

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

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

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放	何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气 CH ₄ 和 CO 在线观测方法研究	汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子	朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究	王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征	段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究	王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征	丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究	许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素	蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化	陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟	马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究	侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析	张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究	陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO ₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究	张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH 值对纳米零价铁吸附降解 2,4-二氯苯酚的影响	冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究	陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价	宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析	曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究	谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH 及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响	庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究	吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用	徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究	廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究	陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究	贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法	宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数	王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响	董峰,张捍民,杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响	刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究	曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究	陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估	陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究	杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建	朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究	别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)
纳米 TiO ₂ 对短裸甲藻的毒性效应	李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥 3 种内分泌干扰物的空间分布及环境风险	李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析	王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险	刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价	刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律	项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究	吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复	付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征	江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(II) 对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响	黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究	张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域 8 种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究	封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析	张健,关连珠,颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响	赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟

马志飞^{1,2}, 安达¹, 姜永海^{1*}, 席北斗¹, 李定龙², 张进保^{1,2}, 杨昱¹

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 常州大学环境与安全工程学院, 常州 213164)

摘要: 以某危险废物填埋场为研究对象, 在收集其水文地质资料基础上, 运用 Visual Modflow 建立填埋场地下水水流和溶质运移耦合模型, 对填埋场防渗层发生渗漏后, 渗滤液中 Cr^{6+} 在地下水中的运移过程以及地面硬化、防渗墙和排水沟 3 种污染控制措施对污染羽阻隔效果进行模拟预测。结果表明, Cr^{6+} 随地下水流方向运移形成污染羽, 10 a 后污染羽到达水塘边界, 运移距离约为 1 450 m, 但随后 10 ~ 20 a 之间污染羽扩散范围没有明显扩大; 地表硬化后, 20 a 内污染羽未扩散至水塘边界; 防渗墙设置到上层含水层底部时, 监测井 Cr^{6+} 浓度高于未设置防渗墙时浓度, 设置到下层含水层底部时, Cr^{6+} 浓度与设置于上层含水层时监测结果相反; 排水沟日排水量达到 2 642 m^3 时能有效控制污染羽扩散, 20 a 后污染羽尚未污染监测井; 地表硬化与排水沟组合控制污染物扩散, 效果最佳, 同时排水沟日排水量可减少为 1 878 m^3 。因此, 当填埋场发生渗漏时, 建议采用设置排水沟与周边地表硬化组合的地下水污染控制措施。

关键词: Visual Modflow; 填埋场; 地下水; 运移模拟; 预测; 污染控制

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0064-07

Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill

MA Zhi-fei^{1,2}, AN Da¹, JIANG Yong-hai¹, XI Bei-dou¹, LI Ding-long², ZHANG Jin-bao^{1,2}, YANG Yu¹

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. College of Environment and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: On the basis of site investigation and data collection of a certain hazardous waste landfill, the groundwater flow and solute transport coupled models were established by applying Visual Modflow software, which was used to conduct a numerical simulation that forecast the transport process of Cr^{6+} in groundwater and the effects of three control measures (ground-harden, leakage-proof barriers and drainage ditches) of contaminants transport after leachate leakage happened in impermeable layer of the landfill. The results show that the contamination plume of Cr^{6+} transports with groundwater flow direction, the contamination range would reach the pool's boundary in 10 years, and the distance of contamination transport is 1 450 m. But the diffusion range of contamination plume would not be obviously expanded between 10 and 20 years. While the ground is hardened, the contamination plume would not reach the pool's boundary in 20 years. When the leakage-proof barrier is set in the bottom of water table aquifer, the concentration of Cr^{6+} is higher than that the leakage-proof barrier is unset, but the result is just opposite when setting the leakage-proof barrier in the bottom of underlying aquifer. The range of contamination plume is effectively controlled by setting drainage ditches that water discharge is 2 642 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, which makes the monitoring wells would not be contaminated in 20 years. Moreover, combining the ground-harden with drainage ditches can get the best effect in controlling contaminants diffusion, and meanwhile, the drainage ditches' daily discharge is reduced to 1 878 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Therefore, it is suggested that the control measure combining the ground-harden with drainage ditches should apply to prevent contamination diffusion in groundwater when leachate leakage have happened in impermeable layer of the landfill.

