

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第32卷 第12期

Vol.32 No.12

2011

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目 次

序 郝郑平(3461)

我国工业 VOCs 减排控制与管理对策研究 王海林,张国宁,聂磊,王宇飞,郝郑平(3462)

我国 VOC 类有毒空气污染物优先控制对策探讨 陈颖,李丽娜,杨常青,郝郑平,孙汉坤,李瑶(3469)

工业固定源 VOCs 治理技术分析评估 栾志强,郝郑平,王喜芹(3476)

工业挥发性有机物排放控制的有效途径研究 江梅,张国宁,魏玉霞,邹兰,张明慧(3487)

台湾地区 VOCs 污染控制法规、政策和标准 栾志强,王喜芹,郑雅楠,刘平(3491)

国外固定源 VOCs 排放控制法规与标准研究 张国宁,郝郑平,江梅,王海林(3501)

挥发性有机物税收政策对我国经济的影响分析 刘昌新,王宇飞,王海林,郝郑平,王铮(3509)

民用生物质燃烧挥发性有机化合物排放特征 李兴华,王书肖,郝吉明(3515)

北京及周边地区大气羰基化合物的时空分布特征初探 王琴,邵敏,魏强,陈文泰,陆思华,赵越(3522)

北京市 BTEX 的污染现状及变化规律分析 孙杰,王跃思,吴方莛(3531)

上海城区典型污染过程 VOCs 特征及臭氧潜势分析 崔虎雄,吴迺名,高松,段玉森,王东方,张懿华,伏晴艳(3537)

长沙大气中 VOCs 研究 刘全,王跃思,吴方莛,孙杰(3543)

佛山灰霾期挥发性有机物的污染特征 马永亮,谭吉华,贺克斌,程远,杨复沫,余永昌,谭赞华,王洁文(3549)

深圳市显著排放 VOCs 的园林植物调查与分析
..... 黄爱葵,李楠,Alex Guenther,Jim Greenberg,Brad Baker,Michael Graessli,白建辉(3555)

北京地区城乡结合部大气挥发性有机物污染及来源分析 周裕敏,郝郑平,王海林(3560)

北京城乡结合地空气中挥发性有机物健康风险评价 周裕敏,郝郑平,王海林(3566)

城市污水处理厂恶臭挥发性羰基化合物的排放特征 周咪,王伯光,赵德骏,张春林,古颖纲(3571)

城市污水处理厂挥发性卤代有机物的排放特征及影响因素研究 何洁,王伯光,刘舒乐,赵德骏,唐小东,邹宇(3577)

城市污水处理厂恶臭挥发性有机物的感官定量评价研究 刘舒乐,王伯光,何洁,唐小东,赵德骏,郭薇(3582)

植物释放挥发性有机物(BVOC)向二次有机气溶胶(SOA)转化机制研究 李莹莹,李想,陈建民(3588)

NO₃ 自由基与 3 种环醚的大气化学反应动力学研究 盖艳波,葛茂发,王炜罡(3593)

3-甲基-3-丁烯基-1-醇与硫酸/过氧化氢混合溶液的吸收反应研究 王天鹤,刘泽,葛茂发,王炜罡(3599)

水中挥发性有机物的分析方法综评 许秀艳,朱擎,谭丽,梁宵,张颖,滕恩江(3606)

新型动态针捕集阱技术分析大气中低浓度的 VOCs 李想,陈建民(3613)

大气中总挥发性有机硫化物检测方法的研究 王艳君,郑晓玲,何鹰,张栋,王保栋(3617)

全自动阵列离子迁移谱仪连续监测挥发性有机化合物
..... 周庆华,仓怀文,鞠帮玉,李林,杜永斋,陈创,侯可勇,李京华,王卫国,李海洋(3623)

膜进样-单光子电离/化学电离-质谱仪在线检测水中 VOCs
..... 花磊,吴庆浩,侯可勇,崔华鹏,陈平,赵无垠,谢园园,李海洋(3628)

工业园区 TVOC 和恶臭的电子鼻检测技术研究 田秀英,蔡强,叶朝霞,郭威,卢岩文,张永明(3635)

电子鼻检测污染土壤中挥发性氯代烃的适用性研究 卜凡阳,文晓刚,万梅,刘锐,蔡强,陈吕军,张永明(3641)

工业管道中丙烯酸酯类物质的监测与分析 吴彬,张红燕,陆林光(3647)

