

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)	

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*

(中国科学院生态环境研究中心环境纳米材料研究室,北京 100085)

摘要:采用低温固体吸附采样,热脱附-气相色谱-质谱方法对北京城乡结合地空气中挥发性有机物(VOCs)进行了观测分析,并利用国际公认的健康风险评价四步法评价模型,对北京城乡结合地空气中挥发性有机物的健康风险进行了初步评价.结果表明,芳香族类的非致癌风险值在 $10^{-4} \sim 10^{-1}$ 数量级,卤代烃的非致癌风险值在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 数量级,挥发性有机污染物的非致癌风险系数 < 1 ,不会对暴露人群健康造成明显的非致癌危害.但苯的致癌指数较高(2.21×10^{-5}),超过了 USEPA 的建议值(1×10^{-6}),可能对人体健康造成潜在危害.在一年四季的健康风险中,冬季 VOCs 的健康风险最高,秋季次之,夏季最低.

关键词:北京;城乡结合地;挥发性有机物;健康风险评价;大气

中图分类号:X820.4 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2011)12-3566-05

Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Urban-rural Juncture Belt Area

ZHOU Yu-min, HAO Zheng-ping, WANG Hai-lin

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: A method for determining volatile organic compounds (VOCs) by cryogenic dynamic adsorption in solid adsorbent tubes, subsequent thermal desorption with cryofocusing in a cold trap and analysis by gas chromatography and mass spectrometry was adapted. An internationally recognized four-step evaluation model of health risk assessment (HRA) was adapted to preliminarily assess the health risks caused by volatile organic compounds (VOCs) in urban-rural juncture belt area in Beijing. Results of HRA indicated that non-carcinogenic risk indexes of VOCs are below 1 and non-carcinogenic risk indexes of aromatic substances range from $10^{-4} \sim 10^{-5}$, halohydrocarbons in the $10^{-4} \sim 10^{-1}$. Volatile pollutants would not cause non-carcinogenic health hazard to exposed population. However, the cancer risk index exposed to carcinogenic benzene was 2.21×10^{-5} , which is higher than that suggested value of USEPA (1×10^{-6}) and may cause potential harm to human health. The greatest health risk is in winter, followed by autumn, summer minimum.

Key words: Beijing; urban-rural juncture belt; volatile organic compounds(VOCs); health risk assessment; atmosphere

挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是指沸点在 $50 \sim 260^\circ\text{C}$ 之间,室温下饱和蒸气压超过 133.32Pa ,常温下能以蒸气的形式存在于空气中的易挥发性有机化合物^[1,2],是大气中分布广泛、种类繁多的气体排放物,是对流层光化学烟雾形成的前体物,导致二次有机气溶胶污染,对人体健康有毒性和致癌作用.

城乡结合地外来人口大量积聚,人口、资源、环境矛盾突出,环境复杂,交通和无组织源排放源造成的环境污染对该区域内居民的健康造成危害.目前健康风险评价主要针对室内环境、水体等^[3~10],对城乡结合地大气环境中 VOCs 的健康风险评价研究较少,因此评价城乡结合地 VOCs 产生的健康风险,对采取相应的规划和管理措施,加强对 VOCs 的控制,具有一定的积极意义.

1 健康风险评价方法

风险评价是利用相关的技术和方法来计算环境

中有毒有害物质对人体或环境造成影响的风险特性,对有害物质的人体和环境影响加以量化,从而评估风险发生的几率,也即是在某一特定化学物质的暴露下,可能引起的暴露危害的几率.对于健康风险评价(health risk assessment),是以风险度作为评价指标,定量描述环境污染对人体产生健康危害的风险.美国国家科学院于 1983 年发布了联邦政府的危险评价管理体系^[11],并提出了健康风险评价的四步法,即危害鉴定(hazard identification)、剂量-反应关系评价(dose-response assessment)、暴露评价(exposure assessment)和风险特征分析(risk characterization),该方法已成为国际公认的健康风险评价方法.

