

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, 吴方堃 (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, 吴方堃, 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)
北京城乡结合部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)
NO ₃ 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, 滕思江 (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)
Co ₃ O ₄ 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 TiO ₂ 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)	

工业园区 TVOC 和恶臭的电子鼻检测技术研究

田秀英^{1,2}, 蔡强^{2*}, 叶朝霞³, 郭威², 卢岩文², 张永明¹

(1. 上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234; 2. 浙江清华长三角研究院生态环境研究所, 嘉兴 314006; 3. 嘉兴市环境保护监测站, 嘉兴 314006)

摘要:根据工业园区中 TVOC 和恶臭可能存在的主要气体组分, 筛选传感器阵列, 构建用于检测工业园区内 TVOC 和恶臭的电子鼻系统. 本研究设计了 TVOC 污染指数 (TPI) 和恶臭污染指数 (OPI) 及基于电子鼻的现场检测方法. 在此基础上, 结合嘉兴市乍浦港区化工园区污染情况分析, 选择 6 个检测点进行现场检测, 各传感器响应值经 PCA 分析, 提取了 2 个主成分即可将 8 个传感器分为 2 类: TVOC 型 (S1) 和恶臭型 (S2~S8). 将现场采集的气体样品用 GC/MS 进行定性分析, 各采样点 TVOC 物质积分面积百分比在 10% 以上的累积起来大多都占总面积的 90% 以上, 而恶臭类物质则大多都在 10% 以下. 结果表明: ①选用合适的传感器阵列, 结合 PCA 分析, 可以初步反映工业园区内 TVOC 和恶臭的污染情况; ②结合电子鼻测得的污染指数与 GC/MS 定性分析结果, 可以大体得出工业园区 TVOC 和恶臭总体污染情况及各种污染物分布情况; ③电子鼻和 GIS 技术综合应用到工业园区 TVOC 和恶臭的检测, 能初步用于评估工业园区空间污染情况.

关键词:电子鼻; GIS; GC/MS; TVOC; 恶臭; 工业园区

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)12-3635-06

Detection of TVOC and Odor in Industrial Park Using Electronic Nose

TIAN Xiu-ying^{1,2}, CAI Qiang², YE Zhao-xia³, GUO Wei², LU Yan-wen², ZHANG Yong-ming¹

(1. College of Life and Environmental Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 2. Department of Environmental Technology and Ecology, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Jiaxing 314006, China; 3. Environmental Protection Monitoring Stations of Jiaxing, Jiaxing 314006, China)

Abstract: The main volatile compounds belong to TVOC or odor which may generate from industrial park, special sensors were adopted to build electronic nose for detecting those compounds. TVOC pollution index (TPI) and odor pollution index (OPI) were designed as well as detecting method based on electronic nose in the field. On this basis, considering the pollution situation of chemical industrial of Zhapu port in Jiaxing, six detecting points were selected to be tested by electronic nose on site. Each sensor responses processed by principal components analysis (PCA), two principal components were extracted, that is, eight sensors can be divided into two groups including the types of TVOC (S1) and odor (S2-S8). Meanwhile, the on site collected samples were qualitatively analyzed with GC/MS. At each testing point, integral area percentage of the compounds being a part of TVOC accumulated mostly over 90% and to odor, mostly was below 10%. Results show: ① Choosing appropriate sensors combining PCA can preliminarily reflect the pollution condition of TVOC and odor in industrial park; ② Combining pollution indexes measured with electronic nose and results of qualitative analysis with GC/MS can generally concluded the overall pollution situation of TVOC and odor in industrial park and distribution of each pollutant; ③ Application of electronic noses and GIS to detect TVOC and odor in industrial park can preliminary assess space pollution situation in industrial park.

Key words: electronic nose; GIS; GC/MS; TVOC; odor; industrial park

世界卫生组织 (WHO) 估计, 全球每年有 80 万人死亡和 460 万人寿命损失与城市大气污染相关^[1]. 而工业园区尤其是化工园区的大气污染是城市大气污染主要来源之一, 主要污染物包括 TVOC 和恶臭.

