

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O ₃ 生成潜势	曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)
利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态	牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)
沈阳市降水化学成分及来源分析	张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)
秦皇岛大气污染物浓度变化特征	刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)
笼养鸡生长过程 NH ₃ 、N ₂ O、CH ₄ 和 CO ₂ 的排放	周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)
碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能	王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)
生物滴滤塔净化多组分废气的研究	张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)
在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气	金圣, 黄立维, 李国平 (2121)
模拟大气 CO ₂ 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响	赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)
一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法	华祖林, 汪靛 (2134)
HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究	李燕, 李兆富, 席庆 (2139)
基于非点源污染的水质监测方案研究	吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)
不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究	陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)
春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征	李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)
三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布	张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)
湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性	冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)
刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响	侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)
反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换	李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)
三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征	李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)
UV 和 H ₂ O ₂ 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究	张一清, 周玲玲, 张永吉 (2205)
臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素	于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)
硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响	毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)
快雌醇氯化反应的动力学和机制研究	王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆勇鹤 (2225)
金属离子对 δ-MnO ₂ 去除对叔辛基酚抑制作用的研究	李非里, 牟华倩 (2232)
核-壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除	刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)
有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究	闫梦玥, 庞志华, 李小明, 迟建宇, 罗隽 (2249)
纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征	于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 咎逢宇, 张靖天 (2256)
改性水凝胶的制备及其对 Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 吸附性能研究	吴宁梅, 李正魁 (2263)
直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色	魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)
基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究	张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)
Fenton 法处理竹制品废水生化出水出水的研究	郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)
二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响	李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)
进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究	陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)
接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究	刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)
聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究	杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)
体积溶氧传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析	李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)
我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价	汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)
麦穗鱼物种敏感性评价	王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)
不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究	雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)
桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究	钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)
直流电场处理后降线藻趋光性对 Cu ²⁺ 和 Hg ²⁺ 的响应	王飞祥, 袁玲, 黄建国 (2350)
UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响	宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)
7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聘聘 (2361)
溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析	于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)
不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp TM 方法	陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)
典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究	韩建刚, 曹雪 (2383)
三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究	刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙昊 (2390)
北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征	陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永峰, 田青 (2399)
季节变化对贵阳市不同功能区地表灰土重金属的影响	李晓燕 (2407)
东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征	王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)
模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响	段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)
甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究	孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)
胶质芽孢杆菌对印度芥菜根际土壤镉含量及土壤酶活性影响	杨榕, 李博文, 刘微 (2436)
长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征	吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)
有机废弃物堆肥肥培土壤的氮矿化特性研究	张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)
北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析	王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)
氨对垃圾焚烧飞灰浸出特性的影响及地球化学模拟	官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)
焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究	朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛義典 (2473)
富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能	李坤彬, 李辉, 郑正, 张雨轩 (2479)
生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估	姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)
基于物质流分析的钾素流动与循环研究	白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)
《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)	

在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气

金圣, 黄立维*, 李国平

(浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310032)

摘要: 采用线-筒式脉冲电晕反应器对二硫化碳(CS_2)模拟废气的去除效果进行了实验研究. 实验以氩气为载气, 考察了氧气和氢气对 CS_2 去除效果的影响. 结果表明 CS_2 的去除率随脉冲电压升高而增大; 氧气能够促进 CS_2 的氧化分解, CS_2 去除率可达 97%; 有氧气存在时, CS_2 的最终氧化分解产物为 CO 、 CO_2 、 COS 和 SO_2 ; 当添加氢气时, 反应产物主要为 H_2S 和 CH_4 . 当反应器内筒表面加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收剂时, CS_2 去除率有小幅提高, 同时气体产物中未检测到 SO_2 和 H_2S , 表明 CS_2 的分解产物 SO_2 和 H_2S 气体被反应器中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收. 实验还发现水汽的存在不利于 CS_2 的氧化分解

