

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第12期

Vol.33 No.12

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

特别策划:再生水灌溉利用生态风险研究专题

序	陈卫平 (4069)
再生水灌溉利用的生态风险研究进展	陈卫平,张炜铃,潘能,焦文涛 (4070)
绿地再生水灌溉土壤微生物量碳及酶活性效应研究	潘能,侯振安,陈卫平,焦文涛,彭驰,刘文 (4081)
绿地再生水灌溉土壤盐度累积及风险分析	潘能,陈卫平,焦文涛,赵忠明,侯振安 (4088)
再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响	赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥 (4094)
模型模拟再生水灌溉对土壤水盐运动的影响	吕斯丹,陈卫平,王美娥 (4100)
模型模拟土壤性质和植被种类对再生水灌溉水盐运移的影响	吕斯丹,陈卫平,王美娥 (4108)
再生水灌溉农田土壤镉累积规律模拟研究	赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥 (4115)
再生水灌溉土壤人工合成麝香累积模型模拟	王美娥,陈卫平,焦文涛 (4121)
城市绿化草坪再生水灌溉对地下水水质影响研究	王巧环,陈卫平,王效科,任玉芬,张烨 (4127)
北京市再生水的公众认知度评估	张炜铃,陈卫平,焦文涛 (4133)

研究报告

北京地区臭氧时空分布特征的飞机探测研究	陈鹏飞,张蕾,权建农,高扬,黄梦宇 (4141)
世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染源研究	王红丽,陈长虹,黄海英,王倩,陈宜然,黄成,李莉,张钢锋,陈明华,楼晟荣,乔利平 (4151)
贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究	张军科,王跃思,吴方堃,孙杰 (4159)
区域大气环境风险源识别与危险性评估	张晓春,陈卫平,马春,詹水芬,焦文涛 (4167)
稻草烟尘中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素	刘刚,孙丽娜,李久海,徐慧 (4173)
汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性	胡志远,李金,谭丕强,楼狄明 (4181)
城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应	隆茜,周菊珍,孟颖,达良俊 (4188)
闽江口养殖塘水-大气界面温室气体通量日进程特征	杨平,仝川,何清华,黄佳芳 (4194)
模拟增温对冬小麦-大豆轮作农田土壤呼吸的影响	刘艳,陈书涛,胡正华,任景全,沈小帅 (4205)
广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异	孔祥胜,祁士华,孙蓓,黄保健 (4212)
松花江流域冰封期水体中多环芳烃的污染特征研究	马万里,刘丽艳,齐虹,白杨,沈吉敏,陈忠林,李一凡 (4220)
温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源	周婕成,陈振楼,毕春娟,吕金刚,许世远,潘琪 (4226)
温州城市河流河岸带土壤中 PAHs 的污染特征与来源	周婕成,毕春娟,陈振楼,王璐,许世远,潘琪 (4237)
辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估	武江越,刘征涛,周俊丽,高富 (4244)
某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究	裴芳,罗泽娇,彭进进,祁士华 (4251)
某大型焦化企业污染场地中多环芳烃空间分布的分异性特征	刘庚,郭观林,南锋,魏文侠,李发生,毕如田 (4256)
太原市污灌区有机氯农药垂直分布特征及源解析	廖小平,张彩香,赵旭,向青清,李佳乐 (4263)
上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价	吕金刚,毕春娟,陈振楼,周婕成,韩景超 (4270)
近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价	李瑞利,柴民伟,邱国玉,贺蓓 (4276)
北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究	张伟,张洪,单保庆 (4284)
太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征	秦延文,张雷,郑丙辉,曹伟 (4291)
典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征	朱国锋,蒲焘,何元庆,王培震,张建龙,张宁宁,辛惠娟 (4300)
螺-草水质净化系统氮素环境归趋的实验研究	周露洪,谷孝鸿,曾庆飞,毛志刚,高华梅,孙明波 (4307)
固定化果胶酶抑制铜绿微囊藻生长研究	沈清清,彭谦,赖泳红,纪开燕,韩秀林 (4316)
采用膜污染指数评估天然有机物在低压超滤膜中的污染行为	肖萍,肖峰,赵锦辉,秦潼,王东升,冯金荣,许光 (4322)
水体中甲基汞光化学降解特征研究	孙荣国,毛雯,马明,张成,王定勇 (4329)
土霉素在乙酸水溶液中的臭氧氧化降解研究	李时银,李小荣,朱怡苹,朱江鹏,王国祥 (4335)
酰胺咪唑光降解效能与机制及其影响因素研究	陈超,赵倩,封莉,张立秋 (4340)
利用 FeS 去除水中硝基苯的试验研究	王夏琳,李睿华 (4346)
地下污水管线泄漏原位自动监测模拟实验研究	郭磊,贾永刚,付腾飞,刘晓磊,赵战坤 (4352)
表面活性剂改性沸石对水中酚类化合物吸附性能研究	谢杰,王哲,吴德意,李春杰 (4361)
抗生素类制药废水厌氧消化产物急性毒性的检测	季军远,邢雅娟,郑平 (4367)
废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究	王振,刘超翔,李鹏宇,董健,刘琳,朱葛夫 (4373)
基于生物沸石复合滤料的间歇式脱氮水处理	庆承松,鲍韬,陈天虎,陈冬,谢晶晶 (4380)
硝酸盐对厌氧生物膜和颗粒污泥的同时产甲烷反硝化性能影响研究	钟晨宇,叶杰旭,李若愚,陈胜,孙德智 (4387)
水平电场作用下活性污泥的脱水研究	季雪元,王毅力,冯晶 (4393)
多重环境因子对氟胺磺隆在土壤中降解的影响	宋宁慧,单正军,石利利,郭敏,许静,孔德洋 (4400)
碱后处理对互花米草沼渣理化特性的影响研究	陈广银,郑正,常志州,王海芹,叶小梅 (4406)
含砷废渣高温烧结过程砷的矿物相结构变化与环境释放行为	王兴润,农泽喜,王琪 (4412)
国家大气污染物排放标准体系研究	江梅,张国宁,张明慧,邹兰,魏玉霞,任春 (4417)
环境基准向环境标准转化的机制探讨	毕岑岑,王铁宇,吕永龙 (4422)
对“有毒重金属”实施 2 种总量控制监管方式的利害分析	傅国伟 (4428)
《环境科学》第 33 卷(2012 年)总目录	(4434)
《环境科学》征订启事(4099)	
《环境科学》征稿简则(4166)	
信息(4180, 4219, 4225, 4275)	
专辑征稿通知(4172)	