VOC 常用的检测方法有热解析/毛细管气相色谱法 (GB 50325-2001)、比色管、GC/MS 和 PID 等. 恶臭常用的检测技术可以分为感官测定法^[2]和仪器测定法 2 类, 其中感官测定法包括三点比较式臭袋法 (GB/T 14675-93) 和动态嗅觉仪法; 仪器测定法包括 GC/MS^[3]、HPLC、离子色谱和分光光度法等.

仪器测定法分析费用较高, 分析时间较长, 不适用于现场应用, 鉴别的化学浓度无法给出可被人感觉到的臭味强度, 而且无法与环境管理标准直接挂钩^[4]. 动态嗅觉法需要经过专门培训的嗅辨员参与, 检测结果易受主观影响, 精度不如理化分析手段^[5].

近年来, 快速检测 TVOC 和恶臭的电子鼻研究

收稿日期: 2011-05-09; 修订日期: 2011-07-11

基金项目: 嘉兴市科技项目 (2010AY1079); 国际科技合作项目 (2008DFA91300)

作者简介: 田秀英 (1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境监测、传感器应用, E-mail: xiuying.tian@hotmail.com

* 通讯联系人, E-mail: caiq@tsinghua.edu.cn

越来越多.如 Huyberechts 等^[6]用 2 个半导体传感器和人工神经网络,定量分析相对湿度 0% ~ 60% 空气中 CO 和 CH₄;Llobet 等^[7]用 4 个 SnO₂ 传感器定性定量分析乙醇、甲苯和邻二甲苯;Bastos 等^[8]用 14 个导电聚合物传感器定性分析土壤中挥发气体,区分土壤类型和质量状况;Dewettinck 等^[9]用 12 个金属氧化物传感器检测污水处理厂中的 VOCs;Bourgeois 等^[10]用 12 个导电聚合物传感器对水中 VOCs、BOD 和 COD 在线监测;Wolfrum 等^[11]用 14 个金属氧化物传感器定性定量分析 VOCs 体积分数的底限达到 0.5×10^{-6} ;张覃轶等^[12]用 6 个不同掺杂的纳米 ZnO 气体传感器和 BP-ANN 模式识别方法,实现了空气中单一乙醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯的识别,且识别率为 100%;黄小燕等^[13]用 5 个半导体传感器对 CH₄、C₃H₈ 和 H₂ 定量分析,最大相对误差不超过 9.4%;Sohn 等^[14]用 24 个半导体传感器连续和半定量监测家禽棚舍内的恶臭,在此基础上分析棚舍条件对恶臭排放的影响;Littarru^[15]将电子鼻与动态嗅觉法结合起来检测垃圾处理厂产生的恶臭,前者重现性高且可以检测毒性气体,后者可以定量,结合两者的优点,实现了恶臭检测的客观性和重现性.

国内外研究表明,电子鼻能快速检测 VOCs 和恶臭,具有重现性高、费用低及实时监测等特点.然而,目前电子鼻只是单独检测 VOCs 或恶臭,应用到工业园区内的也不多.本研究采用自主研发的电子鼻系统,尝试分析工业园区 TVOC 和恶臭的区域性分布.结合 GIS 进行布点和空间污染分析,采用现场采样、实验室定性分析的方法,验证工业园区 TVOC 和恶臭电子鼻检测的适用性.

1 材料与方法

1.1 仪器设备

自行研制的电子鼻检测系统(iSA-M1),系统包括 3 类传感器:光离子化检测器、半导体气敏传感器和温湿度传感器.具体如下:光离子化检测器:S₁(PID-200, Baseline-MOCON);半导体类传感器:S₂(TGS825, 费加罗公司),S₃(TGS880, 费加罗公司),S₄(MQ3, 杭州科纳传感器),S₅(TGS826, 费加罗公司),S₆(MQ135, 杭州科纳传感器),S₇(TGS800, 费加罗公司),S₈(TGS822, 费加罗公司);SHT 系列的温湿度传感器(大连北方测控).其系统结构图如图 1 所示.

