

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM _{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估	谢元博, 陈娟, 李巍 (1)
长白山 PM _{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响	柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化	张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放	卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放	张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征	蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究	符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化	童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)
重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化	余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降	王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究	吴铨, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究	马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO ₂ 释放的影响	柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征	吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价	马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测	张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义	陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 (123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素	唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征	赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响	宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征	宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)
河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究	张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制	武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析	敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价	毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究	王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术	王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究	王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究	刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究	孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究	胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态	谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响	廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)
水稻土团聚体 Cu ²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化	许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)
Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响	刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响	马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探	周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较	姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究	杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响	胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价	王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究	郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)
微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性	游狄杰, 陈晓国, 向荟圻, 欧阳溱, 杨冰 (313)
硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究	杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系	吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素	谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究	史晶晶, 耿元波 (341)
南京河流夏季水-气界面 N ₂ O 排放通量	韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响	肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究	彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究	卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用	严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO ₂ 排放时空演变特征	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展	李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究

郝天¹, 杜鹏飞^{1*}, 杜斌², 曾思育¹

(1. 清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 山西省环境保护厅, 太原 030024)

摘要: 针对焦化污染物的毒性影响, 以山西省清徐市某焦化厂为研究对象, 通过采样分析、文献调研, 构建了焦化厂污染物排放清单, 采用生命周期影响评价(LCIA)模型 USEtox 计算焦化污染物排放的人体及生态毒性影响, 对结果进行排序筛选, 分析并识别了焦化行业优先污染物、污染优先控制工段以及焦化厂选址对毒性排放的影响, 为区域人体健康及生态环境保护提供了科学依据。结果表明, 焦化行业排放的人体毒性优先污染物为苯并[a]芘、锌等, 生态毒性优先污染物为芘、蒽等; 在装煤、焦炉烟囱、推焦和熄焦这 4 个工段的排放中, 有机毒性排放集中于装煤工段, 优先污染物为苯并[a]芘、苯、萘、二苯[a,h]蒽等, 金属毒性排放集中于熄焦工段, 优先污染物为锌、砷、镉、汞等; 焦化污染物毒性受排放地区的影响, 厂区从城市迁至农村的过程可以大幅降低有机物的毒性影响, 但是对于金属毒性的降低并无积极作用, 并且会增加农村土壤和水体受重金属污染的风险。

关键词: USEtox; 焦化; 人体毒性; 生态毒性; 优先污染物

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0304-09

Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model

HAO Tian¹, DU Peng-fei¹, DU Bin², ZENG Si-yu¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Environmental Protection of Shanxi Province, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Thesis aims at evaluating and setting priority to human toxicity and ecotoxicity of coking pollutants. A field research and sampling project are conducted in coke plant in Shanxi so as to complete the coke emission inventory. The USEtox model representing recommended practice in LCIA characterization is applied to the emission inventory to quantify the potential impacts on human toxicity and ecotoxicity of emerging pollutants. Priority pollutants, production procedures and effects of changing plant site on the toxicity are analyzed. As conclusions, benzo(a) pyrene, benzene, Zn and As are identified as the priority pollutants in human toxicity, while pyrene and anthracene in ecotoxicity. Coal charging is the dominant procedure for organic toxicity and priority pollutants include benzo(a) pyrene, benzene, naphthalene, etc. While coke drenching is the dominant procedure for metal toxicity and priority pollutants include Zn, As, Ti, Hg etc. Emission to rural environment can reduce the organic toxicity significantly compared to the emission to urban environment. However, the site changing has no effect on metal toxicity and might increase the risk of the metal pollution to rural water and soil.

Key words: USEtox; coking industry; human toxicity; ecotoxicity; priority pollutants

焦化行业生产工艺复杂, 排放污染物种类多、数量大, 对居民健康和生态环境易造成严重的危害^[1, 2]。焦化行业是山西省的支柱产业之一, 2012 年产机焦 8870.28 万 t, 产量位居全国首位。而山西省的肺癌发病率和新生儿缺陷率明显高出全国平均水平^[3~5], 焦化集中地区临汾、孝义等地水体和空气中的焦化特征污染物苯并[a]芘浓度严重超标^[6~8]。针对种类繁多的焦化污染物, 筛选出那些排放量大、环境停留时间长、对人体及生态健康危害大的污染物, 集中有限的资源进行优先管理控制无疑是行之有效的环境管理策略。

然而我国尚未开展有效的优先污染物筛选和排序工作^[9, 10], 缺乏对化学品从进入环境到产生毒性

效应过程的完整评估^[11], 难以准确判断污染物排放对人体及生态健康造成影响的大小顺序, 为行业优先污染物监管和治理提供科学依据。国际上, 针对化学品毒性的筛选排序一直是环境和化学领域研究的热点, 先后出现了多种筛选和排序方法^[12~25]。其中, USEtox 是由联合国环境规划署-环境毒理和化学学会在同类模型比研究的基础上开发的科学共识模型^[26], 克服了同类模型数据获取困难等缺陷, 为化学品排放的生命周期毒性影响评价提供了一个完整而透明的计算工具, 模型建立的共识背景也使计

收稿日期: 2013-05-15; 修订日期: 2013-06-20

作者简介: 郝天(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境系统分析, E-mail: 15901025588@126.com

* 通讯联系人, E-mail: dupf@tsinghua.edu.cn

算结果的权威性和可信度相较于以往的毒性评价模型大大增加^[27~34]。

本研究以山西省清徐市某焦化厂为案例,通过采样分析、文献调研,构建了焦化厂污染物排放清单,使用 USEtox 模拟污染物从进入环境到产生毒性效应的完整过程,计算焦化污染物的人体毒性和淡水生态毒性影响,对结果进行筛选排序,识别环境停留时间长、生物富集度高、毒性效应强的污染物进行优先监管和治理,并识别污染优先控制工段以及焦化厂选址对毒性的影响,以期为区域人体健康和生态环境保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样与分析

