

生物膜填料塔净化 SO₂ 废气的研究^{*}

曾二丽¹, 孙耀石², 王洁², 束嘉秀¹, 雷艳梅¹, 许晓毅¹

(1. 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南大学环境与湖泊研究院, 云南 昆明 650091)

摘要: 采用生物膜填料塔净化 SO₂ 废气, 研究结果表明: 其最佳操作条件为入口气体质量浓度 500~1 000 mg/m³、气体流量 100 L/h、循环液流量 15 L/h, pH 1.0; 当气体流量从 100 L/h 增加到 300 L/h 时, SO₂ 净化效率由 86.4% 下降到 73.2%; 最佳操作条件下 SO₂ 净化效率可达 98% 以上。

关键词: 生物膜填料塔; SO₂ 废气; 硫细菌

中图分类号: X 701 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2006)04-0350-04

早在 1988 年, 世界卫生组织和联合国环境规划署公布的调查报告中就指出: 根据近 15 a 来 60 多个国家监测获得的统计资料显示, 由人类制造的 SO₂ 每年达 1.8 亿 t, 比烟尘等悬浮粒子 1.0 亿 t 还要多, 已成为大气环境的第一大污染物^[1]。

由燃煤过程中所产生的低浓度 SO₂ 烟气, 因其气量大、浓度低、治理难度大而又严重地污染了环境, 成为现阶段环保领域广泛关注的焦点之一。对于这类低浓度 SO₂ 烟气, 目前的烟气脱硫装置中普遍都存在着基建投资大和运行费用高的问题, 即使是一些工业比较发达的国家也感到难以承受。

SO₂ 的控制途径有 3 个, 即燃烧前脱硫、燃烧中脱硫及燃烧后脱硫即烟气脱硫 (FGD), 目前烟气脱硫被认为是控制 SO₂ 最行之有效的途径^[2]。与传统的空气污染控制技术如活性炭吸附、湿法洗涤和燃烧等相比, 生物法具有处理效果好、投资运行费用低、易于管理等优点。因此, 逐渐在废气净化中得到重视, 特别近年来, 微生物煤炭脱硫、微生物除臭、微生物降解挥发性有机气体的研究和工业应用方面取得了很大的进展^[3]。

生物法废气净化技术是从 20 世纪 80 年代初荷兰和德国的科研人员获得良好的效果才开始发展起来的。其技术实质是利用微生物的生命活动将

废气中的有害物质进行捕获、降解并转化为简单无害的无机物(如 S, CO₂, H₂O 等)及微生物的细胞质等^[4]。在生物脱硫过程中, 氧化态的污染物如 SO₂、硫酸盐、亚硫酸盐及硫代硫酸盐, 必须先经生物还原作用生成硫化物或 H₂S, 然后再经生物氧化过程生成单质硫, 才能去除。参与这类硫污染物还原的微生物是硫酸盐还原菌(SBR), 还原过程的实质是以硫酸盐作为有机物氧化时的受氢体, 脱硫弧菌(*Desulfovibrio desulfuricans*)是具有恰恰能割裂硫还原作用的典型代表, 能将硫酸盐还原成 H₂S^[5]。

1 实验

1.1 实验装置 本实验采用生物膜过滤法, 即利用以生物膜形式固定多孔填料表面上的微生物来降解净化气态污染物的方法。本实验生物膜填料塔中生物挂膜的菌种是先期培养驯化的硫细菌, 将培养好的菌种溶液倒入循环槽进行挂膜操作。实验设备流程如图 1 所示。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, 含有微生物营养盐(氮、磷和微量元素)的循环液连续地喷淋于填料上。该生物膜填料塔中生物挂膜的菌种是先期培养驯化的硫细菌。

* 收稿日期: 2005-09-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50478116); 国家“863”计划资助项目(2002AA649050); 云南省重点科技匹配项目(2004GP05)。

作者简介: 曾二丽(1981-), 女, 硕士生, 主要从事环境污染治理技术方面的研究。

通讯作者: 孙耀石(1957-), 男, 教授, 主要从事环境工程专业的教学工作, 工业 SO₂ 与有机废气、废水和废渣治理研究等。

1—H₂SO₄瓶;2—Na₂SO₃瓶;3—SO₂气体产生器;4—废液槽;5—风机;6—转子流量计;7—生物膜填料塔
8—高位槽;9—循环水槽;10—循环泵;11—废液吸收槽;L1,L2—进出口液体采样器;G1,G2—进出口气体采样器

图1 实验流程图

Fig. 1 Experimental flow chart of biological tricking filter

1.2 实验目的及方法 本实验的研究目的是确定生物膜填料塔净化 SO₂ 废气的最佳操作条件以及入口气体质量浓度对 SO₂ 净化效率的影响. 实验操作中,用碘量法定时测定 SO₂ 的气、液相质量浓度,同时测定循环液的 pH 值.