美国 Agilent 公司 GC 7890A/ MSD 5975C 气质

联用仪;美国麦哲伦海王星 300E;三杯风速风向表(天津气象仪器厂,DEM6);便携式温湿度露点测量仪(国家农业信息化工程技术研究中心 NERCITA);车载逆变器(高欣,捷豹,12V-220V);标准气体发生器:日本 GASTEC, PERMEATER(PD-1B-1);ArcGIS 9.3(美国环境系统研究所,ESRI).

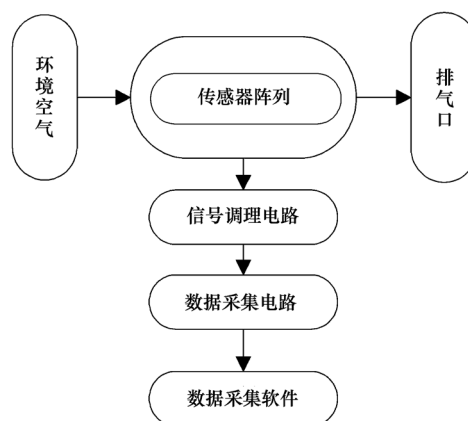


图 1 电子鼻系统示意

Fig.1 Schematic of electronic noses system

1.2 电子鼻系统的标定

电子鼻系统主要标定对象是系统内的传感器.标定流程与检测流程相同,共有 3 个过程.①基线过程:先通入高纯空气冲洗气室,同时检测传感器信号;②采样过程:待基线稳定后,切换进样阀,通入一定量的待测气体;③脱附过程:切换进样阀,再次通入高纯空气进行脱附.在标定流程中,具体条件包括:基线过程:2 min;采样过程:6.25 min;脱附过程:2.25 min.

采用标准气体发生器发生标准浓度气体,气体浓度受扩散管内径和长度、流速、溶剂类型和温度影响,遵照标准气体发生装置——操作说明书(PD-1B/PD-1B-2 型),计算公式如下(假设在一个标准大气压下):

$$c = 273\,000 \times M_r \times K \times D_r / [22.4 \times F \times (273 + t)]$$

式中, c 为标准气体浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$); M_r 为气体物质的相对分子质量; D_r 为扩散速度 ($\mu\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$); F 为稀释气体流量 ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$); K 为气体重量转换容积系数 (g^{-1}); t 为温度 ($^{\circ}\text{C}$).

本研究对乙醇、苯、甲苯、氯苯和苯乙烯做标定试验,工作温度 40°C ,具体条件见表 1,标定结果见图 2 ~ 6.

1.3 现场检测

移动电子鼻系统至目标区域,开启系统检测并

表 1 试剂名称、浓度及扩散管型号			
Table 1 Reagent name, concentration and type of diffusion tube			
试剂	扩散管内径/mm	扩散管长度/cm	发生的气体 浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
乙醇	5.0	4	62.07、77.58、103.43、124.12、 206.87、620.62
苯	4.0	5	56.24、70.29、93.71、112.44、 140.54、281.12
甲苯	4.0	5	18.59、23.25、30.99、46.46、 92.92、185.88
氯苯	5.0	4	18.23、22.79、30.37、36.42、 60.75、182.19
苯乙烯	5.0	4	8.64、10.79、14.40、17.27、 28.75、86.29