山西地区的焦化企业众多,集中分布于临汾、吕梁、太原、长治、运城和晋中的八大产焦区^[35, 36],研究选择产焦区太原清徐市内某机械炼焦厂作为案例。该厂采用 3×45 孔 JNK43-98D 型顶装焦炉和 3×49 孔 JNDK43-99D 型捣固焦炉,配有化学产品回收系统。年入洗原煤 280 万 t,年产冶金焦 200 万 t。焦化厂在装煤、推焦等工段安装有除尘装置。设有污水处理设施,采用活性污泥法处理焦化生产中的氰酚废水、熄焦废水、生活污水等。采用湿法熄焦,熄焦用水来自于污水处理厂出水。

研究分别于 2012 年 9 月、11 月、2013 年 1 月对案例焦化厂及具有相同规模和熄焦工艺的焦化厂的熄焦用水进行采样,每月采样一天,每天两次。样品经冷藏处理后当天送至清华大学环境质量检测中心进行分析。样品中的金属采用电感耦合等离子体发射光谱法和原子荧光法进行分析,有机物采用气相色谱-质谱法(GC-MS)和 *N*-(1-萘基)乙二胺偶氮分光光度法进行分析。由于处理厂出水中毒性污染物浓度变化较大,为了提高数据的参考价值,研究将两焦化厂在 3 次采样中的分析结果计算平均值用以核算熄焦用水中污染物浓度。

1.2 排放清单构建

焦化厂排放以气相污染物为主^[2, 8],主要来源为装煤、推焦、熄焦和焦炉烟囱几个工段。装煤、推焦和烟囱均为有组织排放,文献^[37~39]对以上工段的污染物排放因子进行过计算。研究参考了李从庆^[37]、Mu 等^[38, 39]发表的有关焦化污染物排放的文献,并使用文献中计算的焦化大气排放因子与入洗原煤量(或产焦量)相乘,得到案例焦化厂在装煤、推焦和烟囱这 3 个排放源的大气污染物排放

清单。

熄焦工段的蒸汽排放为无组织排放。研究根据物料守恒原则,通过吨焦耗水量和熄焦用水中污染物浓度估算通过熄焦排入环境中的污染物质^[40]。研究假设案例焦化厂吨焦耗水量为 $0.5 \text{ t} \cdot \text{t}^{-1}$,熄焦用水全部来自于污水处理厂出水,将 1.1 节中熄焦用水污染物浓度乘以吨焦耗水量,再乘以焦炭产量,即可得到案例焦化厂熄焦污染物排放清单。

1.3 毒性影响计算

1.3.1 USEtox 模型概述

USEtox 是在生命周期影响评价(LCIA)研究框架下开发的环境毒性模型^[26, 31],USEtox 的排放介质分为城市大气、水体、土壤和农村大气、水体、土壤这 6 类。它将污染物从进入环境介质到产生毒性效应的各个过程串联并分别进行量化,然后将量化因子相乘计算污染物的人体及生态毒性。其模型机制如图 1 所示。

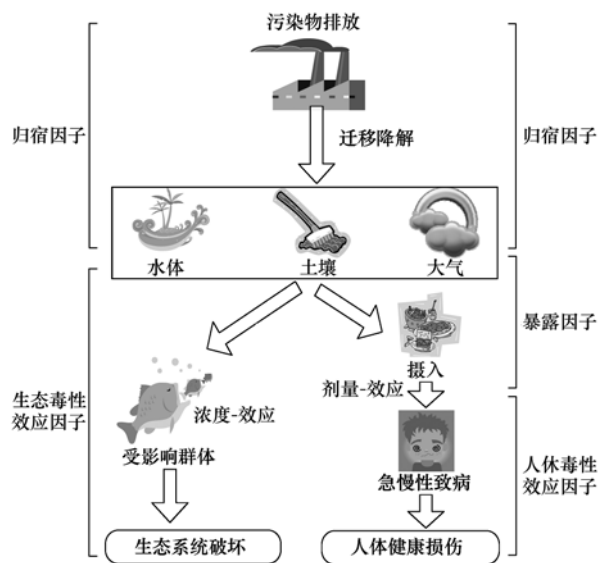


图 1 USEtox 模型机制示意

Fig. 1 USEtox model structure

首先,USEtox 的多途径归宿模型通过求解一系列描述污染物在环境介质内及介质之间的降解、迁移等过程的质量平衡方程,计算环境归宿因子 FF (fate factor),以某种化学物质在环境中的停留时间(单位:d)表示。然后,对于人体毒性,模型通过统计数据 and 模型的暴露因子 XF (exposure factor) 估算人体以呼吸、饮食等方式摄入体内的污染物质,最后以病理学研究得到的计量-反应曲线确定毒性效应因子 EF (effect factor),以人一生中污染物摄入量变化造成的致病几率变化表示(单位: $\text{cases} \cdot \text{kg}^{-1}$)。对于生态毒性,模型通过污染物在淡水中的溶解比例

确定暴露因子 XF,最后以水生生物病理学研究得到的浓度-反应曲线确定效应因子 EF,以污染物单位浓度变化造成的物种受影响比例变化表示(单位: $\text{PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$). 以上因子相乘即可得到污染物的 人体及生态毒性影响,以特征化因子 CF (characterization factor)表示[公式(1)].

$$\text{CF} = \text{EF} \times \text{XF} \times \text{FF} \tag{1}$$

1.3.2 参数需求

USEtox 模型所需参数分为污染物性质参数、地理信息参数和暴露参数这 3 类. 其中性质参数描述

了污染物的环境行为和毒性效应,是毒性影响计算的最主要参数. 模型附带的数据库涵盖了3 000余种有毒污染物的性质参数. 研究直接使用了 USEtox 模型数据库提供的性质参数. 地理信息参数包括模型在全球、大陆和城市尺度上的基本地理信息,暴露参数包括人体暴露及摄入肉、奶、鱼等信息. 考虑到后两类参数对相对大小,即排序结果影响较小,并且为了和已有研究相匹配,本研究使用了模型默认的地理信息及暴露参数,参数取值如表 1 和表 2 所示.