Key words: Visual Modflow; landfill; groundwater; transport simulation; forecast; contamination control

随着我国工业的不断发展,危险废物的产生量日益增多。目前,我国规划建设和已建成的省级危险废物填埋场共 44 座,危险废物填埋场在运行过程中存在发生渗滤液渗漏的可能,而一旦发生渗漏,渗滤液就会通过包气带进入地下水,对其周边地下水产生污染风险^[1,2]。因此,在危险废物填埋场不断增多的情况下,如何预测填埋场发生泄漏后地下水污染过程以及评价不同防控措施控污效果备受关注。

Visual Modflow 软件以操作简单、界面友好等优点成为目前国际上先进的地下水渗流和溶质运移的

标准可视化专业软件,是由加拿大 Waterloo 水文地质公司在原 Modflow 软件的基础上应用可视化技术开发研制。Visual Modflow 现已广泛应用于地下水不同污染物运移模拟与预测不同管理方案对污染物运移的影响^[3~5]。已有研究报道了运用数值模拟,对不

收稿日期: 2011-03-11; 修订日期: 2011-05-04

基金项目: 国家环保公益性行业科研专项 (201009009-4, 200909079)

作者简介: 马志飞 (1986 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为地下水环境模拟与污染治理, E-mail: madinglin1986@126.com

* 通讯联系人, E-mail: jyhai203@126.com

同污染控制措施在垃圾填埋场地下水污染防治效果进行评价或提出了最优的控制方案^[6~10]. 但对于预测填埋场地下水污染趋势以及优化不同污染控制方案等内容尚缺乏系统的研究, 特别是国内污染场地(如危险废物填埋场)污染控制模拟研究起步较晚, 急需加强此方面的研究工作.

本研究基于对某危险废物处置中心进行现场勘察及资料收集和整理的基础上, 应用 Visual Modflow 建立了地下水水流模型和溶质运移模型, 模拟危险废物填埋场渗滤液发生泄漏后, 渗滤液中的 Cr^{6+} 在地下水中的运移过程, 并探讨不同的污染控制措施对污染物运移产生的影响以及预测控制方案的防污效果.

1 水文地质概况

研究区位于华东地区某危险废物处置中心, 填埋场区内断裂构造不发育, 主要受北东向区域构造控制. 研究区岩层主要以中厚状岩屑石英岩为主, 区内无大规模断层通过, 未见断裂活动迹象. 根据地下水含水介质、赋存条件、水理性质以及地下水补径排条件, 研究区地层可分为孔隙潜水含水层、基岩孔隙-裂隙含水层和基岩裂隙含水层. 孔隙潜水含水层的含水介质为第四系全新统坡洪积含黏性土碎石、碎石含水层, 直接受大气降水补给, 水量变化较大; 基岩孔隙-裂隙含水层介质为全-强风化石英砂岩、砂岩、泥质粉砂岩, 属弱含水层; 基岩裂隙含水层含水介质是石英砂岩、砂岩、泥质粉砂岩、粉砂泥质岩, 属微弱含水层. 基岩裂隙水富水性受裂隙发育程度所控制, 浅部裂隙较发育, 富水性好, 深部裂隙趋向闭合, 可视为相对隔水层.

区域实测地下水埋深 1.55 ~ 2.10 m, 潜部孔隙水含水层与基岩孔隙-裂隙含水层受大气降水补给, 一方面垂直下渗补给基岩裂隙水, 另一方面从地势高处向低凹处运移排泄, 研究区域年平均降雨量为 1 395.2 mm.

2 模型建立

2.1 水文地质概念模型

2.1.1 研究区域范围

本研究所选取的研究范围为危险废物处置中心场区及其周边树林、水塘及其它地域, 占地面积为 $3\,000 \times 2\,200 \text{ m}^2$. 区域内地势起伏较大, 周边主要以树林为主. 同时填埋区处于狭形山谷内, 且填埋区西部海拔高于东部, 水塘位于填埋区下坡约 800 m, 深

度约为 1.5 m. 监测井位于填埋区与渗滤液集水池之间, 具体位置如图 1 所示.