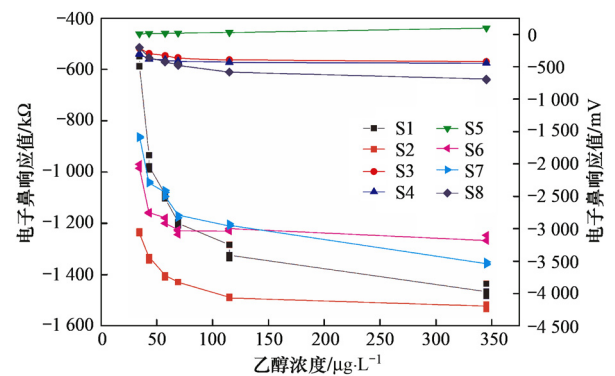


图 2 乙醇标定结果

Fig. 2 Calibration results of ethanol

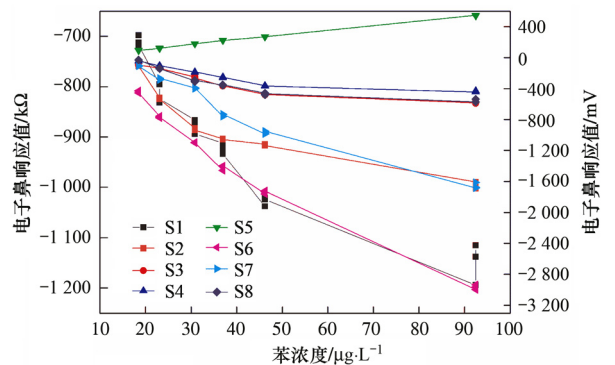


图 3 苯标定结果

Fig. 3 Calibration results of benzene

实时记录数据.同时把采气袋连接到电子鼻的排气口进行采样.记录采样地点、时间、风向、风速及经纬度.

1.4 分析方法

对传感器阵列获得的数据,应用 SPSS 统计软件进行 PCA 分析.输入变量,降维后提取主成分,主成

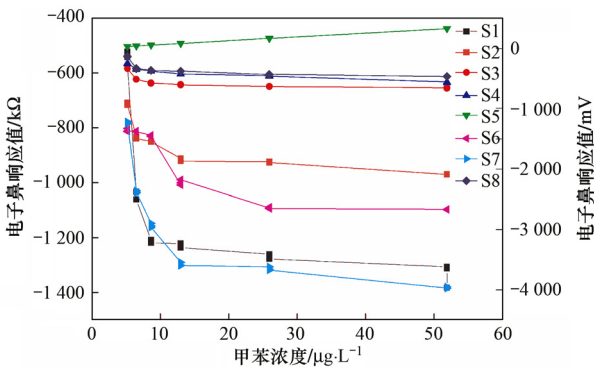


图 4 甲苯标定结果

Fig. 4 Calibration results of toluene

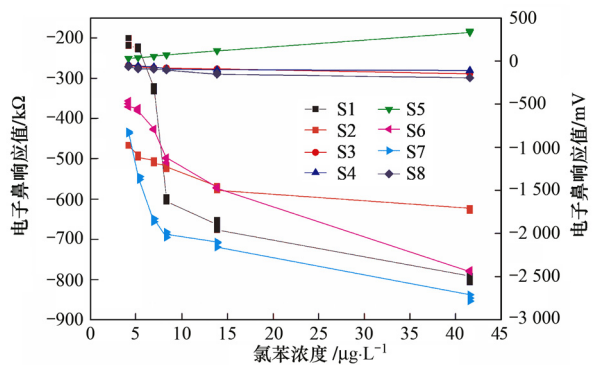


图 5 氯苯标定结果

Fig. 5 Calibration results of chlorobenzene

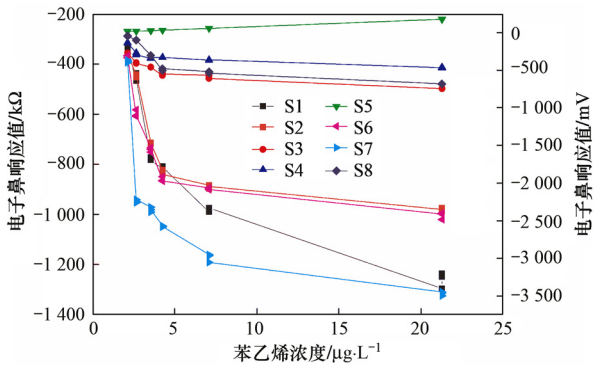


图 6 苯乙烯标定结果

Fig. 6 Calibration results of styrene

分的贡献率反映了该主成分所表征原始高维矩阵信息的能力.

