

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

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

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析	刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)
杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征	陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)
气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响	杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)
龙凤山本底站大气 CO ₂ 数据筛分及浓度特征研究	栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)
区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响	苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)
天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究	张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)
铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征	梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)
KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究	沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)
污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究	陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)
基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究	白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)
1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应	张柏发, 陈丁江 (2911)
南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究	蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)
三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征	李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)
岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析	蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)
亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究	张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)
藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究	肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)
广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究	刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)
铜陵相思河流域重金属分布特征研究	陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)
不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究	王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)
酸性条件下Ti(IV)催化 O ₃ /H ₂ O ₂ 降解邻苯二甲酸二甲酯	高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)
无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响	施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)
羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究	方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)
不锈钢 201、304 和 316L 在模拟污水管道反应器中的腐蚀	鲍国栋, 左剑恶, 王雅娟, 千里里 (3002)
微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究	王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)
不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究	张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)
SPG 膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究	刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)
SPG 膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究	张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)
曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响	陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)
限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究	刘文如, 阴芳芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)
UASBB 厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究	李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)
开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用	陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)
北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险	段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)
珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险	朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娴 (3066)
温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应	齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)
不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响	刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)
低分子有机酸对土壤中 Cu 化学形态的影响	黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)
EDTA 与柠檬酸复配洗涤修复多重金属污染土壤效果研究	尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)
不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和 N ₂ O 排放的关系	陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)
黄河口不同恢复阶段湿地土壤 N ₂ O 产生的不同过程及贡献	孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)
猪粪化肥配施对双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放及其全球增温潜势的影响	王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)
我国北方两地区环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响	袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)
丛枝菌根影响纳米 ZnO 对玉米的生物效应	王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)
丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响	李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)
含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响	雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)
重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准	王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)
维生素 B ₁₂ 对脱氮功能蓝藻降解 2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究	刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)
己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性	徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)
多溴联苯醚在市場鲫鱼体内分布和食鱼暴露量	王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)
稀有鮐鲫 HMGR 基因全克隆及雌雄经五氯酚暴露基因表达的分析	邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)
藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响	何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)
多胺功能化介孔炭对 Pb(II) 的吸附动力学与机制	李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)
生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响	崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)
经济结构调整的污染减排效应: 以 COD 减排为例	李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)
中国铅流改变原因分析	马兰, 毛建素 (3219)
放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨	汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)
中国水体硝酸盐氮双稳定同位素溯源研究进展	徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)
《环境科学》征稿简则 (2936) 《环境科学》征订启事 (3051) 信息 (2882, 2927, 3059, 3218)	

中国铅流改变原因分析

马兰, 毛建素*

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘要: 近年来, 伴随一系列铅污染综合整治行动, 我国铅流有所改变. 探究产生这些变化的深层原因, 可进一步为资源环境改善提供依据. 根据铅流分析框架, 辨识出引起铅流变化的因素, 包括规模性和技术性两类因素. 在此基础上, 围绕铅产量、废铅回收量等规模性指标, 铅循环率、环境释放率等技术性指标, 分别从消费、贸易、技术、管理等方面分析了我国铅流改变的原因. 结果表明, 10 年来铅制品国内消费量以年均 24.7% 的速度急剧增长, 拉动了铅消费量增长; 而铅消费增长又拉动了铅产量以年均 14.2% 的速度快速增长, 进而最终拉动了国内铅矿石资源消耗量、铅矿石净进口量、废铅回收量的增长; 铅制品国内消费率的增大方便了铅循环率的提高; 国家宏观管理加强, 通过关停规模小、技术落后的涉铅企业, 并倡导先进技术的应用, 为提高资源利用率, 降低铅环境释放率提供了重要保障.