图 1 研究区域场地布局示意

Fig. 1 Layout sketch of the study site

2.1.2 研究区含水层结构概化

研究区水文地质条件比较清晰, 由钻孔编录和水文地质剖面图得到各层岩性、地面高程及顶底板高程. 根据地下水含水介质、赋存条件以及地下水补排条件, 可将地面以下可分为 2 层, 上层是孔隙潜水含水层和基岩孔隙-裂隙含水层, 以黏性土碎石、碎石和全-强风化石英砂岩为主, 其厚度自西向东逐渐变薄为 22 ~ 27 m; 下层为基岩裂隙含水层, 其含水介质为石英砂岩、砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩, 其厚度为 20 ~ 30 m. 含水层间的水力联系密切, 其主要由垂向渗透系数 K_z 决定, 场区表部不存在渗透系数 $< 1.0 \times 10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$; 含水层主要受填埋场渗滤液的污染. 模拟过程中将每个含水层概化为均质各向同性介质.

2.1.3 研究区边界概化

研究区地下水人工开采量小, 未产生强烈的地下水漏斗, 且无明显的天然出露水头; 区域范围基本为山前洪积地带, 整体上地下水水流方向自西而东, 水力梯度较大, 径流速度较快, 然而区域研究范围较小, 达不到自然边界, 可将其概化人为边界, 即定流量边界. 边界侧向流量可用达西定律计算^[11,12]. 东部存在水塘, 概化为河流边界, 西部边界为定水头边界, 且西部边界高于东部边界; 研究发现南北边界地下水等水位线基本与研究区边界垂直, 均以零流量边界处理. 研究区域内上边界为潜水面, 受补排量的影响, 其主要接受大气降水补给和渗滤液下渗, 排泄方式是从地势高处向低凹处运移排泄. 下边界深层基岩裂隙含水层底部概化为隔水边界.

2.2 水流模型建立

在水文地质概念模型建立的基础上,利用 Visual Modflow 建立地下水流数值模型. 网格剖分采用有限差分的离散方法. 模型含 2 层网格,分别为上层含水层和下层含水层,每层剖分为 22 × 38 个网格.

根据现有监测数据资料,模拟时间定为发生渗漏后 20 a 内,且以 1 a 为一应力期. 利用已知信息对模拟结果进行识别与验证,以保证模拟结果的可靠性. 在此基础上,对该危险废物填埋场防渗膜发生渗漏后 20 a 内渗滤液中污染物对填埋场周边地下水的影响进行模拟预测.

2.3 溶质运移模型建立

溶质运移模型的范围和边界位置与水流模型一致,边界性质均按已知浓度边界处理,浓度值按填埋场渗滤液监测浓度均值输入. 渗滤液中污染物监测结果表明,Cr⁶⁺为该危险废物填埋场渗滤液中主要污染物,且其含量较大,故本次模拟选用 Cr⁶⁺进行模型的识别和计算. 在模拟过程中忽略温度与水密度变化对水动力场和浓度场的影响,同时模型中各项参数均以保守型考虑. 假设污染源为点源连续注

入,即污染物不断进入到含水层. 运用 Visual Modflow 软件中 MT3DMS 模块进行污染物运移模拟研究,在此过程中主要是对 Cr⁶⁺ 污染物对运移的弥散参数进行识别.

2.4 模型识别与验证

首先输入水流模型的各项参数,建立水流模型,然后输入溶质运移模型的各项参数,运行校正. 本次模拟校正过程均采用手动校正. 水流模型的解法选择收敛更快、解更稳定的 WHS 解法^[13],以实际监测值进行模型校正,所有源汇项全部处理成补给或排泄强度,补给来源为降水入渗、侧向径流等,排泄主要为河流(水塘). 溶质运移模型中对流项选择隐式 GCG 解法,并选择 MT3DMS 模型运行^[14-16].

通过模拟可得各层横向/纵向弥散度比率为 0.1,垂向/纵向弥散度比率为 0.01,达到较为理想拟合结果的模型参数见表 1. Cr⁶⁺ 浓度观测值与计算值拟合曲线,如图 2 所示,从中可以看出,其拟合效果较好,可较为真实地反映地下水中污染物的运移情况.