硅改性制备疏水性沸石分子筛蜂窝体 王喜芹,李凯,魏冰,栾志强(3653)

氧化锰八面体分子筛的合成及其对苯催化氧化性能 李东艳,刘海弟,陈运法(3657)

蜂窝状活性炭对 VOCs 的吸-脱附性能研究 韩忠娟,罗福坤,李泽清(3662)

混合气体直接吸附分离回收过程研究 王红玉,羌宁,胡瑕(3667)

生物滴滤降解氯苯废气的实验研究 周卿伟,朱润晔,胡俊,张丽丽,陈建孟(3673)

复合吸收技术净化复杂工业有机废气 陈定盛,岑超平,唐志雄,方平,陈志航(3680)

烘房 VOCs 废气治理技术路线探析 李泽清,罗福坤(3685)

Co₃O₄ 纳米棒的制备及其对气相甲苯的催化氧化 闫清云,李新勇,肇启东,曲振平(3689)

Si 掺杂 TiO₂ 纳米管阵列制备、表征及其光催化氧化降解室内典型 VOCs 邹学军,李新勇,曲振平,王疆疆(3694)

基于现场试验的石油类污染物自然衰减能力研究 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(3699)

膜分离法处理加油站油气研究 朱玲,陈家庆,张宝生,王建宏(3704)

机动车加油过程中气液两相流动特性的 CFD 数值模拟 陈家庆,张男,王金惠,朱玲,尚超(3710)

《环境科学》第 32 卷(2011 年)总目录 (3717)

《环境科学》征稿简则(3679) 《环境科学》征订启事(3684) 信息(3554, 3616, 3622, 3672)

新型动态针捕集阱技术分析大气中低浓度的 VOCs

李想, 陈建民

(复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433)

摘要:本研究针对大气中挥发性有机物(VOCs)浓度低, 难于分析等特点, 以 Carboxen 1000 作为吸附剂, 制作一种新型动态针捕集阱(needle trap)装置, 可用于主动富集大气中低浓度 VOCs. 该装置与气相色谱-质谱(GC-MS)联用, 操作简单、无需溶剂、容易定性定量. 选择空气中苯系物(BTEX)为目标化合物, 对 needle trap 装置从设计原理到实际应用进行了详细分析, 将萃取条件与穿透体积等实验条件进行优化, 建立了 needle trap 吸附提取空气中 BTEX 的最佳条件. 结果表明, 方法检出限低至 $0.05 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$, 加标回收率为 $86.5\% \sim 110.5\%$, 符合外场采样要求.

关键词:动态针捕集阱; 挥发性有机物(VOCs); 气相色谱-质谱; 苯系物; 固相微萃取

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)12-3613-04

Determination of Low Concentration VOCs in Air by a Newly Designed Needle Trap Device

LI Xiang, CHEN Jian-min

(Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Targeting on the problem of atmospheric VOCs that are presenting low concentration and difficult for sampling, a newly designed needle trap device with carboxen 1000 as a sorbent material was developed. The main advantages of needle trap device are the simple methodology, the easiness and the rapidity of the analysis coupling with GC-MS. No solvent was used in all experiments. Volatile analytes benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) were chosen as target compounds to validate this device from theory to real application. The experimental parameters as breakthrough volume of stripping gas were investigated. LOD ranges was obtained at $0.05 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$, and the standard recovery was from 86.5% to 110.5% respectively. Needle trap device is suitable for sampling in field.

Key words: needle trap device(NTD); volatile organic compounds (VOCs); GC/MS; BTEX; solid phase microextraction (SPME)

挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是当前空气中普遍存在的一类有机污染物^[1]. 它主要来自化学材料的加工和使用过程、有机质的不完全燃烧过程与植物的自然排放. 空气中的 VOCs 组成复杂, 包括天然源 VOCs 和人为源 VOCs^[2, 3], 含量极低而且具有毒性. 系统研究 VOCs 的来源、分布规律及其迁移转化过程存在难度. 因此, 探索合适的 VOCs 分析采样方法是当前亟待解决的首要问题.

