

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

**2012**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO<sub>2</sub> 的来源 ..... 刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)

广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映 ..... 廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)

北京雾霾天气期间气溶胶光学特性 ..... 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)

白马泉风景区夏季大气 PM<sub>2.5</sub> 中二次有机物的初步研究 ..... 代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)

机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性 ..... 乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)

法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究 ..... 王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)

胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨 ..... 薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)

基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价 ..... 郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)

流域水质时空分布特征及其影响因素初析 ..... 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)

潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究 ..... 崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)

春季盘溪河水质日变化规律及水质评价 ..... 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)

西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究 ..... 肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)

三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价 ..... 郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)

淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究 ..... 徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)

三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验 ..... 王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)

沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征 ..... 李振炜, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)

合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性 ..... 李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)

鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析 ..... 张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)

三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价 ..... 敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)

黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价 ..... 刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)

竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算 ..... 姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)

雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析 ..... 赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)

中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究 ..... 潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)

三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征 ..... 邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)

海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究 ..... 田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)

新生态铁的混凝作用探索 ..... 杨雪, 张景成, 关小红 (1221)

饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究 ..... 岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)

核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究 ..... 王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)

络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究 ..... 秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯奎 (1241)

赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物 ..... 张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)

掺氮 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究 ..... 赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)

O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 降解水中扑灭通效能研究 ..... 李绍峰, 孙楚 (1260)

Pr-N 共掺杂 TiO<sub>2</sub> 光电催化降解孔雀石绿动力学 ..... 沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)

铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究 ..... 张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)

聚合铝铁对 A<sup>2</sup>/O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响 ..... 温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)

温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响 ..... 张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)

温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响 ..... 李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)

好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究 ..... 王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)

除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析 ..... 李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)

利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌 ..... 王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)

紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究 ..... 于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)

1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究 ..... 陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)

氨氮对稀有鮎鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究 ..... 王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)

多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响 ..... 孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)

生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响 ..... 王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)

水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究:<sup>14</sup>C连续标记法 ..... 聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)

油田污染土壤残油组成与特征参数分析 ..... 王坚, 张旭, 李广贺 (1352)

挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究 ..... 孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)

田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究 ..... 黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)

中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响 ..... 马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)

基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究 ..... 袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)

填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式 ..... 兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)

生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化 ..... 方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)

岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析 ..... 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)

《环境科学》征订启事(1062) 《环境科学》征稿简则(1107) 信息(1135, 1215, 1396)

# 基于3MRA模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究

袁英<sup>1,2</sup>, 席北斗<sup>2</sup>, 何小松<sup>2,3</sup>, 魏自民<sup>1\*</sup>, 李鸣晓<sup>1,2</sup>, 姜永海<sup>2</sup>, 苏婧<sup>2</sup>, 安达<sup>2,3</sup>

(1. 东北农业大学生命科学学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国环境科学研究院水环境系统工程研究室, 北京 100012; 3. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

**摘要:** 选取案例填埋场7种目标污染物为研究对象, 运用3MRA模型模拟污染物在填埋场周围环境介质中的迁移转化。结果表明, 7种目标污染物最低安全填埋阈值大小顺序为: 污染物二价镍 > 苯 > 镉 > 铅 > 六价铬 > 砷 > 汞; 污染物苯、砷、汞各自的人类和生态受体安全填埋阈值相同, 镉和二价镍的人类受体安全填埋阈值高于生态受体, 六价铬的生态受体安全填埋阈值高于人类受体, 场区地下水的致癌风险和危害商分别为  $5.06 \times 10^{-7}$  和  $2.3 \times 10^{-1}$ 。

**关键词:** 3MRA; 危险废物填埋场; 污染物阈值; 地下水; 生态危害

中图分类号: X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1383-06

## Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste

YUAN Ying<sup>1,2</sup>, XI Bei-dou<sup>2</sup>, HE Xiao-song<sup>2,3</sup>, WEI Zi-min<sup>1</sup>, LI Min-xiao<sup>1,2</sup>, JIANG Yong-hai<sup>2</sup>, SU Jing<sup>2</sup>, AN Da<sup>2,3</sup>

(1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Laboratory of Water Environmental System Engineering, Chinese Research Academy of Environment Science, Beijing 100012, China; 3. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Seven major contaminations of the landfill were selected from northeast of China, and the migration and transformation of contaminations environmental medias were studied by using the multimedia multipathway and multireceptor risk assessment (3MRA) model. The results show, the order of the radical concentration of the seven contaminations is  $Ni^{2+} > Benzene > Cd > Pb > Cr^{6+} > As > Hg$ . The radical concentration of benzene, As and Hg in human is similar to that of ecology, respectively. The radical concentration of Cd and  $Ni^{2+}$  in human is higher than that of ecology, while the radical concentration of  $Cr^{6+}$  in ecology is higher than that of human. The risk and hazard quotient of the groundwater in the landfill is  $5.06 \times 10^{-7}$ ,  $2.3 \times 10^{-1}$ , respectively.