收稿日期:2011-05-09;修订日期:2011-08-15

基金项目:国家自然科学基金项目(21007082);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-WY-IS402)

作者简介:周裕敏(1984~),男,硕士,主要研究方向为 VOCs 监测分析与风险评价, E-mail: zym8496@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wanghailin@cees.ac.cn

有害因素对健康的潜在危害可以是物理性、化学性或生物性的,并且当人体累积足够的暴露时,会造成伤害、疾病或死亡. 根据人类流行病学和动物实验资料,可将危害鉴定分为:人类致癌物、很可能的人类致癌物、可能的人类致癌物、不能划为人类致癌物和对人类无致癌证据等 5 类. 本研究选取了 13 种 VOCs 作为此次风险评价的目标,进行了健康风险评价,各物质的名称和健康危害如表 1. 有毒有害污染物进入人体会产生毒性效应,机体毒性效应和污染物存在一定的剂量-效应关系. 对于化学物质,无论毒性或危害程度如何,如果没有暴露就没有危险. 根据物质的致癌性,将评估风险分为非致癌风险和致癌风险.

表 1 挥发性有机物的危害
Table 1 Hazard of VOCs

有机污染物	健康危害
苯	致癌性,暴露高浓度苯会抑制中枢神经,引起急性中毒;长期暴露造成再生不良性贫血、血球减少症、白血病等
甲苯	对黏膜和皮肤具有刺激性,会导致中枢神经官能障碍,肝、肾及心脏损伤,与皮肤接触导致血管扩张、红斑等
乙苯	对皮肤和黏膜具有刺激性,对中枢神经系统具有急性或慢性影响
二甲苯	对眼睛和上呼吸道有刺激作用,对肝脏及肾脏有轻微毒性,高浓度时对中枢神经系统起麻醉作用
苯乙烯	对眼睛和上呼吸道有刺激麻醉作用,是诱变剂,具有潜在致癌作用,暴露接触可能导致失忆,大脑和肝损伤
萘	对肺和眼睛有刺激作用,可导致白内障、谷胱甘肽缺乏症、脂质过氧化等
2-甲基萘	具有细胞毒性、损害纤毛细胞等
三氯甲烷	致癌物,导致肝、肾损伤
四氯乙烯	对肝脏、肾脏有毒性作用,影响中央神经系统
1,2-二氯乙烷	可能的人类致癌物,肝功能损伤、生殖毒性、大脑囊肿等
氟利昂 113	暴露导致心律不齐、脉搏升高
氟利昂 11	暴露导致心律不齐、脉搏升高
乙酸乙酯	对眼、鼻、咽喉有刺激作用,高浓度吸入可引进行性麻醉作用

1.1 非致癌风险评价

环境污染对人体危害的程度,主要取决于污染物进入人体的剂量. 对非致癌物质而言,发生生物化学效应需要达到一定的暴露阈值 (threshold dose),低于阈值则认为不会产生不利于健康的影响. 非致癌风险通常以危害指数 (hazard index, HI) 表示,定义为由于暴露造成的长期摄入量与参考剂

量的比值. 参考剂量代表不会引起明显致癌健康风险的暴露程度,是以每日暴露的剂量来预测长期暴露在此剂量下不会产生任何危害效应. 风险危害指数可用下式计算.

$$HI = \frac{CDI}{RfD}$$

(1)

式中, CDI (chronic daily intake) 为长期日摄入量 [$\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$]; RfD (reference dose) 为污染物的参考剂量 [$\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$].

空气中的有害 VOCs 主要通过呼吸途径进入人体器官内部,呼吸空气途径的长期暴露剂量 CDI 计算公式如下^[5,8,12]:

$$CDI = \frac{c \times IR \times ED \times EF}{BW \times AL}$$

(2)

式中, c 为污染物浓度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$); IR (inhalation rate) 为吸入空气量 ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$); ED (exposure duration) 为暴露时间 ($\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$); EF (exposure frequency) 为暴露频率 (a); BW (body weight) 为体重 (kg); AL (average lifetime) 为平均寿命 (a).

1.2 致癌风险评价

对于致癌性物质,一般没有剂量阈值,只要微量存在,即会对人体产生不利影响. 致癌风险由风险值 (Risk) 表示,通过人体长期实际暴露浓度与致癌斜率因子的乘积来表示,可用式(3)计算.

低剂量暴露: $\text{Risk} = \text{CDI} \times \text{SF}$

(3)

若用低剂量计算值 > 0.01 时,则按高剂量暴露计算:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-\text{CDI} \times \text{SF})$$

(4)

式中, SF (Slope factor) 为污染物致癌斜率因子 ($\text{kg} \cdot \text{d} \cdot \text{mg}^{-1}$),指暴露于每单位剂量所增加的致癌危险度. 一般人可接受的致癌风险为 1×10^{-6} (USEPA), OSHA (美国职业安全与健康署) 建议可承受的致癌风险为 1×10^{-3} .