传统的 VOCs 分析方法, 主要有气相色谱-质谱(GC-MS)法、高效液相色谱-质谱(HPLC-MS)法、毛细管电泳法、离子色谱(IC)等传统方法, 这些方法大都需要经过溶剂萃取、预浓缩、预制备等处理过程^[4]. 操作费时费力, 且组分丢失严重. 使测量结果的准确性降低, 不能真实反映 VOCs 在空气中的分布状态. 固相微萃取技术(solid phase microextraction, SPME)作为一种被动采样技术, 可以实现对大气中 VOCs 的萃取富集, 无需溶剂, 结合 GC-MS 能快速分析半挥发性有机物(semivolatile

organic chemicals, SVOCs)的种类与浓度. 但是 SPME 仅仅针对大气中 VOCs 的气相组分进行分析, 对气溶胶中颗粒物表面的 SVOCs 的分析则无能为力. 同时, 由于固相微萃取采样原理是被动吸附, 所以样品在转移过程中极易流失^[4].

针对当前 SPME 存在被动采样的缺点, 一种新型动态针捕集阱装置(needle trap device, NTD)近年被提出^[5, 6]. 该装置可应用于主动采集空气中的 VOCs 样品, 操作非常简单, 而且样品不易流失, 定性定量准确^[7-9]. 自研发至今, 已从理论与实验中获得验证^[10, 11]. 本研究选择常见的 VOCs 苯系物(BTEX: 苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯)作目标化合物, 用来验证 needle trap 的可行性, 同时对萃取条件与穿透体积等实验条件优化, 建立了 needle trap 吸附提取空气中 BTEX 的最佳条件.

收稿日期: 2011-05-09; 修订日期: 2011-07-25

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20070246029); 国家自然科学基金项目(21177025)

作者简介: 李想(1977~), 男, 讲师, 主要研究方向为大气 VOCs, E-mail: lixiang@fudan.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS), 配 Agilent 6890 气相色谱仪, MSD 检测器 (HP 5973), DB-5MS (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm) 色谱柱; 动态针捕集阱制作所需针筒 needles (22-gauge, 内径 0.41 mm) 购自 DynaMedical 公司 (London, Canada). 填充吸附剂材料为 Carboxen-1000 (80/100 目, 粒径 150~180 μm), 购自 Restek 公司 (Bellefonte, PA).

苯、甲苯、乙苯与二甲苯皆为分析纯, 使用前用二氯甲烷 (色谱纯) 稀释至所需浓度, 并于暗处 4℃ 保存.

1.2 GC-MS 分析条件

GC 条件: 进样口温度 250℃, 起始温度 40℃, 以 6℃·min⁻¹ 升至 100℃, 以 10℃·min⁻¹ 升至 200℃ 保持 2 min. 载气为 He 气, 流速: 1.0 mL·min⁻¹, 无分流.

MS 条件: 电离方式 EI, 电离能量 70 eV, 离子源温度 230℃, 扫描范围 40~300 u.

1.3 Needle trap 使用方法

在目标采样点, 使用呼吸泵联接 needle trap 抽去一定体积的空气, 密闭, 带至实验室 GC-MS 热解析, 得到 VOCs 谱图.

1.4 标准曲线与定量

精密称取苯 (0.0536 g)、甲苯 (0.0592 g)、乙苯 (0.0472 g)、邻二甲苯 (0.0496 g)、放入盛有 1 mL 二氯甲烷的 3.0 mL 容量瓶中, 配置成浓度为: 标准储备液, 于 4℃ 处避光保存. 根据需要将标准储备液依次稀释得到混标的 5 个梯度使用液, 找出化合物与色谱峰面积之间的标准线性图. 每个浓度重复测定 3 次. 标准曲线各组分的相关系数均达到 0.998 以上. 根据用此标曲定量得到待测样品的绝对质量, 与 needle trap 的采样体积相比, 即可得到空气样品中待测化合物的浓度.

1.5 样品测定

选取常用学生实验室、药品室作为空气采样地点, 在距地高约 1.5 m 处使用 needle trap 采集气体样品 100 mL. 并立刻插入 GC-MS 进样口进行热解析分析.

2 结果与讨论

2.1 动态针捕集阱

动态针捕集阱装置结构如图 1 所示, 针尖内填

充有吸附剂, 如 PDMS、DVB 和 Carboxen. 吸附剂颗粒依次层叠, 厚度为 1 cm. 在吸附剂前后端填充有石英玻璃纤维, 这种结构使针尖端被吸附剂富集的分析物不易流失. 使用此动态针捕集技术时, 空气样品被呼吸泵抽进针尖内, 气态 VOCs 与气溶胶颗粒被针内的吸附剂吸附或阻挡, 完全捕集在针尖内. 然后将此 needle trap 插进 GC-MS 进样口热解析, 获得气态 VOCs 与气溶胶颗粒吸附 VOCs 色谱峰, 定量定性得到 VOCs 浓度.

