

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第7期

Vol.35 No.7

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

区域污染对本底地区气溶胶光学特性及辐射强迫影响的地基和卫星遥感观测研究 张小玲,夏祥鳌,车慧正,汤洁,唐宜西,孟伟,董璠 (2439)

北京上甸子区域大气本底站甲基氯仿在线观测研究 姚波,周凌晔,刘钊,张根,夏玲君 (2449)

浙江临安大气本底站 CO 浓度及变化特征 方双喜,周凌晔,栾天,马千里,王红阳 (2454)

南京北郊夏季大气颗粒物中有机碳和元素碳的污染特征 段卿,安俊琳,王红磊,缪青 (2460)

西安冬季非灰霾天与灰霾天 PM_{2.5} 中水溶性有机氮污染特征比较 程玉婷,王格慧,孙涛,成春雷,孟静静,任艳芹,李建军 (2468)

沙尘天气对兰州市 PM₁₀ 中主要水溶性离子的影响 王芳,陈强,张文煜,郭勇涛,赵连彪 (2477)

上海大气降水中细菌气溶胶的多样性研究 梁宗敏,杜睿,杜鹏瑞,王亚玲,李梓铭 (2483)

重庆主城区降水中重金属的分布特征及其沉降量 彭玉龙,王永敏,覃蔡清,王定勇 (2490)

宁波人为源 VOC 清单及重点工业行业贡献分析 李璇,王雪松,刘中,吴梁,翁燕波,胡杰 (2497)

包装印刷行业挥发性有机物控制技术评估与筛选 王海林,王俊慧,祝春蕾,聂磊,郝郑平 (2503)

氨水混合吸收剂脱除 CO₂ 实验研究 夏芝香,项群扬,周旭萍,方梦祥 (2508)

焦炉烟气中二噁英类物质排放水平研究 孙鹏程,李晓璐,成钢,陆勇,吴昌敏,罗锦洪 (2515)

2012 年夏季长江口颗粒有机碳、氮分布特征及其来源 邢建伟,钱薇微,绳秀珍 (2520)

千岛湖水体悬浮颗粒物吸收特性及其典型季节差异 王明珠,张运林,施坤,高贲,刘刚,蒋浩 (2528)

千岛湖溶解氧的动态分布特征及其影响因素分析 殷燕,吴志旭,刘明亮,何剑波,虞左明 (2539)

太湖夏季水体中尿素的来源探析 韩晓霞,朱广伟,许海,Steven W. Wilhelm,秦伯强,李兆富 (2547)

鄱阳湖阻隔湖泊浮游植物群落结构演化特征:以军山湖为例 刘霞,钱奎梅,谭国良,邢久生,李梅,陈宇炜 (2557)

不同营养湖泊沉积物中²¹⁰Pb_{ex}和营养盐垂向分布特征及相关性分析 王小雷,杨浩,顾祝军,张明礼 (2565)

地下水硝酸盐污染抽出处理优化方法模拟研究 姜烈,何江涛,姜永海,刘菲 (2572)

预压力混凝沉淀除藻工艺中 DOC 变化规律研究 陈雯婧,丛海兵,徐亚军,王巍,蒋新跃,刘玉娇 (2579)

类水滑石 Mg/Zn/Al 焙烧产物对高氯酸盐的吸附 王红宇,刘艳 (2585)

粉煤灰对阴离子水溶性混合染料的吸附动力学 孙德帅,郑强强,张晓东,方龙 (2590)

SDS 对两性修饰膨润土吸附 Cd²⁺ 的影响 王建涛,孟昭福,杨亚提,杨淑英,李彬,马麟莉,许绍娥 (2596)

老化的生物质炭性质变化及对非吸持的影响 唐伟,郭悦,吴景贵,黄兆琴,代静玉 (2604)

TiO₂ 光催化降解 PFOA 的反应动力学及机制研究 李明洁,喻泽斌,陈颖,王莉,刘晴,刘钰鑫,何丽丽 (2612)

荧光猝灭法研究洛克沙肿与腐殖酸的相互作用 朱江鹏,梅婷,彭云,葛思怡,李时银,王国祥 (2620)

改性活性炭纤维电芬顿降解苯酚废水性能研究 马楠,田耀金,杨广平,谢鑫源 (2627)

催化铁强化低碳废水生物反硝化过程的探讨 王梦月,马鲁梅 (2633)

聚丁二酸丁二醇酯(PBS)为反硝化固体碳源的脱氮特性研究 刘佳,沈志强,周岳溪,曹蓉,李元志 (2639)

某造纸厂废水中二噁英含量及其电子束辐照降解 青亮,黄锦琼,余小巍,张素坤,杨艳艳,任明忠,温玉龙 (2645)

嘉兴市规模化养猪场沼液水质调查研究 卫丹,万梅,刘锐,王根荣,张汛达,文晓刚,赵远,陈吕军 (2650)

提高污泥碱性发酵挥发酸积累的新方法 李晓玲,彭永臻,柴同志,朱建平,王淑莹 (2658)

滴水湖及其水体交换区沉积物和土壤中 PAHs 的分布及生态风险评价 郭雪,毕春娟,陈振楼,王薛平 (2664)

舟山近海水体和沉积物中多环芳烃分布特征 江敏,Le Huy Tuan,梅卫平,阮慧慧,吴昊 (2672)

青藏高原湖泊流域土壤与牧草中多环芳烃和有机氯农药的污染特征与来源解析 谢婷,张淑娟,杨瑞强 (2680)

福建鹭峰山脉土壤有机氯农药分布特征及健康风险评估 黄焕芳,祁士华,瞿程凯,李绘,陈文文,张莉,胡婷,石燎 (2691)