某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究

裴芳^{1,2,4}, 罗泽娇^{1*}, 彭进进³, 祁士华¹

(1. 中国地质大学环境学院生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074; 2. 天津市滨海新区塘沽环保产业服务中心, 天津 300451; 3. 武汉市环境保护科学研究院, 武汉 430015; 4. 天津市天人合环保科技研发中心, 天津 300451)

摘要:通过对某炼油厂退役场地21个土壤监测点和8个地下水监测点的样品分析,研究了该场地酚类化合物的污染分布。结果表明:该场地上层滞水酚污染严重,挥发酚含量远超过地下水水质标准的要求。场地承压水水质良好,有轻微的酚污染。该场地近1/2面积的土地,酚类化合物污染严重;依据原厂区工艺布局图,场区浅层地下水和土壤的酚污染具有区域相似性,酚含量高的区域集中在原工厂生产车间以及储油罐和产品仓库;土壤中污染物水平扩散不强,垂直扩散深度不一,部分超过地表10 m以下的深度。通过GC/MS对典型土壤中2-氯苯酚、2-硝基苯酚、2,4-二甲酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二硝基酚以及4,6-二硝基-2-甲酚7种酚类化合物进行定性与定量分析,结果表明7种酚类化合物含量范围为0.01~232.96 mg·kg⁻¹,其中2,4-二硝基酚和4,6-二硝基-2-甲酚含量比较高。

关键词:退役场地; 土壤; 地下水; 酚类化合物

中图分类号: X53; X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)12-4251-05

Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site

PEI Fang^{1,2,4}, LUO Ze-jiao¹, PENG Jin-jin³, QI Shi-hua¹

(1. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, School of Environment, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Tanggu Environmental Protection Industry Service Center, Binhai New Area, Tianjin 300451, China; 3. Wuhan Environmental Protection Sciences Research Institute, Wuhan 430015, China; 4. Tianjin Tian Ren He Environmental Science and Technology Development Center, Tianjin 300451, China)

Abstract: To study the distribution of phenol compounds in a retired refinery site, 21 soil sampling sites and 8 shallow groundwater wells were investigated. The results showed, shallow unconfined groundwater of the site was in a serious pollution situation and the phenols concentration was much higher than quality standard for ground water. Confined water sample was slightly contaminated by phenols and the total quality was good. Approximately half of the area was heavily polluted by phenol compounds. According to the retired refinery layout, the phenols pollution distribution in shallow groundwater and soil exhibited the regional similarity. The highly contaminated area was production workshop, oil tank and plant storage. Horizontal diffusion of pollutants was not serious. Vertical diffusion of pollutants was different, and a site with pollutant diffusion was deeper than ten meters. The 2-chlorophenol, 2-nitrophenol, 2,4-xenol, 2,4-dichlorophenol and 2,4,6-trichlorophenol, 2,4-dinitrophenol and 2-methyl-4,6-dinitrophenol in typical soils were analyzed by GC/MS. It showed that concentrations of seven phenol compounds were 0.01-232.96 mg·kg⁻¹, and the concentrations of 2,4-dinitrophenol and 2-methyl-4,6-dinitrophenol were high.

Key words: retired site; soil; groundwater; phenol compounds

酚类化合物是芳烃环上的氢被羟基取代的一类有机化合物,是一种原浆毒,对一切生物个体都有毒性^[1]。其中苯酚、硝基苯酚、二硝基苯酚、二氯苯酚、三氯苯酚、五氯苯酚、对氯间甲苯酚等11种酚类化合物是1977年美国EPA提出的水中优先控制污染物。苯酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、对硝基酚为我国优先控制的有毒有机化合物^[2]。环境中酚类污染物主要来源于工业企业排放的含酚废水,如煤炼油厂、煤气与炼焦工业的煤气厂、焦化厂;冶金、机械、玻璃制造、陶瓷等工业的煤气发生站;石油工业的炼油厂、化工厂、木材纤维厂、树脂、合成纤维、医药、农药、化学试剂等化工工厂^[3]。工业生产过程中,也可能会引起