**Key words:** multimedia multipathway and multireceptor risk assessment (3MRA) model; hazardous waste landfill; pollutants radical concentration; groundwater; ecology hazard

我国目前对于危险废物的管理一直是按照47大类国家危险废物名录以及危险废物的特性(毒性、易燃性、易爆性)进行管理<sup>[1]</sup>, 忽略了废物在实际处理过程中其污染物浓度的变化情况, 该管理方法存在一定的盲目性<sup>[2~8]</sup>。欧美等发达国家对于废物的管理与处置已进入模型预测阶段<sup>[9]</sup>, 用权威的数学模型来模拟并计算出废物在不同处置方式下对其周围人类和生态受体所产生的危害的大小, 进而将废物分类并依据模拟结果选取合适的处置方式以提高废物处置效率, 降低废物处置成本<sup>[10~17]</sup>。本研究针对危废填埋场特有场地条件, 运用3MRA风险评估模型模拟废物在填埋处置过程中其污染物的迁移转化和暴露, 并对案例危废填埋场7种特征污染物安全填埋阈值进行评估, 旨在为我国废物管理提

供新思维, 为我国危废填埋场入场废物筛选探索新方法。

### 1 模型简介

3MRA是由美国环境保护署(US EPA)及其联办机构共同开发的多介质、多暴露途径、多受体风险评估模型, 其预测结果常常被美国环境保护署作为制定环境保护规划的重要依据, 有时也被企业用于评估其所产废物的特性及其风险水平<sup>[18]</sup>。

收稿日期: 2011-06-02; 修订日期: 2011-08-31

基金项目: 国家环保公益性行业科研专项(200909079, 2011467010, 201009009); 国家自然科学基金项目(50878201)

作者简介: 袁英(1988~), 男, 硕士, 主要研究方向为地下水污染风险评估, E-mail: yuanying19880214@126.com

\* 通讯联系人, E-mail: weizm691120@163.com

### 1.1 模型框架

3MRA 风险评估模型由 17 个子模型构成,如图 1 所示;5 个污染源模型、5 个介质模型、3 个食物

链模型和 4 个暴露/风险表征模型<sup>[19]</sup>.子模型间紧密结合构成一个多介质、多暴露途径、多受体的风险评估体系.

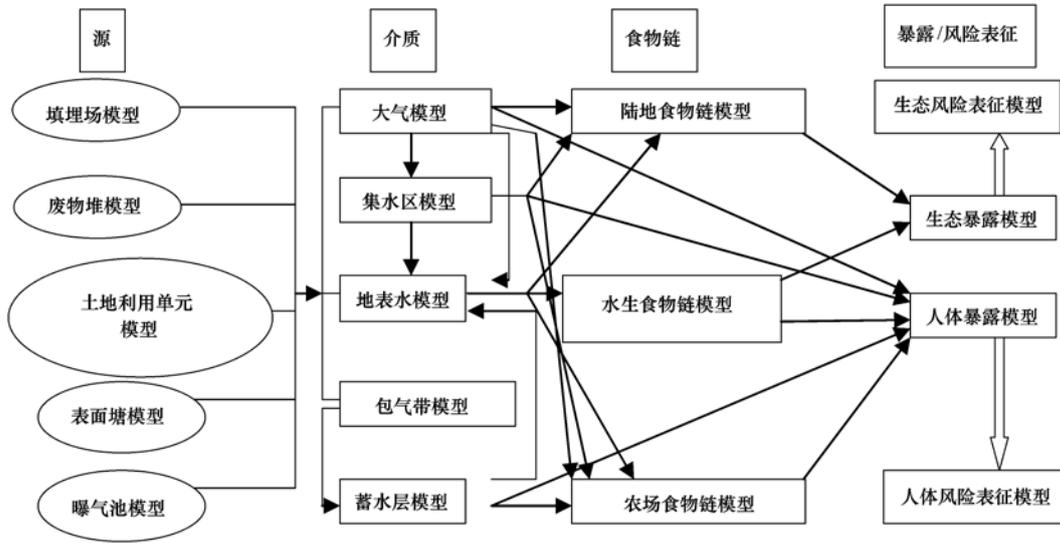


图 1 3MRA 模型框架体系

Fig. 1 Conceptual framework of the 3MRA modeling system

### 1.2 模型技术体系

3MRA 是位点基础模型,模型自带一个由 201 个位点所组成的位点输入数据库.模型模拟污染物从废物中释放,经多介质迁移转化(不考虑人工防渗),多途径暴露,最终与多种受体接触,进而对其产生影响和危害.模型默认计算出污染物在整个迁移转化过程中基于最大暴露浓度下对周围人类和生态受体所造成的风险和危害<sup>[20]</sup>.

