

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



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,宴颖,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炔废气的研究	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,何焜(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,李奇峰,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)	

VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评估

房增强¹, 甘平², 杨乐¹, 戴子瑜¹, 祁世鸿¹, 贾建丽¹, 何绪文¹

(1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083; 2. 北京建工环境修复有限责任公司, 北京 100045)

摘要: 开展了在典型污染场地修复过程中 VOCs 散逸浓度检测实验, 并且建立了 3 条暴露途径对修复过程进行健康风险评估。结果表明, 单污染物多途径累计非致癌指数最高的是四氯化碳, 高达 $8.86\text{E}+01$, 其对综合非致癌影响贡献率为 74.45%。多污染物质同一暴露途径危害指数最高的是呼吸暴露途径: $1.01\text{E}+02$, 占综合危害指数的 84.87%, 非致癌综合危害指数为 $1.19\text{E}+02$ 。单污染物多途径累计致癌指数最高的是 1,2-二氯乙烷: $3.08\text{E}-02$, 其对综合致癌影响贡献率为 69.53%。多污染物质同一暴露途径危害指数最高的是呼吸暴露途径: $3.96\text{E}-02$, 占综合致癌指数的 89.39%, 总致癌危害指数达到 $4.43\text{E}-02$ 。

关键词: VOCs; 污染场地修复; 健康风险评估; 暴露途径; 致癌风险; 非致癌风险

中图分类号: X53; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4612-07

Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site

FANG Zeng-qiang¹, GAN Ping², YANG Le¹, DAI Zi-yu¹, QI Shi-hong¹, JIA Jian-li¹, HE Xu-wen¹

(1. School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. BCEG Environmental Remediation Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: The dissipative concentration test of VOCs in the remediation process of a typical contaminated site was operated, and three routes of exposure were set up for health risk assessment in the repair process. Analysis showed that carbon tetrachloride was the single pollutant with highest multi-route cumulative non-carcinogenic index, which was as high as $8.86\text{E}+01$, and its contribution rate to the integrated non-carcinogenic effects was 74.45%. Respiratory exposure was the exposure route with highest multi-pollutant hazard index, which was $1.01\text{E}+02$, accounting for 84.87% of the comprehensive risk index, and the index of integrated non-carcinogenic damage was $1.19\text{E}+02$. 1,2-dichloroethane was the single pollutant with highest multi-route cumulative carcinogenic index, which was as high as $3.08\text{E}-02$, and its contribution rate to the integrated carcinogenic effects was 69.53%. Respiratory exposure was the exposure route with highest multi-pollutant hazard index, which was $3.96\text{E}-02$, accounting for 89.39% of the comprehensive risk index, and the index of integrated carcinogenic damage was $4.43\text{E}-02$.

Key words: VOCs; remediation of contaminated sites; health risk assessment; exposure pathways; carcinogenic risk; non-carcinogenic risk

随着我国城市化进程的加快,土地资源越发的稀缺,大量的 VOCs 污染场地将会进行场地修复,然而,对场地修复过程的健康风险评估研究很少,因此,污染场地及其修复过程的健康风险评估变的尤其重要。前期,一些环保工作者对污染场地的健康风险评估做了一定的研究。孟宪林等^[1]、曾光明等^[2]最先对健康风险评估的方法进行了介绍和解释,研究确定了一些健康风险评估中的参数,并对不确定性进行了分析。王永杰等^[3]研究并概述了健康风险评估中最可能的不确定性问题。此后,开展了水污染、土壤污染、大气污染等相关的健康风险评估研究。李如忠等^[4]研究合肥市城区地表灰尘重金属分布特征并且开展了环境健康风险评估,常静等^[5]对上海地表灰尘中重金属污染物进行了健康风险评估。高继军等^[6]现场调查与检测了北京城区及郊区水源中的 Cu、Hg 等重金属的浓度,应用美

国健康风险评估模型对由饮水方式引起的人群健康风险进行了初步的评价,王若师等^[7]对东江流域典型乡镇饮用水源地。姜林等^[8]基于地下水暴露途径开展了健康风险评估,并对修复案例进行了研究。孙树青等^[9]、苏伟等^[10]采用健康风险评估的方法对水环境对人体健康风险进行了评价。陈鸿汉等^[11]和湛宏伟等^[12]探讨了污染场地健康风险评估的理论和方法,对不同污染物以及不同途径的暴露方式进行研究,总结提出叠加风险和多种暴露途径同种污染物人群健康风险的概念。周裕敏等^[13]对北京城乡结合地空气中挥发性有机物进行了健康风险评估,彭驰等^[14]对北京科教园区绿地土壤中多环芳