在计算多种物质的健康风险时,先将各种物质的非致癌风险和致癌风险计算出来,然后再进行加和,忽略协同作用和拮抗作用. 需要注意的是,致癌物也会产生非致癌风险,对其非致癌危害效同样采用公式(1)计算. 若加和危害指数 > 1 ,则污染物对人体具有非致癌风险危害,需要采取一定的防护和缓解措施.

1.3 参数值选取

本研究采用的风险评估方法,剂量-反应关系数据采用美国 EPA 的综合风险信息数据库 (IRIS) 数据库中的推荐值^[13],针对本区域居民进行的健康风险

评价. 主要通过计算污染物的风险指数来评估本地区 VOCs 存在的健康风险, 计算公式中污染物对应的参考剂量 RfD 和致癌斜率因子 SF 值见表 2. 就本区域的健康风险而言, 主要针对本区域工作人员, 老人和小孩不在考虑范围. 假定描述如下: 暴露频率为 30 a, 暴露时间为除去法定节假日的正常工作时间 (1 d 以 8 h 计); 根据美国 EPA 的数据, 成人每日吸入环境空气体积为 $20\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, 平均寿命为 70 a, 成人平均体重 70 kg, 对污染物的吸收率为 90%^[12].

根据表 2 中所列各挥发性有机污染物的参考剂量和致癌因子等参数代入公式 (1) ~ (4) 中, 计算得到的挥发性有机污染物的长期日摄入量、致癌与非致癌风险指数见表 3.

表 2 化合物毒性因子

Table 2 Toxicity factor for chemicals of concern

有机污染物	RfD/ $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	SF/ $\text{kg}\cdot\text{d}\cdot\text{mg}^{-1}$
苯	4×10^{-3}	3.5×10^{-2}
甲苯	8×10^{-2}	
乙苯	1×10^{-1}	
二甲苯	2×10^{-1}	
苯乙烯	2×10^{-1}	
萘	2×10^{-2}	
2-甲基萘	4×10^{-3}	
三氯甲烷	2×10^{-2}	
四氯乙烯	2×10^{-2}	
1, 2-二氯乙烷		9.1×10^{-2}
氟利昂 113	3×10	
氟利昂 11	3×10^{-1}	
乙酸乙酯	9×10^{-1}	

表 3 空气中 VOCs 长期日摄入量和健康风险值

Table 3 Chronic daily intake (CDI) and Health risk of VOCs

有机污染物	长期日摄入量 / $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	非致癌风险	致癌风险
苯	6.32×10^{-4}	1.58×10^{-1}	2.21×10^{-5}
甲苯	5.96×10^{-5}		2.39×10^{-7}
乙苯	1.35×10^{-3}	1.69×10^{-2}	
二甲苯	7.76×10^{-4}	7.76×10^{-3}	
苯乙烯	2.11×10^{-3}	1.06×10^{-2}	
萘	6.03×10^{-4}	3.02×10^{-3}	
2-甲基萘	2.78×10^{-4}	1.39×10^{-2}	
三氯甲烷	6.44×10^{-5}	1.61×10^{-2}	
四氯乙烯	6.16×10^{-5}	3.08×10^{-3}	
1, 2-二氯乙烷	8.87×10^{-5}	4.44×10^{-3}	
氟利昂 113	1.08×10^{-4}	3.60×10^{-6}	
氟利昂 11	9.12×10^{-5}	3.04×10^{-4}	
乙酸乙酯	1.48×10^{-4}	1.64×10^{-4}	
危害指数/风险值		0.234 2	2.24×10^{-5}

