

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

|                                                                   |                                           |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 编者按 .....                                                         | (403)                                     |
| 我国化学品的风险评价及风险管理 .....                                             | 王铁宇,周云桥,李奇峰,吕永龙 (404)                     |
| 土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 .....                                     | 吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)                         |
| 中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 .....                                   | 黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)                         |
| 关中地区冬季PM <sub>2.5</sub> 中碳气溶胶的污染特征及来源解析 .....                     | 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)              |
| 利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 .....                                    | 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434) |
| 南京夏季市区VOCs特征及O <sub>3</sub> 生成潜势的相关性分析 .....                      | 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)   |
| 北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 .....                                        | 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)                 |
| 重庆市垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 .....                                    | 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)               |
| 三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 .....                                          | 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)           |
| 长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 .....                                         | 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)                      |
| 青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程 .....                                     | 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)       |
| 西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 .....                                       | 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)                  |
| 坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 .....                               | 余成,陈爽,张路 (499)                            |
| 近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 .....                                      | 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)                  |
| 舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 .....                                       | 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄焕芳 (513)              |
| 模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 .....                                          | 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)           |
| 中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 .....                                       | 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)                   |
| 江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 .....                              | 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)                    |
| 巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 .....                                             | 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)                  |
| 合肥城郊典型农田溪流生态系统沉积物磷形态及释放风险分析 .....                                 | 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)                     |
| 桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 .....                                          | 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)          |
| 苏州市古城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 .....                                   | 李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)                       |
| 洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 .....                                 | 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)          |
| 三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 .....                         | 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)                |
| pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 .....                                     | 王辉,孙波,关小红 (588)                           |
| EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 .....                                    | 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)                      |
| 镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 .....                                        | 王婷,朱春山,胡承志 (602)                          |
| 微生物对砷的氧化还原竞争 .....                                                | 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍旻,王明星,袁林江 (609)              |
| 处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 .....                                     | 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)                  |
| 污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 .....                                        | 景明,王磊 (622)                               |
| 异养硝化-好氧反硝化菌 <i>Burkholderia</i> sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析 ..... | 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫测辉 (630)               |
| 基于新一代测序技术的A <sup>2</sup> O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 .....               | 田美,刘汉湖,申欣 (638)                           |
| 1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 .....                                  | 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)                  |
| 纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 .....                         | 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)                   |
| 3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 .....                               | 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)              |
| 合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 .....                                 | 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)              |
| 芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 .....                                   | 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)                   |
| 芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 .....                                     | 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)             |
| 季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 .....                                       | 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)            |
| 增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 .....                                     | 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)                       |
| 基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 .....                                | 王幼奇,白一茹,王建军 (710)                         |
| 不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 .....                                     | 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)                     |
| 紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸持特征及影响因素 .....                                    | 王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)                        |
| 几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 .....                                        | 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)                 |
| 河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 .....                           | 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶谢,刘文新 (740)           |
| 湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 .....                                    | 罗鹏程,李航,王曙光 (750)                          |
| 溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 .....                                             | 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)                     |
| 自组装哑铃状Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 .....      | 黄鑫辰,宗刚,刘烨煌,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)      |
| 盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N <sub>2</sub> O产生的影响 .....                  | 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)                   |
| 污泥直接干化尾气中恶臭污染物质重要性评价:以指标权重评分法为例 .....                             | 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)               |
| 《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)                   |                                           |

# 我国化学品的风险评价及风险管理

王铁宇<sup>1</sup>, 周云桥<sup>1,2</sup>, 李奇锋<sup>1,2</sup>, 吕永龙<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 对化学品进行风险评价与风险管理是合理处置和科学管理化学品的必然趋势. 本文从健康风险评价、生态风险评价及区域风险评价这 3 个层次系统阐述了化学品风险评价方法, 结合我国化学品分类与管理现状, 提出了我国化学品风险管理的对策建议. 即从风险管理的对象入手, 将化学品本身、主要行业企业以及相关利益方三方面作为风险管理的对象, 构建了我国化学品的风险管理框架, 旨在为提高我国化学品风险评价与风险管理水平提供科技支撑.

**关键词:** 化学品; 健康风险; 生态风险; 区域风险评价; 风险管理

中图分类号: X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0404-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.02.001

## Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China

WANG Tie-yu<sup>1</sup>, ZHOU Yun-qiao<sup>1,2</sup>, LI Qi-feng<sup>1,2</sup>, LÜ Yong-long<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Risk assessment and risk management have been increasingly approved as an effective approach for appropriate disposal and scientific management of chemicals. This study systematically analyzed the risk assessment methods of chemicals from three aspects including health risk, ecological risk and regional risk. Based on the current situation of classification and management towards chemicals in China, a specific framework of risk management on chemicals was proposed by selecting target chemicals, predominant industries and related stakeholders as the objects. The results of the present study will provide scientific support for improving risk assessment and reasonable management of chemicals in China.

**Key words:** chemicals; health risk; ecological risk; regional risk assessment; risk management

近 30 年, 随着我国工业化和现代化进程的全面推进, 化学品在种类和数量上都有了极大丰富. 当前, 我国已成为世界化学品的生产和使用大国<sup>[1]</sup>, 化肥和农药产量分别位居世界第一和第二, 同时其使用量也居世界前两位<sup>[2]</sup>. 化学品的丰富给人民生活、生活带来了极大便利, 但与此同时, 生产和使用化学品也不可避免的带来了污染物排放、废弃物堆放, 环境污染事件与事故不断发生. 2013 年 2 月披露的“中国癌症村地图”中癌症村患癌人数多的原因与当地水土长期受到有毒化学品的污染直接相关, 有毒化学品污染给人体健康带来了潜在危害与风险<sup>[3]</sup>. 2014 年 9 月新京报报道了内蒙古腾格里沙漠污染事件, 工厂肆意向沙漠腹地排放化学废水, 对当地沙漠生态系统造成了严重破坏, 对地下水造成了严重污染, 而且这种破坏和污染往往无法修复或修复成本巨大<sup>[4]</sup>. 2015 年 8 月 12 日天津港爆炸事故, 易燃易爆化学品爆炸造成了重大人员伤亡和财产损失, 泄漏的有毒化学品对人类健康以及生态安全也有很大威胁. 因此, 在污染或事故发生前做好化学品的风险评价与风险管理至关重要. 化学品的风险管理需要依据风险评价结果, 风险评价通常包

括健康风险评价、生态风险评价和区域风险评价这 3 个方面. 三者都重点关注风险源在受体上的风险表征, 但在受体及风险表征尺度上有区别, 健康风险评价主要评价对人体健康的影响, 生态风险评价及区域风险评价则更为宏观, 同时三者的评价方法也有较大区别.

