ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE) ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 34 卷 第 12 期
2013 年 12 月 15 日

目 次

序 …… 郝郑平(4503)
南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征 …… 安俊琳,朱彬,李用宇(4504)
天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析 …… 翟增秀,邹克华,李伟芳,王亘,翟友存(4513)
南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析 …… 杨辉,朱彬,高晋徽,李用宇,夏丽(4519)
上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算 …… 崔虎雄(4529)
四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响 …… 韩丽,王幸锐,何敏,郭卫广(4535)
武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策 …… 黄碧捷(4543)
北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究 …… 段菁春,彭艳春,谭吉华,郝吉明,柴发合(4552)
广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价 …… 李雷,李红,王学中,张新民,温冲(4558)
天津某家具城挥发性有机物健康风险评估 …… 张银, 王秀艳, 高爽(4565)
废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物 (VOCs)排放特征研究 …… 王浙明,徐志荣,叶红玉,许明珠,王晓星(4571)
农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险 …… 谭冰,王铁宇,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(4577)
电子产品加工制造企业挥发性有机物(VOCs)排放特征 …… 崔如,马永亮(4585)
汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价 …… 曾培源,李建军,廖东奇,涂翔,许玫英,孙国萍(4592)
载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价 …… 陈小开, 程赫明, 罗会龙(4599)
基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究 …… 何万清,聂磊,田刚,李靖,邵霞,王敏燕(4605)
VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价 …… 房增强,甘平,杨乐,戴子瑜,祁世鸿,贾建丽,何绪文 (4612)
挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征 …… 甘平, 杨乐巍,房增强,郭淑倩,于妍,贾建丽(4619)
土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究 ……
…… 杜平,王世杰,赵欢欢,伍斌,韩春媚,房吉敦,李慧颖,细见正明,李发生(4627)
土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响 …… 胡林,邱兆富,何龙,窦颖,吕树光,隋倩,林匡飞(4635)
自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律 …… 陈锡超,罗茜,陈虎,魏孜,王子健,许科文 (4642)
杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价 …… 陈峰,徐建芬,唐访良,张明,阮东德 (4649)
维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性 …… 郭斌,律国黎,任爱玲,杜昭,邢志贤,韩鹏,高博,刘淑娅(4654)
新型生物滴滤填料性能评价 …… 梅瑜,成卓韦,王家德,活泼(4661)
微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究 …… 张超,赵梦升,张丽丽,陈建孟(4669)
BF 和 BTF 工艺去除 DCM 性能比较 …… 潘维龙,於建明,成卓韦,蔡文吉(4675)
改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究 …… 王家德,郑亮巍,朱润晔,俞云锋(4684)
转轮吸附法处理有机废气的研究 …… 朱润晔,郑亮巍,毛玉波,王家德(4689)
活性炭吸附有机蒸气性能的研究 …… 蔡道飞,黄维秋,王丹莉,张琳,杨光(4694)
UV-生物过滤联合降解苯乙烯废气的研究 …… 沙昊雷,杨国靖,夏静芬(4701)
蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究 …… 杜娟, 栾志强, 解强, 叶平伟, 李凯, 王喜芹(4706)
内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析 …… 吴宏章,黄维秋, 杨光, 赵晨露, 王英霞, 蔡道飞 (4712)
基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究 …… 李靖,王敏燕,张健,何万清,聂磊,邵霞(4718)
铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学 …… 陈长伟,于艳科,陈进生,何炽(4724)
$KrBr^*$ 准分子灯直接光解一甲胺气体 …… 赵洁, 刘玉海, 韦连梅, 叶招莲, 张善端(4734)
异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究 …… 颜鲁春,刘杰民,付慧婷,孙媛,林文辉(4743)
挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究 …… 江梅,张国宁,任春,邹兰,魏玉霞 (4747)
挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善 …… 江梅,张国宁,邹兰,魏玉霞,张明慧(4751)
我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究 …… 王铁宇,李奇锋,吕永龙(4756)
固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究 …… 王强,周刚,钟琪,赵金宝,杨凯(4764)
石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估 …… 牟桂芹,隋立华,郭亚逢,马传军,杨文玉,高阳(4771)
植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展 …… 谢军飞,李延明(4779)
基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究 …… 刘昌新,王宇飞,郝郑平,王铮(4787)
《环境科学》第 34 卷(2013 年)总目录 …… (4792)
《环境科学》征订启事(4717) 《环境科学》征稿简则(4742) 信息(4528, 4626, 4693, 4700)