2 结果与讨论

利用 USEPA 的健康风险暴露模型, 对空气中挥发性有机物的健康风险进行了评价. 从表 3 可以看出, 各有害物质的危险指数 HI (非致癌风险) 在 $3.60\times 10^{-6}\sim 1.58\times 10^{-1}$ 之间, 苯系物非致癌风险值 $>10^{-3}$ 数量级, 苯、甲苯、乙苯是空气中最主要的有害 VOCs. 非致癌风险指数为 0.234 2, 致癌物的风险值为 $2.39\times 10^{-7}\sim 2.21\times 10^{-5}$, 空气中 VOCs 对人体的健康影响以非致癌风险为主. 我国目前还没有明确的健康风险评估标准, 参照欧美的标准, 致癌风险标准在 $10^{-5}\sim 10^{-6}$ 之间, 对于非致癌风险, 当风险指数未超过 1 时, 不会对人体造成明显伤害. 从表 3 中的结果看, 非致癌风险值在安全范围之内, 说明这些污染物不会对暴露人群健康造成明显的非致癌危害. 但是苯的致癌指数超过美国 EPA 的致癌风险值 (1×10^{-6}), 表明空气中苯对人体健康具有明显影响, 长期暴露易对暴露人群健康造成危害, 存在较大的致癌风险. 人体健康致癌风险管理的目标是将致癌物质的致癌风险控制在安全范围内, 如果超出安全的致癌风险范围, 需采取的一定的措施控制污染物的排放, 确保区域内居民的身体健康.

季节健康风险评价的长期日摄入量和危险指数见表 4、表 5, 从中可以看出, 空气中挥发性有机污染物对人体健康的潜在风险出现明显的季节变化特征, 冬季 VOCs 的健康风险最高, 秋季次之, 夏季最低. 这与有毒有害 VOCs 的季节浓度变化有关, 由于夏季气温高, 大气对流强, 天气条件有利于发生光化学反应, 光化学作用增强, 消耗更多的 VOCs, 降低有害物质浓度, 而冬季、秋季气候不利于污染物的扩散和降解, 同时冬季供暖燃煤等源排放增强, 增大了人群的暴露量.

本研究基于大气环境健康风险评价模型评价了城乡结合地空气中 VOCs 的健康风险, 只是一个初步的尝试. 但由于国内外经济发展、环境污染和人群等的不同, 人群暴露-剂量反应关系会有一定的差异, 模型和参数值选取主要来源于美国 EPA, 且对一些影响因素采取了忽略方式, 选用标准对计算结果可能造成一定的影响, 所以风险值的计算结果和健康风险评价都存在一定的不确定性和局限, 不足以真正揭示空气中污染物对人体健康的潜在危害, 有待今后进一步研究, 加以改进和完善.

表 4 春夏秋冬季日摄入量/ $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$
Table 4 Seasonal chronic daily intake (CDI)/ $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$

有机污染物	日摄入量			
	春	夏	秋	冬
苯	9.70×10^{-5}	9.45×10^{-5}	2.65×10^{-4}	5.15×10^{-4}
1, 2-二氯乙烷	2.46×10^{-5}	1.05×10^{-5}	2.52×10^{-5}	2.86×10^{-5}
甲苯	2.72×10^{-4}	2.15×10^{-4}	5.84×10^{-4}	9.87×10^{-4}
乙苯	2.21×10^{-4}	1.12×10^{-4}	3.41×10^{-4}	5.12×10^{-4}
二甲苯	6.81×10^{-4}	2.49×10^{-4}	7.72×10^{-4}	1.53×10^{-3}
苯乙烯	3.57×10^{-4}	7.13×10^{-5}	1.61×10^{-4}	3.44×10^{-4}
萘	7.37×10^{-5}	6.74×10^{-5}	7.37×10^{-5}	1.84×10^{-4}
2-甲基萘	3.13×10^{-5}	7.15×10^{-6}	1.51×10^{-5}	4.24×10^{-5}
三氯甲烷	1.68×10^{-5}	7.77×10^{-6}	2.22×10^{-5}	3.23×10^{-5}
四氯乙烯	2.51×10^{-5}	9.25×10^{-6}	3.05×10^{-5}	3.85×10^{-5}
氟利昂 113	2.56×10^{-5}	2.54×10^{-5}	4.65×10^{-5}	4.90×10^{-5}
氟利昂 11	2.65×10^{-5}	1.87×10^{-5}	3.83×10^{-5}	4.23×10^{-5}
乙酸乙酯	4.03×10^{-5}	1.41×10^{-5}	5.03×10^{-5}	6.96×10^{-5}