关键词: 物质流动分析; 重金属; 循环率; 铅污染物; 贸易

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-3219-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.08.054

Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China

MA Lan, MAO Jian-su

(State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In recent years, accompanied by a series of comprehensive improvement actions on lead pollution, anthropogenic lead flows of China have somewhat changed; by exploring the reasons, some references can be provided for further improvement in resource utilization and environment quality. In this paper, based on the framework of lead flow analysis, the causes of changes in lead flows were identified and divided into scale factors and technical factors. Based on that and taking indices such as the quantities of lead production and recovered lead scraps, and lead recycling rate and emission rates as the scale and technical indices, respectively, the reasons for the changes of lead flow in our country were analyzed from the aspects of consumption, trade, technology, management and so on. The results showed: the domestic consumption of lead products has been growing quickly at an average annual rate of 24.7%, which pulled the growth of domestic lead consumption; The growth of lead consumption further increased the growth of lead production at an average annual rate of 14.2%, which finally pulled the growth of domestic lead ore resource consumption, lead concentrates net imports and lead scraps recovering; The increases in domestic consumption ratio of final lead products promoted the improvement of the lead recycling rate; As national management was strengthened, most lead-enterprises with small scale and old-dated technologies were closed, meanwhile, some advanced technologies were encouraged to be employed, thus the general resource utilization rate was improved and environmental lead emissions rate was reduced.

Key words: material flow analysis; heavy metal; recycling rate; lead pollutants; trade

人类对铅金属的使用, 既消耗岩石圈中的铅矿石资源, 又因为工业代谢和耗散型铅制品使用等原因, 增加了环境中的含铅污染物^[1,2]. 如何降低资源消耗和减少铅污染这个有关铅流改善的问题已成为人类铅金属使用过程中迫切需要解决的问题. 尽管各个国家纷纷采取技术的研发革新、管理方法的改进、材料和产品替代等不同措施来解决这个问题^[3-5], 但是, 由于各国经济发展需求、法律法规健全程度、社会发展程度等不同, 最终呈现的结果不同. 有些国家的铅流得到改善, 有些国家的铅流还在进一步恶化^[6]. 对于我国, 一方面, 近年来国内铅产量和铅消费量仍在快速增加^[7]; 另一方面, 铅污染严重, 儿童血铅超标以及铅中毒事件频发^[8,9]. 为

了解决这些问题, 有学者曾针对我国铅流进行过分析^[10], 政府也从管理、技术、政策等多个角度着手, 采取了一系列措施来改善我国铅流^[11-13]. 这些使我国铅流发生了改变, 那么, 引起我国铅流改变的原因是什么呢? Wang 等^[14]针对 2004 年我国在铅废品处理阶段释放的铅比 2000 年少的状况, 将产生原因归结为我国提高了铅回收率并控制铅释放. 但仍需更全面了解产生这些变化的深层原因, 以期为进一步铅资源环境改善提供依据.

收稿日期: 2013-12-24; 修订日期: 2014-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171361)

作者简介: 马兰(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为产业生态学, E-mail: malanhua86@126.com

* 通讯联系人, E-mail: maojs@bnu.edu.cn

1 影响铅流的因素分析

1.1 铅流分析框架

一般来说,铅流在社会经济系统中流经 4 个阶段:铅生产、制品加工制造、制品使用和废品处理阶段;铅流分为 4 种:从资源投入到废物处理的正向流,废铅循环回收利用流,铅释放入环境中的铅释放物流,与其它地区的进出口贸易流^[2]. 在整个系统的开始,研究区域内铅矿石、净进口的铅矿石和回收的废铅,经过铅生产阶段从而生产出精铅. 根据需求不同,这些精铅一部分运往不同企业用于制品的加工制造,另一部分

通过贸易净出口的形式进入其它区域. 铅制品也分为两部分:供本地区使用和通过贸易净出口的形式进入其它区域使用. 铅制品经过一定时间段的使用后寿命终止,变为铅废品,经过集中收集、拆除等处理过程最终生成废铅. 最后,回收的废铅作为铅生产的原料重新进入铅生产阶段,进行再生铅生产. 整个流动过程中,因为工业代谢和耗散型铅制品使用等原因,一定量的铅没有利用而直接释放入环境中^[1,2]. 图 1 为铅流分析框架^[2]. 在框架中,铅流在每个阶段遵循物质守恒原理,即物质的输入量等于输出量. 本文中,除特别说明外,所有数据均指含铅量.