收稿日期: 2013-07-02; 修订日期: 2013-08-13

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201109017); 中国矿业大学(北京)大学生创新创业训练计划项目(Y20131310)

作者简介: 房增强(1988~),男,硕士,主要研究方向为污染场地修复、健康风险评估, E-mail: 891698088@qq.com

烃的残留特征与潜在风险进行了研究,郭观林等^[15]、王静等^[16]、余世清等^[17]对不同污染场地中的 VOCs/SVOCs、PAHs、六六六和滴滴涕污染物开展了健康风险评价,姜林等^[18]研究了 PRA 在焦化厂污染土壤健康风险评价中的应用. 本研究结合实际污染场地修复案例,进行实地采样检测,完成场地挖掘修复过程的健康风险评价,既可探讨确立污染场地修复过程健康风险评价方法,也可为污染场地修复现场防护以及场地污染防治决策提供依据.

1 材料与方法

1.1 健康风险评价方法

1.1.1 暴露途径模型

暴露途径的建立是健康风险评价最开始的部分,由于挖掘造成的挥发性有机物(VOCs)对人群的危害有很多途径,根据污染土壤治理过程中的实际调查分析,建立“污染区→散逸点(挖掘点)→污染物的暴露途径→暴露点”的暴露概念模型图.

本研究指出 VOCs 的暴露途径主要包括 3 条,如图 1 所示. 途径 1:土壤挖掘过程中污染物散逸到空气中,通过呼吸暴露于目标人群. 途径 2:土壤挖掘过程中污染土壤与人的可能接触,通过皮肤接触暴露于目标人群. 途径 3:挖掘现场产生的污染性颗粒物,随呼吸系统进入体内,虽然量较少但是危害较大,所以也考虑在内. 污染区水体接触较少且不引用现场地下水,所以暂不考虑污染地下水造成的健康风险.

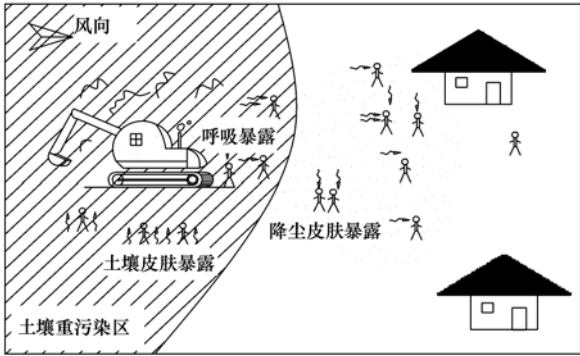


图 1 暴露概念模型

Fig. 1 Exposure conceptual model

1.1.2 健康风险评价指标参数的确定

健康风险评价指标参数主要分为 3 种:①与暴露人群属性相关的指标,可称为生理学指标,如体重、寿命、呼吸速率、皮肤表面积和日饮水量等;②与化学物质性质相关的指标,包括皮肤吸收因子、胃肠吸收因子、皮肤渗透系数以及土壤对皮肤的粘附系数等;③风险评价指标,包括风险表征指标和风险评价标准两个亚类. 本研究将根据实际情况对健康风险评价指标参数进行确定. 人体生理因子会因年龄、性别和种族不同而不同,人体接触污染物的皮肤表面积越大,吸收的污染物越多, Burmaster^[19]通过统计 401 名被调查者的体重、身高和皮肤表面积数据,采用多元回归分析建立了面积公式进行估算,人体各部分皮肤表面积计算,查阅相关的资料文献将人体各部分皮肤面积汇总(表 1). 本研究修复现场平均工作时间为 8 h·d⁻¹,暴露人群为成年人,平均体重取 70 kg.

表 1 人体各部分皮肤表面积/m²

Table 1 Statistics of every part of the body skin surface area/m²

身体组成部分	男性			女性		
	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值
头部	0.118	0.09	0.161	0.11	0.095 3	0.127
躯干(含颈部)	0.569	0.306	0.893	0.542	0.437	0.867
上肢	0.319	0.169	0.429	0.276	0.215	0.333
手臂	0.228	0.109	0.292	0.21	0.193	0.235
上臂	0.143	0.122	0.156	—	—	—
前臂	0.114	0.094 5	0.136	—	—	—
手	0.084	0.059 6	0.113	0.074 6	0.063 9	0.082 4
下肢	0.636	0.283	0.868	0.626	0.492	0.809
腿	0.505	0.221	0.656	0.488	0.423	0.585
大腿	0.198	0.128	0.403	0.258	0.258	0.36
小腿	0.207	0.093	0.296	0.194	0.165	0.229
脚	0.112	0.061 1	0.156	0.097 5	0.083 4	0.115
总表面积	1.94	1.66	2.28	1.69	1.45	2.09

皮肤吸收因子、胃肠吸收因子和皮肤渗透系数等是一类主要反映化学物质特性的参数. 皮肤吸收

因子(ABS)用于估算皮肤的化学物质吸收量. 查阅文献,整理皮肤吸收、渗透因子如表 2.

