

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第6期

Vol.39 No.6

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

北京市二次有机气溶胶生成潜势的日变化规律 刘俊, 楚碧武, 贺泓 (2505)

太原冬季 PM_{2.5} 影响霾污染的关键尺度谱特征 杨素英, 余欣洋, 赵秀勇, 李义宇, 孙洪娉, 田芷洁, 李岩, 吴尚, 王梓航 (2512)

盘锦市冬季 PM_{2.5} 水溶性离子特征及来源分析 张蕾, 姬亚芹, 王士宝, 赵静琦, 张军, 李越洋, 张伟 (2521)

广州市天河区 2016 年雨季挥发性有机物污染特征及来源解析 古颖纲, 虞小芳, 杨闻达, 田智林, 李梅, 程鹏 (2528)

热带树木燃烧颗粒物中脱水糖和醋非烯的排放特征 金诚妙, 崔敏, 韩勇, 陈颖军, 唐娇, 李军, 张干 (2538)

天津地区污染天气分析中垂直扩散指标构建及运用 蔡子颖, 韩素芹, 张敏, 姚青, 刘敬勇 (2548)

亚热带农田和林地大气氨湿沉降与混合沉降比较 朱潇, 王杰飞, 沈健林, 肖润林, 王娟, 吴金水, 李勇 (2557)

京津冀地区黄标车政策的总量减排效益评估 卢亚灵, 周佳, 程曦, 张伟, 蒋洪强 (2566)

北京北运河河流生态系统健康评价 顾晓昀, 徐宗学, 刘麟菲, 殷旭旺, 王汨 (2576)

长江武汉段丰水期水体和沉积物中多环芳烃及邻苯二甲酸酯类有机污染物污染特征及来源分析 董磊, 汤显强, 林莉, 邴超, 黎睿, 吴敏 (2588)

福建省敖江下游抗生素抗性基因分布特征 张丹丹, 郭亚平, 任红云, 周昕原, 黄福义, 张娴 (2600)

三峡库区支流河口沉积物重金属分布特征及风险评价 方志青, 陈秋禹, 尹德良, 王志康, 孙涛, 王永敏, 谢德体, 王定勇 (2607)

三峡水库蓄水至 175 m 后干流沉积物理化性质与磷形态分布特征 潘婵娟, 黎睿, 汤显强, 夏振尧, 李青云, 杨文俊, 许文年 (2615)

基于水化学和稳定同位素的白洋淀流域地表水和地下水硝酸盐来源 孔晓乐, 王仕琴, 丁飞, 梁慧雅 (2624)

天目湖沙河水库热分层变化及其对水质的影响 孙祥, 朱广伟, 笄文怡, 余茂蕾, 杨文斌, 朱梦圆, 许海, 国超旋, 余丽, 李恒鹏, 李慧贇 (2632)

重庆雪玉洞洞穴滴水水地球化学时空变化特征及其环境意义 曾泽, 蒋勇军, 吕现福, 曾思博, 胡刘焯, 雷佳琪 (2641)

岩溶地表河旱季有色溶解有机质组成及来源: 以金佛山碧潭河为例 刘跃, 贺秋芳, 刘宁坤, 刘九程, 王正雄, 段世辉 (2651)

托来河流域不同海拔降水稳定同位素的环境意义 李永格, 李宗省, 冯起, 肖莲桂, 吕越敏, 桂娟, 袁瑞丰, 张百娟 (2661)

五里峡水库初级生产力对水气界面二氧化碳和甲烷排放速率时空变化的影响 彭文杰, 李强, 宋昂, 靳振江 (2673)

西南山区典型河道型水库藻类功能群时空演替特征及其影响因素: 以紫坪铺水库为例 张耀文, 李洪, 李嘉, 宋洋, 张陵蕾, 李永, 蒲迅赤, 黄文典 (2680)