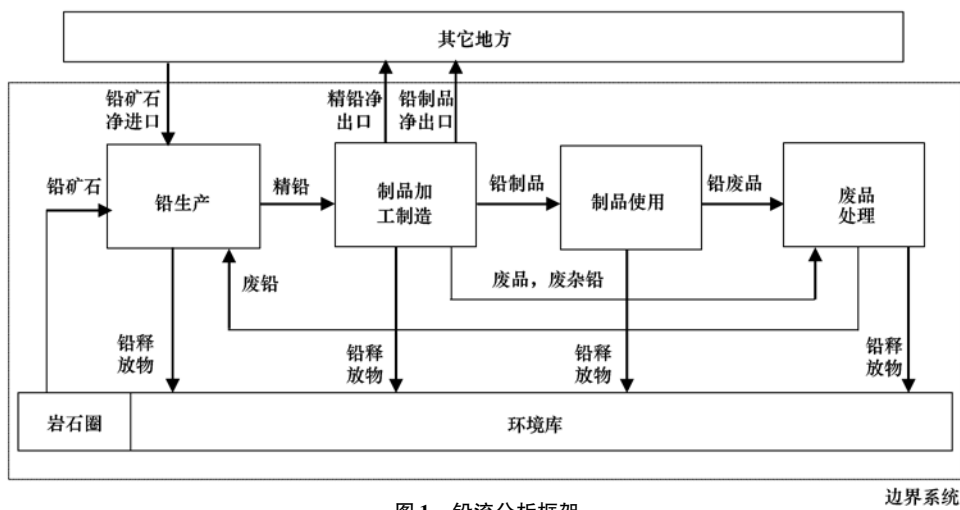


图 1 铅流分析框架

Fig. 1 Framework of the anthropogenic lead flows

1.2 影响指标

从铅流的分析框架(图 1)中可以看出,铅流的改变包括铅流规模大小的改变和相关效率系数的改变. 因此,影响铅流的因素包括两方面:因铅流规模改变而使铅流改变的规模性因素,因相关效率系数改变而使铅流改变的技术性因素. 最能体现这两种因素的是与之对应的指标. 故本研究中,为了表征影响铅流的这两种因素,将影响铅流的因素所对应的指标分为规模性指标和技术性指标. 规模性指标是指自身规模改变,能引起其它铅流发生改变,且其值为绝对量的指标;技术性指标是指自身大小改变,能引起铅资源环境效率改变,且其值为相对系数的指标.

1.2.1 规模性指标

依据铅流分析框架(图 1),辨析出影响铅流的规模性指标包括:铅产量、铅矿石净进口量、国内铅消费量、精铅净出口量、铅制品净出口量、铅制品国内消费量、废铅回收量和国内铅矿石消耗量.

铅产量指生产阶段所生成的精铅量. 铅产量的多少影响铅资源的消耗量,它自身主要由社会对精铅的消费量来决定,还受市场价格、国内铅资源状况等其它因素的影响^[15].

铅矿石净进口量指用于铅生产的净进口的铅矿石量. 在国内资源有限的情况下,铅矿石净进口量影响铅产量,而它自身受生产需求影响.

国内铅消费量指精铅在国内的消费量. 国内精铅消费量影响铅产量,会拉动铅产量的变化,而自身受铅制品需求的影响.

精铅净出口量指净出口的精铅量,其在一定程度能够影响铅产量,会拉动铅产量的变化. 其自身主要受国外铅消费需求的影响,此外在对资源和环境备受关注的当今世界,铅作为资源耗竭型和环境污染型资源,一般不鼓励其产品出口,精铅净出口量很大程度受宏观政策因素的制约^[15],此外,还受市场价格等其它因素影响^[15].

铅制品净出口量指净出口的铅制品量,其在一

定程度能够影响铅消费量,本身主要受国外铅制品消费需求的影响,同样,也受政策约束,市场价格等影响^[15].

铅制品国内消费量指最终用于国内消费的终端铅制品量.在技术和管理等回收因素不变的前提下,其值越大,意味着若干年后将形成的废铅数量越大.铅制品国内消费量主要受制品应用领域发展需求的影响^[15].

