

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O ₃ 来源识别	李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)
厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势	徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)
近10年海南岛大气NO ₂ 的时空变化及污染物来源解析	符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)
稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成	洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)
气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H ₂)浓度	栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)
小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO ₂ 特征及扩散通量	张永领, 杨小林, 张东(40)
夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究	李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)
基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度	张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)
温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别	马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)
人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例	于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)
太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究	汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)
鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应	沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)
影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)
水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响	刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)
蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响	吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)
汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化	程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)
三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)
三峡库区农林复合小流域水体汞的时空变化特征	赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)
环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响	宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)
三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征	高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)
舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析	周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)
太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律	李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)
厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估	程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)
两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例	王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)
大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价	张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)
铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验	陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)
铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究	陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)
一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究	吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)
磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为	张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)
腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附	朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)
降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响	赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)
FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究	陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)
微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响	邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)
微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化	曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)
舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征	张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)
四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究	周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林允静(274)
铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用	徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)
外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响	熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)
厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征	洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)
洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素	商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)
不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究	吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)
畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化	商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)
华南某市生活垃圾组成特征分析	张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)
生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥	刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)
基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究	徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)
一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测	刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)
典型黄土区油松树干液流变化特征分析	张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)
利用巨藻发酵产氢气与挥发性有机酸的研究	赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)
人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响	李曼璐, 姜玥璐(365)
《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236, 243, 273, 300)	

厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征

洪振宇^{1,2}, 洪有为¹, 尹丽倩¹, 陈进生^{1*}, 陈衍婷¹, 徐玲玲^{1,2}

(1. 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 鉴于铂族元素(PGEs)对生态环境和人体健康的潜在危害,对厦门市道路灰尘中PGEs的浓度水平和分布特征进行研究。于2012年10月采集城区主干道、隧道、旅游区和工业区的道路灰尘样品,经王水微波消解及阳离子交换树脂(Dowex AG50W-X8)分离纯化后,利用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)进行测定。结果表明,厦门城区主干道道路灰尘中钯(Pd)、铂(Pt)和铑(Rh)的平均浓度(范围)分别为:246.82(58.68~765.52)、95.45(42.14~371.36)和51.76(21.04~119.72) $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$,均比地壳丰度值高出两个数量级。与国内外其它城市相比,厦门城区道路灰尘中Pd、Pt和Rh浓度均处于较高污染水平。不同功能区道路灰尘PGEs含量分布为:隧道>城区>工业区>旅游区,其分布特征主要受机动车流量的影响。PGEs元素之间的相关性分析结果显示Pd与Rh的相关性较大,而Pt与Pd、Rh的相关系数均较小,说明除了机动车排放以外,可能存在其他的污染来源。旅游区禁止机动车行驶,但仍检出较高含量的PGEs,说明周边地区道路灰尘中PGEs可通过大气扩散作用进行迁移。

关键词: 厦门; 铂族元素; 功能区; 污染特征; 道路灰尘

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0295-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.039

Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen

HONG Zhen-yu^{1,2}, HONG You-wei¹, YIN Li-qian¹, CHEN Jin-sheng^{1*}, CHEN Yan-ting¹, XU Ling-ling^{1,2}

(1. Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the potential risks for the environment and human health, the concentration and distribution characteristics of platinum group element(PGEs) in road dust in Xiamen city were investigated. Road dust samples were collected from the traffic trunk road, tunnel, tourism area, and industrial area of Xiamen on October 2012. The samples were digested with aqua regia in a microwave assisted digestion system under high pressure condition, separated and purified with cation exchange resin(Dowex AG50W-X8), and the resulting solutions were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS). The results showed that the average concentrations(range) of Pd, Pt and Rh in road dust were 246.82(58.68-765.52) $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 95.45(42.14-371.36) $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ and 51.76(21.04-119.72) $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively, which were two orders of magnitude higher than the background values. Compared with other cities worldwide, the concentrations of Pd, Pt and Rh in road dust in Xiamen were at higher levels. The concentrations of PGEs for different functional areas were listed in the following order: tunnel > urban district > industrial area > tourism area, which indicated that their spatial distributions were mainly affected by the traffic intensity. Correlation analysis results showed that concentration of Pd in the urban traffic artery was significantly correlated with Rh, while Pt was not so correlated with Pd and Rh, suggesting that other sources contributed to PGEs in road dust in addition to the vehicle emission. Although motor vehicle traveling was banned in tourist area, the concentration of PGEs was still at a high level. Some of them might originate from the road dust in surrounding area by atmosphere diffusion.