表 1 模型计算地理信息参数

Table 1 Landscape parameters

参数	单位	取值	参数	单位	取值
大陆陆地面积	km^2	9 013 369. 00	城市农业土地比例	—	0. 67
大陆海洋面积	km^2	986 631. 00	城市其他土地比例	—	0. 33
全球陆地面积	km^2	141 000 000. 00	全球/大陆温度	$^{\circ}\text{C}$	12. 00
全球海洋面积	km^2	329 000 000. 00	全球/大陆风速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3. 00
城市陆地面积	km^2	240. 00	全球/大陆降雨量	$\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$	700. 00
全球/大陆淡水比例	—	0. 03	全球/大陆淡水深度	m	2. 50
全球/大陆自然土地比例	—	0. 49	全球/大陆冲刷比例	—	0. 25
全球/大陆农业土地比例	—	0. 49	全球/大陆渗透比例	—	0. 25
全球/大陆其他土地比例	—	0. 00	全球/大陆土壤腐蚀	$\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$	0. 03

表 2 模型计算暴露参数

Table 2 Exposure parameters

参数	单位	取值	参数	单位	取值
全球/大陆暴露产生量	$\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{capita})^{-1}$	0. 75	全球人口	—	6 000 000 000. 00
全球/大陆非暴露产生量	$\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{capita})^{-1}$	0. 23	大陆人口	—	998 000 000. 00
全球/大陆肉类摄入量	$\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{capita})^{-1}$	0. 08	城市人口	—	2 000 000. 00
全球/大陆奶类摄入量	$\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{capita})^{-1}$	0. 25	呼吸率	$\text{m}^3 \cdot (\text{person} \cdot \text{d})^{-1}$	13. 00
全球/大陆淡水鱼类摄入量	$\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{capita})^{-1}$	0. 01	水摄入量	$\text{L} \cdot (\text{person} \cdot \text{d})^{-1}$	1. 40
全球/大陆海洋鱼类摄入量	$\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{capita})^{-1}$	0. 04			

1.3.3 毒性计算

将参数输入模型运算可得污染物排入各种环境介质的人体及生态毒性特征化因子. 污染物的毒性影响得分 IS (impact score) 可通过以下公式[公式(2)]计算:

$$\text{IS} = \sum \sum \text{CF}_{x,i} \times M_{x,i} \tag{2}$$

式中,IS 为人体或生态毒性影响得分; $\text{CF}_{x,i}$ 为排入环境介质 i 的污染物 x 的特征化因子; $M_{x,i}$ 为排入环境介质 i 的污染物 x 的质量.

研究首先计算污染物总排放的人体及生态毒性影响得分,然后分别计算装煤、烟囱、推焦和熄焦这 4 个工段的毒性总得分以及各污染物的得分,最后设定了污染物排入城市和农村两种情景,分析焦化厂选址对总毒性及各污染物毒性得分的影响.

2 结果与分析

2.1 毒性得分排序及优先污染物筛选

2.1.1 人体毒性

按照 1.3 节的方法,分别计算得出有机物和金属的人体毒性影响得分 IS(图 2). 可以看出,模型计算改变了污染物基于排放量的先后顺利,例如,苯并[a]芘毒性影响得分($\text{IS} = 9. 13 \times 10^{-4} \text{ cases} \cdot \text{a}^{-1}$)超过苯($\text{IS} = 4. 55 \times 10^{-4} \text{ cases} \cdot \text{a}^{-1}$)一倍,位列人体毒性排序榜首,而其排放量($36. 8 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$)仅为苯排放量($3\ 030. 42 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$)的 1/82. 另外,计算结果的数量级差异较大,不同有机物或金属毒性得分最大可相差 6~7 个数量级,毒性影响表现出较为聚集的特性,因此研究使用对数坐标图以便表示主要污染

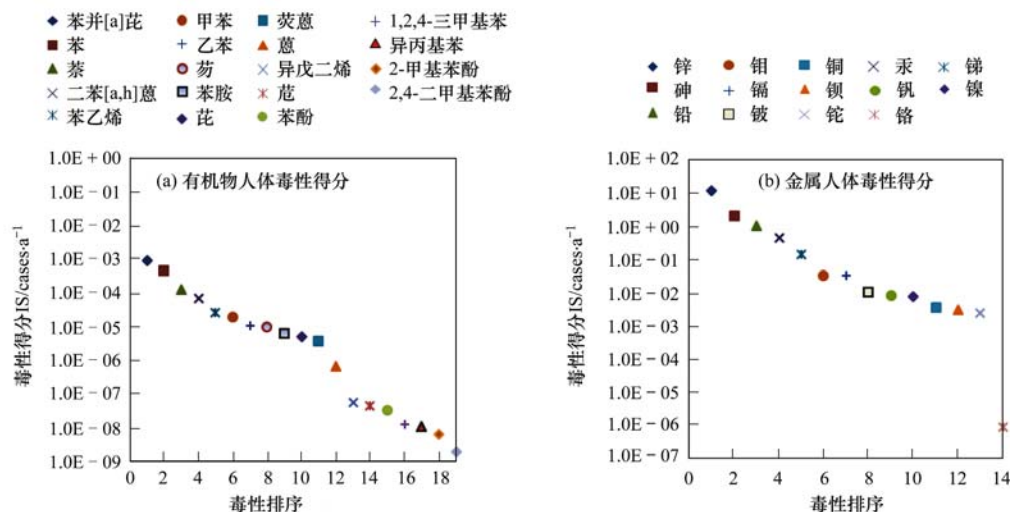


图2 污染物人体毒性影响得分(对数坐标)