## 2 模型应用

### 2.1 填埋场基本信息

本研究所选填埋场位于我国东北部,地处北半球的中纬地带,欧亚大陆的东部,接近亚寒带;整个地区呈显著的温带大陆性季风气候特点,四季分明,雨热同季.该填埋场三侧为丘陵,中间为沟谷;地势北高南低,东高西低,高程在 205.50 ~ 223.00 m 之间,地层构造稳定,地下水类型丰富,其具体信息见表 1 和表 2.

表 1 填埋场剖面地层分布信息表

Table 1 Information table of the stratums in landfill

序号	名称	层厚/m
1	耕土	0.4
2	黑褐色粉质黏土	0.6~1.2
3	黄褐色粉质黏粘土	0.4~3.3
4	砾砂	0.3~3.4
5	灰色粉质黏土	0.5~7.4
6	砾砂	0.4~3.3

表 2 填埋场地下水含水层分布信息表

Table 2 Information table of the aquifer in landfill

序号	名称	特点
1	上层滞水	赋存于 2 层黑褐色粉质黏土中,水量不大,季节性变化强,补给来源为大气降水,排泄至下游小溪 赋存于 4 层砾砂层中,具承压性,补给来源为强风化花岗岩
2	砾砂层孔隙水	岩风化裂隙水即上层滞水越流补给,排泄渠道为汇入场区下游承压含水系统
3	强风化花岗岩裂隙水	赋存于强风化花岗岩裂隙水中,补给来源为大气降水,排泄于砾砂孔隙水系统

### 2.2 模拟位点集合构建

基于以上填埋场信息,对比模型位点输入数据库中位点,选取相似位点构建模拟位点集合作为模型运行位点输入数据.模型运行过程中,模型模拟位点集合中每一个位点,计算每一条暴露途径下目标污染物风险的大小,给出每一个位点所对应的目标污染物的阈值,并采用蒙特卡洛分析法概化出案例填埋场污染物阈值的大小.因此,在集合位点选取的过程中应尽量选取与该填埋场信息相接近的位点,所选位点数据应恰当覆盖案例填埋场的数据范围,保证位点集合可以准确的反映出该填埋场安全填埋废物中污染物阈值的大小.本研究依据表 1 中案例填埋场的气候和水文地质等相关信息,从模型位点数据库中选取 7 个代表位点构成模拟位点集合作为运行模型的位点输入数据.集合位点信息如表 3 所示.

表 3 填埋模式位点集合信息表

Table 3 Information table of the site in landfill mode

集合位点 代码	埋深 /m	占地面积 /m <sup>2</sup>	平均容量 /g	废物带厚度 /m	填埋场废 物的层数	交通工具 行驶距离/m	废物装载率 /g·a <sup>-1</sup>	地下水种类	水源区域	用地 类型	气候	受体人口 数量
314202	0.73	809.40	1.06 × 10 <sup>9</sup>	0.73	1	28.45	3.54 × 10 <sup>7</sup>	砂砾层孔隙水	中大西洋	城镇	温带大陆性气候	16 715
722705	1.58	283.29	8.06 × 10 <sup>8</sup>	1.58	2	16.83	2.69 × 10 <sup>7</sup>	砂砾层孔隙水	中大西洋	城镇	温带大陆性气候	23 693
732110	4.30	18 211.50	1.41 × 10 <sup>11</sup>	4.30	4	134.95	4.70 × 10 <sup>9</sup>	松散层潜水	中大西洋	城镇	温带大陆性气候	11 978
830903	0.51	182 115.00	1.67 × 10 <sup>11</sup>	0.51	1	426.75	5.56 × 10 <sup>9</sup>	砂砾层孔隙水	北美五大湖	乡村	温带大陆性气候	30
832304	1.59	1 185 771.00	3.40 × 10 <sup>12</sup>	1.59	2	1 088.93	1.13 × 10 <sup>11</sup>	砂砾层孔隙水	北美五大湖	城镇	温带大陆性气候	28 951
833007	2.80	202 350.00	1.02 × 10 <sup>12</sup>	2.80	3	449.83	3.40 × 10 <sup>10</sup>	砂砾层孔隙水	北美五大湖	乡村	温带大陆性气候	1 396
930301	1.57	11 331.60	3.19 × 10 <sup>10</sup>	1.57	2	106.45	1.06 × 10 <sup>9</sup>	松散层潜水	西北太平洋	乡村	温带大陆性干旱 与半干旱气候	12