关键词: 二硫化碳; 线-筒式; 脉冲电晕; 吸收剂; 分解; 氧化

中图分类号: X701.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2121-05

Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere

JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping

(College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: The removal of CS_2 by a wire-in-tube pulsed corona reactor was experimentally investigated. The effects of O_2 and H_2 in Ar gas on the removal of CS_2 were examined. It was shown that the removal of CS_2 increased with the increase of input pulse voltage. The decomposition of CS_2 was improved in the presence of O_2 in gas stream and the maximal removal was over 97%. The main gaseous products of CS_2 decomposition with the addition of O_2 in Ar gas were CO , CO_2 , COS and SO_2 , while, with the presence of H_2 in Ar gas, the main products of CS_2 decomposition were H_2S and CH_4 . It was found that with the co-existence of sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the reactor, the gaseous products of CS_2 decomposition (SO_2 and H_2S) were not detected, showing that the products were absorbed by the sorbent $\text{Ca}(\text{OH})_2$. It was also found that the removal of CS_2 decreased when there was water vapor in gas stream.

Key words: carbon disulfide; wire-in-tube; pulsed corona; sorbent; decomposition; oxidation

二硫化碳(CS_2)是一种常见的化工原料和有机溶剂,工业上主要应用于生产玻璃纸、农药、四氯化碳、粘胶纤维和橡胶硫化等过程. 这些生产工艺排出的 CS_2 废气具有大气量、低浓度的特点. 目前二硫化碳废气常用的处理方法主要有吸附法、催化水解法、湿式氧化法以及生物法,各自方法都存在一些问题,尚未有经济有效稳定的处理方法^[1~4].

电晕等离子体技术作为一种新发展的废气治理技术之一,具有能耗低,操作简单的特点,已得到广泛研究^[5,6]. 研究表明^[7~10]利用脉冲电晕等离子体技术,对有机废气都能达到较高的去除率. 但利用脉冲电晕等离子体处理二硫化碳废气的实验研究报道很少^[11],对其降解机制、产物等尚需作深入研究.

本实验采用线-筒式电晕反应器处理 CS_2 模拟废气,探讨脉冲电晕法去除 CS_2 废气的效果. 通过在载气中分别加入氧气和氢气,使 CS_2 在等离子体作用下发生氧化或还原反应,通过反应产物的分析,考察 CS_2 的降解路径. 进一步通过在反应器筒体内

壁涂加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收剂层来吸收去除反应产生的有害副产物.

1 材料与方法

实验流程如图 1 所示,氩气与氧气或氢气分别通过减压阀和流量计后,其中氩气分成两路,一路通过装有 CS_2 液体的吹脱瓶吹脱,另一路则直接通入缓冲瓶,再与氧气或氢气混合形成模拟废气. 气体流量通过流量计来调节,反应前后气体采用傅里叶红外光谱仪(AVATAR370, Nicolet)进行测定. 实验在室温下进行.

本实验所使用的是脉冲高压电源. 通过旋转火花间隙 RSG 方式产生脉冲高压,具有上升沿陡峭、脉宽窄的特点,可使能量有效地注入反应器,且电源自身能耗较小. 该电源的主要技术性能如下:输出极性为正,输出电压 0 ~ 60 kV,额定输出功率 100