1.5 仪器分析方法

对气体样品使用 GC/MS 定性分析.使用 1 L 的进样针,手动进样,每次进样 400 μL .

GC 条件:HP-5 色谱柱,载气为氦气,柱流量为 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$.程序升温条件:初始温度 40℃,保持 4

min,以 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速率升温至 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 4 min ,以 $6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 4 min ,再以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温到 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 2 min . 进样口温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. 分流进样,分流比 $1:1$.

MS 条件:电离方式 EI,电子能量 70 eV ,传输线温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$,离子源温度 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$,四级杆温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,全扫描,扫描范围 m/z 为 $50\sim500$.

2 结果与讨论

2.1 污染指数

应用 SPSS 统计软件建立模型进行 PCA 分析,将传感器 $S_1\sim S_8$ 的响应值作为变量输入,提取了 2 个主成分,如图 7 所示.

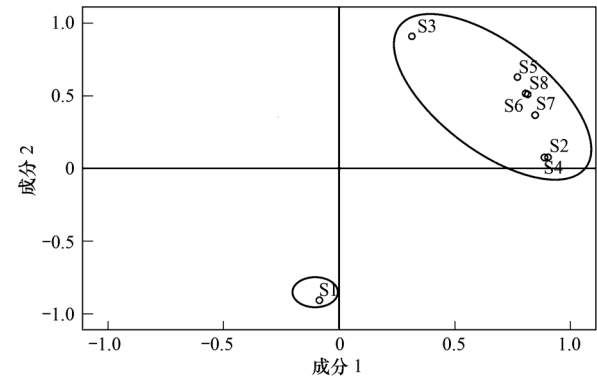


图 7 传感器得分

Fig. 7 Score plot of sensors

根据传感器本身的响应特性和图 7,将 8 个传感器分为 2 类:TVOC 型(S_1)和恶臭型($S_2\sim S_8$).

应用 SPSS 统计软件建立模型进行 PCA 分析,将恶臭型传感器的响应值作为变量输入,提取了一个主成分,各传感器在 PCA 分析中的得分系数(C_i , $i=2,3\cdots8$)如表 2 所示.

表 2 传感器响应值在 PCA 分析中的得分系数

Table 2 Score of sensor response in PCA

传感器	得分系数(C_i)
S_2	0.160
S_3	0.154
S_4	0.158
S_5	0.164
S_6	0.164
S_7	-0.123
S_8	0.161

本研究将 TVOC 型传感器响应值(电压值,单位: mV)换算为异丁烯的当量浓度($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$),定义

为 TVOC 污染指数(TPI);恶臭型传感器响应值(电阻值,单位 $\text{k}\Omega$)通过 PCA 分析得到的综合值定义为恶臭污染指数(OPI). 计算公式如下:

$$\text{TPI} = 15\,318.03(S_1 - 65)/61\,712$$

$$\text{OPI} = \sum_{i=2}^8 S_i \times C_i$$

式中 S_1 为 1.1 节中的 S_1 , S_i 分别为 1.1 节中的 $S_2\sim S_8$.

2.2 工业园区现场检测

在乍浦经济开发区内的化工园区进行了现场检测. 乍浦经济开发区内有浙江乍浦石油化学工业园区、木材加工贸易区、出口服装加工园区和金属制品工业园区,面积为 16.54 km^2 ,大气污染主要产生于化工园区内的 17 家化工企业. 选择园区内 6 个采样点(依次为:1. 联合化学 2. 三江化工 3. 嘉化 4. 协成硅业 5. 福瑞德化工 6. 晓星化工)主要生产环氧乙烷、有机硅混合单体、三氯化磷、氨基硅油、脂肪酸甲酯磺酸盐和乙醇胺等,实时分析,得到各采样点 TPI 和 OPI,如表 3 所示.

