

等离子体分解 SO_2 实验

依成武 刘恒权 白希尧 张芝涛 邬庆伟

(鞍山静电技术研究设计院, 鞍山 114011)

摘要 介绍了在低温常压条件下,应用等离子体分解有害气体 SO_2 的实验结果。通过实验总结出 SO_2 浓度、气体流量以及烟气温度对 SO_2 分解率的影响规律,比较了脉冲叠加正、负直流电压产生的等离子体分解 SO_2 的能耗和分解量。实验结果表明,该项技术耗能低, SO_2 分解率高。每消耗 $1\text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能可分解 $1.61\text{—}1.97\text{ kg SO}_2$ 气体,分解率达 80% 以上。

关键词 等离子体,分解, SO_2 ,高压脉冲。

随着现代工业的发展,环境污染越来越严重。火力发电、冶炼钢铁、水泥生产等企业外排烟气中含有大量的有害气体 SO_2 ,排放到大气中经化学反应形成“酸雨”。目前世界上比较先进的脱硫方法有湿式石灰/石灰石石膏法、电子束照射法以及 $\text{m}\mu\text{s}$ 脉冲电晕放电等离子体化学法脱硫等^[1-4]。这些方法需要巨大的一次性投资,且能量消耗大。世界大部分国家和地区没有能力承担如此高昂的 SO_2 治理费用^[5]。

在低温常压条件下,应用高能等离子体,在不加任何化学药品的前提下,可把有害气体 SO_2 分解成无害的氧气(O_2)和单质硫(S)。分解率高,能量消耗低。

1 分解 SO_2 气体装置及原理

1.1 实验装置

分解 SO_2 气体实验装置如图 1 所示。分解 SO_2 气体反应器用耐腐蚀不锈钢制成,直径为 120mm,长度为 1500mm;电晕极为不锈钢星形线,长度为 800mm。根据实验要求,用空气压缩机与 SO_2 标准气瓶产生的气体配制不同浓度的 SO_2 气体。用烟尘发生器产生一定浓度的烟尘。 V_D 为直流高压电源, V_C 为超高压脉冲电源。根据分解工艺要求,波形成型器供给分解反应中所需要的等离子体和控制定向化学反应的反应条件。

1.2 气体分解原理

峰值高、前后沿陡峭的超高压脉冲在电晕极

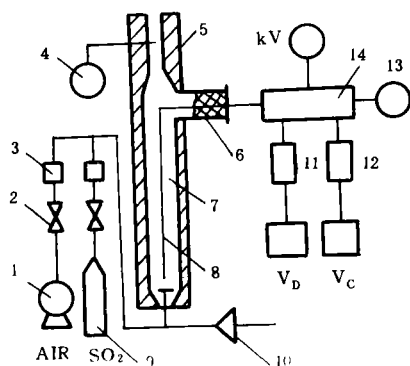
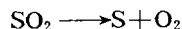


图 1 分解 SO_2 气体实验装置流程图

1. 空气压缩机 2. 阀门 3. 流量计 4. 气体测试仪 5. 温度控制层 6. 绝缘子 7. 反应器 8. 电晕极 9. 标准气瓶 10. 烟尘发生器 11. 12. 谐振器 13. 脉冲参数温度仪 14. 波形成型器

附近发生激烈的脉冲电晕放电,使基态气体获得足够大能量,发生强烈的辉光放电,使空间气体迅速成为高浓度等离子体(能量可达 20 eV 以上)。

在高能等离子体中,气体分子处于激发态,当气体分子获得的能量大于分子键结合能时^[6],分子键断裂后分解成新的分子。例如,有害气体 SO_2 (结合能为 5.43 eV),在高能等离子体中处于激发态后进行分解反应:



分解成无害的单质硫(S)和气体分子氧(O_2)^[7]。

2 实验结果

2.1 分解 SO₂ 气体实验测试结果

实验在低温(9—48℃)、常压(101kPa)条件

下进行,实验条件及结果如表 1 所示。气体中 SO₂ 浓度为 114.5—3259.8mg/m³ 时,SO₂ 气体分解率为 81.4%—98.1%,大部分在 90%以上。