收稿日期: 2012-08-27; 修订日期: 2012-11-05

作者简介: 金圣(1988~),男,硕士研究生,主要研究方向为大气污染控制, E-mail: jinsheng1016@126.com

* 通讯联系人, E-mail: hlw@zjut.edu.cn

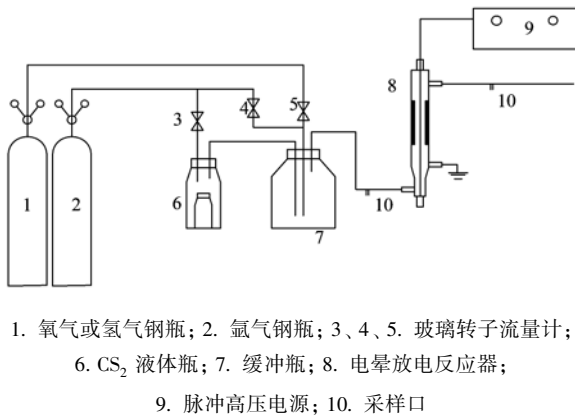


图1 实验流程示意

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

W, 脉冲宽度 ≤ 500 ns, 前沿上升时间 ≤ 100 ns, 重复频率0~200 Hz连续可调。

图2所示为线-筒式反应器, 圆筒材料为玻璃管, 内径38 mm, 内壁衬有0.3 mm厚的铝箔作为接地极, 电晕线为直径 $\phi 0.8$ mm的不锈钢丝, 放电有效长度为100 mm。反应器有效容积为113 mL。

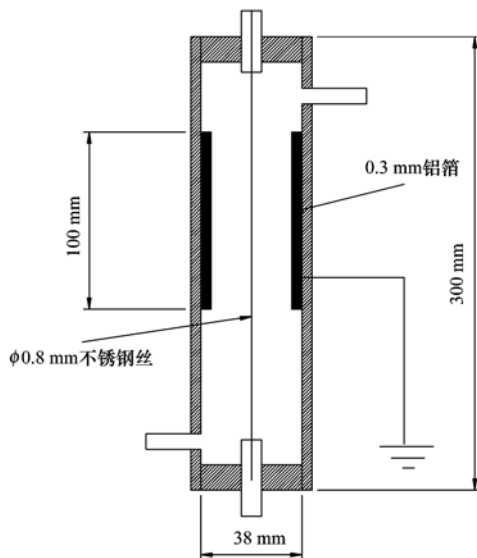


图2 线-筒式电晕反应器示意

Fig. 2 Schematic diagram of wire-in-tube pulsed corona reactor

采用电晕放电结合固体吸收时, 在反应器铝箔上均匀涂上 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固体吸收层, 形成复合电极。复合电极制作方法是把60% (质量分数) 的水和40% (质量分数) 的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉末 (试剂级) 混合后的浆液均匀地涂覆在反应器内铝箔内表面, 在空气中自然晾干1 h后, 放入烘箱内在 110°C 下烘干3 h成型, 厚度约为1.0 mm。

CS_2 的去除率定义为:

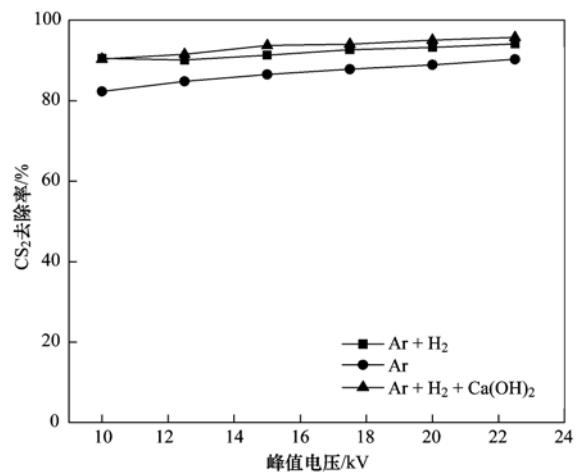
$$\eta = \frac{c_i - c_0}{c_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中, c_i 为反应前气体的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; c_0 为反应后气体的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2 结果与分析

2.1 氢气对 CS_2 去除率的影响

以氩气为背景气以及添加2% (体积分数) 氢气情况下, 研究 CS_2 去除效果。气体总流量 $300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ (气体在反应器内有效停留时间约为22 s), 二硫化碳浓度控制在 $385 \sim 467 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 范围内, 电源参数为脉冲频率50 Hz, 输入反应的峰值电压为10~24 kV, 实验结果如图3所示。