废铅回收量指铅制品使用寿命终结后变为废品,经过收集、拆分和处理后所得到的废铅量,在铅矿资源有限的情况下,它影响铅产量,其多少主要受国内可回收铅制品消费量的影响^[16].

国内铅矿石消耗量指生产铅消耗的国内铅矿石量,它影响铅产量,自身主要受铅生产需求影响.

1.2.2 技术性指标

依据铅流分析框架(图1),辨析出影响铅流的技术性指标包括:铅循环率、铅环境释放率和铅制品国内消费率.

铅循环率指废铅回收量与铅产量的比值.铅循环率一方面影响废铅资源和天然铅资源的消耗状况.铅循环率变大,废铅资源消耗量(即废铅回收量)就增大,天然铅资源消耗量就减少.另一方面,铅循环率的改变影响铅资源环境效率的改变.通过文献[10]中铅资源效率的间接计算公式[公式(1)]和环境效率的间接计算公式[公式(2)]可以得到,在其它量不变的情况下,资源效率和环境效率随着铅循环率增大而增大,减小而减小.铅循环率主要受铅制品国内消费率、回收技术和管理力度等因素影响^[10~12].

铅环境释放率指铅环境释放量与铅产量的比值.铅环境释放率的改变影响铅资源环境效率的改变.同样,通过文献[10]中铅资源效率和环境效率的间接计算公式[公式(1)和公式(2)]可以得到,在其它量不变的情况下,资源效率和环境效率随着铅环境释放率减小而增大,增大而减小.铅环境释放率受生产技术、回收技术、管理力度等宏观因素影响^[10~12].

$$r = \frac{1}{1 + \gamma - \alpha p}$$
 (1)

式(1)中, r 代表铅资源效率; α 是铅循环率; γ 是铅环境释放率; p 是一个生命周期循环中铅产量比,其值为铅金属前一个生命周期铅产量和后一个生命周期铅产量之比.

$$q = \frac{1}{\gamma + (1 - \alpha)p}$$
 (2)

式(2)中, q 代表铅环境效率,其它字母代表意义同公式(1).

铅制品国内消费率指铅制品国内消费量与铅制品总产量(即国内消费量与净出口量之和)的比值.铅制品国内消费率会影响到循环率,当它变大时,说明国内将有更多的折旧废铅,便于国内就地回收,在回收技术和管理因素不变的前提下,铅循环率变大.相反,如果国内消费率较小,则意味着生产的铅制品将随贸易进入其它国家或地区,在我国现有限制废铅进出口贸易的政策条件下,将不能返回到再生产阶段,造成国内铅循环率较低的局面^[7].

影响铅流的指标整理在表1中.

表1 影响铅流的指标

Table 1 Indices influencing anthropogenic lead flows

类别	指标名称	2000 年		2005 年		2010 年		变化倍数		
		数值	来源	数值	来源	数值	来源	(2010/2000)	(2005/2000)	(2010/2005)
规模性指标	铅产量/10 kt	110	文献[17] 2001 年	239	文献[17] 2006 年	416	文献[17] 2011 年	3.78	2.17	1.74
	铅矿石净进口量/10 kt	15.6	同上	103	同上	160	同上	10.3	6.6	1.56
	国内铅消费量/10 kt	66	同上	199	同上	395	同上	5.98	3.01	1.99
	精铅净出口量/10 kt	43.5	同上	41.9	同上	0.2	同上	0.004 6	0.96	0.004 8
	铅制品净出口量/10 kt	21	文献[14]	63.6	按文献[17] 2006 年数据估算	73	文献[18]	3.48	3.03	1.15
	铅制品国内消费量/10 kt	32.7	同上	112	同上	299	同上	9.15	3.44	2.66
	废铅回收量/10 kt	6.6	同上	57.4	同上	142	同上	21.7	8.75	2.48
	国内铅矿石消耗量/10 kt	82.5	同上	141	同上	246	同上	2.98	1.71	1.74
技术性指标	铅循环率/%	6.44	按文献[14] 数据估算	24	按文献[17] 2006 年数据估算	36	文献[18]	5.59	3.73	1.5
	铅环境释放率/%	44.8	同上	43.9	按文献[17] 2006 年数据,文献[2]计算方法估算	42.4	按文献[18] 数据估算	0.95	0.98	0.97
	铅制品国内消费率/%	60.9	同上	63.9	按文献[17] 2006 年数据估算	80.4	按文献[18] 数据估算	1.32	1.05	1.26