Key words: Xiamen; PGEs; functional areas; pollution characteristics; road dust

为了减轻汽车尾气对环境的污染,具有特殊化学性能的铂族元素(platinum group elements, PGEs)作为催化剂材料被广泛应用于汽车尾气催化转化器(vehicle exhaust catalysts, VECs)中。PGEs及其化合物是一类高致敏率的物质,部分PGEs化合物还具有致癌效应;研究发现,即使含量处于较低水平,PGEs也可对微生物的生长产生负面影响^[1]。三元催化转化器使用过程中由于机械磨损、化学反应等,向环境排放含有PGEs的微粒逐渐增多,也将导致其潜在的人体健康风险日趋明显^[2]。最近研究表明,在城市的不同环境介质中^[3~6]都发现了PGEs

浓度上升的趋势,且PGEs浓度增高与机动车VECs的使用年限显著相关^[7,8]。Dubiella-Jackowska等^[9]还发现,电子工业、化学工业和玻璃生产等工业催化领域也是城市环境中PGEs的重要来源。

截止到2013年底,厦门市机动车保有量达到104万辆,超过了新加坡、香港等国际大都市;且以

收稿日期: 2014-04-25; 修订日期: 2014-07-31

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-408); 中国科学院重点部署项目(KJZD-EW-TZ-G06-02)

作者简介: 洪振宇(1990~),男,硕士研究生,主要研究方向为大气污染控制理论及技术, E-mail: hzy5121@163.com

* 通讯联系人, E-mail: jschen@iue.ac.cn

每年近 20% 的速率递增,势必向环境排放大量 PGEs. 道路灰尘是城市机动车排放 PGEs 后赋存的重要介质,其所产生的环境问题需引起足够重视. 因此,本研究以道路灰尘作为对象,分析厦门市不同功能区 PGEs 的污染状况及其主要来源,以期为今后城市 PGEs 的污染防治提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采样站位与时间

本研究选取厦门市城区主要交通干道 15 个采样点,鼓浪屿旅游区 11 个采样点,海沧新阳工业区 13 个采样点以及隧道 2 个采样点. 其中,厦门城区采样点分别为:枋钟-环岛路口(1)、环岛干道(2)、会展路(3)、洪文路(4)、金尚-莲前西路口(5)、仙岳路-成功大道路口(6)、枋钟-成功大道路口(7)、长岸路(8)、仙岳-东渡路口(9)、湖滨北路(10)、湖滨南路(11)、厦禾路(12)、思明南路(13)、集美-同集南路口(14)以及集美大道(15). 不同功能区的特点为:城区交通拥挤,车流量巨大;鼓浪屿旅游区是禁止机动车行驶的岛屿,距离城区不到 1 km;工业区位于郊区,除大型货车和厂区作业车,极少有机动车行驶;隧道为城区快速路,车流量大.

厦门市城区每个采样点采集 2~3 份样品,旅游区每个景点采集 1 份样品,工业区每个路段采集 1~2 份样品,每条隧道采集 3 份样品,共采集样品 77 份. 采样时间为 2012 年 10 月,在天气保持 2 周干燥后,于工作日道路清扫前,采用毛刷收集道路边 0.5 m 以内的道路灰尘,用稀硝酸清洗后的聚乙烯铲装入聚乙烯样品袋. 除去样品中沙石和树叶枝条等杂质,在室内自然风干,研磨过 200 目筛子,低温保存,待分析.

1.2 主要仪器和试剂

智能微波消解/萃取仪(XT-9912 型,上海新拓仪器公司)和电感耦合等离子体质谱仪(7500C 型,

美国 Agilent 公司). 实验用水为 Mill-Q 超纯水系统制得($>18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$). 所用试剂包括优级纯 HF、 HNO_3 和 HCl(国药集团化学试剂有限公司)等.