图3 氢气和有吸收剂存在下对 CS_2 去除率的影响Fig. 3 Effect of H_2 and co-existence of sorbent on CS_2 removal

从图3可知:3种情况下 CS_2 都有较高的去除率, 且随着峰值电压的增加, 去除率缓慢升高。在纯氩气条件下, CS_2 的去除率达到80%以上。

当系统中添加氢气时, CS_2 的去除率较纯氩气下有小幅提高, 达到90%以上。在接地极圆筒内壁涂上 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收剂时 CS_2 的去除率也有所提高。

图4为添加氢气以及添加吸收剂后反应产物的傅里叶红外谱图。

在氩气中, 一般认为电晕放电激发高能电子、粒子与二硫化碳分子发生碰撞, 生成CS自由基及活性 CS_2^* 粒子, CS自由基进而进行聚合形成 $(\text{CS})_n$ 聚合物; 高能电子继续与CS自由基碰撞, 进而生成了单质硫^[12]。添加氢气时, 在高压脉冲电晕作用下产生H自由基, 进而与CS发生反应生成CH, 系统中的 H_2 与生成的CH反应生成 CH_4 , 而生成的S则与H自由基反应, 进而生成 H_2S ^[13~15]。

加氢时气体产物红外谱图如图4所示。与未加

氢气时的产物谱图进行比较,加氢后的气态产物在波数为 $3\,016.47\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,304.82\text{ cm}^{-1}$ 处有吸收峰,与 CH_4 标准红外谱图进行比较,可认为是 CH_4 的特征吸收峰^[16,17]. 可认为在添加氢气时,有 CH_4 生成.

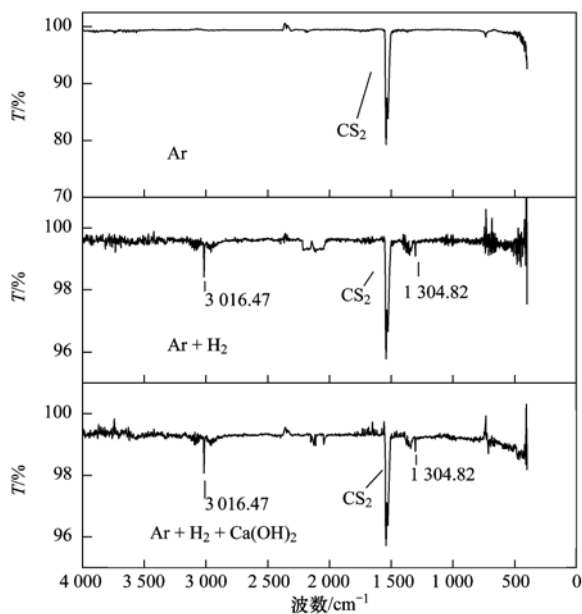
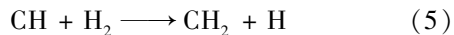
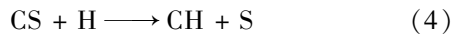
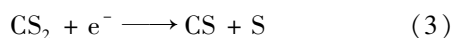
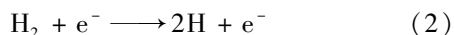


图4 加氢或吸收剂时 CS_2 降解产物FT-IR谱图

Fig. 4 FT-IR spectrum of the products from CS_2 decomposition when absorbent or H_2 gas was added

将尾气通过湿润醋酸铅试纸,未添加吸收剂时,发现试纸上有棕色和黑色色斑,证明产物中有 H_2S 生成^[18]. 当有吸收剂时,用湿润醋酸铅试纸检测产物,并未发现试纸上有棕色色斑,可知产生的 H_2S 被 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收. CS_2 与氢气反应机制^[13~15]:



2.2 氧气对 CS_2 去除率的影响

2.2.1 氧气浓度对 CS_2 去除率的影响

以氩气为背景气,气体总流量 $300\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,二硫化碳浓度控制在 $385\sim 467\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 范围内. 电源参数为脉冲频率 50 Hz ,实验结果如图5所示.