工业场地土壤与地下水的酚类物质污染,对此类退役场地的研究,国外近些年开始兴起^[4~7],但国内刚刚起步^[8,9]且主要集中于表层土壤的农药污染研究^[10~16]。本文以某炼油厂退役场地为研究对象,以酚生产车间为主控对象,以酚类化合物为代表性污染物,研究其土壤与地下水中酚类化合物污染特征、分布规律及在土壤中的行为,为同类污

收稿日期: 2012-02-27; 修订日期: 2012-05-28

基金项目: 高等学校博士学科点基金项目(20100145110010); 天津市塘沽区环保科技创新服务平台建设项目(HBKJ200801)

作者简介: 裴芳(1978~),女,博士研究生,主要研究方向为土壤修复及污染物在土壤中的迁移行为, E-mail: tghbpf@126.com

* 通讯联系人, E-mail: luozejiao@hotmail.com

染物分布和迁移研究提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 样品采集

研究区域涉及整个炼油厂,面积约 5 万 m²,重点为酚加工车间。该厂始于 1958 年,运行 40 多年后于 20 世纪 80 年代停止使用。土壤调查时,地面建筑已拆除,根据地形图围绕主车间由中心向外布局,采用系统网格采样法,确定以 50 m×50 m 大小网格,在网格中心点取样调查,同时在重点区域加密监测,所有点位取样根据实际场地情况适当调整;每个点位设计取样 4 个,分别为原厂地面下 0.5 m、1.5 m、3 m、5 m,实际取样深度也根据具体情况作适当调整。共设置 21 个土壤监测点(编号为 S1~S21),8 个地下水调查点,第一层承压水监测点 2 个(编号 GW1~GW2),上层滞水取样点 6 个 GW3~GW8,调查点分布见图 1。

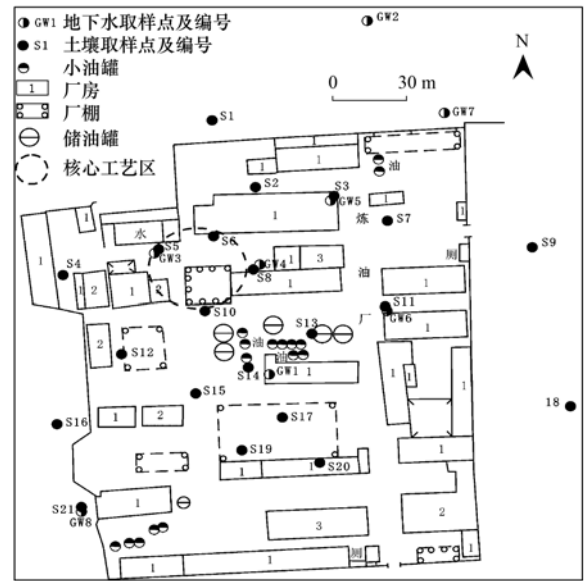


图 1 调查场地地下水和土壤取样布局

Fig. 1 Groundwater and soil samples distribution in field

1.2 样品分析方法

水质 pH、硫酸盐、总挥发酚等指标分析依据文献[17],土壤中挥发酚的测定参考李钟玮等[18]提出的方法,分离后液体中的总挥发酚含量采用标准方法[19]进行分析测定。土壤中酚类化合物的分析,分离后采用 Agilent 公司气相色谱-质谱仪联用仪(型号:6890N/5978inert)进行测试分析,具体方法参考文献[10]以及美国 EPA 方法[21,22]。土壤理化性质的分析依据文献[23]。

2 结果与讨论

2.1 质量控制与质量保证(QA/QC)

酚类化合物的分析测试执行美国 EPA 方法,GC-MS 仪器的标定和指标的定量采用国际酚类化合物的标准溶液。每个样品在索氏抽提前加入回收率指示物氘代苯,回收率为 61%~113%。所有样品经过回收率校正。每批次样品(10 个左右)分析一个方法空白样和一个试剂空白,空白样品中目标化合物都低于仪器检出限。10%的平行样试验分析,确认测试结果的重现性,总的数据质量可靠。其他指标分析测试均有回收率、平行、空白来确保试验质量。

2.2 场地地下水中酚类物质含量

调查区域地貌上属长江 I 级阶地堆积平原区,场地平整、起伏不大。所在区域下伏土层以全新统冲积层(Q₄^{al})为主,土质以壤土为主,渗透系数小;场地下伏地下水有赋存于人工填土的浅部上层滞水,稳定水位埋深为 0.2~1.6 m,分布分散、不连续,水量不大,其深部有松散岩类孔隙承压水,水量较丰富,单井涌水量为 500~1 000 m³·d⁻¹,与长江水相通,循环以侧向交替为主,承压水头在地下约 4.5 m 左右,标高 16 m,年变化幅度 3.0~4.0 m。场地上层滞水及第一层承压水环境部分指标分析结果见表 1。参考地下水质量标准,监测结果表明,所有