表 3 采样点的 TPI 和 OPI

Table 3 TPI and OPI of sampling points

采样点	TPI/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	OPI/ $\text{k}\Omega$
1	56.315 8	1 406.221
2	46.789 5	872.384 8
3	40.263 2	358.665 2
4	40.736 8	351.686 2
5	37.210 5	305.645 2
6	32.684 2	333.464 5

2.3 TVOC 和恶臭污染的成分分析

将每个采样点的定性分析结果按相关定义分为 TVOC 和恶臭 2 类,其中每个采样点 VOC 有 10 多种,恶臭类物质有 8 种以上,主要成分(积分面积百分比在 10% 以上的)如表 4 所示,分别累加各物质的积分面积百分比,结果列于表 5 中.

表 4 采样点主要的 TVOC 和恶臭类物质

Table 4 Main materials of TVOC and odor of sampling points

采样点	TVOC 类	恶臭类
1	环氧烷、烯烃、酯类、硅氧烷	胺、含氨基类
2	硅氧烷、环氧烷、甲酸类	胺、含氨基类、含氯类
3	烯烃、烷烃、硅氧烷、脂类	胺、含氨基类、含氯类
4	硅氧烷、环氧烷、烷烃	含氯类
5	烯烃、烷烃、硅氧烷	胺
6	醇类、烯烃、醚类	氨、含氨基类、含氯类

TPI 和 OPI 与各自的积分面积百分比对比图如图 8 和图 9 所示.

表 5 采样点 TVOC 和恶臭积分面积百分比		
Table 5 Integral area percentage of TVOC and odor of sampling points		
采样点	TVOC/%	恶臭/%
1	95.451	4.549
2	93.980	6.020
3	92.556	7.444
4	92.830	7.170
5	91.523	8.477
6	89.445	10.555