1.3 样品前处理

具体步骤如下:①准确称取样品 250 mg 转移到 PTFE 高压密封消解罐中,加入 10 mL 王水和 1 mL HF 溶液;②将消解罐装入微波消解仪,分两步消解,第一步微波功率为 1 000 W, 120℃ 消解 20 min;第二步微波功率为 1 200 W, 130℃ 消解 20 min;③将消解罐置于加热器上面蒸发至干,再加入 3 mL 浓 HCl 蒸发至干,如此反复 2 次,确保 HF 完全蒸发,加入 5 mL $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl 溶液后静置;④用注射器取上清液 1 mL,经过滤后用 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl 定容到 10 mL;⑤样品液用 Dowex AG50W-X8 阳离子交换树脂柱净化,收集滤液, -4℃ 保存待上机测定.

1.4 PGEs 含量测定

采用电感耦合等离子体质谱仪进行道路灰尘中 PGEs 的测定. 仪器主要参数:射频功率 1 550 W;载气流速 $0.75 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$;辅助气流速 $0.40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. 测定所选用的同位素分别为 ^{105}Pd 、 ^{195}Pt 、 ^{103}Rh . 本研究中 Pd、Pt 和 Rh 的检出限分别为 0.38、0.04 和 $0.015 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,回收率为 85%~116%.

2 结果与分析

2.1 厦门城区道路灰尘中 PGEs 的含量水平

厦门城区主要交通干道道路灰尘样品中 PGEs 含量测定结果见表 1. 可以看出厦门城区交通干道路灰尘中 Pd 含量明显高于 Pt 和 Rh, 3 种元素含量均高出地壳丰度值两个数量级以上^[10]. 道路灰尘中 Pd、Pt 和 Rh 的标准偏差较大,表明城区主干道道路灰尘中 PGEs 含量水平存在明显差异,这与各干道不同的车流量有关.

表 1 厦门城区交通干道道路灰尘 PGEs 的含量及其特征比值

Table 1 PGEs concentrations and characteristic ratio in the traffic trunk dust in Xiamen

项目	Pd/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	Pt/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	Rh/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	Pt/Pd	Pt/Rh	Pd/Rh
平均值 ± 标准偏差	246.82 ± 176.44	95.45 ± 57.24	51.76 ± 23.05	0.39	1.84	4.77
范围	58.68 ~ 765.52	42.14 ~ 371.36	21.04 ~ 119.72			
地壳 ^[10]	0.4	0.4	0.06			

随着 VECs 技术的发展以及相关排放标准的限制,不同国家或地区机动车排放到环境中的 PGEs 各元素间也将呈现不同的比例关系. 国外大部分城市使用富 Pt 型 VECs,使得道路灰尘样品中 Pt/Pd、Pt/Rh

比值均大于 1. Pan 等^[11]研究发现中国和印度在不同时期 VECs 中 PGEs 的成分存在明显差异,可用来指示该城市 VECs 技术的发展方向. 目前,我国汽车市场以富 Pd 型 VECs 为主,也导致了厦门城区道

路灰尘中出现的低 Pt/Pd 和高 Pd/Rh 比值(表 1); 这与国内北京^[12], 上海^[13]的相关研究结果一致。

如表 2 所示, 与国内其他城市相比, 厦门城区道路灰尘中 PGEs 含量处于较高水平, 是上海和北京的近两倍。据统计, 本研究期间厦门市机动车拥有量为 92 万辆^[14], 远远低于上海和北京研究期间的 238 万辆^[15] 和 402 万辆^[16]。但由于厦门市地域面

积小, 城市洁净程度高, 道路灰尘少, 机动车排放的 PGEs 稀释程度相对较低, 从而导致厦门城区 PGEs 含量明显高于国内其他城市。而在世界范围内, 厦门城区的 Pt 处于中等水平, 特别是 Pd 和 Rh 的含量已经超过较早使用 VECs 的西方发达国家城市, 说明厦门城区道路灰尘中 PGEs 含量在短期内快速增加, 且达到一定的污染水平。