异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究

颜鲁春,刘杰民*,付慧婷,孙媛,林文辉
(北京科技大学化学与生物工程学院,北京 100083)

摘要: 由挥发性有机污染物(VOCs)等引起的恶臭污染已经成为一个严重的环境问题,而污染物种类繁多,浓度差异大和物质间相互作用规律复杂等因素,对异味强度等感官评价研究造成极大困难. 本研究针对室内环境,选取典型挥发性有机污染物组成多种异味混合物,6 名专业嗅辨员组成嗅觉评价小组,分别评价异味混合物和相应各组分物质单独存在时的异味强度,分析混合物中各组分含量与混合物整体异味强度之间的联系. 结果表明,当混合物中某物质异味活度(odor activity value, OAV)的自然对数值占混合物总量的比例小于 20% 时,其对混合物的异味强度贡献基本为零. 利用该方法预先忽略多组分异味混合物中的部分物质,可以在异味物质相互作用规律和异味感官评价等研究中起到重要简化作用.

关键词:恶臭污染物; 异味强度; 嗅觉评价; 异味相互作用; 异味活度
中图分类号: X512 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2013)12-4743-04

Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture

YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, SUN Yuan, LIN Wen-hui
(School of Chemistry and Biological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Odor pollution has become a serious environmental problem arising from volatile organic compounds (VOCs) and other pollutants. But the studies on odor intensity and other olfactory evaluations are seriously influenced by the diversity, distinct concentration fluctuation and complex interaction of pollutants. In order to explore the relationship between odor intensity and components concentrations of odor mixture, several typical VOCs in indoor environment were used to simulate odor mixtures. A panel of six sensory assessors was employed to rate the odor intensities of the mixture and its unmixed components. The outcome showed that the presence of an odorant barely influenced the odor intensity of the mixture when its nature logarithm of odor activity value (OAV) was lower than 20% of the mixture's total amount. The application of this method as a pretreatment method for the odor mixture could apparently simplify the studies on odor interaction and olfactory evaluation.

Key words: odor pollutants; odor intensity; olfactory evaluation; odor interaction; odor activity value

许多挥发性有机物(VOCs)都具有一定的独特气味[1],它们在室内、垃圾场和化工厂等典型场所产生的异味污染严重地影响着人们的身体健康和环境安全[2~4]. 由于能够快速直观地反映人体感受,异味强度已经作为一项感官评价标准被广泛用于室内空气质量评价和空气污染监测等领域[5~7]. 通常异味强度评价需要由专业的多人嗅辨小组在嗅辨室内进行,评价过程容易受嗅辨员状态和测试环境等因素影响[8]. 为了避免以上限制并实现其广泛应用,异味强度的预测方法一直是国内外研究的热点[9~11].

目前已经存在多种经典的异味强度预测模型,但研究对象都主要集中于简单混合物(二组分和三组分)和一些由特定物质组成的混合物[12]. 这是因为混合物中各组分间的相互作用会显著影响其整体异味强度,而目前针对混合物的相互作用规律研究还十分缺乏有效的开展方法和明确结论[13~15]. 随着混合物中组分的增多,不但物质间相互作用变复杂,而且预测模型的计算难度也会显著提高,从而使得多组分混合物的异味强度预测愈加困难. 因此,对多组分混合物进行简化处理被认为是实现复杂混合物异味强度预测的一种可行方法.