2 原因分析

2.1 制品国内消费对铅消费的拉动作用

在铅流动过程中,铅流规模主要表现在铅生产量和消费量两个方面,其中铅消费主要用于国内铅制品生产,而这些铅制品又进一步用于铅制品国内消费和出口国外,铅制品国内消费又主要体现在铅酸电池等在汽车、电动车、通讯等领域的使用^[7],因此,近些年来,这些领域的扩展和铅制品的净出口将对国内铅消费起到拉动作用。

我国主要净出口铅制品是铅酸电池,而铅酸电池主要以两种形式净出口:电池的形式和铅酸电池作为汽车、电动自行车等主要净出口商品部件的形式^[17,19]。根据文献[20]中有关汽车进/出口数据,文献[21]中有关电动自行车进/出口数据,文献[17]中有关铅酸电池制品以电池形式进出口的进/出口量,文献[2]中相关系数的取值和计算方法,计算出2001~2004年和2006~2009年的铅酸电池净出口量;根据文献[17]中其它制品进/出口量的统计数据,计算出2001~2004年和2006~2009年其它制品净出口量;根据不同制品生产企业的环评报告估算出不同制品的加工系数,文献[2]中的计算方法,计算出2001~2004年和2006~2009年铅制品国内消费量。最终,联系表1的相关数据,文献[17]中2001~2004年和2006~2009年铅消费量的统计数据,估算出的2001~2004年和2006~2009年铅制品净出口量和铅制品国内消费量,绘制了2000~2010年铅制品消费对铅消费的拉动图(图2)。

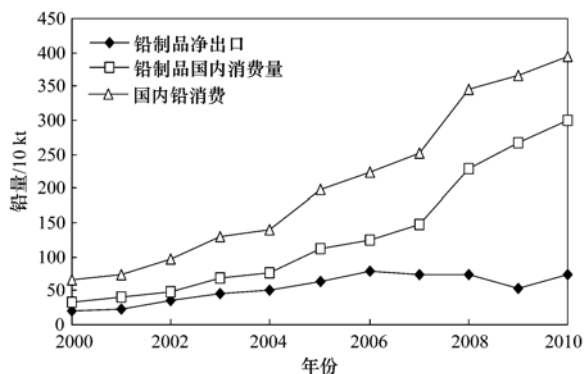


图2 制品国内消费对铅消费的拉动

Fig. 2 Domestic consumption of lead products pulled the growth of domestic lead consumption

从图2可以看出,2000~2010年间,我国铅制品国内消费量以年均24.7%的速度增长;铅制品净

出口量在2000~2006年间呈缓慢增长趋势,2006~2010年间呈下降趋势;国内铅消费量逐年快速增长。因此,近年来,铅制品国内消费是拉动铅消费快速增长的主要原因。

2.2 国内铅消费对铅生产的拉动作用

据统计,我国生产的精炼铅主要用于国内铅消费和出口^[17],因此,这两方面的数量对铅生产及产量增长起拉动作用;从另一方面看,生产铅的原料主要来自铅矿石和回收的废铅,而铅矿石又进一步由国产铅矿石和从国外净进口的铅矿石两部分组成,因此,这些年铅产量的增加又拉动了这三部分原料性资源消耗量的增加。

根据文献[17]中有关铅生产的铅产量相关数据,文献[2]中相关数据的计算方法,估算出2001~2004年和2006~2009年国内铅矿石消耗量和废铅回收量。最后,结合文献[17]精铅进/出口量和铅矿石进/出口量的统计数据,以及表1相关数据,绘制了2000~2010年中国铅消费对铅产量的拉动图(图3)。