不同功能区表层土壤中全氟化合物污染指纹及其来源解析 张鸿,赵亮,何龙,柴之芳,沈金灿,杨波 (2698)

桑沟湾溶解态无机砷的分布、季节变化及影响因素 李磊,任景玲,刘素美,蒋增杰,杜金洲,方建光 (2705)

引黄灌区不同尺度农田土壤重金属空间分布及污染评价:以银川市兴庆区为例 王幼奇,白一茹,王建宇 (2714)

三峡水库消落区土壤、植物汞释放及其在斑马鱼体的富集特征 李楚娴,孙荣国,王定勇,赵铮,张金洋,马明,张成 (2721)

广东典型海水养殖区沉积物及鱼体中磺胺类药物的残留及其对人体的健康风险评估 何秀婷,王奇,聂湘平,杨永涛,程章 (2728)

青岛市区大气降尘重金属对人体健康风险的评价 张春荣,吴正龙,姚春卉,高宗军 (2736)

焦炉排放多环芳烃与人体健康风险评估研究 伯鑫,王刚,温柔,赵春丽,吴铁,李时蓓 (2742)

Cd、Cu 和 Pb 复合污染对蚯蚓抗氧化酶活性的影响 王辉,谢鑫源 (2748)

3 种氯酚对嗜热四膜虫的毒性效应 李雅洁,崔益斌,蒋丽娟,窦静,李梅 (2755)

施硅方式对稻米镉阻隔潜力研究 陈喆,铁柏清,雷鸣,刘孝利,叶长城,罗梅梅,毛懿德 (2762)

保护性耕作对后茬冬小麦土壤 CO₂ 和 N₂O 排放的影响 潘莹,胡正华,吴杨周,孙银银,盛露,陈书涛,肖启涛 (2771)

渭北生草果园土壤有机碳矿化及其与土壤酶活性的关系 贾曼莉,郭宏,李会科 (2777)

蒸汽-空气混合注射修复 TCE 污染的二维土箱实验研究 王宁,彭胜,陈家军 (2785)

铜离子对双室微生物燃料电池电能输出的影响研究 牟姝君,李秀芬,任月萍,王新华 (2791)

连续流强制通风槽式污泥堆肥工艺的温室气体和氨气排放特征 赵晨阳,魏源送,葛振,钟佳,才兴,张媛丽,李洪枚 (2798)

冬季猪粪固体堆放过程中 NH₃、N₂O 和 NO 排放特征研究 丁钢强,韩圣慧,袁玉玲,罗琳,王立刚,李虎,李萍 (2807)

填埋场渗滤液腐殖酸随填埋龄的变化特性及模型研究 黄友福,许心雅,范良鑫,方艺民 (2816)

渗滤液反渗透浓缩液回灌出水水质变化规律的研究 王东梅,刘丹,刘庆梅,陶丽霞,刘颖 (2822)

中国铅流变化的定量分析 马兰,毛建素 (2829)

半短程亚硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺微生物特征研究进展 赵志瑞,侯彦林 (2834)

《环境科学》征稿简则(2679) 《环境科学》征订启事(2735) 信息(2476,2556,2713,2770)

焦炉排放多环芳烃与人体健康风险评估研究

伯鑫^{1,2}, 王刚³, 温柔⁴, 赵春丽¹, 吴铁¹, 李时蓓^{1,2*}

(1. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012; 2. 国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室, 北京 100012; 3. 三捷环境工程咨询(杭州)有限公司, 杭州 310012; 4. 清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 焦炉炼焦产生多环芳烃物质(PAHs)具有较强毒性和致癌作用,本研究以某大型钢铁企业焦炉为例,采用 AERMOD 扩散模式来预测分析焦炉排放 PAHs 共 13 种污染物在大气中迁移扩散情况,采用 BREEZE Risk Analyst 根据人体健康风险评估导则 HHRAP 计算评价范围内受体人群 PAHs 污染物致癌和危害指数,对焦炉排放 PAHs 的健康风险进行了定量评价。结果表明,应重点关注焦炉排放萘危害指数影响(最大值为 0.97)。焦炉排放各污染物单因子致癌风险均小于 1.0E-06,而综合考虑多环芳烃总致癌风险值最大达到 2.65E-06,对当地居民的人体健康可能存在一定的影响。

关键词: 健康风险; 多环芳烃; 焦化; 致癌; 大气污染

中图分类号: X131; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)07-2742-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.07.043

Health Risk Assessment of Coke Oven PAHs Emissions

BO Xin^{1,2}, WANG Gang³, WEN Rou⁴, ZHAO Chun-li¹, WU Tie¹, LI Shi-bei^{1,2}

(1. Appraisal Center for Environment & Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Beijing 100012, China; 3. Trinity Consultants, Hangzhou 310012, China; 4. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) produced by coke oven are with strong toxicity and carcinogenicity. Taken typical coke oven of iron and steel enterprises as the case study, the dispersion and migration of 13 kinds of PAHs emitted from coke oven were analyzed using AERMOD dispersion model, the carcinogenic and non-carcinogenic risks at the receptors within the modeling domain were evaluated using BREEZE Risk Analyst and the Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion (HHRAP) was followed, the health risks caused by PAHs emission from coke oven were quantitatively evaluated. The results indicated that attention should be paid to the non-carcinogenic risk of naphthalene emission (the maximum value was 0.97). The carcinogenic risks of each single pollutant were all below 1.0E-06, while the maximum value of total carcinogenic risk was 2.65E-06, which may have some influence on the health of local residents.