本文从化学品风险评价重点关注的 3 个层面 (健康风险、生态风险、区域风险), 阐述了化学品风险评价的技术流程, 据此分析了我国化学品分类和管理现状, 提出了以化学品本身、主要行业企业及相关利益方三方面为管理对象的化学品风险管理体系, 旨在为提高我国化学品风险评价与管理水平提供科技支撑.

### 1 化学品的风险评价

为在源头上避免生产、储存、使用化学品给人

收稿日期: 2015-09-21; 修订日期: 2015-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571478, 41171394); 科技基础性工作专项 (2013FY11110); 中国科学院重点部署项目 (KZZD-EW-TZ-12)

作者简介: 王铁宇 (1973 ~), 男, 研究员, 主要研究方向为区域污染的生态过程、生态风险及环境管理, E-mail: wangty@reeces.ac.cn

类和自然环境带来不利影响,遏制化学品安全事故的高发态势,规避化学品潜在的健康威胁,对化学品开展风险评价与风险管理极为重要。事实上,许多国家,尤其是美国对化学品风险评价与管理进行了广泛研究与实践。1975年,联合国环境规划署建立了“国际潜在有毒化学品登记中心(IRPTC)”,专门从事化学品全球观察和全球环境评价方面的活动,对潜在化学品可能造成的危害进行全球性早期预报<sup>[5]</sup>。1976年,美国环保署(US EPA)公布了《潜在致癌物健康风险评价暂行办法和指南》,提出了有毒化学品致癌风险的评价方法<sup>[6]</sup>,这段时期大家主要关注化学品的健康风险。1998年,US EPA制定的《生态风险评价指南》是目前应用最为广泛的风险评价指导性文件,化学品风险评价也随之向生态风险评价方向发展。近年,随着化学品危害范围变大,科学家开始关注化学品的区域风险。总之,化学品的风险评价大致经历了从健康风险评价到生态风险评价,并向区域风险评价发展的历程。

### 1.1 健康风险评价

化学品健康风险评价是我国政策规定的必备环节,《新化学物质申报登记指南》规定新化学物质申报需提交风险评估报告,新化学物质危害评估包括物理化学危害评估、人体健康危害评估、环境生物危害评估这3个方面。其中,人体健康危害评估应包含毒性、刺激性和腐蚀性、致敏性、重复接触毒性(亚慢性毒性、慢性毒性)、致突变性、生殖/发育毒性和致癌性评估等。健康风险评价是以风险度作为评价指标,把环境污染与人体健康联系起来,定量描述污染物对人体健康产生危害的风险大小的一种评价方法<sup>[7,8]</sup>。这种方法兴起于20世纪50年代,1983年由美国国家科学院编制的《联邦政府风险评价:管理进程》被认为是健康风险评价发展的里程碑。其中提出的风险评价四段法被许多国家采用,也是我国目前健康风险评价的主流方法。它的四大步骤为:危害鉴定、剂量-效应评估、暴露评价和风险表征,如图1。化学品的健康风险评价首先是从危害鉴定开始,确定其是否对人体健康有害。进而对有危害的化学品进行剂量-效应评估和暴露评价。风险表征则是利用前3阶段所得数据,估算不同剂量化学品在不同暴露条件下,可能产生的健康危害的强度或概率。

危害鉴定。主要是明确化学品可能产生的健康危害,任务是收集化学品相关信息,鉴别潜在化学品。这种危害包括短期内暴露在某一化学品下发

生的急性或亚急性毒性危害以及长期暴露造成的慢性毒性危害。对已有的化学品,主要是依据其现有的毒理学和流行病学资料,判断其对人体健康或生态环境造成不利影响的程度。对新申报的化学品,需要搜集完整、可靠的资料,以便对剂量-效应评估结果提供支撑。

剂量-效应评估。这是进行风险评价的定量依据,主要手段是流行病学调查和敏感动植物实验,通过数学模型进行经验外推,确定适合于人体健康的剂量-效应曲线,由此计算化学品对危险人群健康的影响。目前,在从动植物实验向人外推时,主要采用体重外推法、体表面积外推法或安全系数法。从高剂量向低剂量外推时,大多采用威布尔模型、一次打击模型、多次打击模型、生物药代动力学模型等<sup>[9]</sup>。估算模型的选择、建立、优化和可信度评价是当下健康风险评价领域面临的重要问题<sup>[10]</sup>。

暴露评价。这是对人群暴露于化学品中的强度、频率和时间进行评价及预测,也是进行风险评价的定量依据,这个过程需要分析化学品放至环境的暴露途径、识别暴露受体及受体接触化学品的暴露途径。一般,化学品与人体接触主要通过口(饮食)、鼻(呼吸)和皮肤等途径。唐荣莉等<sup>[11]</sup>对北京城市道路灰尘重金属的健康风险进行研究,指出不同途径重金属慢性每日平均暴露量排序为:手-口摄食>皮肤接触>吸入途径。

风险表征。这是对前3个阶段结果综合分析的基础上,估算化学品可能产生的健康危害的强度或产生某种健康危害的发生概率,并对其可信度和不确定性加以评估与阐释,最终形成报告书,为环境风险管理人员的管理决策提供依据。一般情况下,化学品的致癌风险表征是通过人体长期日摄入量(chronic daily intake, CDI)与致癌斜率因子(slope factor, SF)的乘积计算得出,以风险值Risk表示,即 $Risk = CDI \times SF$ <sup>[12]</sup>。非致癌风险表征是通过暴露评价中人体长期日摄入量CDI除以慢性参考剂量(reference dose, RfD)计算得出,以风险值HQ表示,即 $HQ = CDI/RfD$ <sup>[13]</sup>。

国内许多学者对水、大气、土壤中的化学品可能带来的健康风险进行了评价,如王若师等<sup>[14]</sup>对东江中下游流域河源市和惠州市的乡镇饮用水源地重金属污染进行了健康风险评价,指出水库中的铬对当地成人和儿童的致癌风险较高。周裕敏等<sup>[12]</sup>采用低温固体吸附采样,热脱附-气相色谱-质谱的方法,对北京城乡结合地空气中挥发性有机化合物

(volatile organic compounds, VOCs)健康风险进行了评价,结果发现苯、甲苯、乙苯是最主要的有害VOCs,致癌指数较高,非致癌危险指数为0.2342,致癌物的致癌风险为 $2.39 \times 10^{-7} \sim 2.21 \times 10^{-5}$ ,空气VOCs 对人体的健康影响以非致癌风险为主. 张瑜等<sup>[15]</sup>通过对常州市某持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)污染的场地进行健康风险评价研究,指出氯丹和灭蚁灵在土壤中的3条暴露途径对健康风险的贡献大小依次为:直接摄入土壤>皮肤接触>呼吸摄入. 可见,重金属、POPs、

VOCs等常规化学品的健康风险评价应用已相对成熟. 目前,新型化学品的健康风险评价工作也在不断丰富. 但是,仅仅关注化学品的健康风险评价是不够的. 一方面,化学品健康风险评价仅考虑化学品对人群的潜在健康危害,而忽略其对其他生物的影响;另一方面,人类的健康与周围生物的健康以及生物衍生品的安全息息相关(图1). 人类社会需要永续发展,就需要关注整个生态系统的健康与安全. 因此,有必要考虑化学品对生态系统的影响,进行生态风险评价.