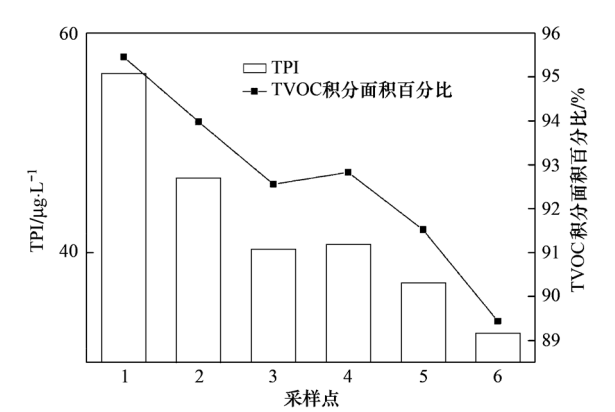


图 8 TPI 与 TVOC 积分面积百分比对比

Fig.8 Comparison chart of TPI and integral area percentage of TVOC

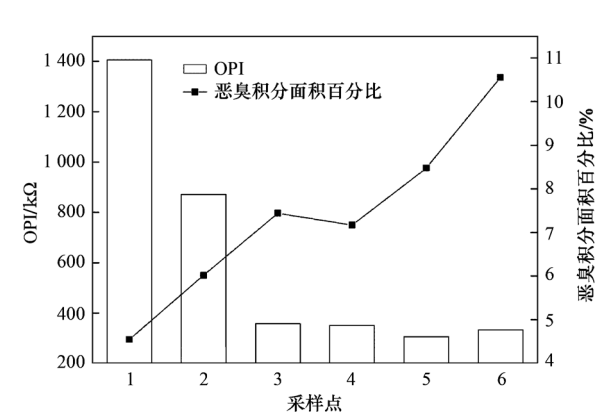


图 9 OPI 与恶臭积分面积百分比对比

Fig.9 Comparison chart of OPI and integral area percentage of odor

其中检测点 1 主要生产硅油和硅氧烷类产品;检测点 2 主要生产有机硅、硅氧烷和硅油类产品;检测点 3 主要生产胺类、甲苯类、脂类和氯磺酸类产品;检测点 4 主要生产多晶硅等产品;检测点 5 主要生产三乙基铝等产品;检测点 6 主要生产醚类、醇类和化纤类产品.各企业之间的空间距离及风等气象因素可能对检测结果产生影响,如检测点 1 定性分析结果中有烯烃类物质,但在其产品生产过程中是不应该出现的.由表 4 可以看出 GC/MS 定性结果与实际基本相符.所以各采样点 VOC 和恶臭物质种

类都比较多,但由表 4、图 8 和图 9 可以看出,各采样点 TVOC 物质积分面积百分比在 10% 以上的累积起来大多都占总面积的 90% 以上而恶臭类物质则大多都在 10% 以下,所以 TVOC 主要成分含量比较高,而恶臭各物质浓度分布比较平均.

将 TPI 和 OPI 显示在地图上,各检测点的污染指数大小与点的大小成正比,如图 10 和图 11 所示,

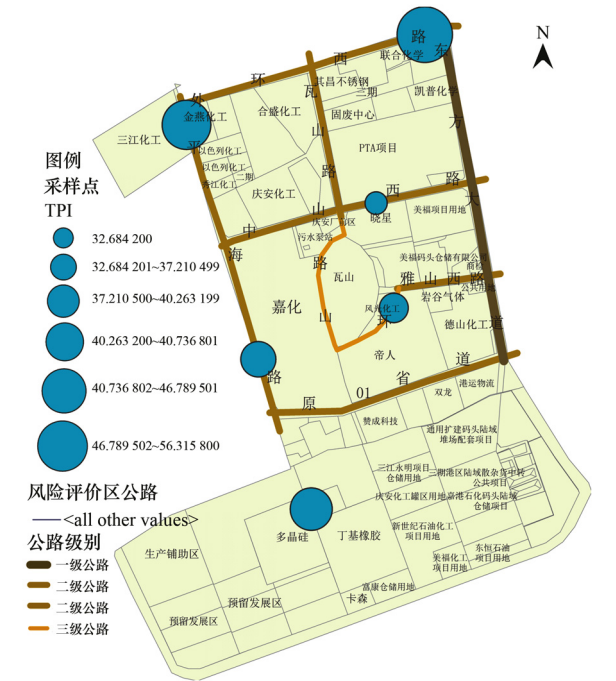


图 10 采样点 TPI 示意

Fig.10 Schematic of TPI of sampling points

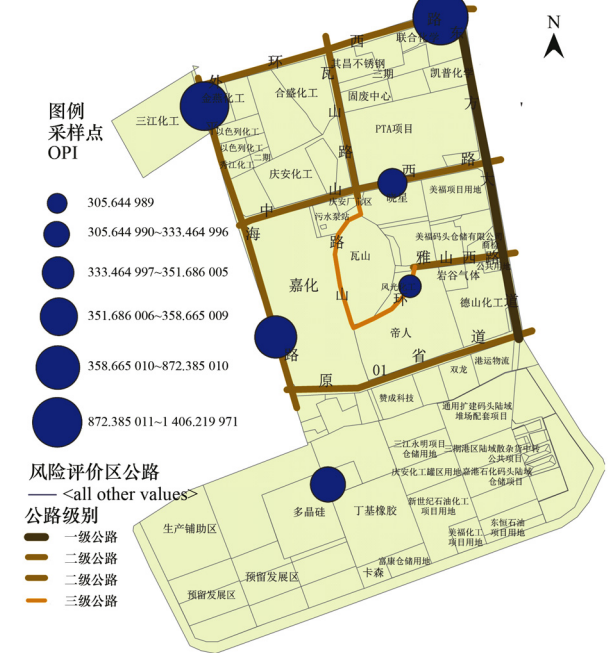


图 11 采样点 OPI 示意

Fig.11 Schematic of OPI of sampling points

建立了工业园区污染分布的直观表示方法,利用此方法直观地表现了6个检测点的TPI和OPI.