2.2 SO₂ 气体浓度对其分解率的影响

表 1 分解 SO₂ 气体检测报告数据

测试环境条件				产生等离子体的电参数				气体参数			
序号	压力(kPa)	温度(℃)	湿度(%)	直流电场强度(kV/m)	脉冲参数			通气量(m ³ /h)	入口浓度(mg/m ³)	出口浓度(mg/m ³)	分解率(%)
					幅值(kV)	宽度(μs)	频率(Hz)				
1	101	26	64	450	220	10	50	4.9	114.5	2.3	98.0
2	101	17	39	450	220	10	100	4.9	1421.2	264.5	81.4
3	101	16	62	450	220	10	100	4.9	3259.8	236.8	92.7
4	101	18	48	450	220	10	100	4.9	3134.0	211.5	93.3
5	101	16	54	450	220	10	50	4.9	711.3	13.9	98.1
6	101	18	76	450	220	10	100	4.9	2402.4	343.2	85.7
7	101	18	76	450	220	10	100	4.9	1618.6	109.6	93.2

SO₂ 分解率与其浓度的函数关系如图 2 所示。从图 2 中曲线可以看出,随着 SO₂ 气体浓度的增加其分解率有所下降,大多数分解率在 85%以上。

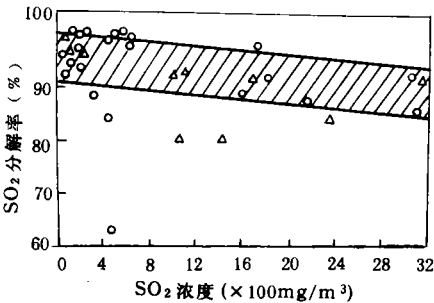


图 2 SO₂ 浓度与分解率关系曲线

O 为静电院检测中心测试数据 Δ 为外单位测试数据

2.3 气体流量对 SO₂ 分解率的影响

气体流量对 SO₂ 的分解率影响较大(如图 3 所示),实验条件与表 1 所示相同。从图 3 曲线可见,随着气体流量的增加,SO₂ 分解率明显下降。应用图 1 所示的实验装置分解 SO₂ 气体,只要气体流量保持在 3.2—4.8m³/h 之间,分解率可达 90%以上。

2.4 烟气温度的对 SO₂ 分解率的影响

为了模拟现场的实际情况,在反应器内通入一定浓度的发电厂锅炉飞灰。用加热装置把反应器内烟气温度控制在 10—200℃ 范围内,实验结果如图 4 所示。从图 4 曲线可知,烟气温度对 SO₂ 分解率影响不大。随着温度的增加,分解率略有下降。

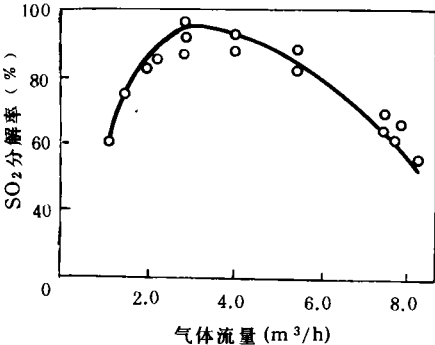


图 3 气体流量与 SO₂ 分解率关系曲线

气体浓度为 1200.0—2400.8mg/m³ 脉冲幅值为 267kV

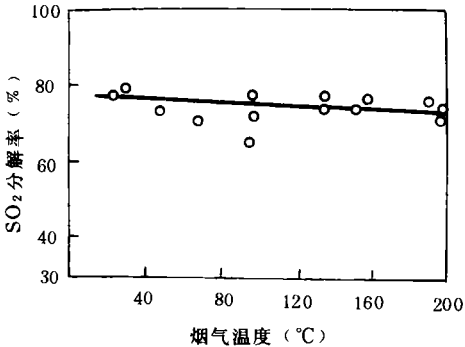


图 4 烟气温度的与 SO₂ 分解率关系曲线

气体流量 4.09m³/h,脉冲幅值 255kV

2.5 SO₂ 分解过程中产生的单质硫的测定

分解 SO₂ 过程中产生的单质硫,在定向电场作用下被驱赶到反应器内壁上。从内壁上的附着物取样,测定结果如表 2 所示。通入含有 SO₂ 的烟气 1h,烟气中 SO₂ 含量 7.98g,其中含硫量 3.18g(理论值),从反应器内壁附着物中回收硫量 2 次测试结果分别为 2.27g 和 2.46g。应用该项技术,烟气中硫的回收率可达 71.4%—77.4%。

