其应用范围及对象在迅速扩大<sup>[1,2]</sup>.

处理 CS<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 以及其他含硫废气的传统方法一般是物理化学法, 如化学洗涤法、高温氧化法、活性炭吸附法等, 但实践证明这些传统方法都不能从根本上消除有毒污染物, 并生成各种中间产物, 同时还存在净化效率低、耗费高等问题. 而生物法处理 CS<sub>2</sub> 以及含硫废气则能有效地解决这一问题<sup>[3~5]</sup>.

生物法净化 CS<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 含硫废气, 主要采用化能无机营养硫氧化菌, 应用最为广泛的菌种是排硫杆菌 (Thiobacillus Yhioparus)、氧化硫杆菌 (T: ThioXidans) 等<sup>[1]</sup>. 微生物通过一系列生化反应使硫的不完全氧化物转化为硫酸, 在氧化过程中获得能量并以二氧化碳为碳源合成细胞成分<sup>[1~4]</sup>.



收稿日期: 2004-03-01. 基金项目: 国家 863 计划资助项目 (项目编号: 2002AA649050).

第一作者简介: 王洁(1973.10~), 男, 在读研究生. 主要研究方向: 生物法废气净化技术.

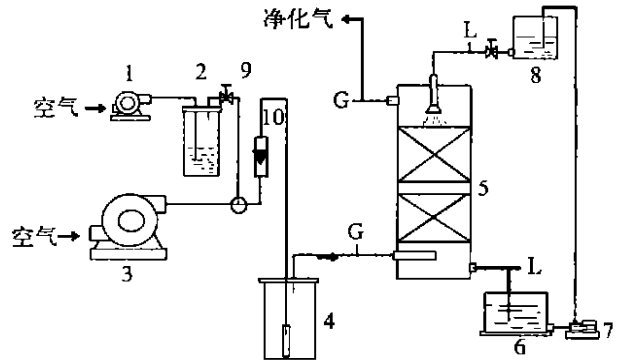
E-mail: wwhh171001@yahoo.com.cn.



本实验以低浓度 CS<sub>2</sub> 废气为研究对象, 通过正交实验研究来对生物膜填料塔净化 CS<sub>2</sub> 废气进行实验研究, 考察最佳操作条件, 确定影响因素, 为进一步研究生物膜法净化 CS<sub>2</sub> 废气的净化特性提供依据。

### 1 实验条件与方法

实验的主要装置是塔径为 100 mm 的小型玻璃生物膜填料塔<sup>[6]</sup>, 填料塔内分两段装填直径为 2.5 cm 的类球形陶粒, 装填体积 3.18 L × 2。实验操作条件为: 进口气体浓度为 100~1 000 mg/m<sup>3</sup>、气体流量为 0.1~0.8 m<sup>3</sup>/h、循环液喷淋量为 5~20 L/h。含微生物营养成份(N、P 和微量元素)的循环液连续地喷淋于填料上, 并定时测定进、出气中 CS<sub>2</sub> 的浓度和循环液 pH 值。实验设备流程图如图 1 所示。



1. 小气泵 2. 纯 CS<sub>2</sub> 瓶 3. 风机 4. 气体混合瓶  
5. 生物膜填料塔 6. 循环水槽 7. 循环水泵 8. 高位槽  
9. 阀门 10. 气体流量计 G. 气体取样点 L. 液体取样点  
图 1 生物膜填料塔实验流程示意图

Fig.1 Experimental flow chart of biological trickling filter

该实验所采用的菌种是由本项目研究组开发的微生物菌种, 经过由气相 CS<sub>2</sub> 及氮磷营养液驯化培养后, 将培养好的菌种溶液倒入循环槽进行挂膜操作, 填料塔挂膜完成后进行净化低浓度 CS<sub>2</sub> 气体的最佳操作条件实验。

### 2 实验结果与分析

#### 2.1 实验结果

本实验为了确定最佳操作条件, 采用的正交实验所选择的因素和水平如表 1(A 和 C 水平随机化)。考察指标: CS<sub>2</sub> 去除率(%). 正交实验采用 L<sub>16</sub>