表 1 场地地下水监测结果/mg·L⁻¹

Table 1 Result of groundwater analysis/mg·L⁻¹

指标	第一层承压水		上层滞水					
	GW1	GW2	GW3	GW4	GW5	GW6	GW7	GW8
嗅和味	无	无	有	有	有	有	有	有
肉眼可见物	无	无	有	有	有	有	有	有
pH	7	7.1	7.93	9.92	7.51	7.43	8.04	8.36
Cd	/	/	0.136	0.008	0.163	0.31	0.076	<0.001
Mn	1.06	0.72	5.1	0.61	1.75	2.1	0.76	0.02
Ni	<0.001	0.005	0.049	0.054	0.18	0.114	0.059	0.002
硫酸盐	33.2	13.5	806.9	878.4	799.6	1 464.7	887.5	389.1
氯化物	73.4	42.8	70.2	251.8	74.9	57.1	39.3	48.7
总石油	0.5	未检出	56.3	236.6	60.3	44	18.6	5.8
高锰酸盐指数	4.2	1.9	439.5	18 513.6	513.4	373.6	268.8	125.7
挥发酚(以苯酚计)	<0.002	0.004	11.02	3 651.29	8.96	0.21	5.05	0.09
亚硝酸盐(以 N 计)	0.01	0.01	0.01	0.16	0.08	0.01	0.02	1.27

监测的上层滞水水质极差,挥发酚、高锰酸盐指数及硫酸盐含量高,其中以 GW4 处挥发酚、高锰酸盐指数异常高,其所在土壤中酚含量也很高; GW1 和 GW2 承压水水质较好,但 GW2 监测到挥发酚($0.004\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). 这与 1980 年武汉市地下水污染简况在区域上的挥发酚浓度监测值吻合^[24].

结合图 1、表 1 和表 4 可以看出,场地地下水酚污染分布特征和土壤酚污染分布特征在地理位置上有相似性,即酚污染具有同源性.

2.3 场地土壤中酚类物质污染现状

2.3.1 场地土壤中酚类化合物水平分布

对场地 21 个土壤监测点总挥发酚监测分析(见表 2)显示,土壤总挥发酚含量范围是 $0\sim 2\,825.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中挥发酚含量超过 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的监测点位有 7 个,分别是 S5、S6、S8、S10、S11、S14、S20. 图 2 是场地土壤中总挥发酚含量等值线图. 从等值线图的平面分布特征来看,总挥发酚污染最严重的区域主要在场地中部偏西的位置,且近 1/2 面积的土地受酚类化合物污染严重. 酚污染主要集中在核心工艺区(见 S5、S6),生产车间外的产品仓库(S8)及储油罐所在地(S14),这与该场地原企业的布局相关,即在工艺生产线上,管道、储油罐等长期跑冒滴漏造成了现有污染. 污染最严重的 S8 点位,在距离中心点约 20 m 处,污染物含量降低

表 2 场地土壤中总挥发酚含量

Table 2 Contention of total phenol in soil samples			
取样点 编号	取样深度 /m	土壤总挥发酚含量 /mg·kg ⁻¹	最大浓度出现深度 /m
S1	2.3~4.3	0.1~0.4	2.3
S2	1.4~5.5	0.2	—
S3	2.4~9.3	0.2~2.9	2.4
S4	1~5.6	0.4~6.4	2
S5	1.0~5.4	3.3~2 478.4	4
S6	1.0~5.3	54.5~256.4	5.3
S7	1.4~6.6	0.5~7.5	4.5
S8	1.7~10.0	97.4~2 825.7	8
S9	3.3~7.5	0.2~2.4	7.5
S10	1.2~8.3	0.9~32.1	2.6
S11	1.3~8.5	1.0~44.8	2.5
S12	0.9~5.3	0.4~4.4	5.3
S13	1.0~10.3	0.6~4.3	1
S14	2~3	660.2~1 133.0	3
S15	0.8~5.6	0.3~18.8	5.6
S16	0.6~4.2	0.9~4.4	2.3
S17	2.5	11.8	2.5
S18	1.5~8.6	0.2~5.8	8.6
S19	2.5	0.1	—
S20	0.9~5.3	2.6~30.7	3.5
S21	0.6~4.2	0.5~6.6	4.2

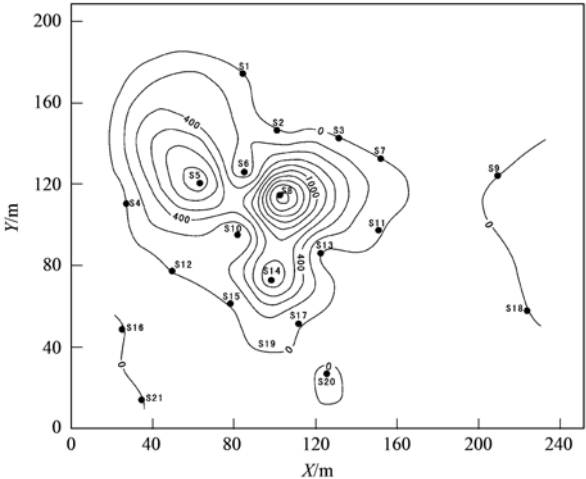


图 2 场地土壤中总挥发酚含量等值线图

Fig. 2 Contour lines of total phenol in soil samples

50%,水平扩散不强. 场地内紧靠工艺区 S10、S12、S13、S15,土壤中挥发酚含量远远低于核心工艺区与储油罐堆放地. 外围土壤中酚污染含量逐渐降低,直到场界外,土壤中虽然有挥发酚检出,但含量均很低(S1、S9、S16、S18、S21). 这是由于调查区域地形平坦,上层滞水的水平侧向迁移扩散弱,污染物向四周扩散的范围非常有限,因此污染物均分布在厂界内,厂界外受影响小.