表 2 厦门与其它城市道路灰尘 PGEs 的含量对比

Table 2 Comparison of PGEs concentrations in road dust between Xiamen and other cities				
城市/国家	Pt/ng·g ⁻¹	Pd/ng·g ⁻¹	Rh/ng·g ⁻¹	文献
圣地亚哥/美国	100 ~ 680	38 ~ 280		[17]
奥卢/芬兰	71.9		15.5	[18]
谢菲尔德/英国	146		164	[19]
法兰克福/德国	170	6 ~ 117		[20]
奥地利	47	3.2	2.82	[21]
哥德堡/瑞典	196	80	93	[22]
罗马/意大利	14.4 ~ 62.2	102 ~ 504	1.9 ~ 11.1	[23]
日本	170	297		[8]
斯蒂利亚/澳大利亚	81	6	13	[24]
上海/中国	34.42	117.88	29.42	[25]
北京/中国	65.25	126.66	22.67	[12]
厦门/中国	95.45	246.82	51.76	本研究

2.2 厦门市道路灰尘中 PGEs 含量的空间分布

2.2.1 不同功能区 PGEs 的分布

如图 1 所示, 厦门市道路灰尘中 PGEs 含量水平为: 隧道 > 城区 > 工业区 > 旅游区。城区道路灰尘中 Pd、Pt 和 Rh 的平均含量分别为 246.82、95.45 和 51.76 ng·g⁻¹。隧道 PGEs 含量则最高, Pd、Pt 和 Rh 含量分别是城区的 2.9、3.4 和 2.3 倍。这是由于隧道通风条件差, 机动车排放的 PGEs 大部分沉降到道路灰尘中, 无法通过降雨进行冲刷或者空气流动进行稀释扩散而大量累积。与城区相比, 工业区的 PGEs 整体处于相对较低的水平。工业区

位于厦门岛外海沧区, 工业区内除大型货车及工厂作业车, 少有机动车通行。从 PGEs 各元素比例来看, 工业区内 Pt 相对较高, 说明除了机动车排放外, 其他电子化工以及冶金等工业生产也可能向其周边环境排放 Pt^[9]。由于禁止机动车通行, 旅游区道路灰尘 PGEs 含量最低, 而厦门城区及周边地区 PGEs 可能在海陆风影响下, 经大气迁移扩散进入该旅游区, 成为其 PGEs 的主要来源。

2.2.2 城区不同交通干道 PGEs 的分布

图 2 显示了厦门城区不同交通干道道路灰尘中 PGEs 含量的分布。PGEs 含量最高值出现在仙岳路与成功大道路口(6)以及金尚路与莲前西路口(5)。这两路段分别是厦门城区东西向与南北向最繁忙的主干道交叉口和城区中部重要的干道, 车流量大使得 PGEs 含量较高; 而同集南路(14)为郊区干道, 车流量较少, PGEs 含量最低。这说明了 PGEs 含量的高低与车流量的多少密切相关, 这与 Cicchella 等的研究结果一致^[26]。VECs 的使用年限、车速等^[27]也是道路灰尘中 PGEs 含量水平高的影响因素, 厦门城区众多交通干道经常性堵车, 车辆长时间怠速行驶, 也将排放出更多的 PGEs。另外, 在厦门疏港道路与西部主干道的长岸路(8)和仙岳路与东渡路交叉口(9)也发现道路灰尘中 Pt 含量较高。

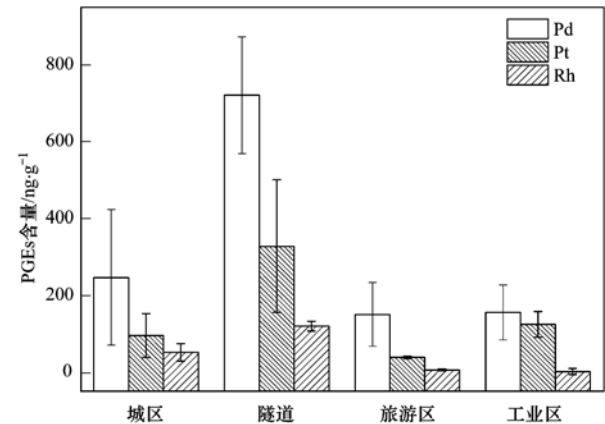


图 1 厦门市不同功能区道路灰尘中 PGEs 分布
Fig. 1 Distribution of PGEs in road dust from different functional areas in Xiamen