(4<sup>3</sup> × 2<sup>1</sup>) 正交表, 实验结果数据如表 2 所示。将实验数据进行统计及方差分析, 分别得出了进口气体浓度、气体流量、循环液流量和 pH 对 CS<sub>2</sub> 去除率算术平均值的影响及其显著性, 计算结果如图 2~ 图 5、表 3 所示。

#### 2.2 实验分析

(1) 本实验考察指标为 CS<sub>2</sub> 去除率, 其值越高越好。最佳水平取实验中各因素所对应的平均 CS<sub>2</sub> 去除率的最高值, 因而最佳操作条件确定为 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>, 即最佳操作条件为进口气体浓度 100 mg/m<sup>3</sup>、气体流量 0.1 m<sup>3</sup>/h、循环液流量 20L/h、pH = 4.0。由于该最佳条件不在此正交实验中, 通过对最佳条件试验的指标值的估算, 最佳指标值为 81.6%, 随后进一步的验证实验结果为 79.8%。

(2) 气体流量对 CS<sub>2</sub> 去除率影响最为显著, 对实验方差贡献率为 83.7%。这是因为当气体流量较小时, 气体在填料塔内停留时间长, CS<sub>2</sub> 废气与微生物膜接触充分, 易被微生物所捕获、降解, 因而 CS<sub>2</sub> 去除率较高。随着气

表 1 因素与水平选择表

Tab 1 The choice table of factor and level

水平	因 素			
	进口浓度/mg·m <sup>-3</sup> (A)	气体流量/m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> (B)	循环液流量/L·h <sup>-1</sup> (C)	pH (D)
1	100	0.1	10	4.0
2	700	0.2	5	7.0
3	400	0.5	20	
4	1 000	0.8	15	

表 2 正交实验结果表

Tab.2 The result of perpendicular experiment

实验号	A	B	C	D	去除率/%
1	1	1	1	1	72.5
2	1	2	2	2	63.2
3	1	3	3	2	58.5
4	1	4	4	1	37.1
5	2	1	2	2	58.9
6	2	2	1	1	63.2
7	2	3	4	1	53.6
8	2	4	3	2	29.5
9	3	1	3	1	75.1
10	3	2	4	2	63.1
11	3	3	1	2	56.2
12	3	4	2	1	31.0
13	4	1	4	2	67.1
14	4	2	3	1	63.3
15	4	3	2	1	33.6
16	4	4	1	2	19.5

体流量增大,  $\text{CS}_2$  去除率明显下降, 图 2 中的曲线表明了这一点. 因此气体流量的操作条件最好应控制在  $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$  左右.

(3) 图 3 表明, 进口气体浓度对  $\text{CS}_2$  去除率影响显著. 当进口气体浓度在  $100 \sim 1000 \text{ mg}/\text{m}^3$  变化时, 随着进口气体浓度增加,  $\text{CS}_2$  去除率从  $57.8\%$  下降到  $45.9\%$ . 由此表明, 生物膜法处理仅对低浓度  $\text{CS}_2$  废气有较好的效果, 这与刘真牛所介绍国外公司的研究结果基本一致<sup>[4]</sup>. 因此采用生物膜法净化低浓度  $\text{CS}_2$  废气的进口气体浓度最好控制在  $100 \sim 200 \text{ mg}/\text{m}^3$  范围内.