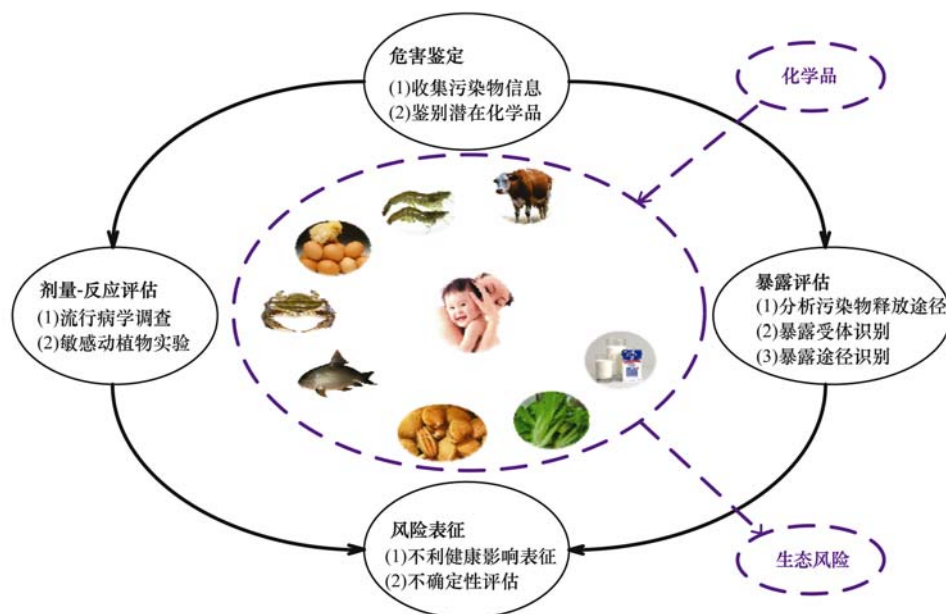


图1 化学品的健康风险评价步骤

Fig. 1 Steps of health risk assessment for chemicals

## 1.2 生态风险评价

生态风险评价与健康风险评价的主要区别是评价受体和表征的不同,生态风险侧重关注人类活动导致的生态系统功能损失的可能性. 1990年,美国环保署开始使用“生态风险评价”一词,并逐步从人体健康评价转向以种群、群落或生态系统为受体的生态风险评价<sup>[16]</sup>. 随后在1992年和1998年,美国EPA先后制定并修改了生态风险评价框架,使得生态风险评价工作的开展更加规范. 化学品生态风险评价是定性或定量预测各种化学品污染物对生态系统产生不利影响的可能性以及评价该不利影响可接受程度的方法体系<sup>[17]</sup>. 风险源(化学品污染物)、受体及表征是其3个重要组成部分,具体评价过程如图2.

风险源主要是对生态系统产生不利影响的化学品,包括无机污染物(铅、镉、汞、砷等)、有机污染

物(甲醛、苯、甲苯等)、持久性污染物[有机氯杀虫剂、多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)、六氯苯(hexachlorobenzene, HCB)、二噁英等]、多溴联苯醚(poly brominated diphenyl ethers, PBDEs)和新型污染物(如全氟辛烷磺酰基化合物: perfluorooctane sulfonate, PFOS、六溴环十二烷: hexabromocyclododecane, HBCD)等. Liu等<sup>[18]</sup>研究了铅酸蓄电池厂周边重金属污染(As、Cd、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb和Zn)对农田生态系统造成的生态风险,结果发现Cd、Pb和Zn是来源于电池厂,它们通过大气沉降蓄积至周边农田土壤,其中Pb含量超标,会给摄食者带来潜在的健康风险. Chen等<sup>[19]</sup>对我国5个主要流域(长江、淮河、黄河、海河和辽河流域)典型饮用水源地中77个目标VOCs的生态风险和健康风险进行评估,结果发现VOCs会带来潜在的生态风险( $1.30 \times 10 \sim 8.99 \times 10$ ),但较小的健

康风险( $6.84 \times 10^{-7} \sim 4.24 \times 10^{-4}$ ).

受体主要是指受到不利影响的对象.个体、种群、群落、生态系统(森林生态系统、草地生态系统、荒漠生态系统、湿地生态系统、湖泊生态系统、海洋生态系统、农田生态系统、城市生态系统等)、景观或区域(城市景观、森林景观、流域等)水平都可以作为生态风险评价的对象<sup>[20]</sup>.例如,Andrieu等<sup>[21]</sup>在越南湄公河三角洲地区的鲶鱼农场中,评估了抗生素恩诺沙星(enrofloxacin)的使用对鲶鱼种群所造成的生态风险.Zhang等<sup>[22]</sup>利用AQUATOX食物网耦合模型,评估了PBDEs给白洋淀湖泊生态系统带来的生态风险.Yi等<sup>[23]</sup>研究了长江中下游沉积物重金属浓度的潜在生态风险,结果中游6个位点,下游一半位点和湖泊中的两个位点都构成了中度及以上的生态风险.