当某物质的含量在混合物中所占比例很低时,其不但对混合物的异味强度贡献较小,而且对其它组分的相互作用影响也有限[16~18],所以可以忽略该物质的存在以达到简化多组分混合物的目的. 本研究用苯系物组成 3 种二组分混合物,通过探讨两个组分的混合比例与混合物异味强度的关系分析其中一种物质可以被忽略的简化条件,并用多种物质组成混合物验证该简化条件的应用效果,为异味强度预测和其它异味评价研究提供了重要参考依据.

收稿日期: 2013-06-04; **修订日期**: 2013-08-04
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2012AA030302); 国家自然科学基金项目(20877008,21277011); 中央高校基本科研费专项(FRF-TP-10-004B,FRF-BR-11-017B)
作者简介: 颜鲁春(1987~),男,博士研究生,主要研究方向为环境恶臭气体分析及感官评价,E-mail:yanluchun@126.com
* 通讯联系人,E-mail:liujm@ustb.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料

苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯、苯乙烯、乙酸丁酯(分析纯,国药集团化学试剂有限公司),3L 无臭气袋(天津迪兰奥特环保科技开发有限公司),岛津 GC2014 气相色谱仪,气相色谱微量进样针.

1.2 实验方法

嗅辨小组由 6 名身体健康,通过专业训练并具备一定实验经验的嗅辨员组成. 异味强度等级评价方法参照 8 阶段参考基准法[19]. 液体药品由微量进样针量取并注入充满洁净空气的气袋,然后室温放置 10 min. 待气袋内药品挥发完全并与空气混合均匀后,该气袋作为原气袋备用.

配制单一物质样品时,玻璃注射器从原气袋移取一定体积气体至一个新气袋并室温放置 3 min[20]. 每种物质配制 5 个不同浓度的样品,评价异味强度后分析各物质异味强度与浓度关系. 然后,按照相同方法配制二组分混合物样品并评价其异味强度. 以两个组分单独存在时较大的异味强度值与混合物异味强度值的比值作纵坐标,某组分含量占混合物总量的比例作横坐标,绘图分析可以忽略某物质对混合物异味强度贡献的简化条件. 在此基础上,配制多个二组分、三组分和五组分异味混合物样品. 分别评价简化前与简化后的样品异味强度,验证简化条件在多组分混合物中的适用性.

1.3 分析方法

样品在异味强度评价前用气相色谱仪测定浓度,外标法定量. 测试条件:DB-5 色谱柱,FID 检测器,进样口 220℃,检测器 250℃,柱流量 1 mL·min^{-1},升温程序:50℃ 保持 1 min,20 ℃·min^{-1}升至 200℃并保持 5 min.

2 结果与讨论

2.1 单一物质浓度与异味强度关系

已有研究证明异味物质单独存在时,其异味强度与化学浓度符合 Weber-Fechner 定律[21](指数关系). 但是如果二者呈线性关系,混合物异味强度与各组分含量的关系将会更加明显和易于分析. 因此,实验分析比较了物质浓度的其它表现形式. 异味活度(odor activity value, OAV)是异味物质单独存在时化学浓度与检出阈值(人们鼻子能够闻到的最低化学浓度)的比值,它常常被用来分析异味气体中的主要致臭物质[22,23]. 结果显示,异味活度的自然对数值(lnOAV)与异味强度(odor intensity, OI)存在明显的线性关系(表 1). 这与 Kim[24]研究物质间相互作用时的结论相似,他发现异味物质单独存在时的异味强度与其被稀释到阈值时稀释倍数的对数值存在线性关系. 因此,在后续实验中各物质浓度均用相应的 lnOAV 值进行表示.