表 1 模型最终调参结果

Table 1 Parameters of the water flow model

含水层	给水度	贮水率	$K_x, K_y/m \cdot d^{-1}$	$K_z/m \cdot d^{-1}$	降雨入渗系数
上层含水层	0.2	1×10^{-5}	10	10	0.4
下层含水层	0.2	1×10^{-5}	1.8	1.8	—

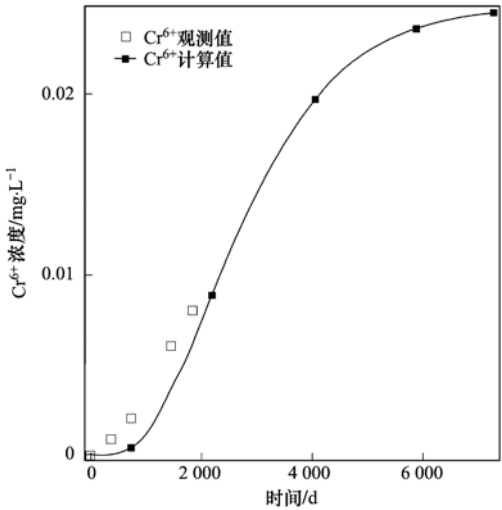


图 2 Cr⁶⁺ 浓度观测值与计算值拟合曲线

Fig. 2 Comparison between the fitted Cr⁶⁺ concentrations and measured Cr⁶⁺ concentrations in groundwater monitoring well

3 污染物模拟预测及控制方案

3.1 模拟预测结果

应用已建立的地下水流和溶质运移模型,对研

究区地下水中污染物的运移过程进行预测. 图 3 所示的是填埋场防渗层发生渗漏后 2 a(730 d)、10 a(3 600 d)和 20 a(7 300 d)后污染物在上层含水层的迁移趋势. 如图 3 所示,污染羽状体随时间不断地扩大,并呈狭长形沿着地下水水流方向向下游扩散. 可能是由于填埋场位于沟谷之间,地势低于周边,且污染源不断渗入污染物进含水层;地下水中污染物浓度随着迁移距离的增加不断减少. 填埋场防渗层发生渗漏 2 a 内,其污染范围主要集中在填埋场工作区内;当到达 10 a 时,其污染羽运移距离约 1 450 m,污染范围已延伸到场前水塘;10 ~ 20 a 之间污染羽扩散范围没有明显的扩大,这可能是因为水塘具有污染捕获作用,限制了污染羽的扩散速度和范围.

3.2 污染控制方案

对于填埋场周边地下水污染控制主要是针对污染源的控制,源的控制主要集中在源项控制和切断污染途径,其中源项控制包括源项消减和源去除^[17],切断污染途径可选用防渗墙和排水沟等控制措施^[8,18],限制污染物污染下游地下水.

由于填埋场已运行,如进行源去除(防渗层等)