人们常常有一个误解, 气溶胶颗粒粒径如果小于 needle trap 内吸附剂间缝隙, 就可能逃离针捕集. 实际情况则恰恰相反, 吸附剂颗粒层层叠加, 形成了一个类似于多层的过滤网. 气溶胶颗粒经过针管时, 经历了扩散, 重力惯性碰撞, 中途拦截等多个机制, 经过理论计算, 即使对粒径是几个纳米的颗粒, needle trap 的捕集效率也能达到 90% 以上^[12]. 因此 needle trap 的萃取原理是完全萃取, 定量依据为:

$$c_0 = n/V \quad (1)$$

式中, c_0 是空气样品中待测化合物浓度, n 是色谱峰鉴定出的化合物量, V 是经过 NTD 的空气样品体积. NTD 作为一种方便快捷的采样方法, 可以测量样品的种类是非常多的, 包括从水样到空气颗粒样品, 都可以采用这种方法捕集.

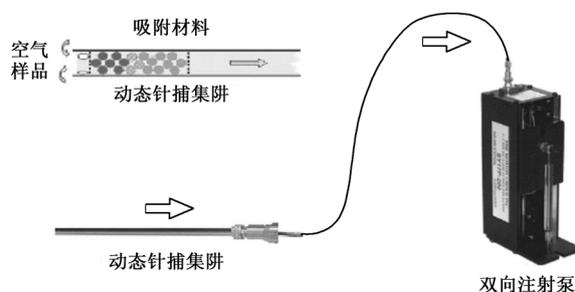


图 1 动态捕集阱装置结构示意图

Fig. 1 Sketch map of needle trap

2.2 实验参数优化

解吸时间与温度是影响分析结果的关键因素之一^[13]. 本实验考察了 200、225 与 250℃ 共 3 个温度下的物质的响应, 苯系物的响应随着解吸温度升高而显著增强. 综合考虑涂层寿命及解析时间, 结果如表 1 所示. 在 250℃ 下解析 1.5 min 后, 做空白分析, 没有发现待测物的峰, 说明解析完全. 因此, 选择 250℃ 下解析 1.5 min 作为解析条件.

2.3 流速与突破体积调查

鉴于动态针捕集阱是完全萃取模式, 所以调查

表 1 解析时间对 Needle trap 样品残留的影响/%

解析时间	苯	甲苯	乙苯	邻二甲苯
30 s	0.4	1.2	1.1	1.6
1 min	0.1	0.1	0.2	0.2
1.5 min	未检测到	未检测到	未检测到	未检测到

它的流速与突破体积至关重要^[14,15]。如果采样速度快,在样品不容易被吸附剂吸附而流失,流速慢,则整个实验时间增长。本研究则采用前人的研究,采样速度保持在 $1.9 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。在该采样速度下,不同的采样体积同样影响动态针捕集阱的定量分析。在突破体积前采样,采样体积与萃取量成正比,是动态针捕集阱定量的依据。因此,将 $2 \mu\text{L}$ 的 BTEX 溶液注射入一空气采样袋,充入氦气使其完全蒸发。用动态针捕集阱进行采样体积实验。如图 2 所示,除苯在 120 mL 前,采样体积与萃取量成正比;其余 3 个化合物则在 200 mL 前采样体积与萃取量成正比。所以苯的突破体积为 120 mL,其余 3 个化合物的突破体积为是 200 mL。

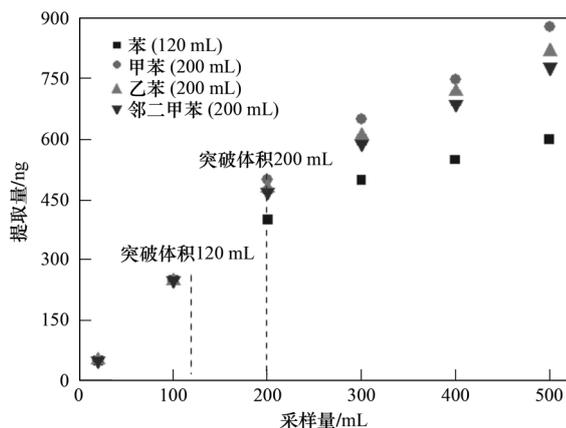


图 2 采样体积与 BTEX 萃取量关系

Fig.2 Sampling volume profile versus extracted amount of BTEX using a Carboxen NTD