### 3 结果与讨论

#### 3.1 案例填埋场安全填埋废物污染物阈值

所谓填埋场安全填埋废物污染物阈值是指填埋的危险废物对公众的健康安全造成的威胁在可接受的范围之内对应的污染物浓度限值。如果危险废物中污染物浓度低于该限值时该危险废物作为非危险废物进行填埋处理,高于该限值的废物必须按危险废物予以安全填埋,它常被作为危废填埋场入场标准和风险管理重要指标。基于此,本研究选择案例填埋场常见的六价铬(Cr<sup>6+</sup>)、铅(Pb)、二价镍(Ni<sup>2+</sup>)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)以及苯这 7 种特征污染物作为目标污染物,研究填埋(LF)废物处理模式下填埋场安全填埋废物污染物阈值的大小和特点。在人类受体风险上限值为 10<sup>-6</sup>,人类和生态危害商都为 1,人群保护比为 99%,保护概率为 95% 条件下,运行 3MRA 模型,结果见表 4。

表 4 污染物安全填埋阈值<sup>1)</sup>/μg·g<sup>-1</sup>Table 4 Safe concentration of the hazardous waste/μg·g<sup>-1</sup>

污染物	填埋场模式		
	人类	生态	最低
苯	1 000	1 000	1 000
砷	30	30	30
镉	1 000	400	400
六价铬	40	300	40
汞	10	10	10
二价镍	4 000	3 000	3 000
铅	—	200	200

1) “—”表示无效

由表 4 可见,案例填埋场填埋处理模式下(未考虑人工防渗)不同污染物的最低安全填埋阈值相差较大。该项数据说明,案例填埋场对于 7 种目标污染物的天然防御能力有所不同;污染物汞、砷、六价铬的最低安全填埋阈值分别为 10、30、40 μg·g<sup>-1</sup>,远低于其他 4 类目标污染物,一旦案例填埋场防渗功能失效,此 3 类污染物最易对其周围人类和生态

受体造成影响和破坏,具有较大的环境隐患。污染物铅和镉的最低安全填埋阈值分别为 200 μg·g<sup>-1</sup>和 400 μg·g<sup>-1</sup>,其大小相对适中,含此 2 类污染物的废物可填埋于案例填埋场。污染物苯和二价镍的最低安全填埋阈值分别为 1 000 μg·g<sup>-1</sup>和 3 000 μg·g<sup>-1</sup>,远高于其它 5 种污染物,其填埋风险相对较小,含此 2 类污染物的废物较适合填埋于案例填埋场。

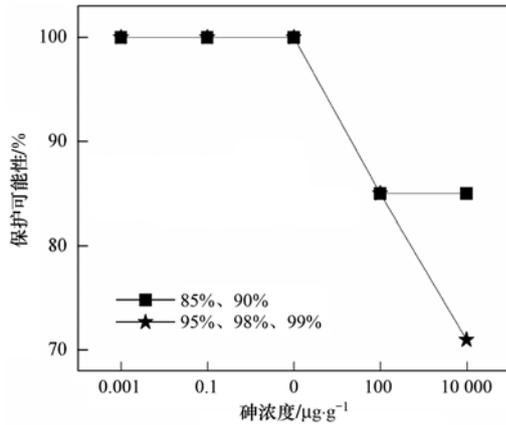
苯、砷、汞 3 种污染物填埋处理模式下(未考虑人工防渗)其各自的人类和生态受体安全填埋阈值相同,表明苯、砷、汞 3 种污染物填埋模式下对其周围人类和生态受体所造成的风险差异不大;当案例填埋场防渗功能失效时,此 3 类污染物经多介质迁移转化,多暴露途径暴露,最终对其周围的人类和生态受体造成同等的影响和破坏。因此,该类废物的填埋需综合考虑填埋场周围人口密度和生态系统脆弱性 2 个关键因素。