2.3.2 场地土壤中酚类化合物垂直分布

根据土壤的理化性质,酚类污染物可由上至下迁移转化造成下层土壤的污染,这主要与土壤的水分含量、吸附、孔隙度和温度及污染物本身性质等因素有关^[25]. 本场地共监测 21 个调查点,最深取样深度达到 10 m(S8、S13). 图 3 是污染较典型点位的土壤垂直剖面总挥发酚含量分布图,结合表 2 可以看出,场地样点有明显的污染物垂直迁移,在深层土壤已造成污染,其中有 5 个点位酚类化合物含量异常高. 浅部土壤中的酚类物质由于受表层微生物的分解作用、光解作用、挥发及淋滤作用,深处土壤污染物含量高于浅部. 场地酚类化合物污染深度不一,其中 S5 土层 3 m 处出现最大污染物含量 $2\,478.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,S8 土层 8 m 处污染物最大含量 $2\,825.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,且 10 m 土层处挥发酚含量仍高达 $2\,383.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

场地土壤的理化性质见表 3,可见场地土壤属于壤土,pH 为碱性. 虽然壤土渗透系数小,有较强的吸附性,会阻碍污染物的向下迁移,但调查场地污染物由于长时间高浓度的如活塞式向下输入,同时受分子弥散、扩散作用的影响,仍然可以向较深处

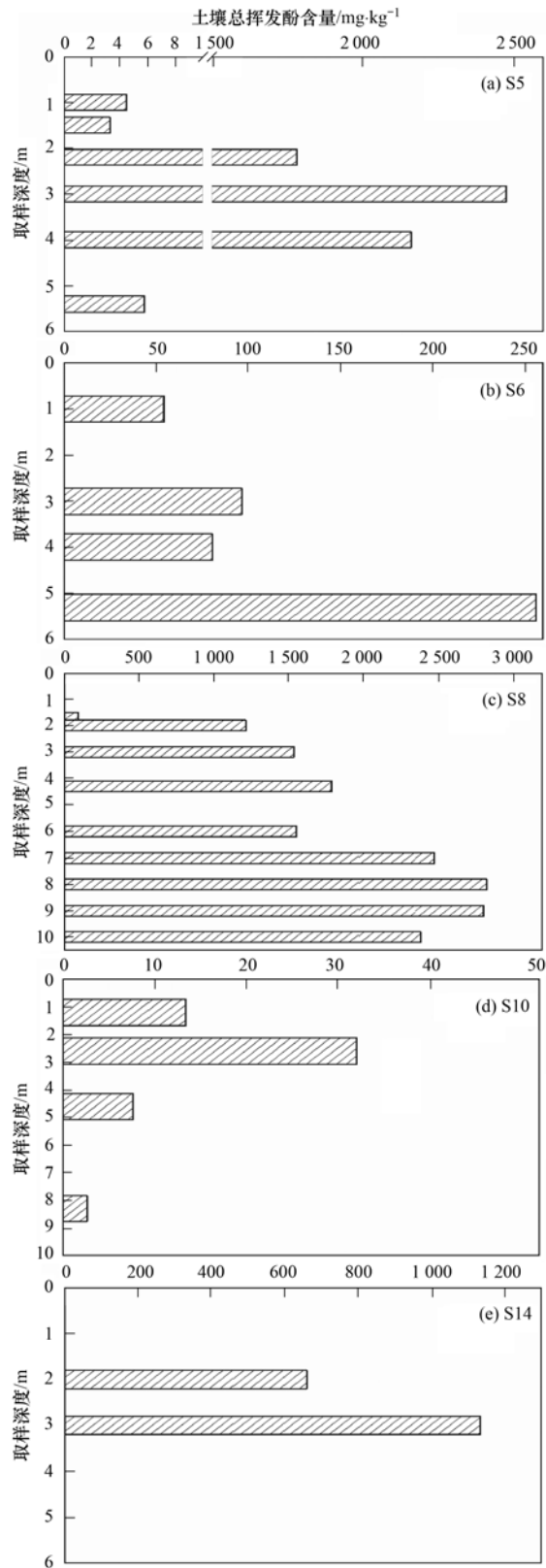


图3 典型采样点土壤垂直剖面总挥发酚含量分布/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Fig. 3 Vertical distribution of total phenol in typical soil samples/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