Key words: health risk; PAHs; coking; carcinogenesis; atmospheric pollution

焦炉炼焦过程中产生大量气态污染物,成分复杂,其中含有多环芳烃物质(PAHs),包括萘、蒽、菲、芘等多种化合物^[1-4],可通过呼吸、饮食和皮肤接触等多种途径进入人体,具有较强毒性和致癌作用^[5]。国内外开展了不少针对大气中 PAHs 对人体健康影响的研究^[6-8],相关研究表明 PAHs 类物质例如苯并(a)芘,与肺癌标化死亡率有明显相关性^[9],可导致个体寿命损失,对人体健康风险非常大。国内也有相关学者通过监测采样研究大气中 PAHs 的分布特征,并通过毒性等效因子(TEF)计算致癌风险^[10-12]。

近年来,中国焦炭产量持续增长,2010 年产量达到 38 757 万 t,同比增长 9%^[13],根据美国 AP-42 大气污染物排放因子中焦化无组织源强公式^[14]估算国内 PAHs 排放量约 500 t。另外由于历史、规划等原因,我国有部分焦化厂建在城市内,周边人口稠密,存在着一定的人体健康风险。而评价焦化厂产

生的大气污染危害,一般仅关注于污染物监测值和预测值是否达到《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)^[15]、防护距离是否符合卫生防护距离^[16]、大气环境防护距离^[17]等要求,而对人体健康风险评估尚缺乏足够的研究,无法给环境管理与决策提供科学依据。

本研究以某大型钢铁企业焦炉为例,采用 AERMOD 污染物扩散模式来模拟焦炉排放 PAHs 类共 13 种污染物在大气中的浓度情况,按照美国环保署推荐的人体健康风险评估导则(HHRAP)^[18]中的算法,采用 Risk Analyst 软件^[19]计算评价范围内人群受焦炉排放 PAHs 类污染物的致癌风险和危害指数,在 GIS 环境进行致癌风险和危害指数等值线展

收稿日期: 2013-11-22; 修订日期: 2014-02-18

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201309062)

作者简介: 伯鑫(1983~),男,硕士,主要研究方向为大气环境质量模拟、污染源清单及大气技术复核, E-mail: boxinet@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: lishb@acee.org.cn

示,对焦炉排放 PAHs 类污染物的健康风险进行了定量评价,开展了基于人体健康风险的防护距离计算,以期环评体系构建人体健康风险评估做了初步探索。

1 材料与方法

1.1 模式应用

本研究使用 AERMOD 污染扩散模式模拟焦炉排放 PAHs 大气污染物浓度及沉降情况,采用 Risk Analyst 健康风险分析模型系统评价焦炉排放 PAHs 类污染物的致癌风险和危害指数。AERMOD 为我国环保部、美国环保署等多个国家环保管理部门推荐的、适用于 50 km 小范围内的污染物扩散法规模式^[17],Risk Analyst 是由美国 Trinity Consultants 公司完全基于 HHRAP 导则算法编制的健康风险分析系统。技术路线见图 1。

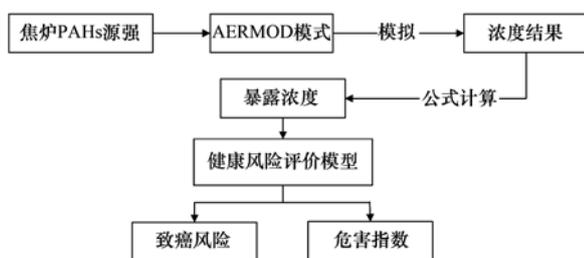


图 1 人体健康风险评估技术路线

Fig. 1 Technology roadmap of human health risk assessment

1.2 暴露途径

暴露途径描述了大气中污染物从排放点到受影响人体的过程,一般可分为直接呼吸吸入和间接摄入途径。间接途径包括饮食摄入、饮用水摄入和皮肤接触(土壤或水体)摄入等。由于案例关于间接摄入途径参考数据较少,本研究仅考虑直接呼吸吸入的影响。

1.3 致癌风险

致癌风险根据各污染物的呼吸吸入单位风险因子(URFi)估算。URFi 定义为空气中污染物浓度为 $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时的致癌几率的上限。

直接呼吸吸入的致癌风险计算公式如下^[16]：

$$\text{致癌风险 CR} = \text{EC} \times \text{URFi}$$

暴露浓度 $\text{EC} = (\text{Ca} \times \text{EF} \times \text{ED}) / (\text{AT} \times 365 \text{d}\cdot\text{a}^{-1})$

式中,CR:通过直接呼吸吸入大气中污染物造成的致癌风险;EC:暴露浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; URF:单位风险因子, $\text{m}^3\cdot\mu\text{g}^{-1}$, 污染物毒理学参数; Ca:大气中污染物的浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; EF:暴露频率, $\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$; ED:暴

露时间, a; AT:平均时间, a。

一般来说,致癌风险在 1×10^{-6} 以下是可以接受的,表示该受体点人群在一生中发生癌症的几率为百万分之一^[20,21]。

1.4 危害指数(非致癌风险)

对于大部分没有致癌风险的污染物,需计算危害指数(非致癌风险)。危害指数为人体接受到的暴露剂量与污染物的参考浓度(RfC)的比值,RfC 定义为不会引起健康风险的大气中污染物浓度。

直接呼吸吸入的危害指数计算公式如下^[16]：

$$\text{危害指数 HQ} = \text{EC} \times 0.001 / \text{RfC}$$

式中,HQ:通过直接呼吸吸入大气中污染物造成的危害指数;EC:暴露浓度, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 0.001:单位转换因子, $\text{mg}\cdot\mu\text{g}^{-1}$; RfC:参考浓度, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 污染物毒理学参数。