Fig. 2 Logarithmic chart of human toxicity IS of pollutants

物的毒性得分. 例如, 苯并[a]芘的毒性影响是与其排放量相当的异戊二烯(排放量 = $38.34 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$; $\text{IS} = 5.59 \times 10^{-8} \text{ cases} \cdot \text{a}^{-1}$)的 1.63 万倍. 对毒性得分进行贡献分析, 发现苯并[a]芘对有机物毒性贡献率为 55.22%, 锌对金属毒性贡献率为 75.71%. 而得分前 5 位的有机物和金属对总毒性贡献率超过 96% 和 99%.

污染物毒性影响差别较大, 毒性分布较为集中, 筛选其中毒性大、贡献高的污染物进行优先监管控制是有效的管理方法. 研究对污染物进行“聚类分析”, 将污染物按照毒性影响分为高中低三组, 结果如下: 对于有机物, 苯并[a]芘、苯为高毒性, 萘、二苯[a,h]蒽为中毒性, 苯乙烯、甲苯、乙苯、茚、苯胺、芘等为低毒性排放污染物; 对于金属, 锌为高

毒性, 砷、铅为中毒性, 汞、镉、钼、铍等为低毒性排放污染物. 其中高毒性和中毒性的污染物得分占有绝对优势, 对总毒性贡献率均超过 95%, 将其列为行业优先监管污染物.

2.1.2 生态毒性

生态毒性的计算结果分布与人体毒性类似(图 3), 表现出了数量级差异较大, 毒性集中于个别污染物等特征. 然而排序却明显不同. 对于有机物, 多环芳烃, 尤其是分子结构中苯环数量较少(低于 5 个苯环)的低分子量多环芳烃, 对生态毒性贡献较大. 例如, 结构中有 4 个苯环的芘($\text{IS} = 1.19 \times 10^5 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d} \cdot \text{a}^{-1}$)和 3 个苯环的蒽($\text{IS} = 1.18 \times 10^5 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d} \cdot \text{a}^{-1}$), 毒性贡献率分别为 38.37% 和 38.22%, 位居排序前两位. 低分子量的多环芳烃—

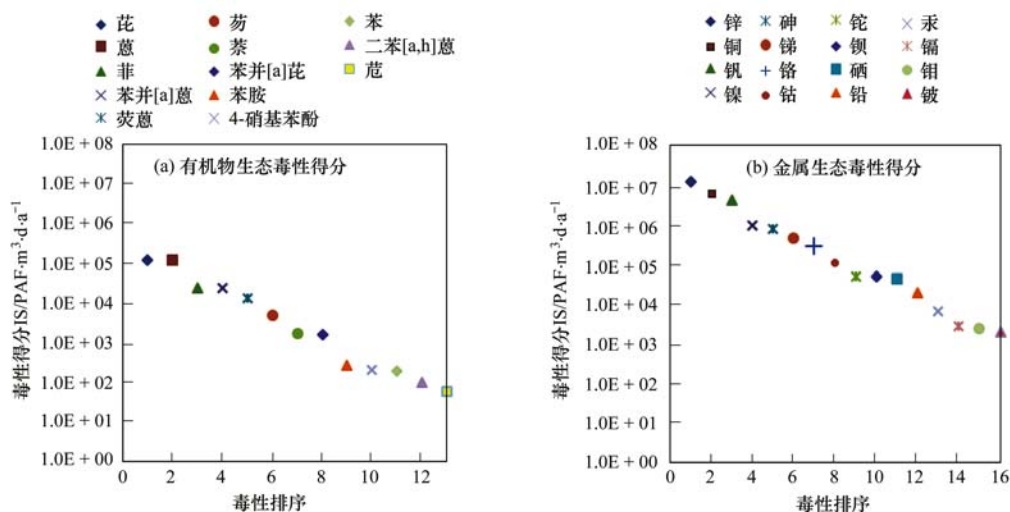


图3 污染物生态毒性影响得分(对数坐标)

Fig. 3 Logarithmic chart of ecotoxicity IS of pollutants

般较易降解,环境停留时间比高分子量的多环芳烃(例如:苯并[a]芘、二苯[a,h]蒽)短,往往在造成人体毒性暴露之前就已经被生物降解,因此其人体毒性并不显著。然而分子量低的多环芳烃对淡水生态毒性较强,进入环境的多环芳烃可直接作用于淡水生态系统,再加以炼焦生产多环芳烃排放量较大,因此低分子量多环芳烃的生态毒性排名与人体毒性排名相比较为靠前。对于金属,淡水生态毒性效应主要以污染物对鱼、贝、藻类的影响为衡量标准,与人体毒性影响区别较大,例如,对于人体毒性较强的金属铅,在生态毒性影响得分中仅排名第12,远低于对水生生物毒性较大的铜、钒等金属。

研究同样对污染物的生态毒性进行聚类分析,结果如下:对于有机物,芘、蒽为高毒性,菲、苯并[a]蒽、荧蒽为中毒性,茚、萘、苯并[a]芘、苯胺、4-硝基苯酚等为低毒性排放污染物;对于金属,锌为高毒性,铜、钒为中毒性,镍、砷、锑、铬、钴、铈等为低毒性排放污染物。其中高毒性和中毒性的污染物得分占有绝对优势,有机物和金属贡献率分别超过96%和89%,将其列为行业优先监管污染物。