污染物镉、六价铬和二价镍填埋处理模式下其各自的人类和生态受体安全填埋阈值均有所差别;数据显示,当案例填埋场防渗功能失效时,污染物镉和二价镍经填埋场周围介质迁移转化和暴露途径暴露后对其周围生态受体所造成的危害将高于人类受体,该类污染物具有较高的生态受体风险,场区生态系统较为脆弱的填埋场不适合填埋此类废物;污染物六价铬在填埋处理模式下对其周围人类受体所造成的危害高于生态受体,此类废物不适合填埋于周边人口密度较大的填埋场,一旦其防渗功能失效将对其周围人类受体造成更为严重的影响和危害。

#### 3.2 污染物阈值、人群保护比、保护概率的变化关系

填埋场安全填埋废物污染物阈值的大小随设定风险标准的不同而有所不同,当人类受体致癌风险和危害商一定时,污染物阈值会随人群保护比和保护概率的变化而改变。模型运行结果显示,在人类受体致癌风险上限值为 10<sup>-6</sup>,危害商为 1 的条件下,苯、镉、汞 3 种污染物安全填埋阈值随人群保护比和

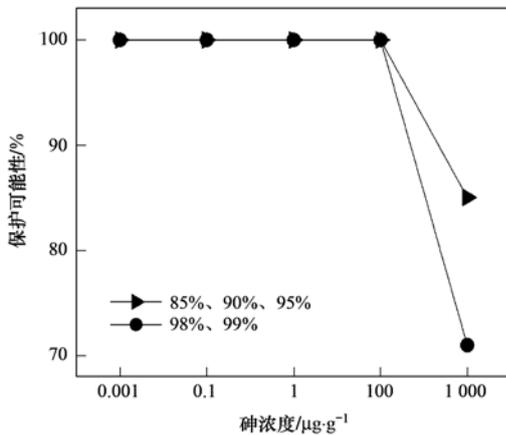
保护概率的变化具有明显的相似性. 当废物中污染物苯和镉的浓度低于 $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,距该填埋场 500 m 区域内 85%、90%、95%、98%、99% 人群保护比下,人类受体被保护概率均为 100%;当污染物汞的浓度低于 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,距该填埋场 500 m 区域内 5 种人群保护比下人类受体被保护概率亦均为 100%. 而砷、镉、六价铬这 3 种污染物安全填埋阈值与人群保护比和保护概率间的变化关系则相对复杂,其具体关系如图 2~5 所示.



径向距离:500 m,废物处理模式:  
填埋,风险类型:人类致癌风险

图 2 污染物砷致癌风险阈值变化曲线

Fig. 2 Risk change curve of the As radical concentration

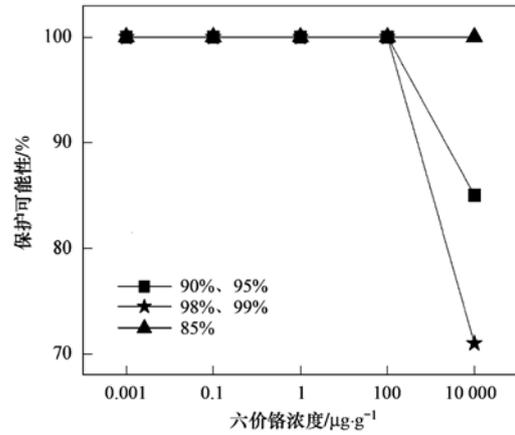


径向距离:500 m,废物处理模式:  
填埋,风险类型:人类危害商

图 3 污染物砷危害商阈值变化曲线

Fig. 3 Hazard quotient change curve of the As radical concentration

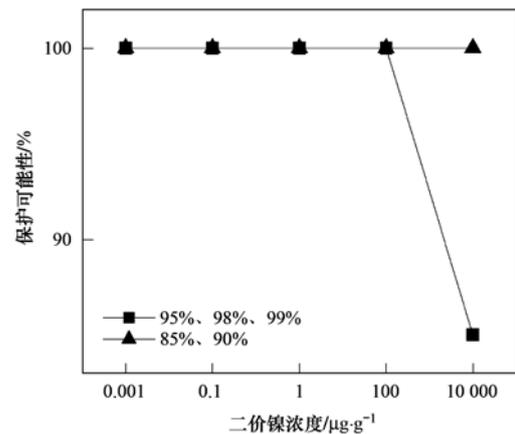
由图 2 可见,填埋模式下距填埋场 500 m 区域内,在人类受体致癌风险上限值为 $10^{-6}$ ,危害商为 1 的条件下,5 种人群保护比污染物砷致癌风险阈值随人类受体保护概率的增加而呈下降趋势,随保护比的增加而下降. 当砷的阈值低于 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,5