表 2 反应器内壁附着硫量测试数据

压力 (kPa)	温度 (℃)	直流 电场强度 (kV/m)	脉冲 幅值 (kV)	脉冲 宽度 (μs)	脉冲 频率 (Hz)	气体流速 (m/s)	反应 时间 (h)	烟气中 SO ₂ 含量 (g)	反应器内壁 硫附着量 (g)	理论值 (g)	差值率 (%)
101	48	433	220	10	50	0.15	1	7.98	2.27	3.18	28.6
101	48	433	220	10	50	0.15	1	7.98	2.46	3.18	22.6

表 3 脉冲叠加正、负直流电压分解 SO₂ 气体耗能和分解量数据¹⁾

电极性	分解气体	气体浓度 <i>N</i> (mg/m ³)	气体流量 <i>Q</i> (m ³ /h)	消耗功率 <i>W</i> (×10 ⁻³ kW)	气体分解率 <i>η</i> (%)	气体分解量 <i>A</i> (kg/kW·h)
正	SO ₂	5434.0	3.26	8.8	80.0	1.61
	SO ₂	6500.8	3.26	8.8	82.0	1.97
负	SO ₂	5820.1	3.26	103.4	88.0	0.16
	SO ₂	6492.2	3.26	103.4	88.3	0.18

1)表中气体分解量计算公式: $A=NQ\eta/W$

2.6 脉冲叠加正、负直流电压产生的等离子体分解 SO₂ 的能耗及分解量比较

从表 3 中可以看出,把脉冲叠加在正直流电压上产生的等离子体,每消耗 1kW·h 的电可分解 1.61—1.97kg SO₂ 气体,分解 1kg 的 SO₂ 所消耗的电量仅为叠加负直流电压的 1/10。

上,应把气体流量控制在一定范围内。

(3)脉冲叠加正直流电压产生的等离子体分解 SO₂ 耗能低,仅为叠加负直流电压的 1/10 左右。

(4)该项技术耗能低,每消耗 1kW·h 的电可分解 1.61—1.97kg SO₂ 气体。

3 结论

- (1)用高能等离子体可以有效地分解有害气体 SO₂,使其分解后成为无害的气体 O₂ 和单质 S。分解率可达 80%以上。
- (2)SO₂ 气体浓度、烟气温度对分解 SO₂ 效果影响不大。若想使 SO₂ 分解率保持在 90%以

参考文献

1 渡部輝雄等. 住友重机技報. 1978,105(1.35):32

2 河邑啓太等. 燃料及燃烧. 1980,47(3):215

3 増田 関一. 静電気学会誌. 1990,6(4):413

4 増田 関一. 化学と工業. 1987,40:108

5 孙杰等. 环境科学与技术. 1992,2:37

6 胡建芳. 物理. 1987,2(16):89

7 白希尧等. 环境科学. 1993,14(1):37

• 环境信息 •

《资源环境常用数据手册》

——资源环境科研和管理者的必备工具书

由中国科学技术出版社出版的《资源环境常用数据手册》是集大气、水、土地、自然保护、海洋、城市环境、能源、经济与社会、环境政策与管理以及全球环境问题的常用数据于一体的参考性工具书,可收到“一册在手,全局在胸”之效。全书 35 万字,定价 10 元(包括邮费)。欲购者请邮局汇款至北京市 2871 信箱《环境科学》编辑部万维纲(邮编:100085),款到发书。

环境毒物检测方法

——细菌培养顶空气相色谱法及其应用研究

程锦泉

殷斌志

陆定中

察宏道

(深圳市卫生防疫站,深圳 518020)

(同济医科大学环境医学研究所,武汉 430030)