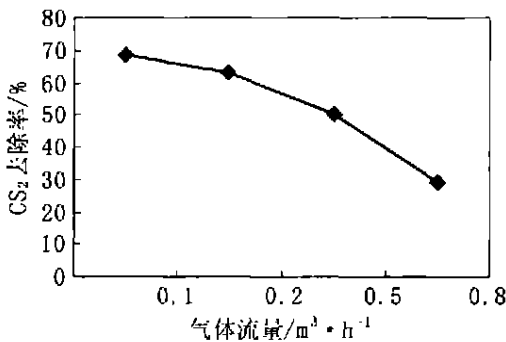
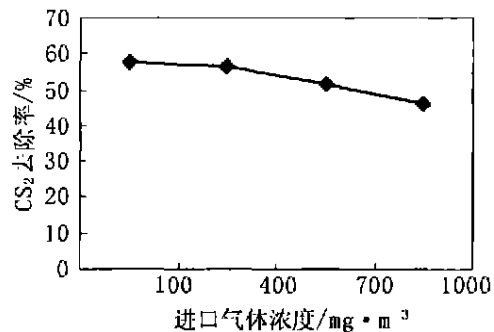
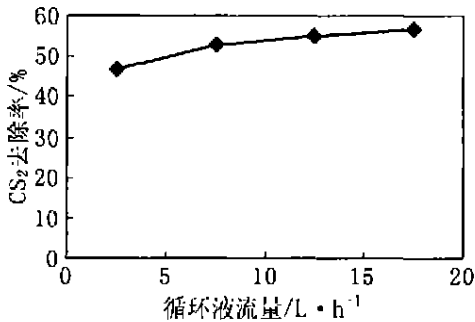
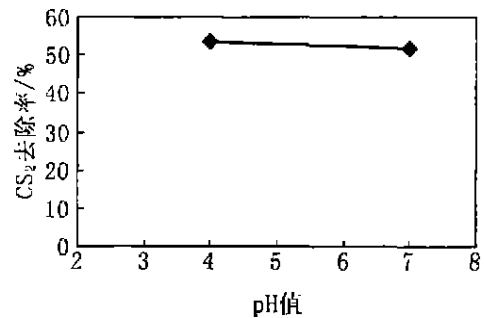
(4) 循环液流量对  $\text{CS}_2$  去除率影响也比较显著, 其实验结果如图 4 所示. 循环液流量控制在  $5 \sim 20 \text{ L}/\text{h}$  时, 随着循环液流量增加,  $\text{CS}_2$  去除率有所提高. 这是因为当填料塔中的水分过少时, 会导致填料内缺乏微生物生长代谢所必要的水分与营养物质, 微生物的生长环境受到影响, 从而降解速率下降, 缺水严重时会导致填料干燥<sup>[7]</sup>.

(5) 本次实验中  $\text{CS}_2$  去除率受循环液 pH 值的影响不显著, 但在生物膜填料塔在挂膜期间观察到 pH 值对  $\text{CS}_2$  去除率是有较大影响的. 随着 pH 值的下降,  $\text{CS}_2$  去除率得到明显的提高. 这是由于在低 pH 下硫细菌适宜生存而生长旺盛所致. 关于 pH 值的影响问题, 有待于进一步研究确认.

表 3 实验方差分析表

Tab 3 The table of experiment analyzing

方差来源	平方和 $S_i$	自由度 $f_i$	均方 $S_i/f_i$	$F$ 均方/ $S_e$	显著性	贡献率 / %
A	352.2	3	117.4	5.26	*	8.1
B	3 641.4	3	1 213.8	54.4	**	83.7
C	231.4	3	77.1	3.45	*	5.3
D	11.2	1	11.2	0.50		0.3
误差	111.6	5	22.3			2.6
总和	4 347.8	15				100

图 2 气体流量对  $\text{CS}_2$  去除率的影响Fig. 2 Effect of gas flow on purification efficiency of  $\text{CS}_2$ 图 3 进口气体浓度对  $\text{CS}_2$  去除率的影响Fig. 3 Effect of the concentration on  $\text{CS}_2$  purification efficiency图 4 循环液流量对  $\text{CS}_2$  去除率的影响Fig. 4 Effect of liquid flow on  $\text{CS}_2$  purification efficiency图 5 pH 值对  $\text{CS}_2$  去除率的影响Fig. 5 Effect of pH on  $\text{CS}_2$  purification efficiency

### 3 结论

本实验研究结果表明, 采用本项目研究组开发的微生物菌种挂膜接种的生物膜填料塔净化低浓度的

(下转第 114 页)