2.4 实际样品分析

在上述优化的实验条件下,对 4 种 BTEX 的峰面积与其质量浓度的线性关系及重现性进行测定,得出其线性范围和检出限,结果表明这个动态针捕集阱检出限低至 $0.05 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$,可满足环境实际样品痕量分析的需要。以实验室药品室与新装修办公室作为采样点,用动态针捕集阱采集 100 mL 空气样品,采样点的高度与人的呼吸带相一致,约为 1.5 m。分析结果如表 2 所示,4 种苯系物均有所检出,但乙苯、二甲苯低于定量限。分别加标 $5 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ 于

表 2 实际样品的分析结果和加标回收率

化合物	实验室	药品室	新装修办公室	回收率/%
苯	0.11	0.35	0.35	95.5
甲苯	0.14	0.85	0.85	86.5
乙苯	0.19	0.48	未检测到	101.5
邻二甲苯	未检测到	0.12	未检测到	110.5

Tedlar 采样袋,回收率在 86.5% ~ 110.5% 之间,满足实际分析的需要。

3 结论

本研究制备的动态针捕集阱 (needle trap) 可较好地应用于室外空气采样。结构简单、成本低廉、操作方便。通过优化动态针捕集阱的采样流速、采样体积、采样温度等条件,可以确定 needle trap 吸附提取空气中目标化合物的最佳条件,与 GC-MS 联用,方法检出限、回收率和重现性均满足外场采样的需要。这对于主动采集空气中低浓度的有机污染物具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 陈平, 陈俊. 挥发性有机化合物的污染控制[J]. 石油化工环境保护, 2006, **29**(3): 20-23.
- [2] 王志辉, 张树宇, 陆思华, 等. 北京地区植物 VOCs 排放速率的测定[J]. 环境科学, 2003, **24**(2): 7-12.
- [3] 陆思华, 白郁华, 张广山, 等. 大气中挥发性有机化合物 (VOCs) 的人为来源研究[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(5): 757-763.
- [4] 王金成, 金静, 熊力, 等. 微萃取技术在环境分析中的应用[J]. 色谱, 2010, **28**(1): 1-13.
- [5] Eom I, Tugulea A, Pawliszyn J. Development and application of needle trap devices [J]. Journal of Chromatography A, 2008, **1196-1197**: 3-9.
- [6] Eom I, Niri V, Pawliszyn J. Development of a syringe pump assisted dynamic headspace sampling technique for needle trap device [J]. Journal of Chromatography A, 2008, **1196-1197**: 10-14.
- [7] Wang A, Fang F, Pawliszyn J. Sampling and determination of volatile organic compounds with needle trap devices [J]. Journal of Chromatography A, 2005, **1072**(1): 127-135.
- [8] Caia J B, Ouyang G F, Gong Y, et al. Simultaneous sampling and analysis for vapor mercury in ambient air using Needle trap coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2008, **1213**(1): 19-24.
- [9] Zhao B N, Gong A J, Bai Q H. The SPME-GC method for measuring the benzenes in water [J]. Measurement Technique, 2007, (11): 9-10.
- [10] Niri V, Mathers J, Musteata M, et al. Monitoring BTEX and aldehydes in car exhaust from a gasoline engine during the use of different chemical cleaners by solid phase microextraction-gas

- chromatography [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2009, **204** (1-4): 205-213.
- [11] 高松, 张兰英, 王琳, 等. Needle trap-顶空进样-气相色谱法分析地下水中的苯系物[J]. *岩矿测试*, 2010, **29**(5): 508-512.
- [12] Li X, Ouyang G, Lord H, *et al.* Theory and validation of solid-phase microextraction and needle trap devices for aerosol sample [J]. *Analytical Chemistry*, 2010, **82**: 9521-9527.
- [13] Lou D, Lee X, Pawliszyn J. Extraction of formic and acetic acids from aqueous solution by dynamic headspace-needle trap extraction: temperature and pH optimization [J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, **1201**(2): 228-234.
- [14] Eom I, Pawliszyn J. Simple sample transfer technique by internally expanded desorptive flow for needle trap devices [J]. *Journal of Separation Science*, 2008, **31**(12): 2283-2287.
- [15] Lord H L, Zhan W, Pawliszyn J. Fundamentals and applications of needle trap devices-A critical review [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2010, **677**(1): 3-18.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2010年11月26日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2009年度中国科技论文统计结果.统计结果显示2009年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术、安全科学技术类期刊前列.