表 2 皮肤吸收和渗透因子

Table 2 Statistics of dermal absorption and permeate divisor

挥发性有机物名称	皮肤吸收因子 (ABS)	皮肤渗透系数 /cm·h ⁻¹
氯仿	0.01	0.008 9
四氯化碳	0.01	0.022 4
1,1-二氯乙烷	0.01	0.008 9
1,1,2-三氯乙烷	0.01	0.015 7
1,1-二氯乙烯	0.01	0.015 9
1,2-二氯乙烷	0.01	0.005 3
苯	0.01	0.020 7
三氯乙烯	0.01	0.015 7
四氯乙烯	0.01	0.048 1
1,1,1,2-四氯乙烷	0.01	0.009 9

1.1.3 暴露量化模型的建立

根据暴露途径,确定暴露量化模型^[12]. 人群污染物摄取量化是健康风险评价中的重要部分.

(1)呼吸暴露量模型

人体通过呼吸方式摄取的污染物质包括挥发性污染气体和污染性可吸入颗粒物,挥发性有机污染物进入体内,危害人体健康^[20]. 呼吸挥发性气体摄取量计算可表示为:

$$ADD = \frac{c \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

式中,ADD(absorbed dose)为呼吸暴露 VOC 的日均暴露剂量, [mg·(kg·d)⁻¹]; IR 为呼吸速率 (m³·d⁻¹)取 20 m³·d⁻¹; c 为环境空气中 VOC 的质量浓度 (mg·m⁻³); ET 为每次事件暴露时间 (h/次)取 5 h·d⁻¹; EF 为暴露频率 (d·a⁻¹); ED 为暴露持续时间 (a); BW 为人体质量 (kg); AT 为平均暴露时间 (d); EF = (年暴露月数 × 月工作日数 - 法定节假日数) × 日工作小时数 × 暴露概率 ÷ 24 h (法定节假日取 10 d,工作年限按 35 a 计).

(2)呼吸污染性颗粒物暴露量模型

一般的场地健康风险评价会忽略空气中降尘对人体造成的健康风险,然而由于颗粒物可以经呼吸系统进入身体内部,会更容易地对身体造成伤害,即使微量的污染物,也易对人产生较大的危害. 另外,污染场地修复现场,含有更多的污染性颗粒物. 本文因研究污染土壤挖掘现场的健康风险评价,在挖掘过程中产生大量的降尘,为了严谨,本研究将污染性颗粒物纳入考虑范围. 计算方式如下:

$$Intake = \frac{CP \times FP \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

式中,CP 为空气中可吸入颗粒物的含量 (mg·m⁻³); FP 为颗粒物中污染物的含量 (mg·kg⁻¹); 其他字母

所代表含义见式(1).

(3)皮肤接触暴露量模型

皮肤接触污染物质在场地修复过程中是很重要的一个暴露途径. 根据相关研究,土壤对皮肤的粘附系数 F_{adh} 取 0.2. 可能暴露情形分为两种:夏天工人们穿短袖短裤工作和冬天工人们穿长袖长裤工作,两种情况下所取的暴露面积不同,经计算分别是 $SA_1 = 0.756 \text{ m}^2$ 、 $SA_2 = 0.202 \text{ m}^2$. 计算式应采用式(3):

$$ADD = \frac{c_s \times F_{adh} \times SA_1 \times ABS \times EF_1 \times ED \times CF}{BW \times AT} + \frac{c_s \times F_{adh} \times SA_2 \times ABS \times EF_2 \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (3)$$

式中,ABS 为皮肤吸收系数,0.01.

1.2 修复现场实验

1.2.1 污染土壤收集与检测

为保证人体健康,采取最大暴露量的情形,因此,采样地点选取在重度污染地区. 以重度污染区为检测区域,选用对角线取样法. 人为划污染区对角线,在对角线上,均匀设 3 个采样点,每个采样点在纵向上取两个样,分别距地表 1.0、1.5 m. 采用的检测方法是气相色谱/质谱法分析 VOC,检测标准 USEPA8260C: 2006.