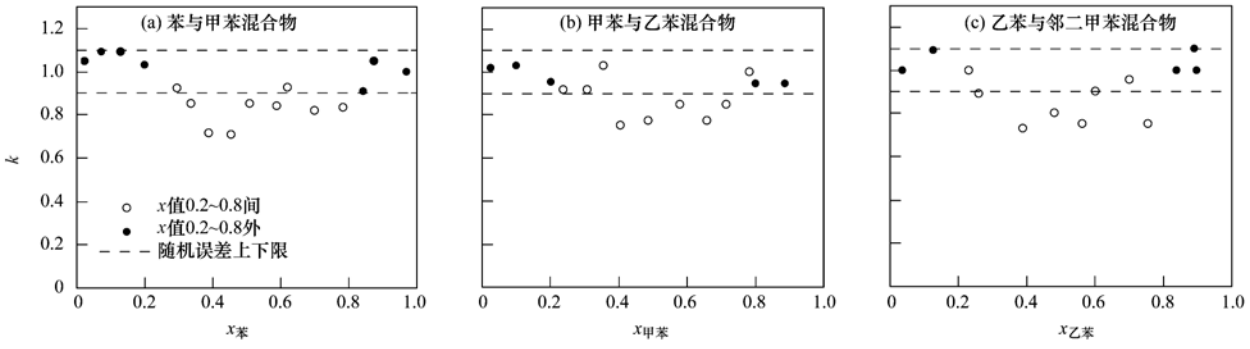
表 1 几种苯系物的异味强度计算公式

Table 1 Odor intensity equations of several benzene series

物质	检出阈值 /mg·m^{-3}	拟合公式	R^2
苯	2.13	OI = 1.36lnOAV − 0.51	0.92
甲苯	1.67	OI = 2.15lnOAV − 3.05	0.98
乙苯	0.25	OI = 1.12lnOAV − 0.33	0.92
邻二甲苯	1.07	OI = 1.32lnOAV − 1.33	0.92

2.2 二组分混合物简化条件

如图 1 所示,横坐标轴是二组分混合物中某组分对应 lnOAV 值占混合物总量的比值(x),纵坐标轴是两组分单独存在时其中较大的那个异味强度值与混合物异味强度值的比值(k).



若混合物中的组分 A 和组分 B 单独存在时 $OI_A > OI_B$,则 $k = OI_A/OI_{mix}$,其中 OI_{mix} 为混合物异味强度,反之亦然; $x_A = lnOAV_A/(lnOAV_A + lnOAV_B)$

图 1 混合物异味强度与组分混合比例的关系

Fig. 1 Relationship between odor intensity and components' mixing ratio of odor mixture

由于嗅觉测试受很多不可控因素影响,测试结果经常出现的小幅波动已经得到普遍认可. 本实验中样品异味强度的测定结果主要集中于 2 ~ 5 级之间(此范围异味特征明显),分析发现重复测定相同样品时异味强度值平均发生 ±0.3 强度等级的波动. 所以,同一样品两次重复测定结果的比值在 1 ±0.1 之间基本都属于在正常的随机误差范围内,即二者不存在显著差异. 对二组分混合物,如果某组分对混合物异味强度的贡献可以被忽略,那么另一个组分单独存在时的异味强度与混合物异味强度应该相等,即它们对应的 k 值在 1 ±0.1 范围内.

综合图 1 中 3 个混合物的结果可知,若某组分 lnOAV 值占混合物总量的百分比在 20% ~80% 之间,k 值有很大概率小于 0.9(误差范围下限). 即在此范围内,混合物异味强度大于任意某个组分单独存在时的异味强度. 此时,两个组分都对混合物异味强度有贡献且其相互作用也不能被忽略. 而当某组分所占百分比小于 20% 时,k 值全都处于 0.9 ~ 1.1 的误差范围内,即另一组分单独存在时的异味强度与混合物整体异味强度相等. 所以,可以将 lnOAV 值占混合物的总量不足 20% 作为简化条件,合理忽略二组分混合物中某种物质的存在. 除了二组分混合物外,该简化条件对多组分混合物的适用性仍需要进一步验证.