综合评价总分87.1,排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》87.1,《自然资源学报》76.2,《环境科学学报》72.7).

总被引频次5421,排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》5421,《环境科学学报》3669,《农业环境科学学报》3051).

影响因子1.450,排名第四(排名前三名的期刊分别是《环境科学研究》1.730,《自然资源学报》1.616,《生态毒理学报》1.509).

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping(3461)
Study on Control and Management for Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) in China	
.....	WANG Hai-lin, ZHANG Guo-ning, NEI Lei, <i>et al.</i> (3462)
Countermeasures for Priority Control of Toxic VOC Pollution	CHEN Ying, LI Li-na, YANG Chang-qing, <i>et al.</i> (3469)
Evaluation of Treatment Technology of Volatile Organic Compounds for Fixed Industrial Resources	LUAN Zhi-qiang, HAO Zheng-ping, WANG Xi-qin(3476)
Emission Control Way of Volatile Organic Compounds in Industry	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, WEI Yu-xia, <i>et al.</i> (3487)
Regulations and Policies for Control of Volatile Organic Compounds and the Emission Standards in Taiwan	
.....	LUAN Zhi-qiang, WANG Xi-qin, ZHENG Ya-nan, <i>et al.</i> (3491)
Study on Foreign Regulations and Standards of Stationary Sources VOCs Emission Control	ZHANG Guo-ning, HAO Zheng-ping, JIANG Mei, <i>et al.</i> (3501)
VOCs Tax Policy on China's Economy Development	LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, WANG Hai-lin, <i>et al.</i> (3509)
Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emitted from Biofuel Combustion in China	LI Xing-hua, WANG Shu-xiao, HAO Ji-ming(3515)
Spatial and Temporal Variations of Ambient Carbonyl Compounds in Beijing and Its Surrounding Areas	
.....	WANG Qin, SHAO Min, WEI Qiang, <i>et al.</i> (3522)
Analysis on Status Pollution and Variation of BTEX in Beijing	SUN Jie, WANG Yue-si, WU Fang-kun(3531)
Characteristics of Ambient VOCs and Their Role in O ₃ Formation; A Typical Air Pollution Episode in Shanghai Urban Area	
.....	CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, GAO Song, <i>et al.</i> (3537)
Observation and Study on Atmospheric VOCs in Changsha City	LIU Quan, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (3543)
Characteristics of Volatile Organic Compounds During Haze Episode in Foshan City	
.....	MA Yong-liang, TAN Ji-hua, HE Ke-bin, <i>et al.</i> (3549)
Investigation on Emission Properties of Biogenic VOCs of Landscape Plants in Shenzhen	
.....	HUANG Ai-kui, LI Nan, Alex Guenther, <i>et al.</i> (3555)
Pollution and Source of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Urban-rural Juncture Belt Area in Beijing	
.....	ZHOU Yu-min, HAO Zheng-ping, WANG Hai-lin(3560)
Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Urban-rural Juncture Belt Area	ZHOU Yu-min, HAO Zheng-ping, WANG Hai-lin(3566)
Source Emission Characteristics of Malodorous Volatile Organic Carbonyls from a Municipal Sewage Treatment Plant	
.....	ZHOU Mi, WANG Bo-guang, ZHAO De-jun, <i>et al.</i> (3571)
Source Emission Characteristics and Impact Factors of Volatile Halogenated Organic Compounds from Wastewater Treatment Plant	
.....	HE Jie, WANG Bo-guang, LIU Shu-le, <i>et al.</i> (3577)
Quantification Assessment of the Relationship Between Chemical and Olfactory Concentrations for Malodorous Volatile Organic Compounds	
.....	LIU Shu-le, WANG Bo-guang, HE Jie, <i>et al.</i> (3582)
Study on Transformation Mechanism of SOA from Biogenic VOC Under UV-B Condition	LI Ying-ying, LI Xiang, CHEN Jian-min(3588)