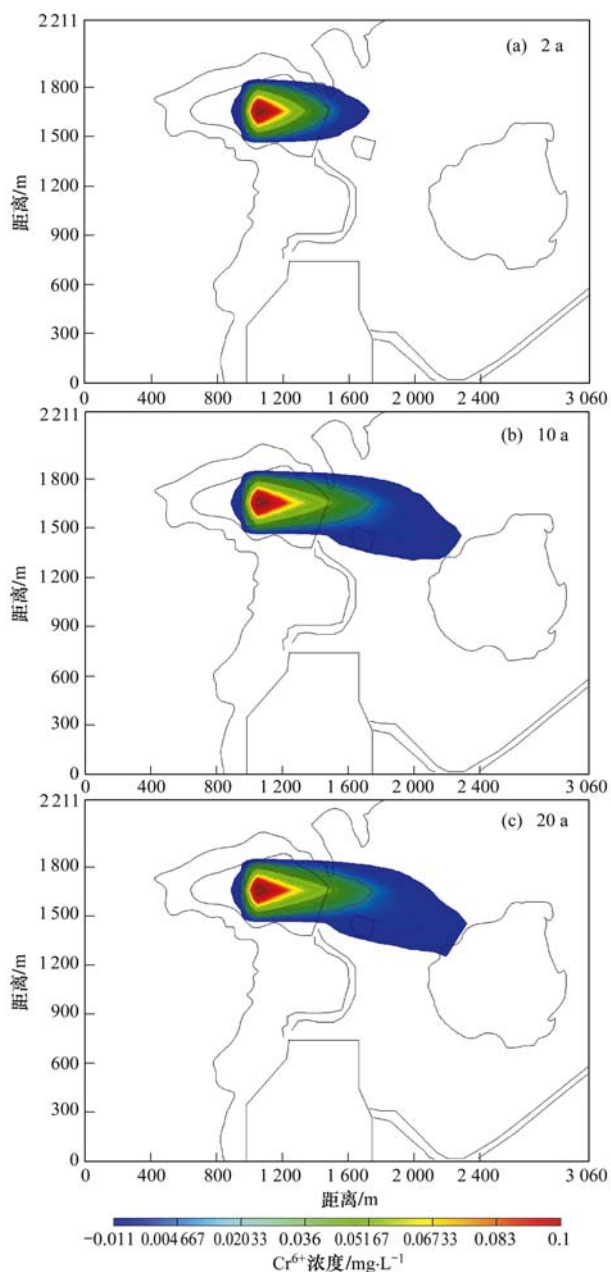


图3 2 a、10 a 和 20 a 的上层含水层污染物迁移趋势图

Fig. 3 Tendency of contaminants transport in shallow aquifer for two years, ten years and twenty years

工作量以及成本大; 同时考虑现阶段防渗墙和排水沟已在实际工程中运用, 因此, 本文选择源项消减措施(地表硬化)以及切断污染途径进行污染控制模拟。

3.2.1 地表硬化

地表硬化能有效的形成硬化层, 减少地下水系统降雨补给量, 同时也可以减少包气带中污染物进入地下水系统。由于硬化层的存在, 使得地表径流系数有所提高, 一般在 0.9 左右^[19,20], 即为 90% 的降

雨量将会形成地表径流, 从而大大减少了渗滤液对地下水的补给浓度。本研究运用 Visual Modflow 模拟了填埋场增加覆盖层以及周边工作区地表硬化对地下水污染物(Cr^{6+})运移过程的影响, 如图 4 所示。

将进行地表硬化处理的填埋场运行 20 a 后地下水中 Cr^{6+} 运移趋势(如图 4)与未进行地表硬化的[如图 3(c)]进行对比, 可以看出进行地表硬化处理的填埋场地下水中 Cr^{6+} 浓度明显低于未进行地表硬化的。此外, 硬化前后其迁移速率也发生了明显的变化。未进行地表硬化的填埋场地下水中 Cr^{6+} 在防渗层发生泄漏 10a 后其污染羽就到达前方水塘, 而进行地表硬化处理的填埋场地下水中 Cr^{6+} 在防渗层发生泄露 20 a 后其污染羽尚未到达前方水塘。因此, 对于填埋场及周边进行地表硬化工作非常重要。

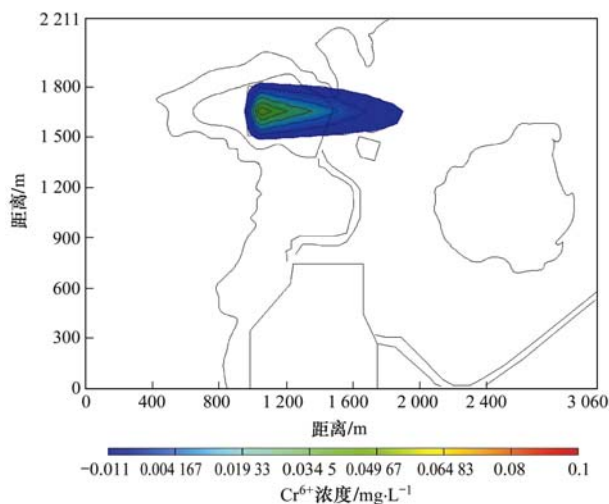


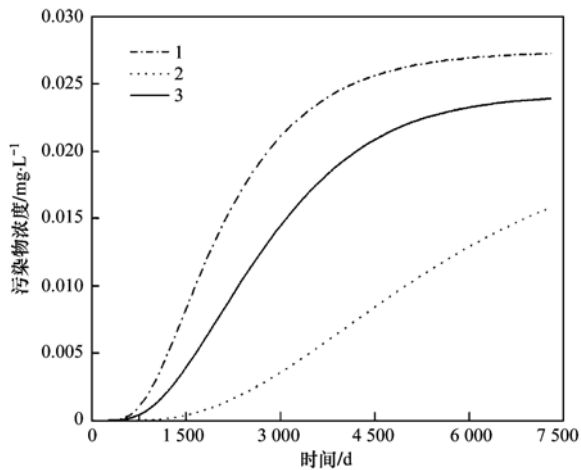
图4 地面硬化后 Cr^{6+} 的运移变化趋势(20 a)

Fig. 4 Tendency of Cr^{6+} transport by hardening ground(20 years)