表1 铁红样品检测结果

Tab. 1 The analysis result of Iron oxide red sample

项 目	HO <sub>01-02</sub>		样品(实测)
	一级品	合格品	
铁的含量以 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (105℃烘干)表示,质量分数 ≥	94	90	96
105℃挥发物的质量分数 ≤	1.0	1.5	1.0
水容物的质量分数 ≤	0.3	0.5	0.28
水性氧化物及硫酸盐,以 Cl <sup>-</sup> 和 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 表示,质量分数 ≤	0.2	0.3	0.2
筛余物(63 μm网眼)的质量分数 ≤	0.3	0.5	0.3
水萃取液酸碱度, mL, ≤	20	20	18
水悬浮液 pH 值	5~7	5~7	6.5
吸油量, g/100g	15~25	15~25	20
铬酸铅	阴性	阴性	阴性
总钙量的质量分数,以 CaO 表示 ≤	0.3	0.3	0.3
颜色(与标准量比)	近似~微	稍	近似
相对着色力(与标准量比) / % ≥	95	90	95
有机着色物的存在	阴性	阴性	阴性

注:“颜色”、“相对着色力”的标准样为常熟铁红厂生产。

(2) 实验表明该工艺路线可行,所得产品符合相关的国标一级品要求。臭氧的使用很好地解决了亚铁离子的氧化和硫酸铵的净化除杂问题,大大缩短了 FeCO<sub>3</sub> 氧化转化时间,提高了生产容量。母液容易过滤,滤液循环使用,无新的三废产生。

(3) 产品以 FeSO<sub>4</sub> 计,硫酸铵收率达 95%,铁红粉收率达 97%(见表 2)。本工艺生产成本低,产品质量稳定,具有推广价值。

表2 产品 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 收率Tab. 2 The percent age of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

产品	理论产量/g	实验结果/g	收率/%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	416.5	404	97
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	687.3	667	95

#### 参考文献:

- [1] 周苏闽. 用铁泥制氧化铁红[J]. 化工环保, 1999, 19(6): 357~360.
- [2] 程文敢. 硫酸法钛白副产硫酸亚铁制取氧化铁红的研究[J]. 福建化工, 2000, (2): 25~27.
- [3] 刘晓红, 郑典模, 孙日圣, 等. 由硫酸亚铁制取硫酸钾和氧化铁红[J]. 化学反应工程与工艺, 2000, (3): 295~300.
- [4] 石锦文, 陈培德, 苏小云. 无机化学[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 1999.

(上接第 110 页)

CS<sub>2</sub> 废气是可行的,当最佳操作条件为进口气体浓度 100 mg/m<sup>3</sup>、气体流量 0.1 m<sup>3</sup>/h、循环液流量 20 L/h、pH = 4.0 时,CS<sub>2</sub> 去除率可达到 80% 左右。本研究结果为进一步研究生物膜填料塔对 CS<sub>2</sub> 废气的净化特性提供了重要依据。

#### 参考文献:

- [1] 陆继来, 孙石, 黄兵, 等. 低浓度工业废气生物净化技术[J]. 环境工程, 2002, (增刊): 133~137.
- [2] 孙石, 杨显万, 黄若华, 等. 生物法净化低浓度有机废气技术基础与应用研究[J]. 昆明: 云南科技出版社, 2004, (2): 3~63.
- [3] 刘荷想, 刘月梅. 意大利斯尼亚公司的 H<sub>2</sub>S、CS<sub>2</sub> 废气治理技术[J]. 人造纤维, 2000, (1): 29~33.
- [4] 刘真牛. 粘胶纤维工厂的废气处理[J]. 人造纤维, 1999, (1): 20~25.
- [5] 姜安玺, 杨义飞. 生物处理硫系恶臭气体现状及展望[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34(1): 45~48.
- [6] 孙石, 杨显万, 黄若华, 等. 生物膜填料塔净化有机废气的研究[J]. 中国工程科学, 1996, 16(2): 92~95.
- [7] Warren J Swanson, et al. Biofiltration Fundamentals Design and Operations Principles and Applications[J]. Journal of Environmental Engineering, 1997, 123(6): 538~546.