1.2.2 污染气体收集与检测

气体采样布点方法一般包括功能区布点法、几何图形布点法(网格布点法同心圆布点法、扇形布点法)^[21]. 为了较准确合理地获取土壤搅动过程中挥发性有机物的扩散浓度,采取扇形布点法(图 2). 以点源为顶点,主导风向为主采样线,在下风向地面上作扇形取样区,采样线上布点先密后疏,主采样线两侧 30°各设一条采样线,在主采样线上,离污染源的距离分别设为 1、3、5、10、15、20、25 和 30 m. 主采样线两侧每条采样线上的布点距离为 1、3、5、10、15、20 和 25 m. 采样时,便携式风速风向仪 PH-1A,测得风向为东偏北,风速为 1.1 m·s⁻¹. 利

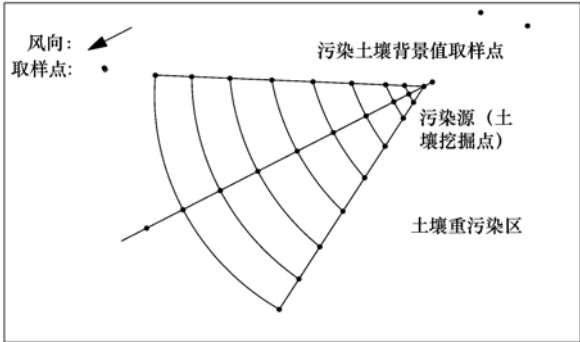


图 2 污染土壤取样点分布示意

Fig. 2 Distribution of contaminated soil sampling points

用空盒气压表 DYM3 测得气压值为 102.24 kPa,气温为 11℃,大气相对湿度为 67%,总云量为 7 成,低云量 5 成。

比较常用的空气样品采集方法大致可以分为 4 种:全量空气采样法、固体吸附剂采样法、静态固相微萃取法和活性炭纤维采样法^[22]。为准确得到呼吸暴露量,取样高度设成人体呼吸相似高度 1.5 m。将 22 个采样器严格按照采样点放置,同时进行采样。采样器 QC-1B 连接 Czmero 管,采样填料 CarbopackC/CarbopackB/CarbosieveS 3 种,采样时间为 20 min,流量为 0.1 L·min⁻¹,样品储存时,要密封冷藏。

1.3 毒性评估

毒性评估指分析受试物引起暴露人群不良健康反应的各种证据,估计暴露强度与不良反应增加的可能性和不良健康反应程度之间的关系,对人体健康危害进行定性和定量估算^[23,24]。根据化学物质对人体的致癌和非致癌毒性,毒性评估分为致癌和非致癌毒性评估。

1.3.1 非致癌风险

单个污染物单一暴露途径的非致癌风险通过平均到整个暴露作用期的平均每日单位体重摄入量(CDI)除以慢性参考剂量(RfD)计算得出,以 HQ(hazard quotient)表示,计算式如下^[12]:

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \tag{4}$$

对于多个污染物多种途径的联合非致癌风险,以 HI(hazard index)表示,计算式为:

$$HI = \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{n_2} \frac{CDI_{ij}}{RfD_{ij}} \tag{5}$$

式中,CDI_{ij}为第*i*种污染物第*j*种暴露途径的平均每日单位暴露量;RfD_{ij}为第*i*种污染物第*j*种暴露途径的慢性参考剂量;*n*₁为非致癌影响的污染物个数;*n*₂为暴露途径的个数。

1.3.2 致癌风险

单个污染物单一暴露途径的致癌风险通过平均到整个暴露作用周期的平均每日单位体重摄入量(CDI)和致癌斜率因子(SF)计算得出,以风险值*R*表示。当暴露人群处于低风险水平(估算风险值在 0.01 以下)时,采用线性低剂量致癌风险模型,计算式:*R* = CDI × SF。当暴露人群处于高风险水平(估算风险值高于 0.01)时,采用一次冲击模型,计算式:*R* = 1 - exp(- CDI × SF)。

多个污染物多种暴露途径的联合致癌风险计算式如下:

$$R = \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{n_2} CDI_{ij} \times SF_{ij} \tag{6}$$

$$R = \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{n_2} [1 - \exp(- CDI_{ij} \times SF_{ij})] \tag{7}$$

式中,CDI_{ij}为第*i*种污染物第*j*种暴露途径的平均每日单位暴露量;RfD_{ij}为第*i*种污染物第*j*种暴露途径的慢性参考剂量;*n*₁为非致癌影响的污染物个数;*n*₂为暴露途径的个数。本研究相关的污染物的毒行数据主要来源与美国环保局综合风险信息系统(IRIS)^[25]整理如表 3 所示。