表 5 一年四季健康风险评价
Table 5 Seasonal health risk

有机污染物	非致癌风险				致癌风险			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
苯	2.42×10^{-2}	2.36×10^{-2}	6.62×10^{-2}	1.29×10^{-1}	3.39×10^{-6}	3.31×10^{-6}	9.27×10^{-6}	1.80×10^{-5}
1, 2-二氯乙烷					9.84×10^{-8}	4.21×10^{-8}	1.01×10^{-7}	1.15×10^{-7}
甲苯	3.40×10^{-3}	2.69×10^{-3}	7.30×10^{-3}	1.23×10^{-2}				
乙苯	2.21×10^{-3}	1.12×10^{-3}	3.41×10^{-3}	5.12×10^{-3}				
二甲苯	3.40×10^{-3}	1.24×10^{-3}	3.86×10^{-3}	7.63×10^{-3}				
苯乙烯	1.78×10^{-3}	3.56×10^{-4}	8.06×10^{-4}	1.72×10^{-3}				
萘	3.68×10^{-3}	3.37×10^{-3}	3.69×10^{-3}	9.19×10^{-3}				
2-甲基萘	7.82×10^{-3}	1.79×10^{-3}	3.78×10^{-3}	1.06×10^{-2}				
三氯甲烷	8.40×10^{-4}	3.89×10^{-4}	1.11×10^{-3}	1.61×10^{-3}				
四氯乙烯	1.26×10^{-3}	4.62×10^{-4}	1.53×10^{-3}	1.93×10^{-3}				
氟利昂 113	8.53×10^{-7}	8.48×10^{-7}	1.55×10^{-6}	1.63×10^{-6}				
氟利昂 11	8.83×10^{-5}	6.24×10^{-5}	1.28×10^{-4}	1.41×10^{-4}				
乙酸乙酯	4.48×10^{-5}	1.57×10^{-5}	5.59×10^{-5}	7.74×10^{-5}				
危险指数 (HI) /风险值 (risk)	4.88×10^{-2}	3.51×10^{-2}	9.19×10^{-2}	1.79×10^{-1}	3.49×10^{-6}	3.35×10^{-6}	9.37×10^{-6}	1.82×10^{-5}

3 结论

(1) 苯、甲苯、乙苯是空气中最主要的有害 VOCs,非致癌危险指数为0.234 2,致癌物的致癌风险在 $2.39 \times 10^{-7} \sim 2.21 \times 10^{-5}$ 之间,空气 VOCs 对人体的健康影响以非致癌风险为主。

(2) 苯的致癌风险指数为 2.21×10^{-5} ,超过了 EPA 规定的致癌风险值 (1×10^{-6}),存在较大的致癌风险。

(3) 一年四季的健康风险依次是冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。

(4) 模型及参数值选取来自 USEPA,是否适用有待进一步验证。

参考文献:

[1] Maroni M, Seifert B, Lindvall T. Indoor air quality: a comprehensive reference book[M]. Elsevier Science, 1995.

[2] WHO. Air quality guidelines for Europe. WHO regional publications, European series no. 23. [S]. World Health Organisation Regional Office for Europe, Copenhagen, 1987.

[3] Domingo J L, Nadal M. Domestic waste composting facilities: A review of human health risks[J]. Environment International, 2009, 35(2): 382-389.

[4] Hughes K, Meek M, Caldwell I. 1, 2-Dichloroethane: Evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part C, 1994, 12(2): 293-303.

[5] Lee C, Dai Y, Chien C, et al. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers[J].

- Environmental Research, 2006, **100**(2): 139-149.
- [6] Morello-Frosch R, Woodruff T, Axelrad D, *et al.* Air toxics and health risks in california; The public health implications of outdoor concentrations[J]. Risk Analysis, 2000, **20**(2): 273-292.
- [7] Pilidis G, Karakitsios S, Kassomenos P, *et al.* Measurements of benzene and formaldehyde in a medium sized urban environment. Indoor/outdoor health risk implications on special population groups[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, **150**(1): 285-294.
- [8] Guo H, Lee S C, Chan L Y, *et al.* Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments [J]. Environmental Research, 2004, **94**(1): 57-66.
- [9] 张映映, 冯流, 刘征涛. 长江口区域水体半挥发性有机污染物健康风险评价[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(1): 18-23.
- [10] 马进军, 朱宏亮, 赵三军, 等. 某再生水景观瀑布的挥发性有机物健康风险评价[J]. 环境与健康杂志, 2008, **25**(7): 604-608.
- [11] National Research Council. Risk assessment in the federal government: Managing the process [M]. National Academy Press, Washington, DC, 1983.
- [12] USEPA: EPA/540/1-89/002. Office of Emergency and Remedial Response[C]. US EPA. , Washington DC, 1989.
- [13] USEPA, 2003. Integrated risk information system (IRIS) [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ncea/iris/index.html>.

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

国内外公开发行人