3 结论

(1) 选用合适的传感器阵列,结合PCA分析提取主成分,建立了2个污染指数,可以初步反映工业园区内TVOC和恶臭的污染情况.

(2) 结合电子鼻测得的污染指数与GC/MS定性分析结果,发现工业园区内:TVOC浓度较高,主要成分含量比较高;恶臭浓度较高,恶臭物质种类比较多,各种物质分布比较平均.

(3) 电子鼻和GIS技术综合应用到工业园区TVOC和恶臭的检测,能初步用于评估工业园区空间污染的情况.

参考文献:

- [1] 陈秉衡, 阚海东. 城市大气污染健康危险度评价的方法[J]. 环境与健康杂志, 2004, **21**(3): 181-182.
- [2] Hudson N, Ayoko G A, Dunlop M, *et al.* Comparison of odor emission rates measured from various sources using two sampling devices [J]. *Bioresource Technology*, 2009, **100**(1): 118-124.
- [3] Hoffmann J, Gryglewicz G, Hoffmann K, *et al.* Emission of the odor substances from fertilizer industry [J]. *Polish Journal of Chemical Technology*, 2009, **11**(1): 12-15.
- [4] 李湘中. 嗅觉测定技术的进展与恶臭污染管理政策的改进[J]. 环境科学, 1999, **20**(2): 108-110.
- [5] Franke W, Frechen F B, Giebel S. H₂S, VOC, TOC, electronic noses and odor concentration: use and comparison of different parameters for emission measurement on air treatment systems [J]. *Water Science and Technology*, 2009, **59**(9): 1721-1726.
- [6] Huyberegts G, Szczówka P, Roggen J, *et al.* Simultaneous quantification of carbon monoxide and methane in humid air using a sensor array and an artificial neural network [J]. *Sensors and Actuators*, 1997, **45**(2): 123-130.
- [7] Llobet E, Brezmes J, Vilanova X, *et al.* Qualitative and quantitative analysis of volatile organic compounds using transient and steady-state responses of a thick-film tin oxide gas sensor array[J]. *Sensors and Actuators*, 1997, **41**(1-3): 13-21.
- [8] Bastos A C, Magan N. Soil volatile fingerprints: use for discrimination between soil types under different environmental conditions [J]. *Sensors and Actuators*, 2007, **125**(2): 556-562.
- [9] Dewettinck T, Heke K V, Verstraete W. The electronic nose as a rapid sensor for volatile compounds in treated domestic wastewater [J]. *Water Research*, 2001, **35**(10): 2475-2483.
- [10] Bourgeois W, Hogben P, Pike A, *et al.* Development of a sensor array based measurement system for continuous monitoring of water and wastewater [J]. *Sensors and Actuators*, 2003, **88**(3): 312-319.
- [11] Wolfrum E J, Meglen R M, Peterson D, *et al.* Metal oxide sensor arrays for the detection, differentiation, and quantification of volatile organic compounds at sub-parts-per-million concentration levels[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2006, **115**(1): 322-329.
- [12] 张覃轶, 谢长生, 李登峰, 等. 基于纳米 ZnO 气体传感器阵列的乙醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯的识别研究[J]. 传感技术学报, 2006, **19**(3): 552-558.
- [13] 黄小燕, 赵向阳, 方智勇. 电子鼻在气体检测中的应用研究[J]. 传感器与微系统, 2008, **27**(6): 47-52.
- [14] Sohn J H, Hudson N, Gallagher E, *et al.* Implementation of an electronic nose for continuous odour monitoring in a poultry shed [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, **133**(1): 60-69.
- [15] Littarru P. Environmental odors assessment from waste treatment plants: dynamic olfactometry in combination with sensorial analysers "electronic noses" [J]. *Waste Management*, 2007, **27**(2): 302-309.

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	GAO 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