表征则是指化学品对评价对象造成的不利影响,在影响范围上可分为生理影响、生态影响与区域影响.风险表征的方法根据影响范围的不同有所区别.对于生理影响,主要是通过生物模拟实验,探究化学品对生物生理指标的影响,如孔潇潇等<sup>[24]</sup>通过在7个PFOS浓度梯度的培养瓶中水培金鱼藻7d,探究了PFOS对金鱼藻超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶和细胞色素含量等生理指标的影响.对于生态影响,除定性描述是否超过风险标准外,主要是通过商值法、概率法、多层次风险评价法、暴露-效应法等定量方法确定风险大小、指数或风险等级<sup>[25]</sup>.于云江等<sup>[26]</sup>采用地累积指数法和潜在生态危害指数法研究了某受工业重金属污染较重的农田土壤的潜在生态风险,指出研究区Cd的风险指数最高为46.4,属中等危害.郭先华等<sup>[27]</sup>采用基于因子权重的评价方法对贵阳市红枫湖进行了综合评价,结果发现南湖生态风险值最高为0.6324、北湖次之为0.3449、中湖最低为0.3335.对于区域影响,则需要与经济、社会、文化相结合,建立区域风险评价指标体系和标准,确定风险等级,并降低评价结果的不确定性,充分发挥风险评价对管理者的辅助决策功能<sup>[28]</sup>.

目前,化学品生态风险评价已经受到越来越多研究者的关注<sup>[29]</sup>,并且向大范围、大尺度地理区域的风险评价方向发展<sup>[30]</sup>.

### 1.3 区域风险评价

区域风险评价是生态风险评价的一个重要分支,它是在区域<sup>[31]</sup>、流域<sup>[32]</sup>或景观<sup>[33]</sup>等中大尺度上描述和评价风险源对生态系统结构和功能等产生

不利影响的可能性和危害程度<sup>[34]</sup>.国内一些学者建立了以区域、流域、景观尺度为背景的生态风险评价框架<sup>[35,36]</sup>,但这些框架均侧重于景观格局、自然灾害和生态系统造成的风险,而对化学品,特别是其中持久性有毒化学品造成的区域风险考虑不足.黄圣彪等<sup>[37]</sup>指出,区域环境风险评价需要关注3个关键科学问题:风险污染物筛选及优先排序、暴露分析、效应分析.陈春丽等<sup>[38]</sup>认为观测与数据采集加工、指标体系的统一与整合、风险评价方法论、空间分布特征与反馈及管理机制是未来区域生态风险评价的5个重要研究方面.这些观点为评价化学品区域风险提供了思路,本文认为化学品的区域风险评价应在生态风险评价的基础上,结合化学品可能带给区域的生态风险和社会风险综合评价区域风险等级,运用遥感(remote sensing,RS)、全球定位系统(global positioning system,GPS)和地理信息系统(geographical information system,GIS)等“3S”空间分析技术进行风险表征,并据此构建了区域风险评价的技术流程(图2).

区域风险评价过程分为:①界定评价区域、②识别受体、风险源和筛选社会经济指标、③划分区域风险等级、④分析不确定性,以及⑤表征区域风险这5个关键步骤.第1部分,根据环境资料、地理资料、野外实地调查资料等自然环境资料和经济统计资料、人口统计资料、历史文化资料等社会经济资料,结合“3S”技术对研究区进行划分,降低区域内部的空间异质性;第2部分,在划分的区域中识别风险源及受体,需要注意的是需将生态风险评价过程选择的单一风险源、单一受体、局地水平扩展为多风险源、多受体、区域或景观水平<sup>[28,30]</sup>.同时,需要根据社会经济资料筛选出用于划分社会风险等级的指标;第3部分,对识别得到的风险源及受体进行生态风险评价,划分风险等级.同样的,根据得到的风险源和社会经济指标,评价社会风险等级;第4部分,选择合适的分析不确定性方法,对等级划分结果进行不确定性分析;第5部分,结合“3S”等技术进行区域风险表征,绘制区域综合风险评价空间分区.

化学品对人体健康、生态环境以及区域环境都可能造成风险,对化学品进行风险评价的最终目的是更好地管理化学品,增加其福利,降低其危害.我国和国际社会主要采用化学品分类管理,我国在分类管理的基础上,还制定了相应的政策法规对化学品的登记、生产、运输、储存等环节进行管理.

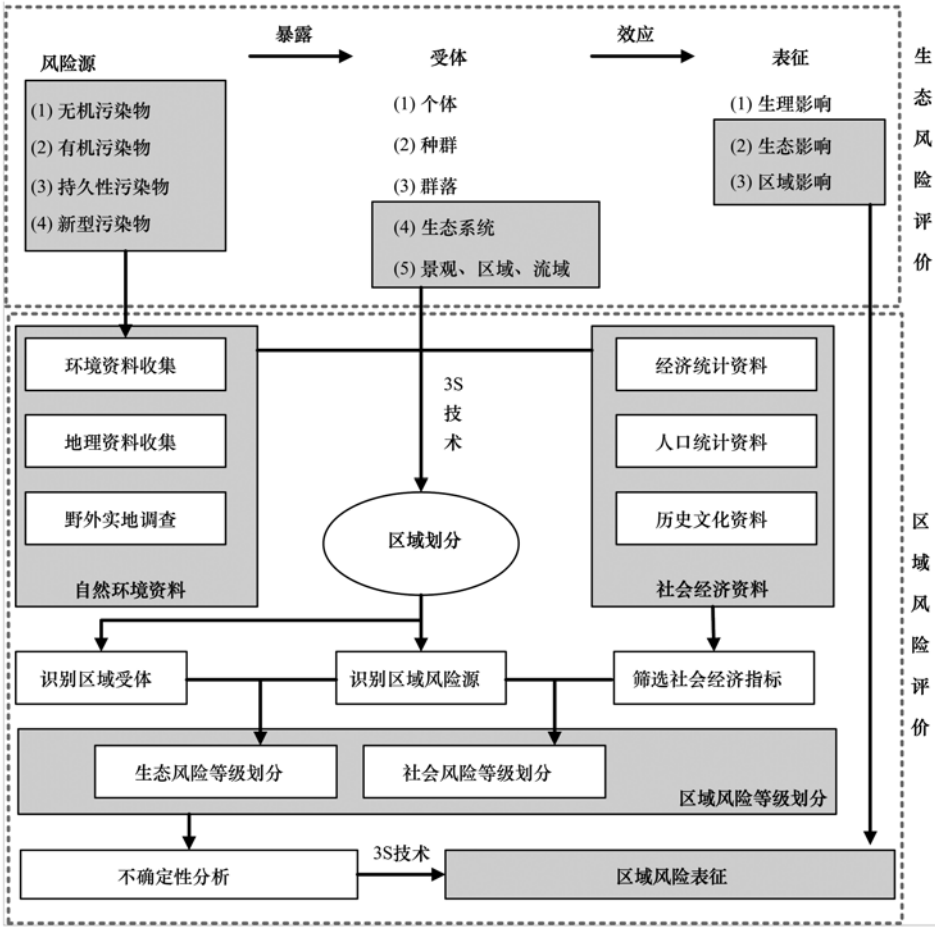


图 2 化学品生态风险与区域风险评价过程

Fig. 2 Ecological and regional risk assessment process of chemicals

2 我国化学品分类及管理现状

化学品数量巨大且用途广泛,如《中国现有化学物质名录》中收录了45 612种化学物质,它们被用于人类生产生活的各个方面,故对化学品进行一对一管理显然不切实际. 目前,世界各国普遍对化学品采用分类管理的方式.