2.2 优先污染控制工段

根据案例炼焦厂的排放清单,计算得到主要炼焦工段的毒性总分及各工段的优先污染物(图4)。由图4可知,有机物和金属在各炼焦工段中表现出截然不同的分布特征。对于有机物,毒性影响最大的炼焦工段为装煤,其人体和生态毒性占有所有工段的47%和65%,其次为焦炉烟囱和推焦过程,毒性最低的工段为熄焦,毒性占比不到1%。而金属的毒性几乎呈现相反的特征,毒性影响最大的工段为熄焦,人体和生态毒性分别占总工段的60%和56%,其次为推焦,毒性约为熄焦的2/3,装煤和焦炉烟囱的人体和生态毒性均低于3%。对各工段内污染物毒性的计算结果也表明各工段的优先污染物也有较大不同。装煤的人体毒性优先污染物为苯并[a]芘、苯、萘、二苯[a,h]蒽和苯乙烯,生态毒性优先污染物为苯并[a]蒽、芘、菲、蒽、荧蒽;烟囱的人体毒性几乎全部来自于苯并[a]芘而且总分较高,占总工段人体毒性的31.39%,而生态毒性却仅占总工段生态毒性的4.27%。

实际上,分布趋势和优先污染物的差异可以由

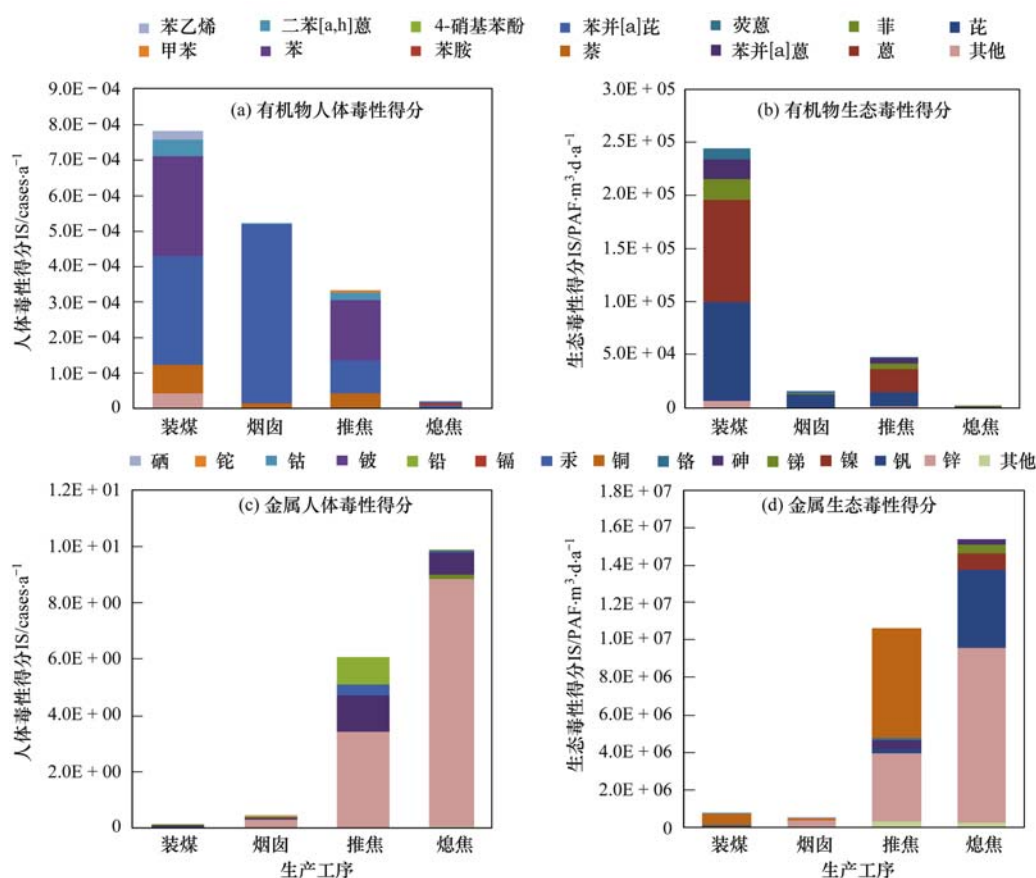


图4 各炼焦工段污染物人体及生态毒性得分

Fig. 4 Human toxicity and ecotoxicity IS of pollutants in major production procedures

炼焦生产排污特征解释. 装煤工段中, 煤料置换出的荒煤气、细煤粒不完全燃烧产生的黑烟、煤和高温炉壁接触产生的气体均含有大量的毒性有机物, 因此是有机污染的优先控制工段, 主要有机物为苯并[a]芘、苯、萘、二苯[a,h]蒽等; 焦炉烟囱的排放来自焦炉煤气不完全燃烧产生的大量有毒气体, 主要污染物为对人体健康危害较大的苯并[a]芘等, 因此焦炉烟囱的人体毒性占比明显高于其生态毒性占比; 推焦工段中, 炭化室炉门打开散发出残余煤气, 含有苯、苯并[a]蒽等污染物, 推焦过程中焦炭从导焦槽落到熄焦车中会产生大量的吸附有金

属的粉尘, 主要污染物为锌、铜、砷等; 熄焦工段中, 熄焦塔向红焦喷淋生化站处理后的中水, 产生含有金属、有机物的饱和水蒸气, 金属随水蒸气进入环境, 因此是金属污染的优先控制工段, 主要金属污染物为锌、砷、锑、汞、铅等^[37, 39].