迁移。

表4是通过GC/MS对3个典型监测点共12个

取样层位的土壤酚类化合物含量分布的分析结果,数据显示所有层位的土壤酚类污染以苯酚为主要检出物,除此之外2-氯苯酚、2-硝基苯酚、2,4-二甲酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二硝基酚以及4,6-二硝基-2-甲酚含量均超过土壤背景值,其中7个层位土壤样品4,6-二硝基-2-甲酚,1个层位土壤样品2,4-二硝基酚含量比较高。笔者认为除与污染物输入浓度高有关外,还与苯酚的特性有关,苯酚能与水形成氢键,在水中有一定的溶解度,易随水发生迁移。但苯酚溶于水应该呈弱酸性,场地土壤的pH与对应的上层滞水pH均显示为碱性,这可能因为酚羟基与苯环的共轭作用使酚羟基的邻对位亲核能力很强,易在芳环上发生亲电取代反应,使得苯酚与土壤有机质和无机金属离子强有力结合^[26~28],以酚盐的形式存在,留存更为容易。而其余酚类污染物可能为生产中的原料或中间产物,4,6-二硝基-2-甲酚和2,4-二硝基酚的含量相对较高,可能与硝基具有吸电子诱导效应和吸电子共轭效应,并可使负电荷离域到硝基的氧上,从而使硝基苯酚盐负离子更加稳定有关^[27]。

综合21个土壤监测点酚类化合物含量分析,0~1 m表层土壤中酚类化合物含量不高,随着深度增加,在土层2~4 m之间土壤中酚类化合物含量很高,且各个深度土层中酚类化合物含量不一,有的点位含量很高,有的很低,这与企业场地布局以及土壤性质有关。如表层土壤酚类化合物不高的原因在于,表层土壤酚类化合物易挥发,微生物好氧降解效率高,充足光照使酚类化合物易发生光化学反应,酚类化合物被分解;土壤中酚类化合物含量随土层深度增加总体呈逐渐降低趋势的原因在于,土壤多酚氧化酶对进入土壤的酚类物质具有一定的降解作用,且随着深度增加,土壤中各种物质如矿物颗粒、有机质、腐殖酸对酚类化合物吸附;典型点位的高浓度污染物不断向深层迁移的原因在于,酚类物质在土壤中降解率随其含量的增大和土壤水分含量的增多而降低,因此酚类物质降解率低且土壤颗粒逐渐被酚类物质所饱和而失去进一步吸附能力^[28,29]。

3 结论

(1)调查区域场地上层滞水水质污染严重,挥发酚含量范围从0.09~3 651.29 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 均超过地下水质量标准中的V类水质限值。场区承压水水质良好,但监测到挥发酚污染。

表 3 土壤样品的理化性质

Table 3 Physicochemical property of soil samples

土壤样品	粒性/%				样品性质	pH	有机质/%	含水率/%
	黏土	粉土	细砂	砂				
表层	27.25	72.70	0.05	0	壤土	8.40	1.52	23
深层	26.96	73.02	0.02	0	壤土	9.07	5.11	19

表 4 典型监测点位土壤中酚类化合物含量分布/mg·kg⁻¹

Table 4 Concentration distribution of phenol compounds in typical soil samples/mg·kg⁻¹

编号	采样深度/m	苯酚	2-氯苯酚	2-硝基苯酚	2,4-二甲酚	2,4-二氯酚	2,4,6-三氯酚	2,4-二硝基酚	4,6-二硝基-2-甲酚
S5	2.2~4	0.5~1 769	0.47~0.91	0.02~0.05	0.01~0.04	0.05~0.13	0.04~0.08	1.60~3.38	3.92~6.57
S6	5.3	92	0.39	0.02	0.01	0.06	0.06	2.37	10.19
S8	2.0~10.0	55~1 854	0.78~2.21	0.03~0.10	0.01~0.07	0.07~0.20	0.03~0.14	0.40~232.96	0.07~15.29

(2) 场地内土壤酚类物质污染严重,挥发酚含量最高可达到2 825.7 mg·kg⁻¹,主要分布在核心工艺区与储油罐所在地;水平方向上高含量点在距离约 20 m 处含量下降 50%,远离工艺区与场界外,酚类物质水平扩散范围不大;但垂直迁移深度很深,采样最大深度 10 m 处已见高含量污染。

(3) 比较分析场地地下水和土壤挥发酚数据,水体与土壤酚污染分布特征在区域上具有相似性。

(4) 土壤中主要的酚类污染物质是苯酚,其余有 2-氯苯酚、2-硝基苯酚、2,4-二甲酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、2,4-二硝基酚以及 4,6-二硝基-2-甲酚分析,其中 2,4-二硝基酚和 4,6-二硝基-2-甲酚含量比较高。

参考文献:

[1] 王绍汉. 酚的来源毒性及其卫生标准[J]. 环境保护, 1974, 8(3): 22-26.

[2] 马鲁铭. 废水的催化还原处理技术——原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008. 3-10.

[3] 陈静生, 邓宝山, 陶澍, 等. 环境地球化学[M]. 北京: 海洋出版社, 1990. 303-324.

[4] De Vivo B, Lima A. Characterization and remediation of a brownfield site: the Bagnoli case in Italy[A]. In: De Vivo B, Belkin H E, Lima A. Environmental Geochemistry [C]. Amsterdam: Elsevier Science, 2008. 355-385.

[5] Khan F I, Husain T, Hejazi R. An overview and analysis of site remediation technologies [J]. Journal of Environmental Management, 2004, 71(2): 95-122.

[6] Dermont G, Bergeron M, Richer-Lafleche M, et al. Remediation of metal-contaminated urban soil using flotation technique[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(5): 1199-1211.

[7] Albanese S, De Vivo B, Lima A, et al. Geochemical baselines and risk assessment of the Bagnoli brownfield site coastal sea sediments (Naples, Italy) [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2010, 105(1-2): 19-33.