表 3 健康风险评价指标¹⁾

污染物名称	非致癌参考剂量/mg·(kg·d) ⁻¹			致癌斜率因子/mg·(kg·d) ⁻¹			致癌分类
	经口暴露 RfD _o	皮肤暴露 RfD _d	呼吸暴露 RfD _i	经口暴露 SF _o	皮肤暴露 SF _d	呼吸暴露 SF _i	
1,1-二氯乙烯	5.0E-2	5E-2	5.71E-2	6E-1	6E-1	1.75E-1	C
1,2-二氯乙烷	2E-2	2E-2	2.0E-2	9.1E-2	9.1E-2	9.1E-2	B ₂
氯仿	1E-2	2E-3	—	6.1E-3	3.05E-2	8.05E-2	—
苯	4E-3	3.88E-3	8.57E-3	5.5E-2	5.67E-2	2.73E-2	A
四氯化碳	7E-4	4.55E-4	—	1.3E-1	2E-1	5.25E-2	B ₂
三氯乙烯	3E-4	4.5E-5	1.14E-2	4.0E-1	2.67E0	4E-1	B ₂
四氯乙烯	1E-2	1E-2	1.71E-1	5.4E-1	5.4E-1	2.07E-2	B ₂
1,1-二氯乙烷	2E-1	2E-1	1.43E-1	—	—	—	—
1,1,2-三氯乙烷	—	—	—	—	—	—	—
1,1,1,2-四氯乙烷	—	—	—	—	—	—	—

1) “—”表示未查出或还没有明确的研究结果,未明确结果的物质,经呼吸暴露以四氯乙烯为标准,经皮肤暴露以苯为标准

2 结果与讨论

2.1 污染土壤检测结果

参照 USEPA8260C 关于气相色谱/质谱法分析

VOC 的标准,使用的检测仪器为气相色谱质谱联用仪(7980-5975C)。将检测结果统计列于表 4 中。

考虑到化工厂旧址内不同地点污染浓度不同,例如生产车间污染土壤浓度偏高,生活办公区的污

表 4 污染物浓度值结果¹⁾/mg·kg⁻¹
Table 4 Concentrations of pollutants/mg·kg⁻¹

VOCs/SVOCs	土壤检测结果									
	1,1-二氯 乙烯	1,2-二氯 乙烷	氯仿	苯	四氯化碳	三氯乙烯	四氯乙烯	1,1-二氯 乙烷	1,1,2-三氯 乙烷	1,1,1,2-四氯 乙烷
1 号(1.0 m)	1.26	10.0	2.89	0.05 L	0.05 L	0.583	0.05 L	0.05 L	0.05 L	0.05 L
1 号(1.5 m)	0.824	7.31	2.00	0.05 L	0.05 L	0.448	0.05 L	0.05 L	0.05 L	0.05 L
2 号(1.0 m)	3.09	16.4	8.57	0.05 L	9.32	1.42	6.14	10.0	2.38	0.05 L
2 号(1.5 m)	0.934	9.91	4.22	0.05 L	4.08	0.875	3.36	4.62	0.05 L	0.05 L
3 号(1.0 m)	58.8	84.6	138	44.2	332	27.2	87.7	99.4	0.05 L	0.05 L
3 号(1.5 m)	3.25	30.2	4.51	6.06	6.19	3.39	18.0	9.12	0.05 L	0.05 L
污染物均值	11.36	26.40	26.70	8.38	58.60	5.65	19.20	20.52	0.44	0.05

1) 样品状态为黄褐色、潮、砂壤土、无植物根系; 采样方法为瞬时采样

染土壤浓度偏低,不同深度的污染物浓度也有很大差异. 因此,污染场地中污染物污染程度不同,污染浓度分布不均匀,为准确考虑污染场地的污染结果,不删除监测点测试结果差别较大的数据.

2.2 污染空气检测结果

用固体吸附-热脱附气相色谱质谱法,以氮气为载气,载气流量控制在 60 mL·min⁻¹,经 10 min 的脱附时间,污染物浓度值结果整理如表 5.