一般来说,危害指数小于 1 可被认为是没有不利健康风险的^[22]。

1.5 毒理学参数

本次研究的 13 种 PAHs 类污染物中,有 6 种为非致癌污染物,7 种为致癌污染物,相关毒理学参数见表 1~2^[18]。

表 1 PAHs 类非致癌污染物毒理学参数

Table 1 Non-carcinogenic health standards of PAHs

序号	CAS ¹⁾	中文名	RfC/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
1	91-20-3	萘	0.003
2	83-32-9	苊	0.21
3	86-73-7	芴	0.14
4	120-12-7	蒽	1.0
5	206-44-0	荧	0.14
6	129-00-0	芘	0.11

1)CAS 号是化合物的唯一数字识别码,下同

表 2 PAHs 类致癌污染物毒理学参数

Table 2 Carcinogenic health standards of PAHs

序号	CAS	中文名	URFi/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$
7	56-55-3	苯并(a)蒽	0.000 11
8	218-01-9	苯并非	0.000 11
9	205-99-2	苯并(b)荧蒽	0.000 11
10	207-08-9	苯并(k)荧蒽	0.000 11
11	50-32-8	苯并(a)芘	0.001 1
12	193-39-5	芘并(1,2,3-cd)芘	0.000 11
13	53-70-3	二苯并(a,h)蒽	0.001 2

2 案例分析

某大型钢铁联合企业所在位置为丘陵农村地区,项目周边主要是村落和农田,属暖温带半湿润大陆性季风气候,焦化厂主要生产装置为 55 孔 6 m 焦炉 6 台,年产焦炭 330 万 t。

2.1 源项分析

炼焦过程中产生的多环芳烃大部分为无组织排放,国内对源强估算没有较统一的导则、标准和方法.目前环评单位大多采用各自的经验值来估算 BaP 的排放量(尚未考虑其他 PAHs 类物质),导致

相同型号、相同规模的焦炉估算出来的 BaP 排放量差别很大[8~20 mg·(t·J)⁻¹]^[23].针对上述问题,本研究参考美国 AP-42 大气污染物排放因子中关于焦化无组织源强计算部分,分别计算了 13 种 PAHs 类污染物年排放量,见表 3.

表 3 案例企业焦炉排放 PAHs 污染物情况

Table 3 Emission of PAHs by the coke oven in the case

序号	CAS	英文名	中文名	排放量/t·a ⁻¹
1	91-20-3	Naphthalene	萘	1.633
2	83-32-9	Acenaphthene	茈	0.005
3	86-73-7	Fluorene	芴	0.345
4	120-12-7	Anthracene	蒽	0.150
5	206-44-0	Fluoranthene	荧	0.337
6	129-00-0	Pyrene	芘	0.569
7	56-55-3	Benzo[a]anthracene	苯并[a]蒽	0.023
8	218-01-9	Chrysene	苯并菲	0.011
9	205-99-2	Benzo[b]fluoranthene	苯并[b]荧蒽	0.005
10	207-08-9	Benzo[k]fluoranthene	苯并[k]荧蒽	0.005
11	50-32-8	Benzo[a]pyrene	苯并[a]芘	0.002
12	193-39-5	Ideno[1,2,3-cd]pyrene	茚并[1,2,3-cd]芘	0.003
13	53-70-3	Dibenz[a,h]anthracene	二苯并[a,h]蒽	0.002

2.2 参数设置

2.2.1 AERMOD 大气扩散模式参数

本研究模拟区域为 16 km × 16 km,受体网格分辨率为 200 m,受体网格覆盖整个模拟区域,采用 AERMOD 模式分别计算各污染物在每个网格的浓度.地面气象资料采用 2007 年逐日逐时地面气象数据,原始地面气象参数包括温度、风速、风向、总云量、低云量、相对湿度、气压.采用的高空气象数据由中尺度数值模式 MM5 模拟生成,MM5 模式的初始场采用美国国家环境预报中心/大气研究中

心(NCEP/NCAR)的再分析数据,高空气象数据垂直层数为 25 层,参数包括大气压、高度、干球温度、露点温度、风向偏北度数、风速.

本研究模拟考虑地形对污染物扩散的影响,地形数据采用航天飞机雷达地形测绘(SRTM)3 角秒数据,数据分辨率约 90 m.

模拟区域用地类型为耕地,采用耕地各季节的地表特征参数,其中鲍文率选用土壤湿度条件为平均的特征参数.本次大气环境影响预测中的有关参数选取情况见表 4.

表 4 AERMOD 计算选用参数一览表

Table 4 Parameter list for AERMOD calculation

参数名称	扇区/(°)	时段	正午反照率	鲍文率	粗糙度
地表参数	0~360	冬季(12、1、2月)	0.6	1.5	0.01
	0~360	春季(3、4、5月)	0.14	0.3	0.03
	0~360	夏季(6、7、8月)	0.2	0.5	0.2
	0~360	秋季(9、10、11月)	0.18	0.7	0.05
化学转化				不考虑	
烟囱出口下洗				考虑	
干沉降				考虑	
地形数据分辨率/m				90×90	

2.2.2 Risk Analyst 风险模式参数

本研究暴露情景中的参数均使用美国环境

保护署 HHRAP 导则中的推荐参数^[18],具体见表 5.