径向距离:500 m,废物处理模式:填埋,  
风险类型:人类危害商

图 4 污染物六价铬危害商阈值变化曲线

Fig. 4 Hazard quotient change curve of the  $\text{Cr}^{6+}$  radical concentration



径向距离:500 m,废物处理模式:填埋,  
风险类型:人类危害商

图 5 污染物二价镍危害商阈值变化曲线

Fig. 5 Hazard quotient change curve of the  $\text{Ni}^{2+}$  radical concentration

条曲线重合; 阈值高于 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 且小于 $10\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,85%、90% 保护比人类受体保护概率保持不变,95%、98%、99% 保护比人类受体保护概率继续下降. 如图 3 所示,污染物砷 5 种保护比下人类受体危害商安全填埋阈值随保护概率和保护比的升高而呈下降趋势. 以 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 阈值为临界点,低于该值时 5 条曲线重合,人类受体保护概率为 100%; 高于该值时 98%、99% 保护比人类受体保护概率的下降速率高于 85%、90% 和 95% 保护比. 以上两项表明,同种污染物其致癌风险阈值与危害商阈值同人群保护比和人类受体保护概率间的变化关系存在一定差异.

由图 4 可见, 填埋模式下距填埋场 500 m 区域内, 在人类受体致癌风险上限值为  $10^{-6}$ , 危害商为 1 条件下, 污染物六价铬 5 种保护比人类受体危害商安全填埋阈值随受体被保护概率的变化而有所不同. 以  $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  阈值为临界点, 当六价铬人类受体危害商阈值低于该值时, 5 条曲线重合且人类受体被保护概率均为 100%; 当六价铬人类受体危害商阈值在  $100 \sim 10\,000 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  时, 85% 保护比保持不变, 其它 4 条曲线保护概率随阈值的增加呈下降趋势且 98%、99% 保护比下降趋势高于 85%、90% 保护比. 由图 5 可见, 污染物二价镍 5 种保护比下人类受体危害商安全填埋阈值随保护概率的变化亦有所不同. 85%、90% 保护比的人类受体保护概率保持不变, 95%、98%、99% 保护比人类受体保护概率随二价镍阈值的增加总体呈下降趋势; 其中以  $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  为临界点, 低于该阈值时, 5 条曲线重合; 高于该阈值时, 95%、98%、99% 保护比人类受体保护概率呈下降趋势. 以上两项数据表明, 在相同的保护

比和保护概率下, 不同污染物的安全填埋阈值存在一定差异.

### 3.3 填埋场区域地下水总加和致癌风险与危害商

危废填埋场在运行期间不仅会给陆地上的人类和生态受体造成影响和危害, 更会对其周围的环境造成一定的破坏. 填埋场运行期间其防渗功能的失效会致使废物渗滤液侵入土壤, 污染场区地下水. 模型所得阈值为所有途径下阈值的概化值, 本研究针对场区周边居民生产生活用水以地下水为主这一特点, 采用加和表征法计算出场区地下水途径下致癌风险和危害商的加和值作为模型模拟结果的检测指标. 本研究选取水吸收、淋浴和地下水综合(除去水吸收和淋浴途径外的其他地下水途径)这 3 条暴露途径来间接推算出基于目标污染物最低安全填埋阈值, 当填埋场防渗功能失效时案例填埋场场区地下水所存在的致癌风险和危害商的大小. 模型所得这 3 条途径对应的致癌风险和危害商如表 5 所示.

表 5 场区地下水致癌风险与危害商<sup>1)</sup>

Table 5 Hazard risk and quotient of groundwater pathway in landfill

暴露途径	危害类别	苯	砷	镉	六价铬	汞	二价镍	铅
水摄入	致癌风险	<1E-09	<5E-07	—	—	—	—	—
	危害商	—	<1E-02	<1E-02	<1E-01	<1E-02	8E-02	—
淋浴	致癌风险	<1E-09	<1E-09	<1E-09	<1E-09	—	<1E-09	—
	危害商	—	—	—	<1E-02	<1E-02	—	—
纯地下水	致癌风险	<1E-09	—	—	—	—	—	—
	危害商	—	—	—	—	—	—	—