表 5 污染物浓度值结果¹⁾/mg·m⁻³
Table 5 Concentrations of pollutants/mg·m⁻³

VOCs/SVOCs	污染物浓度值结果									
	1,1-二氯 乙烯	1,2-二氯 乙烷	氯仿	苯	四氯化碳	三氯乙烯	四氯乙烯	1,1-二氯 乙烷	1,1,2-三氯 乙烷	
1 号	0.326	5.49	0.323	9.22 × 10 ⁻²	0.483	1.92 × 10 ⁻²	0.075 0	0.151	—	
2 号	0.316	22.2	0.417	0.121	5.11	0.118	0.183	2.47	0.964	
3 号	0.407	26.3	4.51	0.120	4.09	0.145	0.208	2.55	1.16	
4 号	0.296	26.5	4.11	0.152	3.76	0.146	0.219	2.14	1.24	
5 号	0.098 9	19.3	2.43	0.139	3.19	0.104	0.174	1.23	0.820	
6 号	0.197	15.1	1.90	9.80 × 10 ⁻²	2.89	7.51 × 10 ⁻²	0.114	1.04	0.548	
7 号	0.051 2	5.49	0.323	9.22 × 10 ⁻²	0.483	1.92 × 10 ⁻²	0.075 0	0.151	—	
8 号	0.544	22.2	0.417	0.121	5.11	0.118	0.183	2.47	0.964	
9 号	0.449	26.3	4.51	0.120	4.09	0.145	0.208	2.55	1.16	
10 号	0.263	26.5	4.11	0.152	3.76	0.146	0.219	2.14	1.24	
11 号	0.186	19.3	2.43	0.139	3.19	0.104	0.174	1.23	0.820	
12 号	0.226	15.1	1.90	9.80 × 10 ⁻²	2.89	7.51 × 10 ⁻²	0.114	1.04	0.548	
13 号	0.237	4.79	0.340	5.93 × 10 ⁻²	0.869	2.50 × 10 ⁻²	6.05 × 10 ⁻²	0.181	0.194	
14 号	0.558	22.7	3.49	9.68 × 10 ⁻²	3.78	9.17 × 10 ⁻²	0.135	2.15	0.766	
15 号	0.308	24.5	4.04	0.145	3.05	0.118	0.155	2.37	0.834	
16 号	0.314	19.6	3.01	9.49 × 10 ⁻²	2.74	7.73 × 10 ⁻²	0.108	1.66	0.589	
17 号	0.142	13.7	1.68	7.54 × 10 ⁻²	1.29	3.94 × 10 ⁻²	6.34 × 10 ⁻²	0.888	0.307	
18 号	0.096 2	14.5	1.52	0.108	1.06	3.97 × 10 ⁻²	6.89 × 10 ⁻²	0.755	0.299	
19 号	0.050 7	11.6	0.668	9.74 × 10 ⁻²	0.432	1.90 × 10 ⁻²	3.77 × 10 ⁻²	0.315	0.154	

1) 采样时间:2011 年 11 月 3 日,18:00~19:00; 采样方法:吸附管; 主导风向:东偏北风; 风速:0.3~0.5ms⁻¹; “—”表示未检出; 采样线自下而上,每条采样线编号由原点开始,编号从小到大

2.3 健康风险评价结果

2.3.1 非致癌风险结果

通过污染场地修复过程的健康风险评价模型,运用确定的参数指标,以及现场测定的数据,对北京某化工厂旧址的修复过程进行健康风险评价. 对单污染物的非致癌危害指数、多污染物非致癌总危害指数、单污染物质多暴露途径累积非致癌危害指数、单暴露途径多污染物的非致癌危害指数进行计

算,将计算结果列于表 6.

对污染场地修复过程进行健康风险评价,以修复场地中浓度较高的几种挥发性有机物为主要的目标研究污染物,目标人群主要是修复现场的工作人员,通过呼吸污染空气、吸入污染性颗粒物以及皮肤接触这 3 条途径进行健康风险评价.

通过计算,在污染场地修复过程中,单污染物多途径累计非致癌指数最高的是四氯化碳,高达

8.86E + 01, 占总非致癌贡献率 74.39% (图 3); 影响次之的是 1,2-二氯乙烷为 1.64E + 01, 占总非致癌贡献率的 13.77%。多污染物同一暴露途径危害指数最高的是呼吸暴露途径:1.01E + 02, 占到所有致癌途径的 84.96%。本次修复现场风险评价研究中,非致癌综合危害指数为 1.19E + 02, 是以“1”作为非致癌风险警戒值的 119 倍, 严重存在非致癌风险。

表 6 非致癌危害指数

典型污染场地 目标污染物	单污染物非致癌危害指数			单物质多途径 危害指数	综合危害指数
	呼吸暴露	颗粒呼吸暴露	皮肤接触暴露		
1,1-二氯乙烯	1.11E -01	9.54E -03	1.96E -03	1.23E -01	
1,2-二氯乙烷	1.63E +01	1.09E -01	1.05E -02	1.64E +01	
氯仿	5.59E +00	6.31E -03	1.78E -02	5.61E +00	
苯	3.72E -01	5.38E -02	1.70E -02	4.43E -01	
四氯化碳	7.25E +01	1.51E +01	1.02E +00	8.86E +01	
三氯乙烯	5.99E +00	3.30E -01	9.92E -01	7.31E +00	
四氯乙烯	2.58E -01	1.14E -01	1.52E -02	3.87E -01	
1,1-二氯乙烷	1.58E -01	6.55E -03	8.11E -04	1.65E -01	
1,1,2-三氯乙烷	7.19E -02	2.48E -06	1.58E -05	7.19E -02	
单途径多物质危害指数	1.01E +02	1.58E +01	2.08E +00		1.19E +02