2002 年,联合国危险货物运输和全球化学品统一分类和标签制度专家委员会通过了《化学品统一分类和标签全球协调制度》(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS). 从此,GHS 每两年更新一次,第五次修订版已在 2013 年完成,今年将完成第六次修订. GHS 将化学品分为 16 项物理危险、10 项健康危害和 2 项环境危害. 目前,国际范围内,包括美国、加拿大、欧盟、日本、韩国、巴西等全球主要工业化国家都已经逐步实施了 GHS.

我国的化学品的分类主要是依据《危险化学品名录》. 2003 年公布的《危险化学品目录

(2002 版)》将危险化学品分为 8 类,即:①爆炸品,②压缩气体和液化气体,③易燃液体,④易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品,⑤氧化剂和有机过氧化物,⑥毒害品和感染性物品,⑦放射性物品,⑧腐蚀品,与国际化学品通用分类制度 GHS 差异较大<sup>[39]</sup>. 经多年实践,2015 年由国家安监总局等十部委联合公告的《危险化学品目录(2015 版)》正式发布. 它将危险化学品分类修改为了物理危险、健康危害和环境危害三大类,28 个大项和 81 小项,与联合国 GHS 第四修订版的标准一致. 这标志着我国化学品分类管理工作基本与国际接轨.

我国早期对化学品的分类从侧面反映出这一时期化学品的管理思路,即以安全生产为目的,侧重减少安全事故及人员伤亡,对化学品的风险管理关注较少. 现行的法律法规也主要是按照这一思路制定,如《危险化学品安全管理条例》、《危险化学品登记管理办法》、《道路危险货物运输管理规定》、《易制毒化学品管理条例》、《药品类易制毒化学品

管理办法》和《大气污染防治法》、《水污染防治法》、《固体废物污染环境防治法》等环境保护法律,分别从生产安全、储存安全、运输安全、特殊化学品管理、环境污染管理等多方面对化学品管理进行了规范。但是,统计分析化学品事故信息网<sup>[40]</sup>公布的化学品事故,2012~2015年我国化学品事故数量呈快速增长的趋势,如图3。2015年前8个月,我国化学品事故总数(1435起)超过美国(473起)3倍。其中,储存运输事故和交通运输事故分别占总事故数的65.1%和24.9%,是我国化学品事故发生的主要类型。同时,很多化学品,如石棉、内分泌干

扰物(endocrine disrupting chemicals, EDCs)等,都可能对人体健康造成损害或对生态系统及区域环境造成持久性的不利影响,并且这种不利影响很难在短时间内发现。但是,一旦发现很难修复或逆转。我国目前尚未出台相应法律法规,一旦发生此类化学品污染事件,如日本水俣病、痛痛病等,排污责任主体将很难认定,公民权益将无法保障。可见,在登记、运输、储存、生产等环节对化学品进行的一般性管理尚难以满足降低化学品事故发生率和规避化学品潜在危害的现实需要。因此,对化学品进行风险管理显得十分必要。

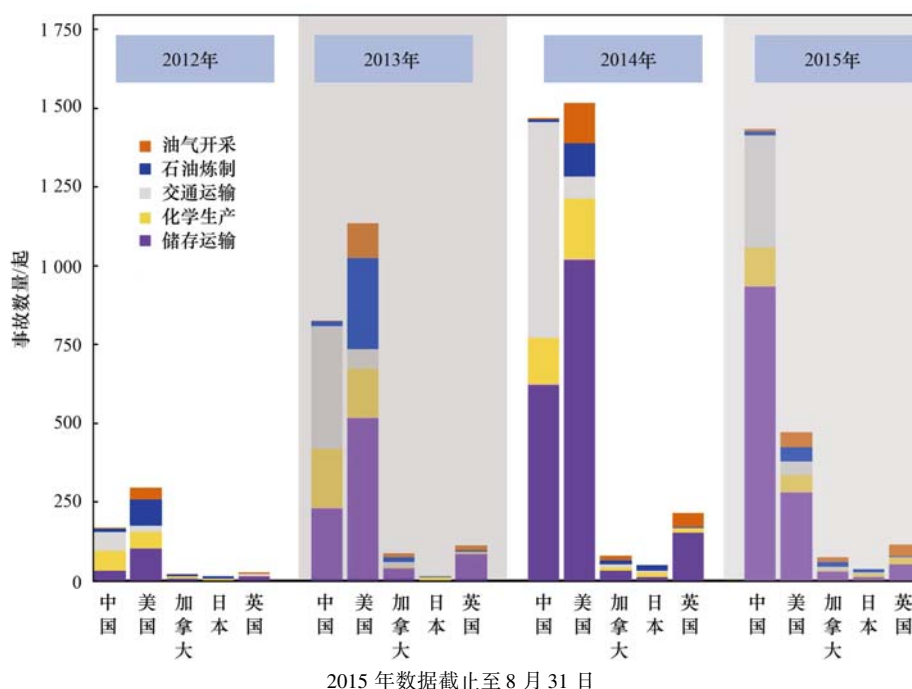


图3 我国与主要发达国家化学品事故发生情况

Fig. 3 Chemical accidents in China and four major developed countries

### 3 我国化学品的风险管理

风险管理就是在进行风险评价的基础上,运用科学的管理手段或方法,对可能发生的风险进行预防和处理,尽可能的控制风险,使其向有利方向发展,并且能够在风险发生后及时采取主动的补救措施<sup>[41]</sup>。国内外学者重点关注的是风险管理的方法<sup>[42]</sup>,指出化学品风险管理的关键是找准管理对象。笔者在综合分析国内外相关研究的基础上,将管理对象分为3个层次,包括:①针对化学品本身的风险管理;②针对行业企业的风险管理;③针对利益相关方的风险管理,提出了我国化学品的风险管理框架(图4)。