四明湖水库浮游植物功能类群的季节演替及其影响因子 郑诚, 陆开宏, 徐镇, 郑志明, 朱津永 (2688)

营养盐添加对水华蓝藻——卵孢金胞藻生长和竞争影响的原位实验 王梦梦, 张玮, 张军毅, 尚光霞, 杜彩丽, 王丽卿 (2698)

植物配置与进水碳氮比对沉水植物塘水质净化效果的影响 刘森, 陈开宁 (2706)

江汉平原水稻灌排单元沟渠中氮磷变化特征及其环境风险 华玲玲, 张富林, 翟丽梅, 刘宏斌, 范先鹏, 王洪霞 (2715)

冀西北典型北方小城镇污水处理厂中抗生素的分布和去除 柴玉峰, 张玉秀, 陈梅雪, 王瑞, 柳蒙蒙, 郑嘉熹, 魏源送 (2724)

臭氧-粉末炭联用作为预处理缓解膜污染的效果与机制 董秉直, 高昊旸, 胡孟柳 (2732)

中试 SAD-ASBR 系统处理含盐废水的启动与工艺特性 于德爽, 唐佳佳, 张军, 王晓霞, 赵红, 韩长民, 孙捷 (2740)

海藻酸钙/聚 N-异丙基丙烯酰胺半互穿网络凝胶球的除磷性能 曾学阳, 骆华勇, 张耀坤, 荣宏伟, 曾子君, 钟广汇 (2748)

玉米淀粉废水短程硝化快速启动及其稳定性 龙北生, 刘迅雷, 刘红波, 杨靖新, 袁树森 (2756)

硝化细菌的培养及包埋固定化中试 杨宏, 胡银龙 (2763)

不同运行策略下厌氧氨氧化的脱氮性能 安芳娇, 彭永臻, 董志龙, 邵兆伟, 赵智超, 黄剑明, 陈永志 (2770)

高含固污泥厌氧消化中蛋白质转化规律 詹瑜, 施万胜, 赵明星, 许之扬, 阮文权, 宋联, 朱葛 (2778)

污泥富磷堆肥前后重金属赋存形态及释放能力变化 李玉, 方文, 祁光霞, 魏勇红, 刘建国, 李润东 (2786)

丝状菌污泥膨胀对脱氮除磷功能菌群的影响 高晨晨, 游佳, 陈轶, 郑兴灿, 尚巍, 张文安 (2794)

同步去除并富集磷酸盐生物膜驯化过程中微生物种群分析 孟璇, 潘杨, 章豪, 廖恒弘, 徐林建, 冯鑫, 单捷 (2802)

四环素对人粪便好氧堆肥过程及微生物群落演替的影响 时红蕾, 王晓昌, 李倩, 刘源 (2810)

长期定位有机物料还田对关中平原夏玉米-冬小麦轮作土壤 NO 排放的影响 袁梦轩, 王晋峰, 谭跃慧, 魏静, 杨学云, 顾江新 (2819)

菌渣还田量对紫色水稻土净温室气体排放的影响 祁乐, 高明, 周鹏, 王富华, 高泳钦, 陈仕奇, 吴思琪, 邓静霖, 文婷 (2827)

¹³C 脉冲标记法定量冬小麦光合碳分配及其向地下的输入 孙昭安, 陈清, 韩笑, 吴文良, 孟凡乔 (2837)

西南喀斯特区植被恢复对土壤氮素转化通路的影响 杨怡, 欧阳运东, 陈浩, 肖孔操, 李德军 (2845)

江苏海岸带土壤重金属来源解析及空间分布 吕建树, 何华春 (2853)

黄河下游典型区域土壤重金属来源解析及空间分布 于元赫, 吕建树, 王亚梦 (2865)

典型小城市土壤重金属空间异质性及风险评价: 以临安市为例 郑晴之, 王楚栋, 王诗涵, 林子也, 赵科理, 吴东涛, 傅伟军 (2875)