2.3　简化条件对多组分混合物的适用性

为了进一步明确简化条件在多组分混合物中的适用性,对多种二组分、三组分和五组分混合物样品在简化前与简化后的异味强度进行了评价分析如表 2 所示.

表 2　简化条件在多组分混合物中的适用性[1)]

Table 2　Applicability of simplified method in complex mixtures

编号	混合物	lnOAV	异味强度	k'
1	乙酸丁酯 + 乙苯	4.07	3.6	1.0
	乙酸丁酯	3.42(84.0%)	3.8	
2	乙酸丁酯 + 乙苯	4.66	4.8	1.1
	乙苯	4.05(86.9%)	4.5	
3	乙酸丁酯 + 苯乙烯	4.14	3.6	0.9
	乙酸丁酯	3.89(94.0%)	3.9	
4	乙酸丁酯 + 苯乙烯	4.26	4.5	1.1
	苯乙烯	3.65(85.7%)	4.3	
5	乙酸丁酯 + 苯乙烯 + 乙苯	6.63	4.5	1.1
	乙酸丁酯 + 苯乙烯	5.18(90.2%)	4.0	
6	乙酸丁酯 + 苯乙烯 + 乙苯	6.12	4.6	1.0
	苯乙烯 + 乙苯	5.51(90.0%)	4.5	
7	苯乙烯 + 甲苯 + 乙苯	5.65	4.7	1.0
	苯乙烯 + 甲苯	5.00(88.5%)	4.5	
8	苯乙烯 + 甲苯 + 乙苯	4.96	3.8	1.1
	甲苯 + 乙苯	4.71(95.0%)	3.6	
9	乙酸丁酯 + 苯乙烯 + 乙苯 + 甲苯 + 邻二甲苯	7.16	4.5	1.0
	苯乙烯 + 乙苯 + 甲苯 + 邻二甲苯	6.55(91.5%)	4.5	
10	乙酸丁酯 + 苯乙烯 + 乙苯 + 甲苯 + 邻二甲苯	8.65	4.2	1.0
	乙酸丁酯 + 苯乙烯 + 乙苯	6.99(80.8%)	4.2	
11	乙酸丁酯 + 邻二甲苯 + 乙苯 + 苯乙烯 + 甲苯	7.26	4.3	1.1
	乙酸丁酯 + 邻二甲苯 + 乙苯	5.96(82.0%)	4.0	

1)每个编号对应的两组物质分别是同一混合物在简化前和简化后的组成,括号内的百分数为简化后混合物的 lnOAV 值总和占其简化前总和的比例,k'为简化前与简化后混合物异味强度值的比值

由表 2 可以看出几组混合物的异味强度都介于 3 级和 5 级之间,结合上一步关于随机误差的讨论,可知 k'值在 1 ±0.1 范围内即代表样品异味强度在简化前与简化后不存在显著差异. 结果显示各组对应 k'值均在有效误差范围内,所以可认为该简化方法不仅对二组分混合物有效,而且还广泛地适用于复杂的多组分异味混合物. 此外,多组分混合物中可以被忽略的物质不再仅限于一种. 当混合物中几种含量较少物质的 lnOAV 值总和不超过混合物总量的 20% 时,将它们都忽略也不会对混合物的整体异味强度产生影响.