#### 3.1 针对化学品的风险管理

(1)修订现行化学品管理法律法规,强化化学

品风险管理,构建较为完善的化学品管理体系

现行有关化学品管理的法律法规主要是关注常规污染物的达标排放和防止生产安全事故发生,很少关注化学品的健康风险及生态风险。然而许多化学品污染物,尤其是新型持久性有毒污染物,如PFOS、PBEDs等,更容易长期存在于环境中,通过食物链逐级传输,对人类健康甚至整个生态系统造成不可忽视的影响,且不容易在短时间内发现。因此,需要做好化学品的风险定量评价工作,补充现行化学品管理法律法规中有关风险管理的空白。

(2)完善化学品风险评价体系,将安全-健康-生态风险一体化考虑,为管理者提供全面的决策依据

目前,我国化学品风险评价研究在健康风险角

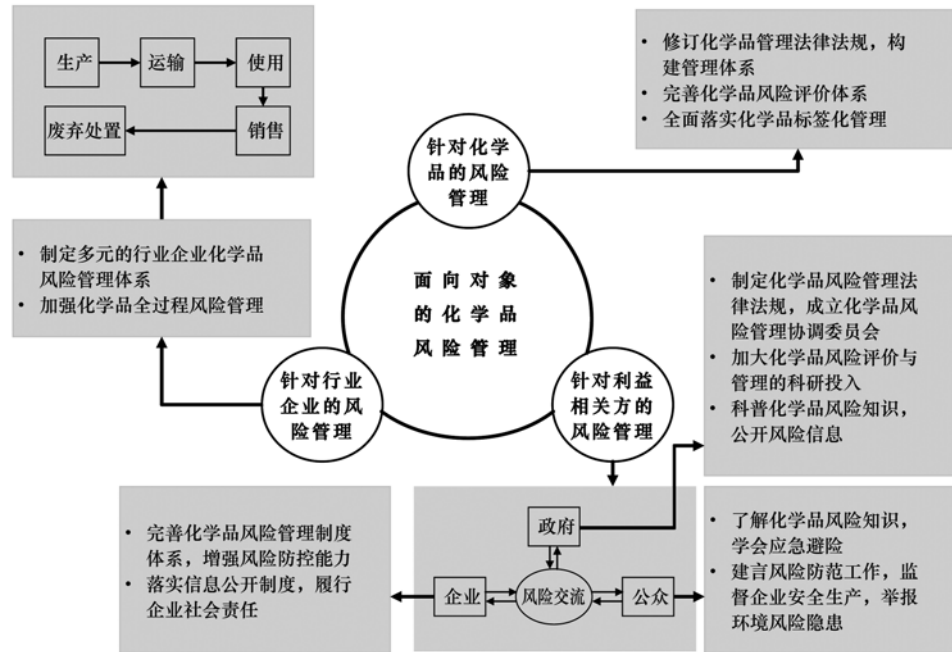


图4 我国化学品的风险管理框架

Fig. 4 Risk management framework of chemicals in China

度较为丰富,对重金属、VOCs等常规污染物以及二噁英、PFOS等持久性有机污染物都有涉及。而在生态风险,特别是区域风险层面的研究还严重不足,如理论研究和实践成果不多、研究不够深入和系统、指标体系的构建及风险等级的划分不统一等。但是,生态风险和区域风险的评价结果对化学品风险管理决策影响更大。因此,化学品风险管理应在关注安全,做好健康风险评价工作的基础上,积极向生态及区域风险评价角度拓展,增加化学品风险对人口、经济等社会指标影响的评估,为管理者提供更加丰富、可靠的决策参考。

(3)全面落实化学品标签化管理,出台相关配套政策,积极管控高风险化学品

经过多年发展,我国化学品分类已逐步与国际GHS管理接轨,如《危险化学品目录(2015版)》与联合国GHS第四修订版的标准一致。但在我国该分类方法刚刚发布,尚未全面落实且未与化学品标签化管理结合。因此,需要抓紧制定并出台实现化学品标签化管理的配套政策。对化学品实行标签化管理,着重管理健康、生态或区域风险高的化学品,利用登记制度、审批手段等方法,逐步限制、淘汰和替代高风险化学品。

### 3.2 针对行业企业的风险管理

(1)制定多元化的行业企业化学品风险管理体系,实现生态、社会、经济效益最优化

不同行业企业消耗与生产的化学品种类、性质

差别很大,单一的化学品风险管理体系不适用与管理庞杂的风险信息。因此行业企业需有针对性的制定多元化的风险管理体系,依据化学品风险评价结果,得到风险高低排序。针对高风险化学品采用相对严格标准,对低风险化学品采用相对宽松标准,以实现在保障人民健康、生态安全的前提下,使社会、经济效益达到最优。

(2)加强化学品生产、存储、运输、销售、使用与处置的全过程风险管理

如今,化学品几乎涉及人类生产生活的各个方面。行业企业作为消耗、生产、运输、销售、处理、排放化学品的主体,便于对化学品的整个生命周期进行风险管理,从各个环节预防威胁人类健康与生态系统安全的事故发生,或降低事故危害。生命周期大致可分为生产、储存、运输、销售使用、处理处置等5个环节。生产环节,需强化安全生产责任制度,切实保障生产人员健康,禁止偷排化学废弃物。储存与运输环节,需完善储存与运输特许经营管理制度,定期对运输及储存设备进行查修,对运输员与储存管理员进行考核,对不合格的单位或个人取消资格证。同时,需制定运输与储存事故多级应急预案,第一时间反应,降低事故危害,减少人员伤亡及对生态环境的破坏。销售与使用环节,销售者和使用者都需按照化学品标签说明的方法保存与使用化学品,对未用尽的高风险化学品要定点放置以便回收与处理。处理处置环节,需加强化学品废

弃物集中收集处置中心建设,严格化学品废弃物分类与处置,实现达标排放。

### 3.3 针对利益相关方的风险管理

#### 3.3.1 政府层面

(1) 尽快制定化学品风险管理相关法律法规,成立化学品风险管理协调委员会

尽管我国近年发布的《关于加强环境保护重点工作的意见》、《国家环境保护“十二五”科技发展规划》和《化学品环境风险防控“十二五”规划》等政策文件中多次强调“加强化学品环境管理”、“防控环境风险”、“健全化学品风险防控体系”,但是仍缺乏法律从根本上规范化学品风险管理,无法做到有法可依,因此需尽快制定化学品管理法律法规。我国管理化学品的部门众多,如《危险化学品目录(2015 版)》是由十部委联合发布,管理对象多有重合。在共同管理对象出现问题时,主管部门又相互推诿责任。因此,有必要成立化学品风险管理协调委员会,协调部门间管理化学品风险的关系,以保障相关法律法规的高效执行。