由图5可知:在添加氧气时,去除率达到90%以上,且随着氧气浓度的增加, CS_2 的去除率平缓升高. 一般认为,系统中添加氧气可以促进 CS_2 的氧

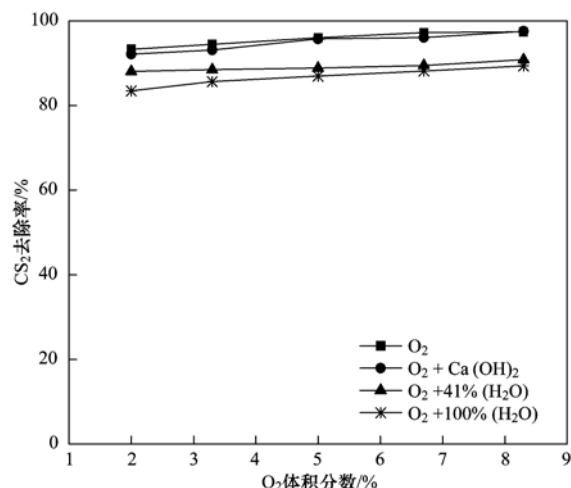


图5 氧气浓度对 CS_2 去除率的影响

Fig. 5 Effect of O_2 concentration on CS_2 removal

化分解. 添加氧气时, CS_2 与 O 自由基主要按反应(9)进行,生成的 CS 自由基被氧气分子捕获后产生 COS 及 O 自由基,从而引发一系列的自由基反应,当氧气浓度逐渐增加时,系统中的 O 自由基浓度也随之升高,从而使 CS_2 充分分解,生成 CO_2 、 COS 、 CO 以及 SO_2 ^[14,19].

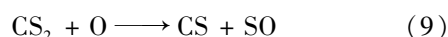
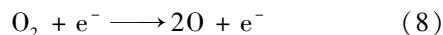
从图5中还可看出:相对湿度为100%时, CS_2 的去除率比相对湿度为41%时低. 在高压脉冲电压作用下,水分子电离成 OH 自由基,二硫化碳分子继而与 OH 自由基反应生成 CS_2OH ,由于系统中存在着氧气分子,生成的 CS_2OH 从而与氧气发生一系列反应^[20]. 水分子是电负性分子,能够吸附电子,从而会减少系统中生成的高能电子浓度,影响 CS_2 的去除^[21]. 因此,在氧气存在的情况下,水汽的存在对 CS_2 的去除有不利的影响.

从图5中还可看出在反应器铝箔上涂覆 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作吸收剂时, CS_2 的去除率也有所提高.

2.2.2 产物分析

将反应后气体经过无水氯化钙干燥后通入傅里叶红外进行产物分析. 图6为添加氧气以及添加吸收剂后的产物红外谱图.

从图6可看出:当只以氩气单一气体为背景气时,气态产物只有 CS_2 ;反应后检查反应器铝箔内壁,发现有棕黄色固体产生,一般认为是硫和(CS)的聚合物^[12,22]. 从加入氧气时反应产物的红外谱图中可发现有 CO_2 、 COS 、 SO_2 、 CO 以及 O_3 的吸收峰. CS_2 与 O_2 的反应机制如下^[14,22,23]:



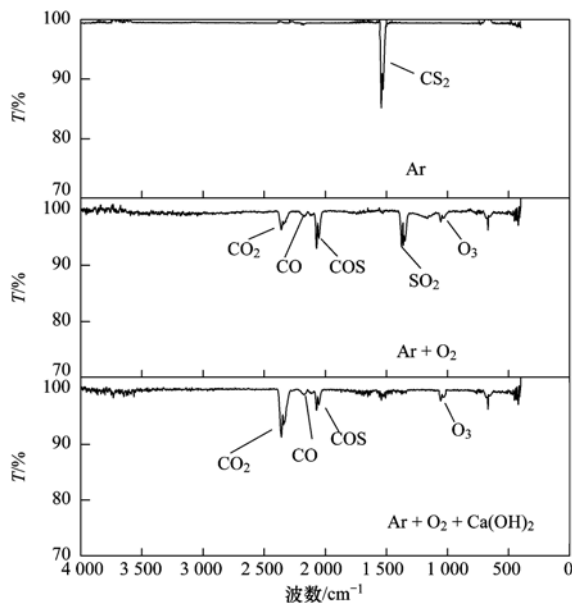
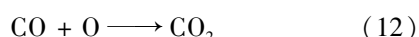
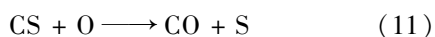
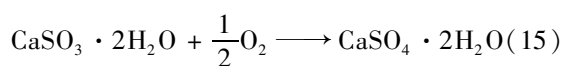
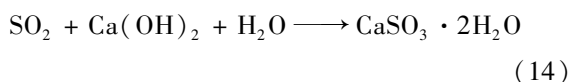


图6 加氧或吸收剂时 CS_2 降解产物 FT-IR 谱图

Fig. 6 FT-IR spectrum of the products from CS_2 decomposition in the presence of O_2 and absorbent



当铝箔上涂有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为吸收剂时,并没有发现 SO_2 的吸收峰,可认为电晕反应器中电极表面的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收了反应产物 SO_2 ; 将反应后的固体吸收剂进行离子色谱(Basic-792-IC,瑞士万通)分析,发现有 SO_4^{2-} 离子,从而进一步说明 SO_2 被 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收剂吸收. 可能的反应途径如下式^[24,25]:



3 结论

(1) CS_2 在氩气中的去除率随峰值电压升高而增大.

(2) 氧气能够促进 CS_2 的分解. 系统中添加氧气时, CS_2 去除率提高为 97%. CS_2 的最终氧化分解产物为 CO 、 CO_2 、 COS 和 SO_2 . 在氧气存在的情况下,水汽的存在不利于 CS_2 的去除.

(3) 当在系统中添加氢气时, CS_2 的去除率达到 90% 以上; 加氢时检测到反应产物主要为 H_2S 和

CH_4 .

(4) 在铝箔涂上 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收剂后,在添加氧气或氢气时, CS_2 去除率较没有吸收剂时提高不大,但反应产物中的 SO_2 和 H_2S 均能够被 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收.

参考文献:

- [1] 李续融,柳知非,庞德红. 二硫化碳废气治理技术及其展望[J]. 污染防治技术, 2010, **23**(5): 72-76.
- [2] 谢遵园,李军平,赵宁,等. 活性炭纤维(ACF)吸附二硫化碳(CS_2)的研究[J]. 新型炭材料, 2009, **24**(3): 260-264.
- [3] 何丹,易红宏,唐晓龙,等. 低温催化水解二硫化碳技术的研究进展[J]. 化学工业与工程, 2011, **28**(3): 62-66.
- [4] 谢志荣,魏在山,曾贵华,等. 生物法处理含氮硫无机有机恶臭气体研究[J]. 环境科学与技术, 2011, **34**(1): 136-139.
- [5] Chang J S. Physics and chemistry of plasma pollution control technology[J]. Plasma Sources Science and Technology, 2008, **17**(4): doi: 10.1088/0963-0252/17/4/045004.
- [6] Bai Y H, Chen J R, Li X Y, et al. Reviews of environmental contamination and toxicology[M]. New York: Springer, 2009. 117-136.
- [7] 邹克华,严义刚,刘咏,等. 低温等离子体治理恶臭气体研究进展[J]. 化工环保, 2008, **28**(2): 127-131.
- [8] 黄立维,陈金媛,松田仁树. 线-筒式脉冲电晕反应器降解三氯乙烯废气研究[J]. 高校化学工程学报, 2007, **21**(4): 689-694.
- [9] Karupiah J, Karvembu R, Subrahmanyam C. The catalytic effect of M_nO_x and C_xO_x on the decomposition of nitrobenzene in a non-thermal plasma reactor[J]. Chemical Engineering Journal, 2012, **180**: 39-45.
- [10] Schmid S, Jecklin M C, Zenobi R. Degradation of volatile organic compounds in a non-thermal plasma air purifier[J]. Chemosphere, 2010, **79**(2): 124-130.
- [11] 侯健,郑光云,蒋洁敏,等. DBD 技术脱除恶臭气体 H_2S 和 CS_2 的可行性[J]. 环境科学, 2001, **22**(5): 12-16.
- [12] William P W, Julian H. The photooxidation of carbon disulfide[J]. Journal of Physical Chemistry, 1971, **75**(7): 854-860.
- [13] 肖坤祥,周明贵,谈效华. 潘宁离子源中电磁场和气压对氢气电离的影响[J]. 真空电子技术研究与设计, 2003, (6): 26-28.
- [14] 张仁熙,潘循哲,董文博,等. CS 自由基与 O_2 的反应研究[J]. 环境化学, 2002, **21**(4): 336-343.
- [15] 刘昌俊,何韩森. 二氧化碳的等离子体化学固定化[J]. 燃烧科学与技术, 1999, **5**(2): 128-140.
- [16] 张宇,王一丁,李黎,等. 甲烷红外吸收光谱原理与处理技术分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, **28**(11): 2515-2519.
- [17] 吴廷华,严前古,张奇能,等. 甲烷在 Rh/SiO_2 催化剂表面解离的红外光谱研究[J]. 催化学报, 2004, **25**(12): 928-930.
- [18] 唐蒙,李珍义,范浩,等. 天然气中硫化氢含量的比对分析[J]. 石油与天然气化工, 2003, **32**(3): 178-188.

- [19] Colman J J, Trogler W C. Photopolymerization of carbon disulfide yields the high-pressure-phase $(\text{CS}_2)_x$ [J]. Journal of the American Chemical Society, 1995, **117**(45): 11270-11277.
- [20] Murrells T P, Lovejoy E R, Ravishankara A R. Oxidation of CS_2 by reaction with OH. 1. equilibrium-constant for the reaction $\text{OH} + \text{CS}_2 \rightleftharpoons \text{CS}_2\text{OH}$ and the kinetics of the $\text{CS}_2\text{OH} + \text{O}_2$ reaction[J]. The Journal of Physical Chemistry, 1990, **94**(6): 2381-2386.
- [21] Wang W C, Zhao Z B, Liu F, *et al.* Study of NO/NO_x removal from flue gas contained fly ash and water vapor by pulsed corona discharge[J]. Journal of Electrostatics, 2005, **63**(2): 155-164.
- [22] Vahid S. Quantum chemical and theoretical kinetics study of the $\text{O}(^3\text{P}) + \text{CS}_2$ reaction[J]. The Journal of Physical Chemistry A, 2011, **115**(17): 4263-4269.
- [23] 郑妍, 朱元强, 李来才. CS_2 与 $\text{O}(^3\text{P})$ 反应机理的理论研究[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2005, **28**(6): 708-711.
- [24] Bausach M, Pera-Titus M, Fite C, *et al.* Water-induced rearrangement of $\text{Ca}(\text{OH})_2(0001)$ surfaces reacted with SO_2 [J]. AIChE Journal, 2006, **52**(8): 2876-2886.
- [25] Liu C F, Shi S M. Effects of flue gas components on the reaction of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with SO_2 [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2006, **45**(26): 8765-8769.

CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH ₃ , N ₂ O, CH ₄ and CO ₂ Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO ₂ Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation of the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Huai-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, GAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H ₂ O ₂ Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrained the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by δ -MnO ₂	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Phosphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe ²⁺ on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototoxic Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr ⁶⁺ and Hg ²⁺	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp TM	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- β -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行