3.2.2 防渗墙

防渗墙作为切断污染物运移途径的有效措施, 可达到改变污染物运移方向, 控制污染物进一步扩散的目的。在模拟控制方案过程中, 设置悬挂式防渗墙于浓度观测井和填埋场之间, 防渗墙深度分别选择到达上层含水层底部和下层含水层底部, 并与未设置防渗墙进行对照(见图 5)。宽度取未设置防渗墙条件下该处污染羽的宽度 500 m。根据文献[21], 防渗墙的渗透系数设为 $1 \times 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 厚度设为 1 m, 模拟结果为实施后 5 a 的结果(见图 6)。

从图 5 中可以看出, 不同深度的防渗墙对监测井中 Cr^{6+} 浓度变化的影响不同, 当防渗墙的深度到



1. 防渗墙深度到潜层含水层底部, 2. 防渗墙深度到深层含水层底部, 3. 未加防渗墙

图5 防渗墙不同深度下20 a后浓度监测井的 Cr^{6+} 浓度变化

Fig. 5 Changes of Cr^{6+} concentration in different depths monitoring wells of leakage-proof barriers in twenty years

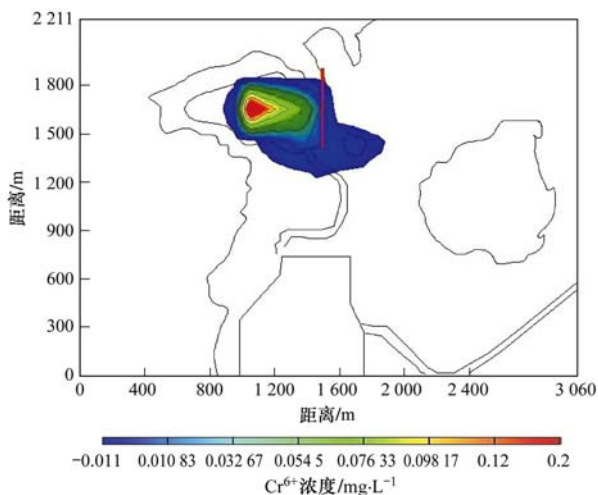


图6 加防渗墙后的污染羽运移变化趋势(5 a)

Fig. 6 Tendency of contamination plume transport by setting leakage-proof barriers (5 years)

达上层含水层底部时,监测井中的 Cr^{6+} 浓度高于未加防渗墙时的浓度,这可能是由于上层含水层和下层含水层相互连通,当上层含水层中的污染物遇到防渗墙后会不断进入下层含水层,越过防渗墙污染下游下层含水层,并且浓度监测井的滤管位于下层含水层。当防渗墙深度到下层含水层底部时,形成了一个封闭系统,且完全切断原有的污染羽运移路径,从而使得监测井中 Cr^{6+} 浓度有所降低。但随着填埋场中的污染物不断进入含水层,监测井中的 Cr^{6+} 的浓度不断增加,从图6可以看出,5 a后污染羽就能

够绕过防渗墙继续污染下游地下水,因此对连续点源式污染源来说,防渗墙污染控制效果不佳。

3.2.3 排水沟

排水沟通过受污染的地下水连续排泄方式,减少地下水中污染物的总量,从而起到控制污染物的扩散范围的作用。同时,对排出的地下水进行处理后,可以直接回灌或者用于其它用途。本研究运用Visual Modflow中排水管道子程序包DRN模拟了排水沟对污染物运移过程的影响,排水沟设置在填埋场与监测井之间(如图7红色线),长度为100 m,深度为3 m,模拟时间为20 a,同时保持排水沟内水深0.5 m,模拟结果如图7所示。

对比图7和图3(c)可以看出,设置排水沟条件下填埋场地下水中 Cr^{6+} 的扩散范围远小于未设置排水沟时地下水中 Cr^{6+} 的扩散范围,在填埋场防渗层发生渗漏20 a后,其污染羽尚未扩散至浓度监测井,表明排水沟的设置对地下水污染控制起到了很好的效果,同时其日排水量约为2 642 m^3 。