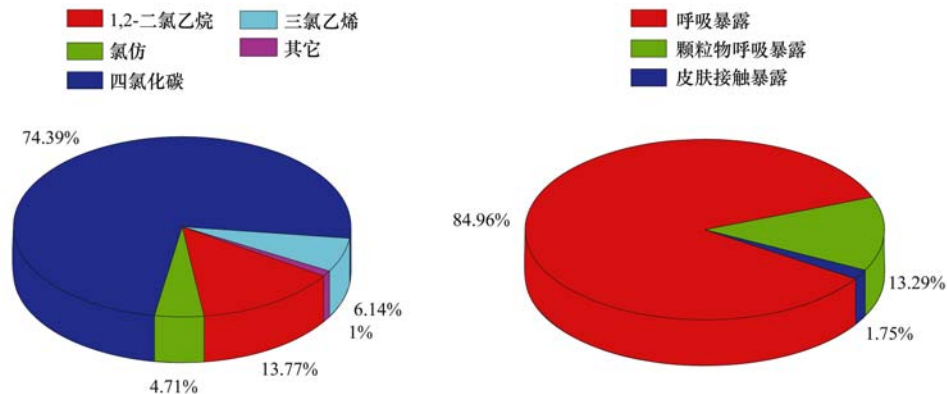


图 3 非致癌风险贡献率分布

Fig. 3 Contribution rate distribution of non-carcinogenic risk

2.3.2 致癌风险结果

在污染修复过程中,单污染物多途径累计致癌指数最高的是 1,2-二氯乙烷,高达 3.08E -02 占总致癌贡献率的 69.4% (表 7 和图 4); 影响次之的是氯仿 4.53E -03, 占总致癌贡献率的 10.21%。多污染物同一暴露途径危害指数最高的是呼吸暴露途径:3.96E -02, 占总致癌贡献率的 89.31%。本次修复现场风险评价研究中,致癌综合危害指数为 4.43E -02, 超过了 USEPA 提供的可接受区间 1E -04 ~ 1E -06, 存在严重的致癌风险。

表 7 致癌危害指数

典型污染场地 目标污染物	单污染物致癌危害指数			单物质多途径 危害指数	综合危害指数
	呼吸暴露	颗粒呼吸暴露	皮肤接触暴露		
1,1-二氯乙烯	9.74E -04	1.33E -05	5.30E -04	1.52E -03	
1,2-二氯乙烷	2.97E -02	1.48E -05	1.04E -03	3.08E -02	
氯仿	4.50E -03	2.31E -06	2.93E -05	4.53E -03	
苯	4.06E -05	1.39E -06	3.83E -05	8.03E -05	
四氯化碳	2.66E -03	2.93E -05	9.88E -04	3.68E -03	
三氯乙烯	7.19E -04	1.27E -05	1.03E -03	1.76E -03	
四氯乙烯	5.34E -05	2.43E -06	7.22E -04	7.78E -04	
1,1-二氯乙烷	6.55E -04	1.14E -05	1.83E -04	8.49E -04	
1,1,2-三氯乙烷	2.98E -04	2.23E -07	8.61E -05	3.84E -04	
单途径多物质危害指数	3.96E -02	8.79E -05	4.65E -03		4.43E -02

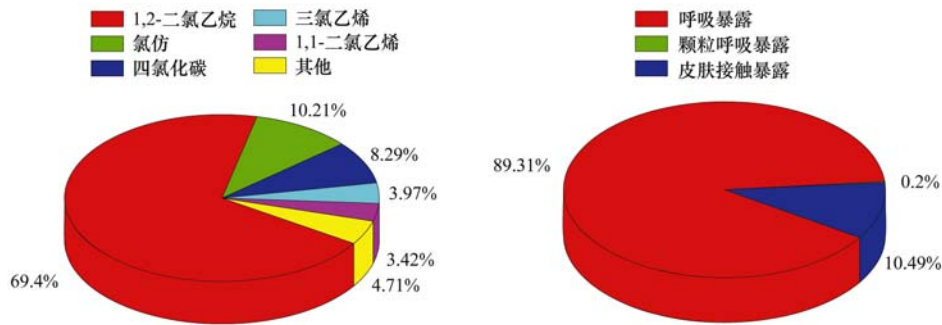


图4 致癌风险贡献率分布

Fig. 4 Contribution rate distribution of carcinogenic risk

3 结论

(1)在 VOCs 污染场地修复过程中,对健康风险贡献最大的暴露途径是呼吸暴露,占总贡献率的80%以上,在污染现场修复过程中,要注重对呼吸途径的保护,建议佩戴口罩、防毒面具等进行作业。