除了物质浓度的影响,混合物异味类型的改变也可能影响异味强度评价. 文献[25]表明,混合物中组分浓度的变化会引起整个混合物异味类型的改

变. 作为嗅觉测试中的一个重要影响因素,嗅辨员对不同异味类型物质的嗅觉敏感程度存在一定差异. 如果简化后混合物的异味类型从嗅辨员敏感型变为嗅辨员不敏感型,那么简化前后样品异味强度的差距就会进一步增大. 当这种异味类型变化非常显著时,合理的简化也会导致预测结果发生明显偏差. 但如果在简化后混合物异味类型变为嗅辨员更加敏感的类型,即使混合物的整体浓度有一定减小,其异味强度却仍可以变大. 第一组和第三组混合物就可能属于这种情况. 异味类型的改变会影响异味强度评价,但与随机误差等其它因素相比,它的影响能力大小尚不明确. 所以,异味类型变化对异味强度评价的影响规律仍需进一步研究.

3 结论

(1)一种苯系物单独存在时,其异味活度的自然对数值(lnOAV)与异味强度(OI)存在显著的线性关系.

(2)在异味混合物中,当一个组分对应 lnOAV 值或几个组分对应 lnOAV 值的和占混合物总量的比例小于 20% 时,其对混合物异味强度的贡献可以被忽略.

(3)根据实验结论预先简化异味混合物的组成,可以降低异味强度预测等异味研究的难度并同时保持较高准确度.

参考文献:

[1] 赵鹏. 室内异味污染评价及去除研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2011.

[2] Weisel C P, Alimokhtari S, Sanders P F. Indoor air VOC concentrations in suburban and rural New Jersey [J]. Environmental Science and Technology, 2008, **42**(22): 8231-8238.

[3] 张红玉, 邹克华, 杨金兵, 等. 厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析[J]. 环境科学, 2012, **33**(8): 2563-2568.

[4] 黄山, 邵敏, 陆思华. 北京某小学室内外 VOC 浓度及有毒害物种识别[J]. 环境科学, 2008, **29**(12): 3326-3330.

[5] GB/T 14675-1993, 空气质量恶臭的测定三点比较式臭袋法[S].

[6] 刘舒乐, 王伯光, 何洁, 等. 城市污水处理厂恶臭挥发性有机物的感官定量评价研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3582-3587.

[7] Chung J W, Lee M E, Lee H D. Characteristics of environmental pollution related with public complaints in an industrial shipbuilding complex, Korea[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, **177**(1-4): 71-84.

[8] 杨萍, 周志洪, 区辉, 等. 环境空气中臭气浓度测定的影响因素及对策[J]. 环境科学导刊, 2010, **29**(3): 82-84.

[9] 邹梓, 林剑, 陈娟, 等. 垃圾填埋场臭气评价方法研究[J]. 地球与环境, 2010, **38**(1): 75-78.

[10] Rospars J P. Interactions of odorants with olfactory receptors and other preprocessing mechanisms: how complex and difficult to predict[J]. Chemical Senses, 2013, **38**(4): 283-287.

[11] 王亘, 邹克华, 赵晶晶, 等. 恶臭的测定[J]. 环境科学与管理, 2009, **34**(9): 117-121.

[12] Teixeira M A, Rodrigues A E, Rodriguez O. A comparison of odor intensity models[J]. AIChE Journal, 2010, **56**(4): 1090-1106.

[13] Kim K H. The averaging effect of odorant mixing as determined by air dilution sensory tests: a case study on reduced sulfur compounds[J]. Sensors, 2011, **11**(2): 1405-1417.

[14] Cometto-Muñiz J E, Abraham M H. Structure-activity relationships on the odor detectability of homologous carboxylic acids by humans[J]. Experimental Brain Research, 2010, **207**(1-2): 75-84.

[15] Hanson M J, Adamsen A P, Pedersen P, *et al*. Prediction of odor from pig production based on chemical odorants[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, **41**(2): 436-443.

[16] Miyazawa T, Gallagher M, Preti G, *et al*. Psychometric functions for ternary odor mixtures and their unmixed components[J]. Chemical Senses, 2009, **34**(9): 753-761.

[17] Cometto-Muñiz J E, Abraham M H. Olfactory detectability of homologous *n*-alkylbenzenes as reflected by concentration-detection functions in humans[J]. Neuroscience, 2009, **161**(1): 236-248.