1) “—”表示无效

假设水摄入途径所产致癌风险为变量  $x_1$ , 淋浴途径为变量  $x_2$ , 地下水综合途径为变量  $x_3$ , 场区地下水存在的总致癌风险为变量  $R$ , 则存在公式:

$$R = \sum_{n=1}^3 x_n \quad (1)$$

对于每一条暴露途径而言, 其最终的致癌风险是所有污染物风险值的加和. 设 7 种污染物苯、砷、镉、六价铬、汞、二价镍、铅对应的风险值依次为变量  $y_1 \sim y_7$ , 则存在公式:

$$x_n = \sum_{m=1}^7 y_m \quad (2)$$

基于以上两公式可得该填埋场区域地下水的总致癌风险计算公式:

$$R = \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^7 y_m \quad (3)$$

依据上述方法, 设场区地下水污染物的危害商为变量  $z$ , 可得出填埋场区域地下水的总危害商 HQ

的计算公式:

$$HQ = \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^7 z_m \quad (4)$$

基于公式(3)和(4)推算出该填埋场区域地下水在填埋场防渗功能失效时基于目标污染物最低安全填埋阈值下所存在的总致癌风险值为  $5.06 \times 10^{-7}$ , 符合美国致癌风险标准; 总危害商为  $2.3 \times 10^{-1}$ , 亦符合美国污染物危害商标准.

## 4 结论

(1) 填埋处理模式下案例填埋场 7 种目标污染物最低安全填埋阈值大小顺序为: 污染物二价镍 > 苯 > 镉 > 铅 > 六价铬 > 砷 > 汞; 污染物苯、砷、汞各自的人类和生态受体安全填埋阈值相同, 镉和二价镍的人类受体安全填埋阈值高于生态受体, 六价铬的生态受体安全填埋阈值高于人类受体.