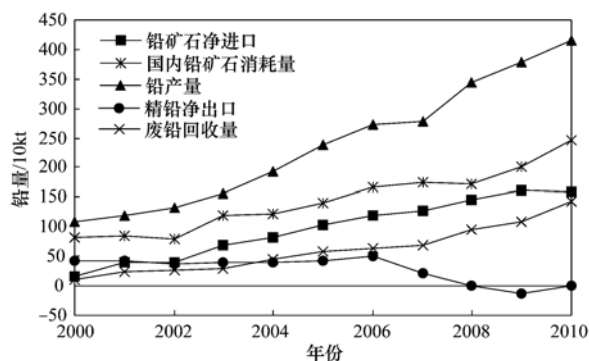


图3 铅消费对铅产量的拉动

Fig. 3 Growth of lead consumption further increased the growth of lead production

从图3可以看出,2000~2010年间,我国铅产量以年均14.2%的速度快速增长;在2006年之前,精铅净出口量趋于稳定,2006年之后,精铅净出口量急剧下降,2008年之后甚至出现负值。因此,对于铅生产来说,国内铅消费是拉动铅产量增大的主要原因。图3也显示,铅矿石净进口量、废铅回收量和国内铅矿石消耗量均呈增大趋势,说明由于铅生产量的增大,使国内铅矿石消耗量、废铅回收量和铅矿石净进口量均增大。

2.3 铅制品国内消费率增大便于铅循环率提高

根据前面估算的我国2001~2004年和2006~2010年的铅制品国内消费量和铅制品净出口量,计算出了2001~2004年和2006~2009年的铅制品国

内消费率. 同样的, 也根据 2001 ~ 2004 年和 2006 ~ 2009 年废铅回收量以及相应年份的铅产量, 计算出了我国 2001 ~ 2004 年和 2006 ~ 2009 年的铅循环

率. 结合表 2 中 2005 年的数据, 整理汇总了 2001 ~ 2009 年我国的铅制品国内消费率和铅循环率, 见表 2.

表 2 2001 ~ 2009 年我国的铅制品国内消费率和铅循环率

Table 2 Domestic lead consumption rate and lead recycling rate of China in 2001-2009

项目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
铅制品国内消费率/%	64.2	57.3	59.6	60.4	63.9	60.7	66.2	75.4	83.1
铅循环率/%	19.2	20.5	19.4	23.6	24	23.5	24.8	27.3	28.7

由表 2 可以看出, 除 2001 和 2003 年外, 其它年份的铅制品国内消费率大, 循环率就高; 而从 2004 年之后开始, 铅制品国内消费率逐年增大, 铅循环率也逐年提高. 此外, 由表 2 可知, 2010 年铅制品国内消费率是 2000 年的 1.32 倍, 2010 年的铅循环率是 2000 年的 5.59 倍, 说明铅循环率随着铅制品国内消费率的增大提高了.

本研究在前面介绍技术性指标时提到铅制品国内消费率增大将便于铅循环率的提高, 而上述分析就证明了铅制品国内消费率的增长促进了国内铅循环率的提高.

2.4 先进技术的采用

近年来, 在我国铅矿开采行业, 选矿采用了比较先进的浮选工艺; 整个行业适当提高自动化水平; 新建大中型铅矿山采用适合矿床开采技术条件的先进采矿方法和大型设备; 成功研发高碱工艺等先进工艺并加以利用; 采用尾矿再选和综合利用技术^[22,23]. 这些比较先进的技术的采用, 降低了开采难度, 有利于铅矿石资源的有效利用. 在铅冶炼行业, 大部分企业淘汰了土烧结盘、简易高炉、烧结锅、烧结盘等落后的炼铅工艺及设备, 采用了国内先进的具有自主知识产权的富氧底吹强化熔炼和富氧顶吹强化熔炼技术和国外先进的铅冶炼技术^[24]. 在铅制品加工制造行业, 一些铅酸电池生产企业相继采用了机械化程度比较高的工艺和设备, 从而提高了资源利用率^[25]. 在三废处理方面, 比较先进的技术也被采用来进行铅废物处理, 从而降低了三废中的含铅率^[26]. 最值得一提的是, 在废品回收时, 摒弃了人工破碎和露天环境下进行破碎作业的落后处理方式, 采用自动破碎或机械化破碎分选技术, 这对铅循环率的提高有很大贡献^[27].