2 结果及讨论

2.1 最佳操作条件的确定 利用微生物净化废气,微生物的活性及转化性能主要取决于废气的浓度、气体流量、循环液喷淋量、营养液的量及循环液的 pH 值等^[6],因此本实验采用正交试验法确定最佳操作条件,正交实验所选择的因素和水平如表 1 (A 和 C 水平随机化)所示. 考察指标为 SO₂ 净化效率(%). 实验采用 L₁₆(4³ × 2¹)正交表,实验数据与计算结果如表 2,将实验数据进行数理统计方差

分析^[7],分别得出了入口气体质量浓度、气体流量、循环喷淋量和 pH 值对 SO₂ 净化效率的算术平均值的影响及其显著性,计算结果如表 3 所示.

方差分析法的观点认为,只需要对显著的因素进行选择,不显著的因素,原则上可选在试验范围内的任意一点,或由其它指标去确定. 本实验考察指标 SO₂ 净化效率越高越好,最佳水平取 k_1, k_2, k_3, k_4 中数值最大的,最佳操作条件为 A₁B₂C₃D₂, 即最佳操作条件为入口气体质量浓度 500 mg/m³、气体流量 100 L/h、喷淋量 15 L/h, pH = 1.0. 最佳方案不在该实验中,实验验证得在最佳条件下(其中入口质量浓度为 500 ~ 1 000 mg/m³)生物膜填料塔对 SO₂ 的净化效率为 98.9%,明显高于其他操作条件下的净化效率.

表1 因素与水平选择表

Tab. 1 Selection of factors and levels

水平	入口 / (mg · m ⁻³) (A)	气体流量 / (m ³ · h ⁻¹) (B)	循环液流量 / (L · h ⁻¹) (C)	pH(D)
1	500	0.5	20	1.5
2	2 000	0.1	5	1
3	3 500	0.3	15	
4	5 000	0.7	10	

表 2 正交实验结果计算表
Tab. 2 Selection of factors and levels

实验号	A	B	C	D	净化效率/ %
1	1	1	1	1	75.4
2	1	2	2	2	96.5
3	1	3	3	2	95.6
4	1	4	4	1	50.0
5	2	1	2	2	63.7
6	2	2	1	1	92.5
7	2	3	4	1	78.5
8	2	4	3	2	76.9
9	3	1	3	1	60.5
10	3	2	4	2	96.0
11	3	3	1	2	93.3
12	3	4	2	1	36.0
13	4	1	4	2	60.0
14	4	2	3	1	94.6
15	4	3	2	1	80.0
16	4	4	1	2	49.8
k_1	79.4	64.9	77.7	70.9	
k_2	77.9	94.9	69.1	79.0	
k_3	71.5	86.9	81.9		
k_4	71.1	53.2	71.1		
R	8.3	41.7	12.9	8.0	

表 3 实验方差分析表
Tab. 3 Selection of factors and levels

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	221.0	3	73.7	(0.06)		2.9
B	4 463.8	3	1 487.9	1.29	**	57.9
C	1 912.8	3	637.6	0.55	*	24.8
D	298.0	1	298.0	0.26		11.6
误差 S_e	73.9	5	71.0			2.8
总和 S	5 766.9	15	2 158.6			

2.2 气体流量对 SO_2 净化效率的影响 由于气体流量对净化效率的影响较大,实验考察了气体流量对 SO_2 净化效率的影响. 气体流量与 SO_2 净化效率和生化去除量的关系如图 2,3 所示.

由图 2 可以看出,随着入口气体流量的增加,生物膜填料塔对 SO_2 废气的净化效率有明显下降,造成这一现象的原因在于: 是当气体流量较小时,气体在填料塔内停留时间长, SO_2 废气与微

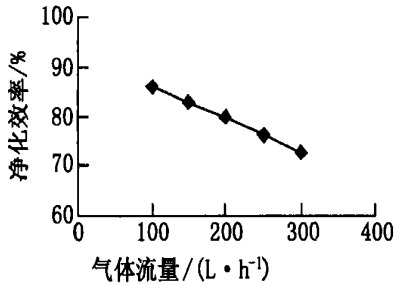


图3 入口气体流量与净化效率的关系[$C_0 = 2500 \text{ mg/m}^3$, $L = 20 \text{ L/h}$, $\text{pH} = 1 \sim 1.5$]

Fig. 3 Effect of gas flow on purification efficiency of SO₂

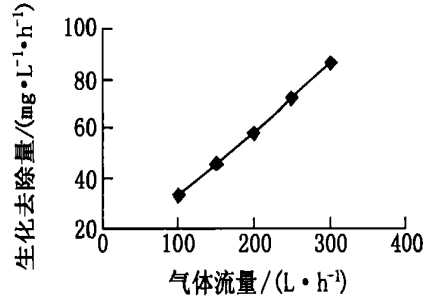


图4 入口气体流量与生化去除量的关系[$C_0 = 2500 \text{ mg/m}^3$, $L = 20 \text{ L/h}$, $\text{pH} = 1 \sim 1.5$]