(2) 7 种目标污染物安全填埋阈值均随受体被

保护可能性和人群保护比的降低而增加。当保护可能性或人群保护比其中一个变量固定时,污染物安全填埋阈值亦随另一个变量的降低而增加。

(3) 填埋场区域地下水总致癌风险和危害商的大小符合美国 EPA 标准,证明基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法具有较高的可靠性和实用性。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 马春燕. 基于风险评价方法染料涂料废物的分级管理 [D]. 西安: 西北农林科技大学, 2010. 1-5.
- [ 2 ] Butt T E, Lockley E, Oduyemi K O K, *et al.* Risk assessment of landfill disposal sites-state of the art [J]. *Waste Management*, 2008, **28**(6): 952-964.
- [ 3 ] 刘茂昌. 小量危险废物填埋处置的环境风险研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2009. 1-5.
- [ 4 ] 杨昱, 姜永海, 席北斗, 等. 生活垃圾填埋场地下水污染风险分级方法研究 [J]. *生态环境学报*, 2010, **19**(7): 1704-1709.
- [ 5 ] 高秀花, 朱锁, 李海明. 垃圾渗滤液的特征污染组分在包气带中的迁移转化规律 [J]. *地下水*, 2008, **30**(3): 37-39.
- [ 6 ] 周磊, 李绪谦, 王翊虹, 等. 垃圾渗滤液在土层中迁移转化规律实验研究 [J]. *城市地质*, 2006, **1**(1): 24-28.
- [ 7 ] 李波, 杨欣. 渗滤液中氨氮在土壤和地下水中迁移转化实验 [J]. *环境卫生工程*, 2006, **14**(2): 20-22.
- [ 8 ] 陈华, 刘志全, 李广贺. 污染场地土壤风险基准值构建与评价方法研究 [J]. *水文地质工程地质*, 2006, **33**(2): 84-88.
- [ 9 ] 韩冰. 地下水有机污染场地健康风险评价 [D]. 北京: 中国地质大学, 2006. 1-18.
- [ 10 ] Burns L A, Cline D M, Lassiter R R. Exposure analysis modeling system (EXAMS): user manual and system documentation [M]. EPA-600/3-83-023. Athens: U. S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, 1982.
- [ 11 ] Burns L A. Exposure analysis modeling system (EXAMS II): user's guide for version 2. 97. 5 [M]. EPA-600/R-97/047. Athens: U. S. Environmental Protection Agency, 1997.
- [ 12 ] CRARM (Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management). Risk assessment and risk management in regulatory decision-making [R]. Final Report, Volume 2. Washington DC: Government Printing Office, 1997.
- [ 13 ] Hazardous Waste Identification Rule (HWIR) [S]. *Federal Register* 60: 245. December 21, 1995. 66344.
- [ 14 ] Marin C M, Guvanase V, Saleem Z A. The 3MRA risk assessment framework-a flexible approach for performing multimedia, multipathway, and multireceptor risk assessments under uncertainty [J]. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2003, **9**(7): 1655-1677.
- [ 15 ] Cahill T M, Mackay D. A high-resolution model for estimating the environmental fate of multi-species chemicals: application to malathion and pentachlorophenol [J]. *Chemosphere*, 2003, **53**(5): 571-581.
- [ 16 ] Diamond M L, Piemer D A, Law N L. Developing a multimedia model of chemical dynamics in an urban area [J]. *Chemosphere*, 2001, **44**(7): 1655-1667.
- [ 17 ] Scottish Environment Protection Agency. Hydrogeological risk assessments for landfill and the derivation of groundwater control and trigger levels [R]. Scottish: Scottish Environment Protection Agency, 2005. 1-8.
- [ 18 ] 张钊, 黄瑾辉, 曾光明, 等. 3MRA 风险模型在铬渣整治项目制定过程中的应用 [J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(1): 139-144.
- [ 19 ] USEPA. Multimedia, multipathway, and multireceptor risk assessment (3MRA) modeling system volume I: Modeling system and science [R]. Athens: GA and Research Triangle Park, 2003. 1-6.
- [ 20 ] Babendreier J E, Castleton K J. Investigating uncertainty and sensitivity in integrated, multimedia environmental models: tools for FRAMES-3MRA [J]. *Environmental Modelling and Software*, 2005, **20**(8): 1043-1055.
- [ 21 ] Wang S W, Isukapalli S, Sasso A, *et al.* Modeling cumulative and aggregate exposures of co-occurring multimedia contaminants in a probabilistic source-to-dose framework [R]. Tucson: The 15th Annual ISEA Conference, 2005. 1-13.
- [ 22 ] Georgopoulos P G, Wang S W, Yang Y C, *et al.* Assessing multimedia/multipathway exposures to arsenic using a mechanistic source-to-dose modeling framework: case studies employing MENTOR/SHEDS-4M [R]. Washington DC: The US Environmental Protection Agency, 2005. 1-9.
- [ 23 ] USEPA. Goal 3: land preservation and restoration, the 2006-2011 EPA strategic plan [EB/OL]. [Http://www.epa.gov/ocfo/plan/plan.html](http://www.epa.gov/ocfo/plan/plan.html), 2009-05-27.
- [ 24 ] Allison J D, Brown D S, Novo-Gradac K J. MINTEQA2/PRODEFA2 geochemical assessment model for environmental systems; Version 3.00 User Manual [M]. Athens: U. S. Environmental Protection Agency, 1991.
- [ 25 ] U. S. EPA (Environmental Protection Agency). EPA's composite model for leachate migration with transformation products (EPACMTP) [S]. Background Document. Office of Solid Waste, Washington DC, 1996.
- [ 26 ] U. S. EPA (Environmental Protection Agency). EPA's composite model for leachate migration with transformation products (EPACMTP) [S]. Background Document for Finite Source Methodology for Chemical with Transformation Products. Office of Solid Waste, Washington DC, 1996.
- [ 27 ] U. S. EPA (Environmental Protection Agency). Changes in the MINTEQA2 modeling procedure for estimating metal partition coefficients in groundwater for HWIR99 [S]. Office of Solid Waste, Washington DC, 1999.
- [ 28 ] U. S. EPA (Environmental Protection Agency). MINTEQA2/PRODEFA2, a geochemical assessment model for environmental systems; user manual supplement for version 4.0 [S]. Office of Solid Waste, Washington DC, 1999b.
- [ 29 ] Little J C. Applying the two-resistance theory to contaminant volatilization in showers [J]. *Environmental Science and Technology*, 1992, **26**(7): 1341-1349.
- [ 30 ] U. S. EPA (Environmental Protection Agency). Exposure and human health reassessment of 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and related compounds. EPA/600/P-00/001Bg [S]. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington DC, September, 2000.

## CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO <sub>2</sub> by Carbon Isotope Composition .....	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation .....	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing .....	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM <sub>2.5</sub> Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province .....	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust .....	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ <sup>15</sup> N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area .....	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters .....	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake .....	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed .....	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River .....	..... CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring .....	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China .....	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period .....	..... GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms .....	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area .....	..... WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall .....	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City .....	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir .....	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir .....	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta .....	..... LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake .....	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay .....	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India .....	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain .....	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System .....	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant .....	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation .....	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment .....	..... WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process .....	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite .....	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO <sub>2</sub> Photocatalyst .....	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China .....	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A <sup>2</sup> /O System .....	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System .....	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor .....	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment .....	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal .....	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene ( <i>nosZ</i> ) .....	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis .....	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain .....	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow .....	..... WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure .....	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils .....	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous <sup>14</sup> C Labeling .....	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields .....	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils .....	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils .....	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads .....	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste .....	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation .....	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill .....	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area .....	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

# 《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)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发