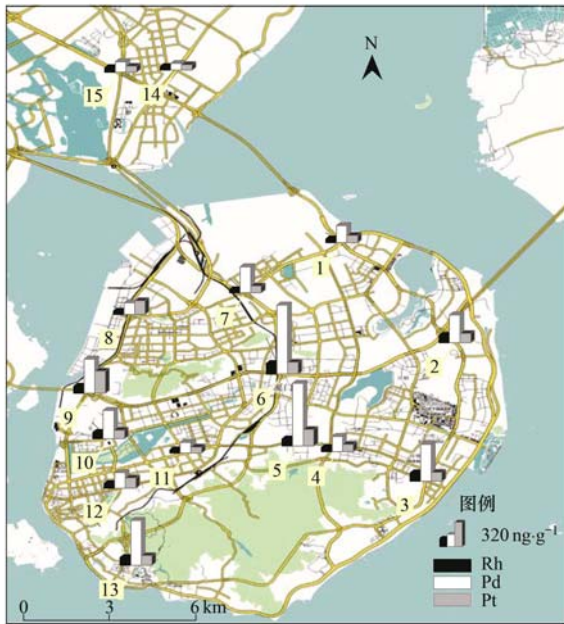


图2 厦门城区交通干道道路灰尘中PGEs浓度的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of PGEs in the traffic trunk road dust in Xiamen

2.3 城区PGEs相关性分析

研究已表明,PGEs元素之间的比值可以作为其来源判别的重要依据^[11,28]. 厦门城区主干道道路灰尘的Pt/Pd和Pt/Rh浓度比值分别为0.39和1.84(表1),与上海^[29](Pt/Pd和Pt/Rh浓度比值分别为0.2和1.47)比例相近,但与美国部分城市存在差异^[30](Pd/Rh为6.7,接近Engellhard催化转化器中6.2的比例).这与各个城市机动车所使用的VECs型号相对应,从某种程度上也说明了道路灰尘中PGEs主要来源为机动车排放.但从PGEs各元素之间相关性分析结果来看,道路灰尘中Pd和Rh的相关性较强,说明了他们的来源较为一致;但是Pt与Pd、Rh这两种元素的相关性较弱,相关系数分别为0.31和0.15(图3),说明除了机动车排放,道路灰尘中Pt可能受到其他排放源的影响,与前面的研究结果一致.

3 结论

(1)厦门城区道路灰尘中Pd、Pt、Rh的平均浓度(范围)分别为:246.82(58.68~765.52)、95.45(42.14~371.36)和51.76(21.04~119.72) $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$.与国内外其他城市相比,总体处于较高的水平,特别是厦门城区PGEs污染问题需要引起足够的重视.