表 5 暴露情景参数

参数	描述	农村居民(成人)	单位
AT_cancer	致癌分析的平均时间	70	a
AT_hazard	非致癌分析的平均时间	40	a
BW	体重	70	kg
ED	暴露时间	40	a
EF	暴露频率	350	d·a ⁻¹

表 6 焦炉排放多环芳烃危害指数、致癌风险评估结果

污染物	危害指数值	致癌风险值
萘	6.65E-06 ~ 0.97	—
芘	3.15E-10 ~ 4.58E-05	—
苊	3.00E-08 ~ 4.38E-03	—
蒽	1.83E-09 ~ 2.66E-04	—
荧	2.92E-08 ~ 4.25E-03	—
芘	6.28E-08 ~ 9.15E-03	—
苯并[a]蒽	—	8.59E-12 ~ 6.64E-07
苯并菲	—	6.24E-12 ~ 9.09E-08
苯并[b]荧蒽	—	3.42E-12 ~ 4.98E-07
苯并[k]荧蒽	—	1.02E-12 ~ 1.48E-07
苯并[a]芘	—	3.72E-11 ~ 5.42E-07
茚并[1,2,3-cd]芘	—	1.13E-14 ~ 1.65E-09
二苯并[a,h]蒽	—	7.87E-13 ~ 1.15E-07
13 种 PAHs 类总贡献	6.78E-06 ~ 0.99	1.82E-11 ~ 2.65E-06

3 结果与讨论

3.1 危害指数(非致癌风险)

表 6 结果表明,评价范围内危害指数影响较大的为萘,危害指数范围为 6.65E-06 ~ 0.97,影响大小顺序为萘 > 芘 > 苊,多环芳烃总危害指数指数范围为 6.78E-06 ~ 0.99,见图 2。最大危害指数接近

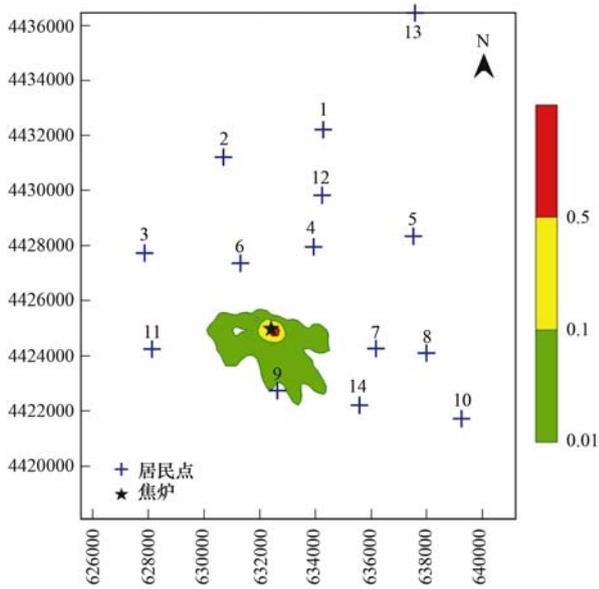


图 2 焦炉排放多环芳烃总危害指数等值线

Fig. 2 Contour map of total hazard index by PAHs emission

标准值 1,可能会对当地居民的人体健康可能存在一定的潜在影响。

3.2 致癌风险

表 6 结果表明,评价范围内致癌风险影响较大的为苯并[a]蒽,致癌风险值范围为 8.59E-12 ~

6.64E-07,影响大小顺序为苯并[a]蒽 > 苯并[a]芘 > 苯并[b]荧蒽,多环芳烃总致癌风险值为 1.82E-11 ~ 2.65E-06,见图 3。焦炉排放各污染物单因子致癌风险均小于美国环保署推荐值 1.0E-06^[18],单因子不会对人体造成致癌影响,而综合考虑多环芳烃总致癌风险值最大达到 2.65E-06,每百万人增加

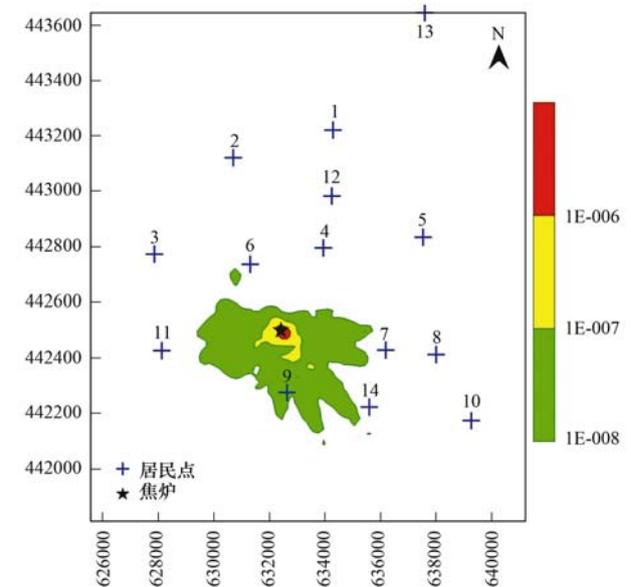


图 3 焦炉排放多环芳烃总致癌风险等值线

Fig. 3 Contour map of total carcinogenic risk by PAHs emission

2. 65 个癌症患者,对当地居民的人体健康可能存在一定的影响。

3.3 人体健康防护距离

从图 2 和图 3 结果表明,PAHs 危害指数、致癌风险最大值均发生在焦化厂周围,相关研究结果也表明焦化厂周围空气 PAHs 浓度较大^[24,25],对焦化工人身体健康造成严重威胁。因此,通过在厂界线外设置一定的防护距离,保护居民的健康,是切实可行的。

目前焦化环境影响评价工作中,防护距离有大气环境防护距离和卫生防护距离两种。确定卫生防护距离的方法主要有两种:一是根据《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 13021-91)中的公式进行计算;二是执行《焦化厂卫生防护距离标准》(GB 11661-89)^[26]。大气环境防护距离是基于《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2008)推荐的 SCREEN3 估算模式进行计算。