Kinetic Studies on the Gas-phase Reactions of NO ₃ Radicals with Three Cyclic Ethers	GAI Yan-bo, GE Mao-fa, WANG Wei-gang(3593)
Uptake of 3-methyl-3-buten-1-ol into Aqueous Mixed Solution of Sulfuric Acid and Hydrogen Peroxide	WANG Tian-he, LIU Ze, GE Mao-fa, <i>et al.</i> (3599)
An Overview on Analytical Method of Volatile Organic Compounds in Water	XU Xiu-yan, ZHU Qing, TAN Li, <i>et al.</i> (3606)
Determination of Low Concentration VOCs in Air by a Newly Designed Needle Trap Device	LI Xiang, CHEN Jian-min (3613)
Research on Determination of Total Volatile Organic Sulfur Compounds in the Atmosphere	
.....	WANG Yan-jun, ZHENG Xiao-ling, HE Ying, <i>et al.</i> (3617)
Automatic Continuous Monitoring of Volatile Organic Compounds Using Ion Mobility Spectrometer Array	
.....	ZHOU Qing-hua, CANG Huai-wen, JU Bang-yu, <i>et al.</i> (3623)
Development of a Membrane Inlet-Single Photon Ionization/Chemical Ionization-Mass Spectrometer for Online Analysis of VOCs in Water	
.....	HUA Lei, WU Qing-hao, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (3628)
Detection of TVOC and Odor in Industrial Park Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, YE Zhao-xia, <i>et al.</i> (3635)
Applicability of an Electronic Nose for Detection of Volatile Chlorinated Hydrocarbons in Soil	
.....	BU Fan-yang, WEN Xiao-gang, WAN Mei, <i>et al.</i> (3641)
Test and Analysis of Acrylic Acid Ester in Industry Pipelines	WU Bin, ZHANG Hong-yan, LU Lin-guang(3647)
Preparation of Honeycombed Monolithic Zeolite and Hydrophobic Modification with SiCl ₄	WANG Xi-qin, LI Kai, WEI Bing, <i>et al.</i> (3653)
Synthesis of Manganese Oxide Octahedral Molecular Sieve and Their Application in Catalytic Oxidation of Benzene	LI Dong-yan, LIU Hai-di, CHEN Yun-fa(3657)
Adsorption-Desorption Performance of Honeycomb-Shaped Activated Carbon	HAN Zhong-juan, LUO Fu-kun, LI Ze-qing(3662)
Process of Adsorption and Separating Recovery Solvents from Vapor Mixture Directly	WANG Hong-yu, QIANG Ning, HU Xia(3667)
BTF Performance Treating a Chlorobenzene-Contaminated Gas Stream	ZHOU Qing-wei, ZHU Run-ye, HU Jun, <i>et al.</i> (3673)
Purification of Complicated Industrial Organic Waste Gas by Complex Absorption	CHEN Ding-sheng, CEN Chao-ping, TANG Zhi-xiong, <i>et al.</i> (3680)
Analysis of the Treatment Technology Pathway of VOCs Released from Oven	LI Ze-qing, LUO Fu-kun(3685)
Fabrication of Co ₃ O ₄ Nanorods and Its Catalytic Oxidation of Gaseous Toluene	YAN Qing-yun, LI Xin-yong, ZHAO Qi-dong, <i>et al.</i> (3689)
Preparation, Characterization of Si Doped TiO ₂ Nanotubes and Its Application in Photocatalytic Oxidation of VOCs	
.....	ZOU Xue-jun, LI Xin-yong, QU Zhen-ping, <i>et al.</i> (3694)
Research of the Natural Attenuation Capacity of Oil Pollutants Based on <i>in-situ</i> Experiment	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (3699)
Experimental Research of Oil Vapor Pollution Control for Gas Station with Membrane Separation Technology	
.....	ZHU Ling, CHEN Jia-qing, ZHANG Bao-sheng, <i>et al.</i> (3704)
CFD Numerical Simulation onto the Gas-Liquid Two-Phase Flow Behavior During Vehicle Refueling Process	
.....	CHEN Jia-qing, ZHANG Nan, WANG Jin-hui, <i>et al.</i> (3710)

《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)

2011年12月15日 32卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Founded in 1976)

Vol. 32 No. 12 Dec. 15, 2011

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行