Fig. 4 Effect of gas flow on bioelimination capacity of SO₂

生物膜接触充分,易被微生物所捕获、降解,因而SO₂净化效率较高;随着气体流量的增加,气相主体对生物膜的切线冲刷力也相应增加,从而使部分已被生物膜吸附的但结合力不强的二氧化硫分子重新从生物膜上脱附出来,而进入气相主体中。

图3表明了气体流量对生物膜填料塔的SO₂生化去除能力的影响。随着气体流量的增加SO₂生化去除量也随之呈线性增加。原因是当气体流量增大时,生物膜表面SO₂分子的覆盖率增大,表面更新速率加快,从而更利于微生物捕获降解SO₂。当入口气体质量浓度在3000 mg/m³左右,气体流量从100 L/h增加到300 L/h时,其生化去除量从34 mg/(L·h)增大到87 mg/(L·h)。这说明本实验所采用的微生物菌种对SO₂具有很强的去除能力,可将其捕获的SO₂分子快速生化降解。

3 结论

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SO₂废气是可行的,SO₂净化效率可达98%以上。正交实验研究结果表明:最佳操作条件为入口气体质量浓度500~1000 mg/m³,气体流量100 L/h、循环液流量15 L/h, pH=1.0;气体流量对SO₂净化效率的影响较大,随着气体流量的增加SO₂生化去除量也随之呈线性增加,气体流量从

100 L/h增加到300 L/h时,其生化去除量从34 mg/(L·h)增大到87 mg/(L·h)。这说明本实验所采用的微生物菌种对SO₂具有很强的去除能力,可将其捕获的SO₂分子快速生化降解。

生物法净化工业废气技术目前世界上只有少数几个国家达到工业应用水平,国内仍处于探索应用阶段。由于国内还没有采用生物膜法净化SO₂废气的研究,国外也鲜有报道,本实验研究为国内采用生物法净化低浓度SO₂废气的研究应用起到了一定的促进作用。

参考文献:

- [1] 刘荷想,刘月梅.意大利斯尼亚公司的H₂S、CS₂废气治理技术[J].人造纤维,2000(1):29-33.
- [2] 冯玲,杨景玲,蔡树中.烟气脱硫技术的发展及应用现状[J].环境工程,1997,15(2):19-24.
- [3] 王洁,孙隰石,孙学习.生物膜填料塔净化CS₂废气的初探[J].贵州环保科技,2004,10(3):1-3.
- [4] 孙隰石,杨显万,黄若华,等.生物膜填料塔净化有机废气的研究[J].中国环境科学,1996,16(2):92-95.
- [5] 邓良伟,唐一,吴彦.生物脱硫机理及其研究进展[J].上海环境科学,1998,17(5):35-39.
- [6] 刘真牛.粘胶纤维工厂的废气处理[J].人造纤维,1999,1:20-25.
- [7] 中国科学院数学研究所.常用数理统计方法[M].北京:科学出版社,1979.

Effects of polydatin on thrombosis and interactions of platelets to neutrophils

CHEN Peng¹, HU Xiao-li², LEI Wei-ya¹, SHEN Zhi-qiang¹

(1. Yunnan Pharmacological Laboratory of Natural Products, Kunming Medical College, Kunming 650031, China;

2. Department of Pharmacognosy, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China)

Abstract: The methods of electrically stimulated carotid thrombosis and inferior vein ligation in rats were used to evaluate the antithrombotic effects of polydatin. Rosette assay and Born's method were used to observe platelet - neutrophil interactions. The results showed that polydatin obviously protected against thrombosis caused by electrical stimulation and inferior vein ligation in rats. Polydatin also decreased the binding of thrombin-stimulated platelets to neutrophils and significantly suppressed platelet aggregation stimulated by N-formyl-methionyl-leucyl-phenylalanine-activated neutrophil suspension. The IC₅₀ values were 51.9 μmol/L and 307.6 μmol/L, respectively. It is suggested that polydatin had evident antithrombotic effects and the mechanisms may be intimately related to suppression of platelet-neutrophil interactions.

Key words: polydatin; thrombosis; platelet; neutrophil; adhesion; aggregation

* * * * *

(上接第 353 页)

An approach to remove SO₂ using biological trickling filter

ZENG Er-li¹, SUN Pei-shi², WANG Jie², SHU Jia-xiu¹, LEI Yan-mei¹, XU Xiao-yi¹

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

2. Institute of Environment & Lake, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: An approach to remove low concentration SO₂ using biological trickling filter was studied. The results of preliminary experiment show that the optimum operating conditions are as the following: the concentration of SO₂ in influent gas is 500—1 000 mg/m³, the gas flow is 0.1 m³/h, circulated liquid flow is 15 L/h and pH is 1.0. When the gas flow is changed from 100 L/h to 300 L/h, the SO₂ removal efficiency decrease, from 86.4% to 73.2%, while the concentration of SO₂ in influent gas is about 2 500 mg/m³, the SO₂ removal efficiency can arrive to 90%.

Key words: biological trickling filter; SO₂ waste gas; *Thiobacillus*