[8] Cheng F F, Geertman S, Kuffer M, et al. An integrative methodology to improve brownfield redevelopment planning in Chinese cities: a case study of Futian, Shenzhen [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2011, 35(5): 388-398.

[9] 阳文锐, 王如松, 李峰. 废弃工业场地有机氯农药分布及生态风险评价[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5454-5460.

[10] 丛鑫, 薛南冬, 梁刚, 等. 某有机氯农药企业搬迁遗留场地表层土壤中污染物残留特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 850-854.

[11] 崔艳红, 朱雪梅, 郭丽青, 等. 天津污灌区土壤中多环芳烃的提取、净化和测定[J]. 环境化学, 2002, 21(4): 392-396.

[12] 陈静, 王学军, 陶澍, 等. 天津污灌区耕作土壤中多环芳烃的纵向分布[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 272-274.

[13] 葛成军, 安琼, 董元华, 等. 南京某地农业土壤中有有机污染分布状况研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 361-365.

[14] 骆永明. 污染土壤修复技术研究现状与趋势[J]. 化学进展, 2009, 21(2-3): 558-565.

[15] 张泉, 楚蕾, 曹军. 天津郊区土壤与作物中有机氯农药残留现状与来源初析[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(12): 2346-2350.

[16] 刘敏, 马运. 典型污染场地中滴滴涕浓度空间变异性研究[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(11): 12-17.

[17] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版) 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[18] 李钟玮, 梁健, 王学军, 等. 土壤中挥发酚的测定及质量控制[J]. 油气田环境保护, 1997, 7(3): 41-43.

[19] HJ 503-2009, 水质挥发酚的测定蒸馏后 4-氨基安替比林分光光度法[S].

[20] HJ 350-2007, 展览会用地土壤环境质量评价(暂行)[S].

[21] 美国. EPA Method 3630[S].

[22] 美国. EPA Method 8041[S].

[23] HJ/T 166-2004, 土壤环境监测技术规范[S].

[24] 遇广第, 方志杰, 胡少阶. 武汉市地下水污染简况[J]. 环境科学与技术, 1980, (2): 18-26.

[25] 戴树桂. 环境化学[M]. (第二版) 北京: 高等教育出版社, 2006. 287-302.

[26] 安钢, 杨志生. 苯酚在土壤中吸附的试验研究[J]. 上海环境科学, 1998, 17(10): 40-42.

[27] 邢其毅, 裴伟伟, 徐瑞秋, 等. 基础有机化学[M]. (第三版). 北京: 高等教育出版社, 2005. 827-839.

[28] 边归国. 土壤中苯酚迁移转化的研究进展[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(5): 35-37.

[29] 周礼恺, 郑巧英, 宋妹. 石油烃和酚类物质在土中的生物降解与土壤酶活性[J]. 应用生态学报, 1990, 1(2): 149-155.