(2)单污染物多途径累计非致癌指数最高的是四氯化碳,多污染物质同一暴露途径危害指数最高的是呼吸暴露途径:1.01E+02,非致癌综合危害指数为1.19E+02,是以“1”作为非致癌风险警戒值的119倍,严重存在非致癌风险。

(3)单污染物多途径累计致癌指数最高的是1,2-二氯乙烷,多污染物质同一暴露途径危害指数最高的是呼吸暴露途径,总致癌危害指数达到4.43E-02,超出了最大可接受致癌风险水平1E-04~1E-06,存在严重的致癌风险。

参考文献:

- [1] 孟宪林,周定,黄君礼. 环境风险评价的实践与发展[J]. 四川环境, 2001, 20(3): 1-4.
- [2] 曾光明,钟政林,曾北危. 环境风险评价中的不确定性问题[J]. 中国环境科学, 1998, 18(3): 252-255.
- [3] 王永杰,贾东红,孟庆宝,等. 健康风险评价中的不确定性分析[J]. 环境工程, 2003, 21(6): 66-69.
- [4] 李如忠,周爱佳,童芳,等. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评价[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2661-2668.
- [5] 常静,刘敏,李先华,等. 上海地表灰尘重金属污染的健康风险评价[J]. 中国环境科学, 2009, 29(5): 548-554.
- [6] 高继军,张力平,黄圣彪,等. 北京市饮用水水源重金属污染物健康风险的初步评价[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 47-50.
- [7] 王若师,许秋瑾,张娴,等. 东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33(9): 3084-3088.
- [8] 姜林,钟茂生,贾晓洋,等. 基于地下水暴露途径的健康风险评价及修复案例研究[J]. 环境科学, 2012, 33(10): 3329-3335.
- [9] 孙树青,胡国华,王勇泽,等. 湘江干流水环境健康风险评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 12-15.
- [10] 苏伟,刘景双,王洋. 第二松花江干流水环境健康风险评价[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 79-85.
- [11] 陈鸿汉,堪宏伟,何江涛,等. 污染场地健康风险评价的理论与方法[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 216-223.
- [12] 堪宏伟,陈鸿汉,刘菲,等. 污染场地健康风险评价的实例研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 230-235.
- [13] 周裕敏,郝郑平,王海林. 北京城乡结合地空气中挥发性有机物健康风险评价[J]. 环境科学, 2011, 32(12): 3566-3570.
- [14] 彭驰,王美娥,欧阳志云,等. 北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险[J]. 环境科学, 2012, 32(2): 592-598.
- [15] 郭观林,王世杰,施烈焰,等. 某废弃化工场地 VOC/SVOC 污染土壤健康风险分析[J]. 环境科学, 2010, 31(2): 397-402.
- [16] 王静,朱利,沈学优. 某焦化厂空气中 PAHs 的污染现状及健康风险评价[J]. 环境科学, 2003, 24(1): 135-138.
- [17] 余世清,唐伟,卢滨. 某农药厂废弃场地六六六和滴滴涕污染分布特征及风险评价[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2645-2653.
- [18] 姜林,贾晓洋,夏天翔,等. PRA 在焦化厂污染土壤健康风险评价中的应用[J]. 环境科学研究, 2013, 26(2): 220-226.
- [19] Burmaster B E. Lognormal distributions for skin area as a function of body weight[J]. Risk Analysis, 1998, 18(1): 27-32.
- [20] Fan C H, Wang G S, Chen Y C, et al. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in groundwater in Taiwan[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(7): 2165-2174.
- [21] 朱韶峰,黄吉. 大气最佳采样时间及其布点的探讨研究[J]. 环境污染与防治, 1990, 12(3): 29-33.
- [22] 徐东群,崔九思. 空气中挥发性有机化合物的采样及分析方法进展[J]. 中国环境监测, 1997, 13(3): 48-55.
- [23] Zhao Q, Kaluarachchi J J. Risk assessment at hazardous waste-contaminated sites with variability of population characteristics[J]. Environment International, 2002, 28(1-2): 41-53.
- [24] Carlon C, Pizzol L, Critto A, et al. A spatial risk assessment methodology to support the remediation of contaminated land[J]. Environment International, 2008, 34(3): 397-411.
- [25] USEPA. Integrated Risk Information System (IRIS) [EB/OL]. <http://www.epa.gov>.

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, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr [*] Excilamp	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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	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