2.3 厂址选择对毒性影响分析

2.3.1 对总毒性影响

污染物排入农村环境和城市环境会表现出不同的毒性特征. 为了掌握厂址选择对毒性的影响, 研究计算了受纳环境为农村和城市两种情景下的人体及生态毒性总分(图5).

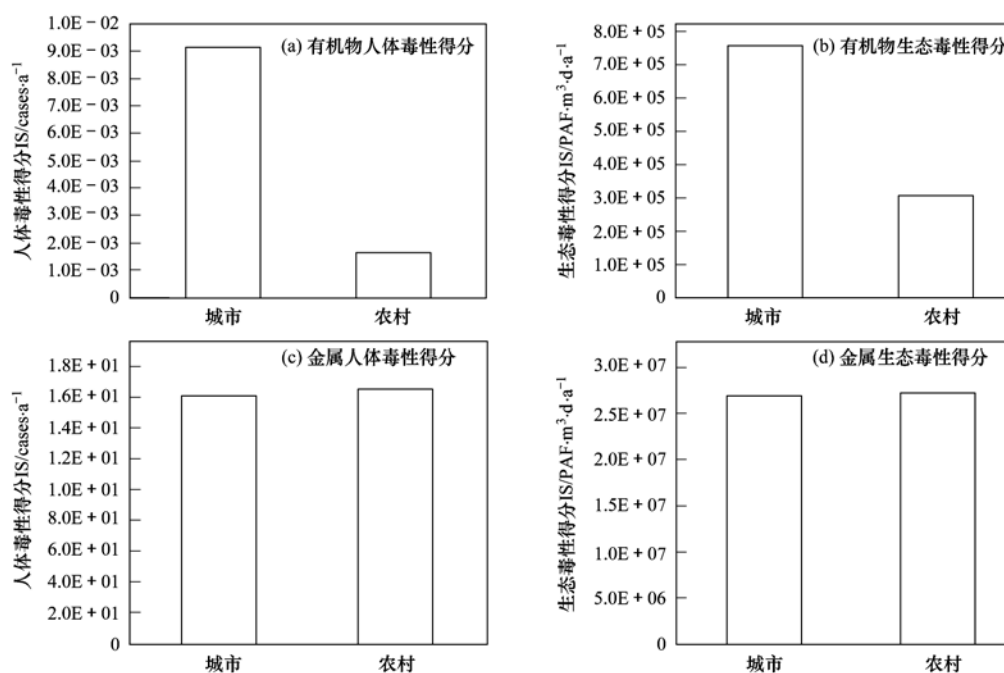


图5 污染物受纳环境对毒性得分的影响

Fig. 5 Effects of pollutant receiving compartment on the toxicity score

结果显示, 同样种类和数量的有机物, 排入城市环境造成的人体毒性和生态毒性影响远高于排入农村环境, 焦化企业从城市迁至农村的过程可以降低81.95%的人体毒性和59.22%生态毒性影响, 而对金属的毒性无降低作用, 甚至排入农村环境的人体和生态毒性还略高.

受纳环境对毒性的影响主要取决于污染物在不同环境介质中的迁移转化和暴露过程. 排入环境中的有机物通过一定时间的迁移和降解, 其含量大幅度降低. 农村环境有利于有机物迅速扩散和降解, 毒性影响衰减较快, 而城市环境不利于污染物, 尤其是气相污染物的迁移和降解, 污染物环境停留时间长; 除此之外城市人口密集, 人体暴露系数较高, 因此有机物在城市排放造成的人体毒性远高于农村.

与有机物情况不同, 排入环境中的金属首先在环境中沉积或生物富集, 然后通过食用肉、鱼、奶等方式进入人体^[41]. 农村环境对金属的迁移转化无显著加快作用, 而排入农村的污染物易在郊区的鱼类、家禽体内富集, 并对农村生态造成直接伤害, 所以焦化企业迁至农村的过程不会降低金属的毒性影响, 而增加了农村水体、土壤受金属污染的威胁.

2.3.2 对污染物影响

研究对单个有机物在厂址选择为城市和农村两种情景下的人体毒性影响进行计算(表3). 表3结果显示, 削减比例较高的污染物多为分子量低的多环芳烃以及苯系物, 该类污染物可以在农村环境中得到迅速的降解, 而芘、荧蒽为4环多环芳烃, 削减比例为57.82%和44.37%; 苯并[a]芘、二苯[a,