在耗散型铅制品制造方面, 一方面, 我国对耗散型铅制品铅含量规定了比较严格的技术限值^[28]. 为达到这些限值, 制造耗散型铅制品时必须采用相对先进的技术, 这样就降低了铅在许多应用上的用量. 另一方面, 采用先进技术研发生产出材料或制品

的替代品, 如研发生产出有机颜料来替代含有铅化合物的颜料^[28]. 如此, 改变了国内制品的消费结构, 使国内可回收铅制品在制品消费中占的比例增大, 从而使更多的铅回收使用.

以上先进技术的采用, 提高了资源利用效率, 使我国铅环境释放率降低.

2.5 宏观管理加强

近年来, 我国对铅行业从市场准入, 技术革新, 产业结构升级, 法规政策的制定等多方面加强了管理, 如对市场准入规模的规定, 在 2007 年颁布的《铅锌行业准入条件》中明确规定: 新建再生铅项目单系列生产能力必须在 5 万 t·a⁻¹ 以上, 现有再生铅企业单系列生产能力应大于 1 万 t·a⁻¹, 改造、扩建再生铅项目, 规模必须在 2 万 t·a⁻¹ 以上; 并且必须严格按照这个规定对企业进行排查, 对不合格企业进行整顿甚至关停^[11].

在管理方面最显著的是对废旧铅酸电池加强了管理. 主要体现在: 在技术政策和技术标准方面, 发布了一系列政策和标准, 规范废电池处理处置和资源再生行为, 推广使用新技术, 鼓励以新型电池替代铅酸电池等; 在科研支撑方面, 大力支持相关研究; 在管理行动方面, 国家环保部开展环保专项行动对企业和项目进行彻查, 在彻查过程中对不合格的严格处理^[11].

宏观管理加强最显著的结果是: 一些规模小、水平落后的企业被大量关停, 如 2011 年 11 月 30 日, 我国环保部网站公布的《铅蓄电池生产、组装及回收(再生铅)企业名单》显示, 全国关停铅酸电池生产企业达 649 家, 关停比例超过 80%.

正是国家宏观管理的加强, 关停了一些规模小、技术落后的涉铅企业, 同时推动先进技术的采用, 从而整体提高了资源利用率, 使 2010 年的铅环境释放率相对降低, 其值是 2000 年的 0.95 倍.

3 结论

(1) 影响铅流的规模性指标主要包括铅产量、

铅消费量、贸易量。近年来产生这些指标间变化的主要原因是:铅制品国内消费量以年均 24.7% 的速度急剧增长,拉动铅消费量增长;铅消费拉动铅产量以年均 14.2% 的速度快速增长,最终拉动了国内铅矿石资源消耗量、废铅回收量和铅矿石净进口量的增长。

(2)影响铅流的技术性指标主要包括铅循环率、铅环境释放率和铅制品国内消费率,影响这些指标变化的原因是:铅制品国内消费率增大便于铅循环率提高;国家宏观管理中关停规模小、技术落后的涉铅企业,并推进先进技术应用,整体上提高了资源利用率,降低了铅环境释放率。

参考文献:

- [1] Ayres R U. Industrial metabolism: theory and policy [A]. In: The greening of industrial ecosystems [C]. Washington DC: National Academy Press, 1994. 23-37.
- [2] Mao J S, Dong J, Graedel T E. The multilevel cycle of anthropogenic lead I. Methodology [J]. Resources Conservation and Recycling, 2008, **52**(8-9): 1058-1064.
- [3] Genaidy A M, Sequeira R, Tolaymat T, *et al.* Evidence-based integrated environmental solutions for secondary lead smelters: Pollution prevention and waste minimization technologies and practices [J]. Science of the Total Environment, 2009, **407**(10): 3239-3268.
- [4] Baker E, Chon H, Keisler J. Battery technology for electric and hybrid vehicles: Expert views about prospects for advancement [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2010, **77**(7): 1139-1146.
- [5] Rai P K. An eco-sustainable green approach for heavy metals management: two case studies of developing industrial region [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, **184**(1): 421-448.
- [6] Mao J S, Dong J, Graedel T E. The multilevel cycle of anthropogenic lead: II. Results and discussion [J]. Resources Conservation and Recycling, 2008, **52**(8-9): 1050-1057.
- [7] 王晔. 中国铅行业发展及展望[J]. 有色金属工程, 2011, **1**(1): 27-29.
- [8] 王敬忠, 曹国庆, 张蓉. 铅蓄电池发展与环境影响[J]. 中国金属通报, 2012, (21): 16-21.
- [9] Ji A L, Wang F, Luo W J, *et al.* Lead poisoning in China: a nightmare from industrialization [J]. The Lancet, 2011, **377**(9776): 1474-1476.
- [10] Mao J S, Yang Z F, Lu Z W. Industrial flow of lead in China [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, **17**(2): 400-411.
- [11] Mao J S, Ma L. Analysis of current policies on lead usage in China [J]. International Journal of Biological Sciences and Engineering, 2012, **3**(4): 234-245.
- [12] 任立明, 王志国, 郑磊. 我国社会源危险废物产生、回收及处置现状及管理对策[J]. 中国环境管理, 2013, **5**(2): 59-64.
- [13] 沈越, 陈扬, 孙阳昭, 等. 我国废铅酸蓄电池污染防治技术及政策探讨[J]. 中国环保产业, 2011, (4): 49-52.
- [14] Wang T, Mao J, Johnson J, *et al.* Anthropogenic metal cycles in China [J]. Journal of Material Cycles and Waste Management 2008. **10**(2): 188-197.
- [15] 柴静. 铅行业的基本特征[J]. 中国金属通报, 2011, (11): 19-21.
- [16] 冯涛. 废铅回收面临的问题及对策建议[J]. 中国资源综合利用, 2009, **27**(9): 10-11.
- [17] 中国有色金属工业协会. 中国有色金属工业年鉴(2001-2011) [R]. 北京: 有色金属工业协会, 2002-2011.
- [18] 马兰, 毛建素. 中国铅流改变定量分析[J]. 环境科学, 2014, **35**(7): 2829-2833.
- [19] 吴浩亮, 张明锋, 陈波, 等. 中国铅酸蓄电池行业现状与展望 [J]. 工程建设与设计, 2011, (7): 122-125.
- [20] 中国汽车工业协会. 中国汽车工业年鉴(2002-2010) [R]. 北京: 中国汽车工业协会, 2002-2010.
- [21] 中国轻工业联合会. 中国轻工业年鉴(2002-2010) [M]. 北京: 中国轻工业年鉴社, 2002-2010.
- [22] 雷力, 周兴龙, 文书明, 等. 我国铅锌矿产资源特点及开发利用现状[J]. 矿业快报, 2007, (9): 1-4.
- [23] 秦江波, 于冬梅, 孙永波. 中国矿产资源现状与可持续发展研究[J]. 经济研究导刊, 2011, (22): 11-12.
- [24] 李卫锋, 张晓国, 郭学益, 等. 我国铅冶炼的技术现状及进展[J]. 中国有色冶金, 2010, **39**(2): 29-33.
- [25] 肖勇军, 王昶. 影响我国铝业全面可持续发展的主要因素分析[J]. 生态经济, 2007, (10): 216-219.
- [26] 林星杰. 铅冶炼行业重金属污染现状及防治对策[J]. 有色金属工程, 2011, **1**(4): 23-27.
- [27] 李敏, 刘毅, 朱东方, 等. 废旧蓄电池中再生铅资源的回收利用[J]. 河南化工, 2012, **29**(4): 25-27.
- [28] 曾润, 毛建素. 我国耗散型铅使用的变化及趋势分析[J]. 环境科学与技术, 2010, **33**(2): 192-195.

CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM ₁₀) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO ₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI Yang, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O ₃ /H ₂ O ₂ Under Acidic Conditions	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zeolite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPC Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N ₂ O Emission	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yang (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N ₂ O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH ₄ and N ₂ O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI)	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B ₁₂ on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp.	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment	CUI Yan-rui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH ₄ Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

《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8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 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