(2) 加大对化学品风险评价与管理的科研投入,丰富化学品风险管理基础信息

我国现有生产使用记录的化学物质有 4 万多种,其中仅 3 千余种列入《危险化学品名录(2012 版)》,尚有大量化学物质的危害特性还未明确和掌握。因此,我国仍需进一步加大对化学品风险评价与管理工作的科研投入,着重研究危害特性未明的化学物质的健康、生态及区域风险,开展典型人群的暴露参数、生态风险表征以及区域影响分析的相关研究,并在风险评价的基础上,开展化学品风险管理试点工作,丰富化学品风险管理基础信息。

(3) 科普化学品风险知识,提高公众应急自救能力,及时公布化学品风险信息,主动引导社会舆论

通过各种宣传方式,如网络、电视、电台等,向公众科普化学品性质与危害、风险产生、风险防范、应急自救等知识,提高公众对化学品风险的认知。针对特定高风险人群,如企业职工、高校实验员等,组织突发化学品风险事故应急逃生演练,宣传基本救护知识,提高应急自救能力。加强化学品风险信息的及时、准确公开,政府部门督促企业公开风险信息,保障公众知情权,防止因谣言或误解引发公众抗议等群体性事件,及时辟谣,主动、正确引导社会舆论。

#### 3.3.2 企业层面

(1) 完善化学品风险管理制度体系,增强企业

自身风险防控能力

企业应充分发挥防控化学品风险“先头兵”的作用,从企业厂界内化学品风险评估、生产环节化学品风险排查、化学品废弃物风险申报等方面完善风险管理制度体系,并制定化学品事故应急预案制度、化学品风险应急人员培训与物资管理制度等,进一步增强企业自身的风险防控能力。

(2) 认真落实化学品风险信息公开制度,履行企业社会责任

企业作为化学品的生产者,应注重自身管理,履行社会责任。对政府,企业需要按规定上报风险监测数据、污染物处理情况等环境信息,协助政府管控化学品风险。对公众,企业需及时发布风险信息,尤其是出现重大风险隐患时,通过各种媒体向公众发布消息,使公众及时采取必要防护措施,安全避险。

#### 3.3.3 公众层面

(1) 主动了解化学品风险知识,主动参与淘汰高风险化学品,学会化学品突发事故应急避险

公众作为与化学品直接接触的受体,应了解基本的化学品风险知识,选择消费对健康或生态风险性小的商品,进而通过市场手段,促使企业更新生产技术与设备,淘汰使用或生产风险性高的化学品。并积极参加突发化学品风险事故应急逃生演练,利用所了解的化学品风险知识与经验,进行自救和互救。

(2) 建议政府风险防范工作,监督企业安全生产,向政府主管部门举报环境风险隐患

化学品风险重在防范,公众应充分发挥其社会监督作用,参与化学品风险防范听证会、环境影响评价听证会等,为政府风险防范工作提供建议、发表诉求,监督企业进行安全生产,污染物达标排放。当发现企业偷排、管道泄漏等环境风险隐患时,立即向政府主管部门举报,尽快排除风险隐患。

#### 参考文献:

- [1] 何晓文. 技术性贸易壁垒和 REACH 法规对中国化学品贸易的影响与对策研究[D]. 上海: 复旦大学, 2008. 13-15.
- [2] 刘建国, 胡建信, 唐孝炎. 化学品环境管理全球治理格局与中国管理体制的完善[J]. 环境科学研究, 2006, 19(6): 121-126.
- [3] Lu Y L, Song S, Wang R S, et al. Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China [J]. Environment International, 2015, 77: 5-15.
- [4] 新京报. 腾格里沙漠之殇: 化工排污使腹地“绿色”变黑 [EB/OL]. <http://www.bjnews.com.cn/news/2014/09/06/332804.html>, 2014-09-06.
- [5] 栾兆坤. 国际控制有毒化学品的活动[J]. 环境与可持续发展, 1979, (19): 6-14.