表 3 厂址选择对焦化有机物排放的人体毒性影响

Table 3 Effects of plant site changing on the human toxicity score of oraganics

CAS 编号	名称	城市		农村		毒性下降比例 /%
		IS/cases·a ⁻¹	排序	IS/cases·a ⁻¹	排序	
50-32-8	苯并[a]芘	1.65 × 10 ⁻³	3	9.13 × 10 ⁻⁴	1	44.81
71-43-2	苯	1.80 × 10 ⁻³	2	4.55 × 10 ⁻⁴	2	74.72
91-20-3	萘	3.32 × 10 ⁻³	1	1.32 × 10 ⁻⁴	3	96.02
53-70-3	二苯[a,h]蒽	1.08 × 10 ⁻⁴	8	7.00 × 10 ⁻⁵	4	34.94
100-42-5	苯乙烯	1.58 × 10 ⁻³	4	2.61 × 10 ⁻⁵	5	98.35
108-88-3	甲苯	1.88 × 10 ⁻⁴	6	1.94 × 10 ⁻⁵	6	89.70
100-41-4	乙苯	1.23 × 10 ⁻⁴	7	1.11 × 10 ⁻⁵	7	90.94
86-73-7	苊	4.76 × 10 ⁻⁵	9	9.93 × 10 ⁻⁶	8	79.11
62-53-3	苯胺	3.01 × 10 ⁻⁴	5	6.49 × 10 ⁻⁶	9	97.84
129-00-0	芘	1.20 × 10 ⁻⁵	10	5.07 × 10 ⁻⁶	10	57.82
206-44-0	荧蒽	6.88 × 10 ⁻⁶	11	3.83 × 10 ⁻⁶	11	44.37
120-12-7	蒽	3.00 × 10 ⁻⁶	13	6.82 × 10 ⁻⁷	12	77.24
78-79-5	异戊二烯	5.17 × 10 ⁻⁶	12	5.59 × 10 ⁻⁸	13	98.92
83-32-9	茚	1.22 × 10 ⁻⁶	14	4.71 × 10 ⁻⁸	14	96.12
108-95-2	苯酚	2.16 × 10 ⁻⁷	16	3.40 × 10 ⁻⁸	15	84.30
95-63-6	1, 2, 4-三甲基苯	4.86 × 10 ⁻⁷	15	1.31 × 10 ⁻⁸	16	97.30
98-82-8	异丙基苯	1.11 × 10 ⁻⁷	17	1.11 × 10 ⁻⁸	17	90.04
95-48-7	2-甲基苯酚	8.61 × 10 ⁻⁸	18	6.56 × 10 ⁻⁹	18	92.38
105-67-9	2, 4-二甲基苯酚	2.51 × 10 ⁻⁸	19	1.98 × 10 ⁻⁹	19	92.13
总计		9.16 × 10 ⁻³		1.65 × 10 ⁻³		81.95

h] 蒽为 5 环多环芳烃, 削减比例为 44.81% 和 34.94%。可见多环芳烃类随着苯环数量的增加其毒性受厂址选择的影响越小, 即使在农村环境中其毒性影响仍旧较高。

从排序上来看, 城市情景中优先污染物依次为萘、苯、苯并[a]芘, 而在农村情景中萘的毒性得到大幅削减, 其毒性排名降低为第三, 而苯并[a]芘和二苯[a,h]蒽(城市排名第 8)的排名分别升高为第一和第四。而对于在两种情景中排序均较低的非优先污染物, 排放地区对它们的排序影响较小。由此可见农村情景在削减了有机物总体毒性的同时, 也对优先污染物的排序产生了影响。焦化厂由城市向农村外迁的过程, 优先污染物由相对易降解的低分子量多环芳烃、苯系物等, 向难降解的高分子量多环芳烃发生转移。因此对于厂址不同的焦化企业, 其监管控制重点也应有所区别。

3 结论

(1) 焦化污染物的毒性影响差异较大, 毒性主要集中于几个贡献较高的污染物。苯并[a]芘、苯、锌等因对人体造成较强的急慢性致病影响被列为危害人体健康的优先污染物; 芘、蒽、锌等因对淡水生态系统造成的破坏, 被列为危害生态健康的优先污染物。在减排工艺、职业病防范、生态保护的工作中均需加强对优先污染物的监管和治理。

(2) 有机物和金属在各炼焦工段中表现出截然不同的分布特征。有机毒性集中于装煤工段, 苯并[a]芘、苯、萘、二苯[a,h]蒽的毒性较高, 烟囱和推焦工段的有机毒性次之, 主要污染物为多环芳烃类, 熄焦工段的有机毒性最低。而金属的人体和生态毒性集中于熄焦工段, 锌、砷、锑、汞、铅的毒性较高, 推焦的金属毒性次之, 而装煤和烟囱排放的金属毒性较低。

(3) 焦化企业从城市迁入农村的过程可以降低 81.95% 的人体和 59.22% 生态毒性影响, 该过程对于易降解有机物的削减效果高于难降解有机物, 因此优先监管重点也由分子量低的多环芳烃和苯系物向分子量高的多环芳烃转移。而对于金属, 焦化企业迁至农村的过程对毒性降低无积极作用, 并且增加了农村水体、土壤受金属污染的可能性。因此, 对于农村的焦化企业, 金属的减排设施、处理处置方法等是监管的主要难题。

参考文献:

[1] 刘丽丽, 华德尊. 浅议环境风险评价——以焦化行业为例[J]. 环境科学与管理, 2005, 30(3): 110-112.

[2] 智红梅. 焦化工业与环境保护[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(24): 119-121.

[3] 张科利, 何艳微, 郑晓瑛, 等. 中国出生缺陷高发区出生缺陷发生率与土壤微量元素关系的分析[J]. 中华流行病学杂志, 2008, 29(12): 1273-1275.