摘要 用顶空气相色谱技术测定环境毒物对大肠杆菌(*E. Coli*)代谢产物 CO_2 的抑制程度,以 IC_{50} (50%抑制浓度)判断毒性大小,旨在探索一种快速检测环境污染物毒性的方法。本试验选择最佳条件为:细菌浓度 10^8 个/ml, pH 值 7.2—7.4,顶空管气液比 1:2.5,培养 4h,以及适宜的 CO_2 测定色谱条件。用该方法检测 8 种离子毒性, IC_{50} 值顺序为 Hg^{2+} (0.86×10^{-6}) > Cu^{2+} (8.00×10^{-6}) > Cd^{2+} (8.39×10^{-6}) > CN^- (10.20×10^{-6}) > Pb^{2+} (11.20×10^{-6}) > Sn^{2+} (20.10×10^{-6}) > Ni^{2+} (39.70×10^{-6});研究了 Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 和 CN^- 5 种离子间联合毒性作用,大多数表现为相加作用,也有协同和拮抗作用;芳香族化合物结构活性与毒性两者间有密切关系,取代基种类和数目不同,毒性各异;探讨硝基废水处理过程中毒性随硝基苯类化合物的浓度、COD 值降低而减弱。

关键词 毒性评价,结构与毒性,毒物联合作用,顶空气相色谱,生态毒理。

近几十年来随着工业化程度的升高以及对化工产品的极大需求,自然形成和人工合成的化学物质数量猛增,仅欧洲市场每年新增加的品种就达 6 万多种,这些物质都应进行毒性鉴定,确定其生产价值和对环境的影响。目前建立了各种各样的生物试验方法,包括微生物^[1-3]、藻^[4]、底栖软体动物^[5]、浮游生物^[6]、鱼^[7]等,用来监测环境污染物对水生生物的毒性。

细菌具有生长迅速、生活周期短、运转费低,并且同高等动物有着相似的物理化学特性和酶作用过程等特点。利用细菌作为指示生物监测化学物质毒性的方法有多种,如细菌酶活性的变化^[8,9]、ATP 水平测定^[10]、细菌发光微毒检测^[11]、细菌生长、呼吸抑制试验^[12,13]、微热测量^[14]以及 CO_2 产生等,间接判断环境毒物毒性。Dorward^[15],使用大肠杆菌电极,Anderson^[16]用放射性同位素标记,Simpson^[17]应用 CO_2 气敏电极,Jardim^[18]通过流动注射分析法测定 CO_2 的抑制程度评价抗菌素对微生物的敏感性及其环境污染物的毒性。

本研究将细菌培养技术与顶空气相色谱法结合起来,即将细菌培养在密闭的顶空管内,细菌培养过程所产生的 CO_2 ,用微量进样器定量取出注入气相色谱仪准确地分析,以实现快速监测

污染物毒性的目的。

1 仪器和材料

1.1 菌种

大肠杆菌(*E. Coli*),由同济医科大学微生物教研室提供。

1.2 试剂

以下试剂均为分析纯。

碳酸氢钠、氯化汞、硫酸铜、硫酸锌、硝酸镉、硫酸镍、醋酸铅、氯化锡、氰化钾、苯、氯苯、硝基苯、苯胺、4-氯甲苯、1,4-二氯苯、1,2,4-三氯苯。

1.3 细菌培养液

蛋白胨 10.0g、牛肉膏 3.0g、氯化钠 5.0g、葡萄糖 3.0g,加蒸馏水 1000ml,调节 pH 值 7.2—7.4,121℃ 温度下 30min 高压灭菌备用。

1.4 JE-01 型顶空取样器

自制。由以下几个部分组成:顶空管、温度控制器、顶空管架、恒温箱。该设备控温精度 ± 0.5 ℃,每次可连续测定 48 管。

1.5 气相色谱仪 GC-15A

日本岛津公司制造。柱长 1m,内径 3mm 不锈钢柱,填充 TDX-01 和 GDX-103(60—80 目),

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

of pollutants at a measuring site being a sum of the contributions from all the short line sources divided. As compared with other models such as CLINE2, this method is applicable to all the line sources of finite length in an arbitrary wind direction and can be used to calculate for a reach with different intensities of sources on a road. The results of modelling calculations are consistent well with the data from field tracing and really measuring the pollution by vehicles exhausts.