本研究提出了人体健康防护距离的概念,在项目厂界以外设置的人体健康防护距离外,对人群健康的影响达到可接受的范围,在人群健康防护距离内不应有长期居住的人群。本研究人体健康防护距离根据总致癌风险超标区域的面积(S)来折算等效半径(标准设为 1×10^{-6})。等效半径(R)公式如下:

$$\pi R^2 = S.$$

按不同方法计算的防护距离见表 7。从几种防护距离方法计算结果来看,防护距离最大影响为《焦化厂卫生防护距离标准》的 1 400 m,最小为大气环境防护距离 0 m。其中《焦化厂卫生防护距离标准》较为陈旧,按其确定的卫生防护距离不太适合目前先进企业焦炉等工艺的发展以及产量要求;《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》、大气环境防护距离由于缺少焦炉排放其他多环芳烃相关空气质量标准,故仅能计算苯并[a]芘物质;人体健康防护距离综合考虑焦炉排放 13 种 PAHs 类污染物影响,为设置焦炉防护距离提供了一种新的思路与方法。

表 7 焦炉防护距离对比结果

Table 7 Comparison of coke oven protective distances

计算方法	距离/m
制定地方大气污染物排放标准的技术方法	50
焦化厂卫生防护距离标准	1 400
大气环境防护距离	无超标
人体健康防护距离	250

3.4 不确定性分析

(1)源强不确定性对于焦炉 PAHs 类无组织排

放计算,我国尚无发布权威方法,本研究采用的 AP-42 中焦炉 PAHs 无组织计算方法,是根据 20 世纪 90 年代美国焦炉产污水平得出的,而当前我国焦炉在规模、产能、环境保护措施方面与其存在一定差异,源强结果存在一定不确定性。

(2)我国关于毒理学、健康统计等参数资料较少,本研究中的健康参考标准等参数采用美国环保署资料,而实际上我国与美国一些参数存在着差异^[27],计算参数存在一定不确定性。

4 结论与建议

(1)案例结果表明,焦炉排放中单因子危害指数最大的为萘,危害指数接近标准值 1。综合考虑多环芳烃总致癌风险值为 $2.65E-06$,每百万人增加 2.65 个癌症患者,对当地居民的人体健康可能存在一定的影响。

(2)本研究提出的人体健康防护距离的概念及计算方法,对保护人群健康,更科学地进行环境影响评价有着一定的参考意义。国内应开展相关的污染物毒理学、健康统计等研究,为更准确计算人体健康风险提供数据支持。

参考文献:

- [1] 伯鑫,张玲,刘梦,等.复杂地形下确定钢铁联合企业防护距离研究[J].环境工程,2011,29(S1):298-302.
- [2] 刘大猛,王玮,李运勇.首钢焦化厂环境中多环芳烃分布赋存特征研究[J].环境科学学报,2004,24(4):746-749.
- [3] 刘庚,郭观林,南锋,等.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[J].环境科学,2012,33(12):4257-4262.
- [4] 牟玲,彭林,刘效峰,等.机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究[J].环境科学,2013,34(3):1156-1160.
- [5] Boffetta P, Jourenkova N, Gustavsson P. Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Cancer Cause & Control, 1997, 8(3): 444-472.
- [6] Kriek E, Schooten F J V, Hillebrand M J X, et al. DNA adducts as a measure of lung cancer risk in humans exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Environmental Health Perspectives, 1993, 99: 71-75.
- [7] VanRooij J G, Bodelier-Bade M M, Jongeneelen F J. Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers [J]. British Journal of Industrial Medicine, 1993, 50(7): 623-632.
- [8] 许海萍,张建英,张志剑,等.致癌和非致癌环境健康风险的预期寿命损失评价法[J].环境科学,2007,28(9):2149-2151.
- [9] Okona-Mensah K B, Battershill J, Boobis A, et al. An approach to investigating the importance of high potency polycyclic aromatic

- hydrocarbons (PAHs) in the induction of lung cancer by air pollution [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2005, **43**(7): 1103-1116.
- [10] 王静, 朱利中, 沈学优. 某焦化厂空气中 PAHs 的污染现状及健康风险评估[J]. *环境科学*, 2003, **24**(1): 135-138.
- [11] 王晓飞, 王伟, 刘秀芬, 等. 北京市大气颗粒物中 PAHs 健康风险评估[J]. *环境化学*, 2008, **27**(3): 393-394.
- [12] 周变红, 张承中, 王格慧. 西安城区大气中多环芳烃的季节变化特征及健康风险评估[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(9): 2324-2331.
- [13] 孟庆波. 中国焦化行业发展成就及对钢铁行业发展的支撑[A]. 见: 第八届(2011)中国钢铁年会论文集(大会报告与分会场特邀报告)[C]. 北京, 2011. 65-73.
- [14] U. S. EPA. Emission Factor Documentation for AP-42, Section 12. 2, 2008.
- [15] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [16] GB 11661-1989, 焦化厂卫生防护距离标准[S].
- [17] HJ 2. 2-2008, 环境影响评价技术导则大气环境[S].
- [18] U. S. EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, 2005, EPA530-R-05-006.
- [19] breeze-software. Risk Analyst Overview [EB/OL]. <http://breeze-software.com/Templates/BreezeSoftware/Software/Overview.aspx?id=4461>.
- [20] Chen S C, Liao C M. Health risk assessment on human exposed to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons pollution sources [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **366**(1): 112-123.
- [21] 李如忠, 童芳, 周爱佳, 等. 基于梯形模糊数的地表灰尘重金属污染健康风险评估模型[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(8): 1790-1798.
- [22] Contaminated Sites Remediation Program. Risk Assessment Procedures Manual [M]. ALASKA: Alaska Department of Environmental Conservation, 2000. 57-64.
- [23] 易海涛. 关于焦炉大气环境影响评价的若干问题[J]. *环境保护*, 2012, **Z1**: 45.
- [24] 王静, 朱利中, 沈学优. 某焦化厂空气中 PAHs 的污染现状及健康风险评估[J]. *环境科学*, 2003, **24**(1): 136-138.
- [25] 李鹏宾, 严琼, 曹民. 某焦化厂气态和颗粒物中多环芳烃水平和成分谱特征分析[J]. *中国职业医学*, 2010, **37**(3): 211-213.
- [26] 伯鑫, 杜娟, 丁峰, 等. 钢铁行业大气环境影响评价方法与建议[J]. *环境工程*, 2011, **29**(S1): 264-268.
- [27] 王宗爽, 武婷, 段小丽, 等. 环境健康风险评估中我国居民呼吸速率暴露参数研究[J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(10): 1171-1175.