(2)厦门市不同功能区道路灰尘PGEs的污染

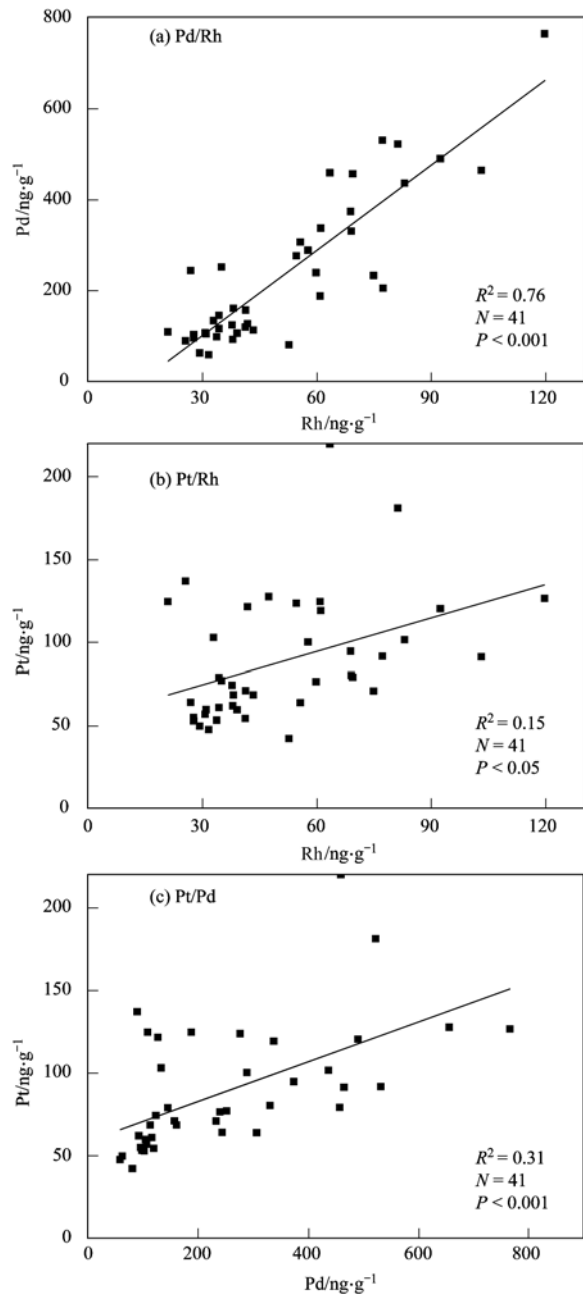


图3 厦门城区交通干道道路灰尘中PGEs的相关性分析

Fig. 3 Correlations between Pt, Pd and Rh in road dust collected from the traffic trunk road in Xiamen

水平为:隧道>城区>工业区>旅游区,其中,无降雨冲刷和扩散条件差是隧道中PGEs含量大量积累的主要原因,而大气迁移扩散则是影响旅游区道路灰尘中PGEs含量水平的关键因素.

(3)厦门城区不同交通干道中,仙岳路与成功大道路口以及金尚路与莲前西路口PGEs含量最高,而郊区干道PGEs含量最小,这主要与机动车流量、车速及车辆行驶特征等因素有关.

(4)PGEs元素间的相关性分析结果显示,Pd和

Rh 含量水平显著相关,Pt 和 Pd、Pt 和 Rh 的相关性较差,表明厦门城区交通干道道路灰尘中 PGEs 除大部分来自机动车排放外还存在 Pt 其他排放源的影响。

参考文献:

- [1] Dubiella-Jackowska A, Kudak B, Polkowska Z, *et al.* Environmental fate of traffic-derived platinum group metals [J]. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2009, **39**(4): 251-271.
- [2] 李培苗, 高学鲁. 环境中人为来源的铂族元素及其迁移转化研究进展[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(12): 3514-3525.
- [3] Wei C, Morrison G M. Platinum in road dusts and urban river sediments [J]. *Science of the Total Environment*, 1994, **146-147**: 169-174.
- [4] Schafer J, Eckhardt J D, Berner Z A, *et al.* Time-dependent increase of traffic-emitted platinum-group elements (PGE) in different environmental compartments [J]. *Environmental Science and Technology*, 1999, **33**(18): 3166-3170.
- [5] Farago M E, Kavanagh P, Blanks R, *et al.* Platinum metal concentrations in urban road dust and soil in the United Kingdom [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 1996, **354**(5-6): 660-663.
- [6] Schafer J, Puchelt H. Platinum-Group-Metals (PGM) emitted from automobile catalytic converters and their distribution in roadside soils [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1998, **64**(1-3): 307-314.
- [7] Barefoot R R. Determination of platinum at trace levels in environmental and biological materials [J]. *Environmental Science and Technology*, 1997, **31**(2): 309-314.
- [8] Helmers E, Mergel N. Platinum and rhodium in a polluted environment: studying the emissions of automobile catalysts with emphasis on the application of CSV rhodium analysis [J]. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 1998, **362**(6): 522-528.
- [9] Dubiella-Jackowska A, Polkowska Z, Namiennik J. Platinum group elements in the environment: emissions and exposure [J]. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2009, **199**: 111-135.
- [10] Rauch S, Hemond H F, Barbante C, *et al.* Importance of automobile exhaust catalyst emissions for the deposition of platinum, palladium, and rhodium in the Northern Hemisphere [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, **39**(21): 8156-8162.
- [11] Pan S H, Sun Y L, Zhang G, *et al.* Spatial distributions and characteristics of platinum group elements(PGEs) in urban dusts from China and India [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2013, **128**: 153-157.
- [12] 徐玲玲, 高博, 陆瑾, 等. 北京市中心城区道路尘土中铂族元素的污染特征[J]. *环境科学*, 2011, **32**(3): 736-741.
- [13] 刘玉燕, 刘敏, 程书波. 上海市道路灰尘中铂族元素(PGEs)富集特征[J]. *环境化学*, 2009, **28**(6): 918-923.
- [14] 厦门统计年鉴[Z]. 2013. <http://www.stats-xm.gov.cn/>.
- [15] 上海统计年鉴[Z]. 2007. <http://www.stats-sh.gov.cn/>.
- [16] 北京统计年鉴[Z]. 2010. <http://www.bjstats.gov.cn/>.
- [17] Hodge V F, Stallard M O. Platinum and palladium in roadside dust [J]. *Environmental Science and Technology*, 1986, **20**(10): 1058-1060.
- [18] Niemela M, Peramaki P, Piispanen J, *et al.* Determination of platinum and rhodium in dust and plant samples using microwave-assisted sample digestion and ICP-MS [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, **521**(2): 137-142.
- [19] Jackson M T, Sampson J, Prichard H M. Platinum and palladium variations through the urban environment: Evidence from 11 sample types from Sheffield, UK [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **385**(1-3): 117-131.
- [20] Zereini F, Skerstupp B, Alt F, *et al.* Geochemical behavior of platinum-group elements (PGE) in particulate emissions by automobile exhaust catalysts: experimental results and environmental investigations [J]. *Science of the Total Environment*, 1997, **206**(2-3): 137-146.
- [21] Müller M, Heumann K G. Isotope dilution inductively coupled plasma quadrupole mass spectrometry in connection with a chromatographic separation for ultra trace determinations of platinum group elements (Pt, Pd, Ru, Ir) in environmental samples [J]. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 2000, **368**(1): 109-115.
- [22] Motelica-Heino M, Rauch S, Morrison G M, *et al.* Determination of palladium and rhodium concentrations in urban road sediments by laser ablation-ICP-MS [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2001, **436**(2): 233-244.
- [23] Petrucci F, Bocca B, Alimonti A, *et al.* Determination of Pd, Pt and Rh in airborne particulate and road dust by high-resolution ICP-MS: a preliminary investigation of the emission from automotive catalysts in the urban area of Rome [J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2000, **15**(5): 525-528.
- [24] Schramel P, Zischka M, Muntau H, *et al.* Collaborative evaluation of the analytical state-of-the-art of platinum, palladium and rhodium determinations in road dust [J]. *Journal of Environment Monitoring*, 2000, **2**(5): 443-446.
- [25] 刘玉燕, 刘敏, 程书波. 道路灰尘铂族元素含量的短期变化过程分析[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(9): 1864-1870.
- [26] Cicchella D, De Vivo B, Lima A. Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts [J]. *Science of the Total Environment*, 2003, **308**(1-3): 121-131.
- [27] Palacios M A, Gomez M M, Moldovan M, *et al.* Platinum-group elements: quantification in collected exhaust fumes and studies of catalyst surfaces [J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **257**(1): 1-15.
- [28] Gao B, Yu Y K, Zhou H D, *et al.* Accumulation and distribution characteristics of platinum group elements in roadside dusts in Beijing, China [J]. *Environmental Toxicology and*

- Chemistry, 2012, **31**(6): 1231-1238.
- [29] Qi L, Zhou M F, Zhao Z, *et al.* The characteristics of automobile catalyst-derived platinum group elements in road dusts and roadside soils; a case study in the Pearl River Delta region, South China [J]. *Environment Earth Science*, 2011, **64**(6): 1683-1692.
- [30] Spada N, Bozlaker A, Chellam S. Multi-elemental characterization of tunnel and road dusts in Houston, Texas using dynamic reaction cell-quadrupole-inductively coupled plasma-mass spectrometry: Evidence for the release of platinum group and anthropogenic metals from motor vehicles [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2012, **735**: 1-8.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为。自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任。我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i> (11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i> (18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i> (25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong (40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i> (56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling (64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i> (72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i> (80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i> (87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang (107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i> (114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i> (121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i> (143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i> (151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i> (163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i> (172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i> (179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i> (186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i> (194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i> (202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i> (209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i> (215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i> (221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui (227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i> (237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i> (252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i> (259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i> (274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i> (280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i> (295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i> (301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i> (309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i> (314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i> (325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i> (333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i> (338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i> (343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i> (357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu (365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 15, 2015

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: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行