Key words: line source, air pollution, modelling calculation.

Effects of exhaust gas from diesel vehicles on urban air quality. Yao Weixi, Zhang jinchun et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 61—64

The changes in the concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in exhaust gas emitted from diesel vehicles under different working conditions and their effects on urban air quality were reported in this paper. The PAHs emissions were found to be related to the types of engine and their conditions, with the lowest emission generated upon an operation load of between about 2%—5%. Cyclopenta (c,d)pyrene was measured respectively in the exhaust gases and urban air, and was found to have a much higher mutagenicity than benzo(a) pyrene.

Key words: diesel vehicles, polycyclic aromatic hydrocarbons, air quality, cyclopenta (c,d)pyrene.

Extraction and Synchronous Fluorescent Spectrometry for the Determination of Benzo (a) pyrene in Airborne Particulates. Lei Shihuan, Zhao Zhenhua (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 65—67

A rapid and effective method for detecting benzo(a) pyrene in airborne particulates was developed, in which benzo (a) pyrene was extracted in one minute step with concentrated sulfuric acid from a cyclohexane extracted solution from the airborne particulates, and then determined with a synchronous fluorescent spectrometry. The best results were obtained at $\Delta\lambda$ of 20nm. Benzo(a)pyrene in the concentrated sulfuric acid phase was stable within 1 hour. The recovery was found to be 85% for 0.10 μg of benzo(a)pyrene standard. No interference with other polynuclear aromatic hydrocarbons was found in the range of 530—600 nm of synchronous fluorescent spectra. For a comparison, the samples were also determined by using the unified method of acetylated paper TLC/ fluorescent photospectrometry, with the results in a variance of 15% between

both methods. The analytical cycle for the present method can shorten by 1 hour.

Key words: benzo (a) pyrene, synchronous fluorescent spectrometry, extraction, airborne particulates.

Plasma Decomposition of Sulfur Dioxide (SO₂). Yi Chengwu, Liu Hengquan, Bai Xiyao et al. (Anshan Research & Design Institute of Electrostatic Technology, Anshan 114011); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 68—70

The results were reported for the decomposition of the noxious gas SO₂ by using a plasma technique under the conditions of ambient temperature and atmospheric pressure. The effects of SO₂ concentrations, gas flow rates and fume temperatures on the decomposition of SO₂ were examined and a comparison was made for the energy consumption of SO₂ decomposition and the amount of SO₂ decomposed by the plasma generated by pulse-superposed positive or negative DC voltages. The results show that this process has a much lower energy consumption and a higher rate of SO₂ decomposition, with 1.61—1.97 kg of SO₂ decomposed per kW · h of electric power at a decomposition rate of over 80%.

Key words: plasma, decomposition, sulfur dioxide, high voltage pulse.

Study on the Method for Detecting Environmental Toxicants and Its Application; Bacterial Culture/ Head Space Gas Chromatography. Cheng Jinquan et al. (Shenzhen Public Health and Anti-epidemic Station, Shenzhen 518020); *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 71—74

Aiming to explore a rapid, sensitive method for monitoring environmental toxicants, a head space gas chromatographic technique was used to determine the extent to which the environmental toxicants have inhibited carbon dioxide (CO₂) as a product of the bacteria *E. Coli* metabolism and IC₅₀, a concentration of an environmental toxicant being tested that has an effect of 50% inhibition, was used as a measure of the toxicity of the environmental toxicant. The optimized conditions in this test include, a bacteria concentration of 10⁹/ml, pH 7.2—7.4, a ratio of gas/liquid of 1 : 2.5 in head space tube, a culture time of 4 hours, and the operation conditions of chromatograph suitable for CO₂ determination. This method has been used to test the toxicities of 8 ions, with an order of decreasing toxicity in terms of IC₅₀ value as follows; Hg²⁺ (0.86 ppm), Cu²⁺ (8.00 ppm), Cd²⁺ (8.39 ppm), CN⁻ (10.20 ppm), Pb²⁺ (11.20), Zn²⁺ (15.20 ppm), Sn²⁺ (20.10 ppm), Ni²⁺ (39.70 ppm). The joint toxicities among Cd²⁺, Hg²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ and CN⁻