CONTENTS

Observation Study on Aerosol Optical Properties and Radiative Forcing Using the Ground-based and Satellite Remote Sensing at Background Station During the Regional Pollution Episodes	ZHANG Xiao-ling, XIA Xiang-ao, CHE Hui-zheng, <i>et al.</i>	(2439)
<i>In-situ</i> Measurement of Atmospheric Methyl Chloroform at the Shangdianzi GAW Regional Background Station	YAO Bo, ZHOU Ling-xi, LIU Zhao, <i>et al.</i>	(2449)
Distribution of CO at Lin'an Station in Zhejiang Province	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, LUAN Tian, <i>et al.</i>	(2454)
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in Atmospheric Particles in Nanjing Northern Suburb in Summer	DUAN Qing, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i>	(2460)
Characteristics of Water-soluble Organic Nitrogen of PM _{2.5} in Xi'an During Wintertime Non-haze and Haze Periods	CHENG Yu-ting, WANG Ge-hui, SUN Tao, <i>et al.</i>	(2468)
Effect of Sand Dust Weather on Major Water-soluble Ions in PM ₁₀ in Lanzhou, China	WANG Fang, CHEN Qiang, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i>	(2477)
Diversity of Bacterial Areasols in Precipitation of Shanghai Area	LIANG Zong-min, DU Rui, DU Peng-rui, <i>et al.</i>	(2483)
Concentrations and Deposition Fluxes of Heavy Metals in Precipitation in Core Urban Areas, Chongqing	PENG Yu-long, WANG Yong-min, QIN Cai-qing, <i>et al.</i>	(2490)
Anthropogenic VOC Emission Inventory and Contribution from Industrial Sources in Ningbo	LI Xuan, WANG Xue-song, LIU Zhong, <i>et al.</i>	(2497)
Evaluation and Selection of VOCs Treatment Technologies in Packaging and Printing Industry	WANG Hai-lin, WANG Jun-hui, ZHU Chun-lei, <i>et al.</i>	(2503)
Experimental Study on CO ₂ Absorption by Aqueous Ammonia-based Blended Absorbent	XIA Zhi-xiang, XIANG Qun-yang, ZHOU Xu-ping, <i>et al.</i>	(2508)
Preliminary Investigation on Emission of PCDD/Fs and DL-PCBs Through Flue Gas from Coke Plants in China	SUN Peng-cheng, LI Xiao-lu, CHENG Gang, <i>et al.</i>	(2515)
Distribution and Source of Particulate Organic Carbon and Particulate Nitrogen in the Yangtze River Estuary in Summer 2012	XING Jian-wei, XIAN Wei-wei, SHENG Xiu-zhen	(2520)
Characteristics of Optical Absorption Coefficients and Their Differences in Typical Seasons in Lake Qiandaohu	WANG Ming-zhu, ZHANG Yun-lin, SHI Kun, <i>et al.</i>	(2528)
Dynamic Distributions of Dissolved Oxygen in Lake Qiandaohu and Its Environmental Influence Factors	YIN Yan, WU Zhi-xu, LIU Ming-liang, <i>et al.</i>	(2539)
Source Analysis of Urea-N in Lake Taihu During Summer	HAN Xiao-xia, ZHU Guang-wei, XU Hai, <i>et al.</i>	(2547)
Phytoplankton Community Structure and Its Succession in Isolated Lakes of Poyang-Junshan Lake	LIU Xia, QIAN Kui-mei, TAN Guo-liang, <i>et al.</i>	(2557)
Vertical Distribution and Relationship Between ²¹⁰ Pb _{ex} Activities and Nutrients in Sediment Cores of Two Different Eutrophication Level Lakes	WANG Xiao-lei, YANG Hao, GU Zhu-jun, <i>et al.</i>	(2565)
Simulation of Nitrate Pollution in Groundwater Using Pump-and-treat Optimization Method	JIANG Lie, HE Jiang-tao, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i>	(2572)
Variation of Water DOC During the Process of Pre-pressure and Coagulation Sedimentation Treatment	CHEN Wen-jing, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i>	(2579)
Adsorption of Perchlorate by Calcined Mg/Zn/Al Layered Double Hydroxides	WANG Hong-yu, LIU Yan	(2585)
Adsorption Kinetic Mechanism of Ionic Soluble Dye Mixture on Fly Ash	SUN De-shuai, ZHENG Qiang-qiang, ZHANG Xiao-dong, <i>et al.</i>	(2590)
Effect of SDS on the Adsorption of Cd ²⁺ onto Amphoteric Modified Bentonites	WANG Jian-tao, MENG Zhao-fu, YANG Ya-ti, <i>et al.</i>	(2596)
Structural Changes of Aged Biochar and the Influence on Phenanthrene Adsorption	TANG Wei, GUO Yue, WU Jing-gui, <i>et al.</i>	(2604)
Photocatalytic Degradation Kinetics of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) in TiO ₂ Dispersion and Its Mechanism	LI Ming-jie, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i>	(2612)
Characterizing the Interaction Between Roxarsone and Humic Acid by Fluorescence Quenching Experiment	ZHU Jiang-peng, MEI Ting, PENG Yun, <i>et al.</i>	(2620)
Modification of Activated Carbon Fiber for Electro-Fenton Degradation of Phenol	MA Nan, TIAN Yao-jin, YANG Guang-ping, <i>et al.</i>	(2627)
Investigation of Enhanced Low Carbon Wastewater Denitrification by Catalytic Iron	WANG Meng-yue, MA Lu-ming	(2633)
Denitrification Performance of PBS as a Solid Carbon Source of Denitrification	LIU Jia, SHEN Zhi-qiang, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i>	(2639)