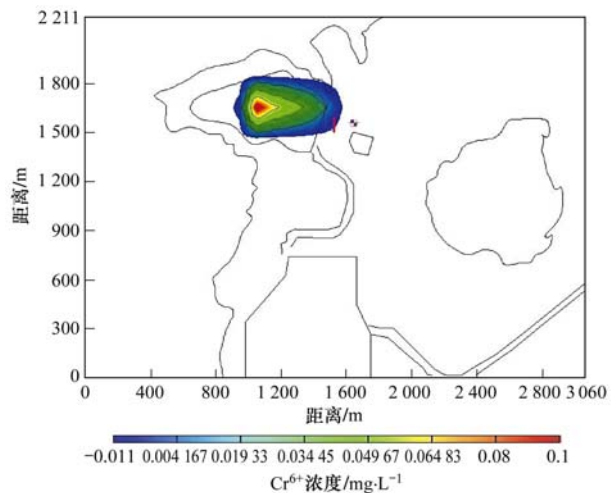


图7 100 m排水沟对污染羽运移变化趋势的影响

Fig. 7 Tendency of contamination plume transport by setting the 100 m length drainage ditch

3.2.4 地表硬化与排水沟并用

通过对以上3种污染控制措施的模拟研究发现,每一种污染控制措施都存在着各自的不足之处。地表硬化可以通过减少降雨入渗来减少进入地下水中污染物的量,但长期的降雨入渗仍然是填埋场地下水污染的重要补给源,因此仅仅控制降雨入渗并非长久之计。防渗墙能够通过阻隔污染羽,改变污染物运移方向,达到对敏感目标的保护,但它不能减少污染物的总量。对于排水沟来说,虽然可以通过对地下水的排泄减少地下水系统中污染的总量,但增加

对污染地下水后续处理的成本. 考虑到防渗墙只能暂时阻隔污染羽, 不适于长期使用, 因此本研究只对地表硬化和排水沟并用的污染控制方案进行了模拟分析, 如图 8 (红线为排水沟).

如图 8 所示, 当地表硬化措施和排水沟协同并用时, 填埋场防渗层发生渗漏 20 a 后, 其地下水中 Cr^{6+} 污染羽的范围主要集中于填埋场附近, 甚至尚未触及到浓度监测井. 同时由于地表硬化的作用, 填埋场渗滤液产生量下降以及研究区域内降雨补给减少, 地下水的污染程度降低, 使得两者并用时的排水量 ($1\,878\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$) 较单一使用排水沟时的排水量 ($2\,642\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$) 明显减少, 降低后续处理成本. 因此, 二者并用的处理效果好于单一的控制措施.

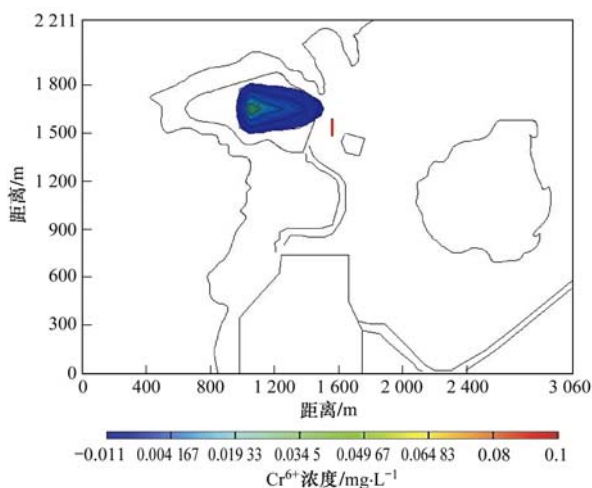


图 8 地面硬化与排水沟组合模拟结果

Fig. 8 Simulation on the optimized method by combining hardening ground with setting a drainage ditch

4 结论

(1) 危险废物填埋场防渗层发生渗漏后, 其周边地下水中污染物随水流方向迁移扩散, 污染范围随着时间的延长不断扩大. 水塘作为一个排泄受体, 具有污染捕获作用, 限制了污染羽的扩散速度和范围.

(2) 地表硬化、防渗墙和排水沟 3 种不同的污染控制方案, 均能在一定程度上控制污染物扩散范围. 地表硬化通过降低降雨入渗系数, 控制污染物扩散范围; 防渗墙的深度达到深层含水层底部时, 才能达到控制污染物扩散的效果, 但随着时间延长, 污染羽能绕过防渗墙污染下游地下水; 排水沟对于污染控制具有很好的效果, 但是排水沟不能从污染源控制, 同时排水量大, 后续处理成本高.

(3) 地表硬化与排水沟组合控制污染物扩散时, 效果最佳, 在控制污染源的同时减少了排水沟的日排水量, 有利于污染物的最终处理, 因此建议在填埋场建设过程中, 注重防渗设施的同时也需加强周边地表硬化程度.