- [6] US EPA. Interim procedures and guidelines for health risk and economic impact assessments of suspected carcinogens[M]. New York: BiblioGov, 2013. 1-34.
- [7] 李静. 环渤海地区土壤中典型 POPs 健康风险研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010. 1-15.
- [8] Ruby M V, Schoof R, Brattin W, *et al.* Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soil for use in human health risk assessment [J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, **33**(21): 3697-3705.
- [9] Covello V T, Merkhoher M W. Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks [M]. New York: Springer Science & Business Media, 1993. 151-165.
- [10] 阳文锐, 王如松, 黄锦楼, 等. 生态风险评价及研究进展[J]. *应用生态学报*, 2007, **18**(8): 1869-1876.
- [11] 唐荣莉, 马克明, 张育新, 等. 北京城市道路灰尘重金属污染的健康风险评价[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(8): 2006-2015.
- [12] 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.
- [13] 韩冰, 何江涛, 陈鸿汉, 等. 地下水有机污染人体健康风险评价初探[J]. *地学前缘*, 2006, **13**(1): 224-229.
- [14] 王若师, 许秋瑾, 张炯, 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): 3083-3088.
- [15] 张瑜, 吴以中, 宗良纲, 等. POPs 污染场地土壤健康风险评价[J]. *环境科学与技术*, 2008, **31**(7): 135-140.
- [16] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展[J]. *生态学报*, 2006, **26**(5): 1558-1566.
- [17] 张思锋, 刘晗梦. 生态风险评价方法述评[J]. *生态学报*, 2010, **30**(10): 2735-2744.
- [18] Liu G N, Yu Y J, Hou J, *et al.* An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory[J]. *Ecological Indicators*, 2014, **47**: 210-218.
- [19] Chen X C, Luo Q, Wang D H, *et al.* Simultaneous assessments of occurrence, ecological, human health, and organoleptic hazards for 77 VOCs in typical drinking water sources from 5 major river basins, China[J]. *Environmental Pollution*, 2015, **206**: 64-72.
- [20] Suter II G W. Ecological risk assessment [M]. Boca Raton, FL: CRC press, 2007. 413-548.
- [21] Andrieu M, Rico A, Phu T M, *et al.* Ecological risk assessment of the antibiotic enrofloxacin applied to *Pangasius* catfish farms in the Mekong Delta, Vietnam [J]. *Chemosphere*, 2015, **119**: 407-414.
- [22] Zhang L L, Liu J L. AQUATOX coupled foodweb model for ecosystem risk assessment of Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in lake ecosystems [J]. *Environmental Pollution*, 2014, **191**: 80-92.
- [23] Yi Y J, Yang Z F, Zhang S H. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(10): 2575-2585.
- [24] 孔潇潇, 王铁宇, 张晓军, 等. 全氟化合物对水生植物的生态效应研究 II——金鱼藻对水中 PFOS 的生物富集及生理响应[J]. *生态毒理学报*, 2015, **10**(2): 445-453.
- [25] 雷炳莉, 黄圣彪, 王子健. 生态风险评价理论和方法[J]. *化学进展*, 2009, (Z1): 350-358.
- [26] 于云江, 胡林凯, 杨彦, 等. 典型流域农田土壤重金属污染特征及生态风险评价[J]. *环境科学研究*, 2010, **23**(12): 1523-1527.
- [27] 郭先华, 崔胜辉, 赵千钧. 城市水源地生态风险评价[J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(6): 688-694.
- [28] 蒙古军, 赵春红. 区域生态风险评价指标体系[J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(4): 983-990.
- [29] Liu X H, Li Z Y, Liao C H, *et al.* The development of ecological impact assessment in China [J]. *Environment International*, 2015, **85**: 46-53.
- [30] 邓飞, 于云江, 全占军. 区域生态风险评价研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2011, **36**(6G): 141-147.
- [31] Landis W G. Regional scale ecological risk assessment: using the relative risk model [M]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005. 1-50.
- [32] 许妍, 高俊峰, 赵家虎, 等. 流域生态风险评价研究进展[J]. *生态学报*, 2012, **32**(1): 284-292.
- [33] 李景刚, 何春阳, 李晓兵. 快速城市化地区自然/半自然景观空间生态风险评价研究——以北京为例[J]. *自然资源学报*, 2008, **23**(1): 33-47.
- [34] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价[J]. *地球科学进展*, 2001, **16**(2): 267-271.
- [35] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y. Probe into the method of regional ecological risk assessment—a case study of wetland in the Yellow River Delta in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, **70**(3): 253-262.
- [36] 王雪梅, 刘静玲, 马牧源, 等. 流域水生态风险评价及管理对策[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(2): 237-245.
- [37] 黄圣彪, 王子健, 乔敏. 区域环境风险评价及其关键科学问题[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(5): 705-713.
- [38] 陈春丽, 吕永龙, 王铁宇, 等. 区域生态风险评价的关键问题与展望[J]. *生态学报*, 2010, **30**(3): 808-816.
- [39] 王亚琴, 张金梅, 赵磊, 等. 我国化学品分类和标签与 GHS 的差距分析[J]. *中国安全科学学报*, 2011, **21**(4): 164-170.
- [40] 化学品事故信息网[EB/OL]. <http://accident.nrec.com.cn:9090/SafeWeb/index.php>, 2015-08-31.
- [41] Pritchard C L, PMP, PMI-RMP, *et al.* Risk management: concepts and guidance (5th ed.) [M]. Florida: CRC Press, 2014. 1-131.
- [42] McNeil A J, Frey R, Embrechts P. Quantitative risk management: concepts, techniques and tools [M]. New Jersey: Princeton University Press, 2015. 1-90.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Editor's comment .....                                                                                                                                                                                                             | ( 403 )                                                            |
| Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China .....                                                                                                                                                                    | WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> ( 404 )      |
| Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution .....                                                                                                                               | WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng ( 413 )                    |
| Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010 .....                                                                                                                        | HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming ( 420 )                 |
| Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM <sub>2.5</sub> During Winter in Guanzhong Area .....                                                                                                           | TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> ( 427 )   |
| Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS .....                                                                                                                                         | LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> ( 434 )   |
| Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District .....                                                                                                       | YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> ( 443 ) |
| Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area .....                                                                                                                 | MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> ( 452 )     |
| Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing .....                                                                                              | DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> ( 459 )    |
| Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China .....                                                                                                 | ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> ( 466 )       |
| Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha .....                                                                                                                                       | XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> ( 475 )    |
| Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau .....                                                                                                                               | SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> ( 482 )        |
| Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet .....                                                                                                                                    | GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> ( 490 )          |
| Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika .....                                                                                  | YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu ( 499 )                            |
| Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang .....                                                                                                                       | SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> ( 507 )    |
| Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qinghai Island, Zhoushan, China .....                                                                                       | ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> ( 513 )      |
| Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch .....                                                                                                                                              | LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> ( 520 )      |
| Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed .....                                                                                                                            | WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> ( 527 )     |
| Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province .....                                                                            | HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> ( 534 )              |
| Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake .....                                                                                                                                              | XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> ( 542 )   |
| Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China .....                                                                                               | PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> ( 548 )       |
| Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay .....                                                                                                                            | ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> ( 558 )       |
| Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou .....                                                                                                              | LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> ( 565 )             |
| Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors .....                                                                                                        | LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> ( 573 ) |
| Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas ..... | JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> ( 580 )         |
| Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate .....                                                                                                                                                            | WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong ( 588 )                           |
| Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe .....                                                                                                                                                            | ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> ( 595 )       |
| Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property .....                                                                                                                                             | WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi ( 602 )                     |
| Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic .....                                                                                                                                                                     | YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 609 ) |
| Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland(SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water .....                                                                                       | ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> ( 615 )    |
| Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria .....                                                                                                       | JING Ming, WANG Lei ( 622 )                                        |
| Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02 .....                                          | SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> ( 630 )            |
| Comparative Metagenomics of BIOLAK and A <sup>2</sup> O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology .....                                                                                                      | TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin ( 638 )                             |
| Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment .....                                                                         | SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> ( 647 )    |
| Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe .....                                                                                                              | SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> ( 655 )          |
| Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water .....                                                                                                            | XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> ( 662 )        |
| Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions .....                                                                                                             | FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> ( 668 )      |
| Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions .....                                                                                                                 | WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> ( 680 )      |
| Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge .....                                                                                                                           | ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> ( 689 )   |
| Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period .....                                                              | LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> ( 697 )           |
| Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland .....                                                                                                                  | CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> ( 703 )            |
| Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City .....                                                                                                               | WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu ( 710 )                       |
| Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas .....                                                                            | ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> ( 717 )                |
| Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil .....                                                                                                                          | WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> ( 726 )         |
| Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies .....                                                                                          | LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> ( 734 )    |
| Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province .....                                                              | WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> ( 740 )           |
| Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment .....                                                                                                                             | LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang ( 750 )                    |
| Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms .....                                                                                                                                                                          | WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> ( 756 )  |
| Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls .....                                                     | HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> ( 765 )      |
| Impact of Salinity on Leachate Treatment and N <sub>2</sub> O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor .....                                                                                                              | LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> ( 775 )      |
| Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method .....                                                                         | DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> ( 782 )    |

# 《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>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<br>(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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行