[18] 郭薇, 王伯光, 唐小东, 等. 城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 2038-2043.

[19] ASTM E544-10, Standard practices for referencing suprathreshold odor intensity[S].

[20] Iwasaki Y. The history of odor measurement in Japan and triangle odor bag method[EB/OL]. http://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/index.html, 2013-7-20.

[21] 赵鹏, 刘杰民, 伊芹, 等. 异味污染评价与治理研究进展[J]. 环境化学 2011, **30**(1): 310-325.

[22] Eriksen J, Andersen A J, Poulsen H V, *et al*. Sulfur turnover and emissions during storage of cattle slurry: effects of acidification and sulfur addition[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, **41**(5): 1633-1641.

[23] 路鹏, 苏昭辉, 王亘, 等. 填埋场大气中化合物分析与恶臭指示物筛选[J]. 环境科学, 2011, **32**(4): 936-942.

[24] Kim K H. Experimental demonstration of masking phenomena between competing odorants via an air dilution sensory test[J]. Sensors, 2010, **10**(8): 7287-7302.

[25] Le Berre E, Beno N, Ishii A, *et al*. Just noticeable differences in component concentrations modify the odor quality of a blending mixture[J]. Chemical Senses, 2008, **33**(4): 389-395.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 34 No. 12

Dec. 15, 2013

CONTENTS

Preface ····· HAO Zheng-ping (4503)

Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China ····· AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)

Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown ····· ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, *et al.* (4513)

Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer ····· YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, *et al.* (4519)

Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring ····· CUI Hu-xiong (4529)

Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province ····· HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, *et al.* (4535)

Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City ····· HUANG Bi-jie (4543)

Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing ····· DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, *et al.* (4552)

Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China ····· LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, *et al.* (4558)

Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin ····· ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)

Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry ··· WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, *et al.* (4571)

Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory ····· TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, *et al.* (4577)

Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory ····· CUI Ru, MA Yong-liang (4585)

Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings ····· ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, *et al.* (4592)

Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers ····· CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)

Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS ····· HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, *et al.* (4605)

Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site ····· FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, *et al.* (4612)

Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site ····· GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, *et al.* (4619)

Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics ····· DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, *et al.* (4627)

Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil ····· HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, *et al.* (4635)

Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes ····· CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, *et al.* (4642)

Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City ····· CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, *et al.* (4649)

Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production ····· GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, *et al.* (4654)

Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings ····· MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, *et al.* (4661)

Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation ····· ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, *et al.* (4669)

Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter ····· PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, *et al.* (4675)

Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves ····· WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, *et al.* (4684)

Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor ····· ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, *et al.* (4689)

Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons ····· CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, *et al.* (4694)

Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration ····· SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)

Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve ····· DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, *et al.* (4706)

Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank ····· WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, *et al.* (4712)

Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model ····· LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, *et al.* (4718)

Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over $CuCeO_x$ Composite Oxides ····· CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, *et al.* (4724)

Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr* Excilamp ····· ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, *et al.* (4734)

Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture ····· YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, *et al.* (4743)

Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards ····· JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, *et al.* (4747)

Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry ····· JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, *et al.* (4751)

Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China ····· WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)

Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources ····· WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, *et al.* (4764)

Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry ····· MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, *et al.* (4771)

Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants ····· XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)

Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE ····· LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, *et al.* (4787)

《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 12 月 15 日　34 卷　第 12 期（卷终）

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 34　No. 12　Dec. 15, 2013

主　　管	中国科学院	
主　　办	中国科学院生态环境研究中心	
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	
主　　编	欧 阳 自 远	
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	
出　　版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	
发　　行	科 学 出 版 社 电话：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com	
订 购 处	全国各地邮电局	
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 （北京 399 信箱）	

Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
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
Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
Domestic		All Local Post Offices in China
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