参考文献:

- [1] 杨昌民, 石军广, 徐成杰, 等. 不同地质条件下填埋场渗滤液污染的数值模拟 [J]. 勘查科学技术, 2008, (5): 15-20.
- [2] 王翊虹, 赵勇胜. 北京北天堂地区城市垃圾填埋对地下水的污染 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(6): 45-47.
- [3] 张翠云, 马琳娜, 张胜, 等. Visual Modflow 在石家庄市地下水硝酸盐污染模拟中的应用 [J]. 地球学报, 2007, 28(6): 561-566.
- [4] Rajamanickam R, Nagan S. Groundwater quality modeling of Amaravathi River Basin of Karur district, Tamil Nadu, using Visual Modflow [J]. International Journal of Environmental Sciences, 2010, 1(1): 91-108.
- [5] Gurunadha R V, Subrahmanyam K, Yadaiah P, et al. Assessment of groundwater pollution in the Patancheru Industrial Development Area and its environs, Medak District, Andhra Pradesh, India [J]. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality, 1999, (205): 99-109.
- [6] 张艳, 何江涛, 李鹏, 等. 开封市垃圾场污染物运移模拟与控制 [J]. 地下水, 2010, 32(3): 15-27.
- [7] Dong S G, Liu B W, Tang Z H. Investigation and modeling of the environment impact of landfill leachate on groundwater quality at Jiaying, Southern China [J]. Journal of Environmental Technology and Engineering, 2008, 1(1): 23-30.
- [8] Zheng C, Bennett G D, Andrews C B. Analysis of ground-water remedial alternatives at a Superfund site [J]. Ground Water, 1991, 29(6): 838-848.
- [9] 赵勇胜, 苏玉明, 王翊虹. 城市垃圾填埋场地下水污染的模拟与控制 [J]. 环境科学, 2002, 23(增刊): 83-88.
- [10] 郭丽敏, 王金生, 刘立才. 非正规垃圾填埋场地下水污染控制技术比较 [J]. 水资源保护, 2009, 25(4): 28-36.
- [11] 卢文喜. 地下水运动数值模拟过程中边界条件问题探讨 [J]. 水利学报, 2003, (3): 33-36.
- [12] 沈媛媛, 蒋云钟, 雷晓辉, 等. 地下水数值模拟中人为边界的处理方法研究 [J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(6): 12-15.
- [13] McDonald M C, Harbaugh A W. MODFLOW-a three-dimensional finite-difference groundwater flow model [R]. U. S. : Geological Survey, 1988. 88-875.
- [14] Hussein M, Schwartz F W. Modeling of flow and contaminant transport in coupled stream-aquifer systems [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2003, 65(1-2): 41-64.
- [15] Zheng C M, Bianchi M, Gorelick S M. Lessons learned from 25 years of research at the MADE site [J]. Ground Water, 2011, 49(5): 649-662.
- [16] 刘明柱, 陈鸿汉, 胡丽琴. 生物降解作用下地下水中 TCE、

- PCE 迁移转化的数值模拟研究 [J]. 地学前缘, 2006, **13** (1): 155-159.
- [17] Reinhartd D R, McCreanor P T, Townsend T. The bioreactor landfill its status and future [J]. Waste Managemen & Research, 2002, **20**(2): 171-186.
- [18] 戴伟华, 俞凯觐. 灌浆帷幕防渗技术在天子岭生活垃圾卫生填埋场中的应用 [J]. 有色金属, 2003, **55**(增刊): 113-117.
- [19] 程东会, 何江涛, 刘起峰, 等. 人类活动对城市地下水影响的探讨 [J]. 新疆环境保护, 2006, **28**(4): 22-25.
- [20] 王健建. 损坏水土保持设施补偿与人为水土流失防治问题的探讨 [J]. 山东水利, 2004, (1): 12-13.
- [21] 谢兴楠. 地下阻水结构物对基坑降水流场的影响 [J]. 施工技术, 2009, **38**(增刊): 208-210.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊” 和“中国精品科技期刊”称号

2011 年 12 月 2 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”和“中国精品科技期刊”获奖名单. 《环境科学》连续 10 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号和再次荣获“中国精品科技期刊”称号.

“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, JIN Yun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《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1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 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

国内外公开发行人