Concentrations, Distribution Characteristics and Electron Beam Radiolysis Degradation of PCDD/Fs in Waste Water from a Paper Mill	QING Xian, HUANG Jin-qiong, YU Xiao-wei, <i>et al.</i>	(2645)
Study on the Quality of Digested Piggery Wastewater in Large-Scale Farms in Jiaying	WEI Dan, WAN Mei, LIU Rui, <i>et al.</i>	(2650)
New Ways to Improve Volatile Fatty Acids Accumulation in Sludge Alkaline Fermentation System	LI Xiao-ling, PENG Yong-zhen, CHAI Tong-zhi, <i>et al.</i>	(2658)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments and Soils from Dishui Lake and Its Water Exchange Areas	GUO Xue, BI Chun-tuan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i>	(2664)
Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediment from Zhoushan Coastal Area, China	JIANG Min, Le Huy Tuan, MEI Wei-ping, <i>et al.</i>	(2672)
Contamination Levels and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Soils and Grasses from Lake Catchments in the Tibetan Plateau	XIE Ting, ZHANG Shu-juan, YANG Rui-qiang	(2680)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Soil from Jiufeng Mountain Range in Fujian, China	HUANG Huan-fang, QI Shi-hua, QU Cheng-kai, <i>et al.</i>	(2691)
Pollution Fingerprints and Sources of Perfluorinated Compounds in Surface Soil of Different Functional Areas	ZHANG Hong, ZHAO Liang, HE Long, <i>et al.</i>	(2698)
Distribution, Seasonal Variation and Influence Factors of Dissolved Inorganic Arsenic in the Sanggou Bay	LI Lei, REN Jing-ling, LIU Su-mei, <i>et al.</i>	(2705)
Distribution of Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation on the Different Sampling Scales in Farmland on Yellow River Irrigation Area of Ningxia; A Case Study in Xingqing County of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu	(2714)
Release of Mercury from Soil and Plant in Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area and Its Accumulation in Zebrafish	LI Chu-xian, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i>	(2721)
Residues and Health Risk Assessment of Sulfonamides in Sediment and Fish from Typical Marine Aquaculture Regions of Guangdong Province, China	HE Xiu-ting, WANG Qi, NIE Xiang-ping, <i>et al.</i>	(2728)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Dust of Qingdao City	ZHANG Chun-rong, WU Zheng-long, YAO Chun-hui, <i>et al.</i>	(2736)
Health Risk Assessment of Coke Oven PAHs Emissions	BO Xin, WANG Gang, WEN Rou, <i>et al.</i>	(2742)
Effects of Combined Pollution of Cd, Cu and Pb on Antioxidant Enzyme Activities of Earthworm in Soils	WANG Hui, XIE Xin-yuan	(2748)
Toxicity of Three Chlorophenols to Protozoa <i>Tetrahymena thermophila</i>	LI Ya-jie, CUI Yi-Bin, JIANG Li-juan, <i>et al.</i>	(2755)
Phytoexclusion Potential Studies of Si Fertilization Modes on Rice Cadmium	CHEN Zhe, TIE Bo-qing, LEI Ming, <i>et al.</i>	(2762)
Effects of Conservation Tillage on Soil CO ₂ and N ₂ O Emission During the Following Winter-Wheat Season	PAN Ying, HU Zheng-hua, WU Yang-zhou, <i>et al.</i>	(2771)
Mineralization of Soil Organic Carbon and Its Relationship with Soil Enzyme Activities in Apple Orchard in Weibei	JIA Man-li, GUO Hong, LI Hui-ke	(2777)
Steam and Air Co-injection in Removing TCE in 2D-Sand Box	WANG Ning, PENG Sheng, CHEN Jia-jun	(2785)
Effect of Cu ²⁺ on the Power Output of Dual-chamber Microbial Fuel Cell	MU Shu-jun, LI Xin-fen, REN Yue-ping, <i>et al.</i>	(2791)
Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from Sewage Sludge Composting by Continuous Aerated Turning Pile	ZHAO Chen-yang, WEI Yuan-song, GE Zhen, <i>et al.</i>	(2798)
Emissions of NH ₃ , N ₂ O, and NO from Swine Manure Solid Storage in Winter	DING Gang-qiang, HAN Sheng-hui, YUAN Yu-ling, <i>et al.</i>	(2807)
Variation Characteristics and Mathematical Model of Humic Substances in Landfill Leachates with Different Landfill Ages	HUANG You-fu, XU Xin-ya, FAN Liang-xin, <i>et al.</i>	(2816)
Research on the Variation Regularity of Effluent from the Leachate Reverse Osmosis Concentrate Recirculation	WANG Dong-mei, LIU Dan, LIU Qing-mei, <i>et al.</i>	(2822)
Quantitative Analysis on the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su	(2829)
Research Progress in Microbiological Characteristics in Combined N ₂ Removal Process by Partial Nitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation	ZHAO Zhi-ru, HOU Yan-lin	(2834)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年7月15日 第35卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 7 Jul. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行