[4] 张莉, 马艳春, 白云. 2007 年山西省部分地区出生缺陷人群

- 监测分析[J]. 中国优生与遗传杂志, 2009, **17**(1): 76-85.
- [5] 罗铭忠. 山西省新生儿出生缺陷问题现状分析及对策研究[J]. 中国计划生育学杂志, 2008, **2**(2): 76-79.
- [6] 崔慧. 临汾市大气污染影响机制探讨[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2008, **22**(S1): 70-72.
- [7] 席胜伟. 临汾市区大气环境污染状况分析及解决措施[J]. 科技情报开发与经济, 2002, **16**(13): 92-93, 96.
- [8] 姚丽霞. 孝义市某焦化工业区大气污染与人群健康状况调查分析[J]. 山西医药杂志, 2007, **36**(1): 35-36.
- [9] 丁爱中, 刘玉兰, 程莉蓉, 等. 环境事件污染场地健康风险评估方法初步研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2009, **45**(5): 469-472.
- [10] 王若师, 张炯, 许秋瑾, 等. 东江流域典型乡镇饮用水源地有机污染物健康风险评价[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(11): 2874-2883.
- [11] 吴文俊, 蒋洪强. 我国工业废水重金属排放的等标负荷特征分析[J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(11): 180-185.
- [12] Lerche D, Brüggemann R, Sørensen P, *et al.* A comparison of partial order technique with three methods of multi-criteria analysis for ranking of chemical substances [J]. Journal of Chemical Information and Computer Sciences, 2002, **42**(5): 1086-1098.
- [13] Swanson M B, Davis G A, Kincaid L E, *et al.* A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1997, **16**(2): 372-383.
- [14] Nakamura J, Azuma N, Kameya T, *et al.* Analysis of the toxicity-weighted release amount ranking of PRTR chemicals in Japan [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2008, **43**(5): 452-459.
- [15] Klasmeier J, Matthies M, Macleod M, *et al.* Application of multimedia models for screening assessment of long-range transport potential and overall persistence [J]. Environmental Science & Technology, 2006, **40**(1): 53-60.
- [16] Carlsen L. Assessment of chemicals applying partial order ranking techniques [J]. Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening, 2008, **11**(10): 794-805.
- [17] Pennington D W, Bare J C. Comparison of chemical screening and ranking approaches: The waste minimization prioritization tool versus toxic equivalency potentials [J]. Risk Analysis, 2001, **21**(5): 897-912.
- [18] Lerche D, Sørensen P B, Larsen H S, *et al.* Comparison of the combined monitoring-based and modelling-based priority setting scheme with partial order theory and random linear extensions for ranking of chemical substances [J]. Chemosphere, 2002, **49**(6): 637-649.
- [19] Arnot J A, Mackay D. Policies for chemical hazard and risk priority setting: Can persistence, bioaccumulation, toxicity, and quantity information be combined? [J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42**(13): 4648-4654.
- [20] Hansen B G, Van Haelst A G, Van Leeuwen K, *et al.* Priority setting for existing chemicals: European Union risk ranking method [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1999, **18**(4): 772-779.
- [21] Lim S R, Lam C W, Schoenung J M. Quantity-based and toxicity-based evaluation of the US toxics release inventory [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, **178**(1-3): 49-56.
- [22] Muñoz I, Gómez M J, Molina-Díaz A, *et al.* Ranking potential impacts of priority and emerging pollutants in urban wastewater through life cycle impact assessment [J]. Chemosphere, 2008, **74**(1): 37-44.
- [23] Snyder E M, Snyder S A, Giesy J P, *et al.* SCRAM: Chemical scoring and ranking assessment model-Overview [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2000, **7**(1): 51.
- [24] 宋利臣, 叶珍, 马云, 等. 潜在危害指数在水环境优先污染物筛选中的改进与应用[J]. 环境科学与管理, 2010, **35**(9): 20-22.
- [25] Askham C. REACH and LCA-methodological approaches and challenges [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2012, **17**(1): 43-57.
- [26] Rosenbaum R K, Bachmann T M, Gold L S, *et al.* USEtox-the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, **13**(7): 532-546.
- [27] Henderson A D, Hauschild M Z, van de Meent D, *et al.* USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011, **16**(8): 701-709.
- [28] Eckelman M J, Mauter M S, Isaacs J A, *et al.* New Perspectives on Nanomaterial Aquatic Ecotoxicity: Production Impacts Exceed Direct Exposure Impacts for Carbon Nanotubes [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46**(5): 2902-2910.
- [29] Demou E, Hellweg S, Hungerbühler K. An occupational chemical priority list for future life cycle assessments [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, **19**(12): 1339-1346.
- [30] Berthoud A, Maupu P, Huet C, *et al.* Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011, **16**(8): 841-847.
- [31] Hauschild M Z, Huijbregts M, Joliet O, *et al.* Building a model based on scientific consensus for life cycle impact assessment of chemicals: The search for harmony and parsimony [J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42**(19): 7032-7037.
- [32] Van Hoof G, Schowanek D, Franceschini H, *et al.* Ecotoxicity impact assessment of laundry products: a comparison of USEtox and critical dilution volume approaches [J]. The International

- Journal of Life Cycle Assessment, 2011, **16**(8): 803-818.
- [33] Mattila T, Verta M, Seppälä J. Comparing priority setting in integrated hazardous substance assessment and in life cycle impact assessment [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011, **16**(8): 788-794.
- [34] Juraske R, Mutel C L, Stoessel F, *et al.* Life cycle human toxicity assessment of pesticides: Comparing fruit and vegetable diets in Switzerland and the United States [J]. Chemosphere, 2009, **77**(7): 939-945.
- [35] 杨清民. 关于山西省焦化企业未来发展的思考[J]. 煤化工, 2009, **37**(4): 9-11.
- [36] 闫二旺, 陈培忠. 山西焦化循环经济工业园区案例研究[J]. 科技创新与生产力, 2011, (12): 38-43.
- [37] 李从庆. 炼焦生产大气污染物排放特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [38] Mu L, Peng L, Liu X F, *et al.* Emission characteristics of heavy metals and their behavior during coking processes [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46**(11): 6425-6430.
- [39] Mu L, Peng L, Cao J J, *et al.* Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from coking industries in China[J]. Particuology, 2013, **11**(1): 86-93.
- [40] 赵海霞. 湿法熄焦工艺中废气污染物排放分析[J]. 山西化工, 2007, **27**(2): 69-72.
- [41] Pizzol M, Christensen P, Schmidt J, *et al.* Impacts of “metals” on human health: a comparison between nine different methodologies for Life Cycle Impact Assessment (LCIA) [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, **19**(6-7): 646-656.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

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