CONTENTS

Preface	CHEN Wei-ping (4069)
Ecological Risks of Reclaimed Water Irrigation: A Review	CHEN Wei-ping, ZHANG Wei-ling, PAN Neng, <i>et al.</i> (4070)
Study on Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Carbon in Greenland Irrigated with Reclaimed Water	PAN Neng, HOU Zhen-an, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4081)
Soil Salinity in Greenland Irrigated with Reclaimed Water and Risk Assessment	PAN Neng, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4088)
Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Properties and Vertical Distribution of Heavy Metal	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4094)
Simulation of Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Water-Salt Movement by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4100)
Simulation of Effects of Soil Properties and Plants on Soil Water-salt Movement with Reclaimed Water Irrigation by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4108)
Modeling the Cd Accumulation in Agricultural Soil Irrigated with Reclaimed Water	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4115)
Model Simulation of the Transportation, Transformation and Accumulation of Synthetic Musk in Soils Input Through Recycle Water Irrigation	WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4121)
Impacts of Reclaimed Water Irrigation of Urban Lawn on Groundwater Quality	WANG Qiao-huan, CHEN Wei-ping, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (4127)
Public Awareness Assessment of Water Reuse in Beijing	ZHANG Wei-ling, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4133)
Temporal and Spatial Distribution of Ozone Concentration by Aircraft Sounding over Beijing	CHEN Peng-fei, ZHANG Qiang, QUAN Jian-nong, <i>et al.</i> (4141)
Emission Strength and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Shanghai During 2010 EXPO	WANG Hong-li, CHEN Chang-hong, HUANG Hai-ying, <i>et al.</i> (4151)
Study on Atmospheric VOCs in Gongga Mountain Base Station	ZHANG Jun-he, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (4159)
Regional Atmospheric Environment Risk Source Identification and Assessment	ZHANG Xiao-chun, CHEN Wei-ping, MA Chun, <i>et al.</i> (4167)
Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanes and <i>n</i> -Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw	LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (4173)
Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car	HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4181)
Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai	LONG Qian, ZHOU Ju-zhen, MENG Jie, <i>et al.</i> (4188)
Diurnal Variations of Greenhouse Gas Fluxes at the Water-Air Interface of Aquaculture Ponds in the Min River Estuary	YANG Ping, TONG Chuan, HE Qing-hua, <i>et al.</i> (4194)
Effects of Simulated Warming on Soil Respiration in a Cropland Under Winter Wheat-Soybean Rotation	LIU Yan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (4205)
Transport and Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air from Dashiwei Karst Sinkholes in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, SUN Qian, <i>et al.</i> (4212)
Pollution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water of Songhua River Basin During the Icebound Season	MA Wan-li, LIU Li-yan, QI Hong, <i>et al.</i> (4220)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (4226)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riparian Soils Along Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4237)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Partial Surface Sediments of Liaohe River	WU Jiang-yue, LIU Zheng-tao, ZHOU Jun-li, <i>et al.</i> (4244)
Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site	PEI Fang, LUO Ze-jiao, PENG Jin-jin, <i>et al.</i> (4251)
Heterogeneous Characteristic of PAHs' Spatial Distribution in a Large Coking Site of China	LIU Geng, GUO Guan-lin, NAN Feng, <i>et al.</i> (4256)
Vertical Distribution and Source Analysis of Organochlorine Pesticides in Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LIAO Xiao-ping, ZHANG Cai-xiang, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (4263)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai	LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4270)
Mercury and Copper Accumulation During Last Fifty Years and Their Potential Ecological Risk Assessment in Sediment of Mangrove Wetland of Shenzhen, China	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (4276)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in the Sediments from Shahe Reservoir, the Upper Reach of the North Canal River	ZHANG Wei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (4284)
Speciation and Pollution Characteristics of Heavy Metals in the Sediment of Taihu Lake	QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (4291)
Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region: A Case Study of Baishui Glacier No. 1	ZHU Guo-feng, PU Tao, HE Yuan-qing, <i>et al.</i> (4300)
Experimental Study on the Environmental Fate of Nitrogen in Snail-Macrophyte Ecosystem for Water Purification	ZHOU Lu-hong, GU Xiao-hong, ZENG Qing-fei, <i>et al.</i> (4307)
Growth Inhibition Effect of Immobilized Pectinase on <i>Microcystis aeruginosa</i>	SHEN Qing-qing, PENG Qian, LAI Yong-hong, <i>et al.</i> (4316)
A Novel Approach of Using Fouling Index to Evaluate NOM Fouling Behavior During Low Pressure Ultrafiltration Process	XIAO Ping, XIAO Feng, ZHAO Jing-hui, <i>et al.</i> (4322)
Characteristics of Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	SUN Rong-guo, MAO Wen, MA Ming, <i>et al.</i> (4329)
Degradation of Oxytetracycline with Ozonation in Acetic Acid Solvent	LI Shi-yin, LI Xiao-rong, ZHU Yi-ping, <i>et al.</i> (4335)
Photodegradation Performance and Mechanisms of Carbamazepine and Its Impact Factors	CHEN Chao, ZHAO Qian, FENG Li, <i>et al.</i> (4340)
Investigation of Nitrobenzene Removal by Iron Sulfide (FeS)	WANG Xia-lin, LI Rui-hua (4346)
Experimental Research on <i>In-Situ</i> Auto-Monitoring for Underground Sewage Pipeline Leakage	GUO Lei, JIA Yong-gang, FU Teng-fei, <i>et al.</i> (4352)
Adsorption of Phenol Chemicals by Surfactant-Modified Zeolites	XIE Jie, WANG Zhe, WU De-yi, <i>et al.</i> (4361)
Acute Toxicity of Antibiotics and Anaerobic Digestion Intermediates in Pharmaceutical Wastewaters	JI Jun-yuan, XING Ya-juan, ZHENG Ping (4367)
Study on Phosphorus Removal Capability of Constructed Wetlands Filled with Broken Bricks	WANG Zhen, LIU Chao-xiang, LI Peng-yu, <i>et al.</i> (4373)
Denitrification Water Treatment with Zeolite Composite Filter by Intermittent Operation	QING Cheng-song, BAO Tao, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (4380)
Influence of Nitrate on the Simultaneous Methanogenesis and Denitrification Reaction of Anaerobic Biofilm and Granular Sludge	ZHONG Chen-yu, YE Jie-xu, LI Ruoyu, <i>et al.</i> (4387)
Study on Dewatering of Activated Sludge Under Applied Electric Field	JI Xue-yuan, WANG Yi-li, FENG Jing (4393)
Effects of Multiple Environmental Factors on Trifluorsulfuron-methyl Degradation in Soils	SONG Ning-hui, SHAN Zheng-jun, SHI Li-li, <i>et al.</i> (4400)
Effect of Alkaline Post-Treatment on Physicochemical Property of Digested <i>Spartina alterniflora</i>	CHEN Guang-yin, ZHENG Zheng, CHANG Zhi-zhou, <i>et al.</i> (4406)
Structural Changes in Mineral Phases and Environmental Release Behavior of Arsenic During Sintering of Arsenic-containing Waste	WANG Xing-run, NONG Ze-xi, WANG Qi (4412)
Study on Emission Standard System of Air Pollutants	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZHANG Ming-hui, <i>et al.</i> (4417)
Mechanism for Transformation of Environmental Criteria into Environmental Standards in China	BI Cen-cen, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long (4422)
Effect Analysis on the Two Total Load Control Methods for Poisonous Heavy Metals	FU Guo-wei (4428)

《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12月15日 33卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 12 Dec. 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