西南某铅锌矿区农田土壤重金属空间主成分分析及生态风险评价 周艳, 陈楠, 邓绍坡, 王金忠, 张胜田, 龙涛, 李群, 林玉锁, 吴运金 (2884)

典型山核桃产区土壤重金属空间异质性及风险评价 张红桔, 赵科理, 叶正钱, 许斌, 赵伟明, 顾晓波, 张华锋 (2893)

生物炭添加对湿地植物生长及氧化应激响应的影响 黄磊, 陈玉成, 赵亚琦, 肖广全, 杨志敏 (2904)

厌氧条件水稻土铁对砷释放的影响 王欣, 钟松雄, 陈志良, 何宏飞, 董家华, 陈晓丽 (2911)

矿业活动影响区稻田土壤和稻米中重金属含量及健康风险 田美玲, 钟雪梅, 张云霞, 余元元, 庞瑞, 周浪, 宋波 (2919)

硅酸钙和生物腐殖肥复配对葱生长和镉吸收的影响 刘德玲, 尹光彩, 陈志良, 林亲铁, 刘千钧, 钟松雄, 黄玲, 张建强 (2927)

吉林四平设施土壤和蔬菜中重金属的累积特征 李莲芳, 朱昌雄, 曾希柏, 李红娜, 叶婧, 李峰, 吴翠霞 (2936)

喷施锌肥对油菜镉生物可给性的影响 王林, 谷朋磊, 李然, 徐应明, 孙约兵, 梁学峰, 代晶晶 (2944)

贵州草海底栖动物汞分布及其对沉积物汞的响应特征 许议元, 曾玲霞, 何天容, 陈梦瑜, 钱晓莉, 李振吉 (2953)

废旧轮胎翻新过程中多环芳烃排放及健康风险 付建平, 赵波, 黎玉清, 刘沙沙, 尹文华, 黄锦琼, 周长风, 张素坤, 贺德春, 韩静磊 (2963)

县级尺度的重庆市碳排放时空格局动态 孙秀峰, 施开放, 吴健平 (2971)

颗粒尺寸对纳米氧化物环境行为的影响 严玉鹏, 唐亚东, 万彪, 王小明, 刘凡, 冯雄汉 (2982)

防晒剂的海洋环境行为与生物毒性 朱小山, 黄静颖, 吕小慧, 杜永芬, 蔡中华 (2991)

《环境科学》征订启事 (2527) 《环境科学》征稿简则 (2723) 信息 (2826, 2852, 2910)

京津冀地区黄标车政策的总量减排效益评估

卢亚灵^{1,2}, 周佳³, 程曦¹, 张伟^{1,3}, 蒋洪强^{1*}

(1. 环境保护部环境规划院, 国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012; 2. 天津大学环境科学与工程学
院, 天津 300072; 3. 南京大学环境学院, 南京 210023)

摘要: 为评估黄标车提前淘汰补贴和禁行政策的实施效果, 并对这两种政策进行比较, 在梳理京津冀地区相关政策措施的基础上, 采用排放因子法评估其总量减排效益。结果表明: ①京津冀地区黄标车淘汰政策有较好的减排效益, 政策实施以来 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀ 累计减排量分别为 500.32、39.79、31.82、0.96、1.06 万 t。②黄标车政策减排效益最突出的污染物为 CO、HC、NO_x, 为大气污染总量减排作出较大贡献。③小型载客与轻型载货汽油车是 CO 与 HC 的减排主体, 重型载货柴油车是 NO_x 和颗粒物的主要减排贡献车型。④京津冀 13 个城市, 道路密集的城区减排更明显。北京市、天津市、石家庄市 CO、HC 减排较其他城市更显著, 天津市、石家庄市、唐山市、邯郸市 NO_x 和颗粒物减排更显著。⑤提前淘汰补贴和禁行两个政策相比, 前者减排效益具有时间延续性, 在政策实施后几年效益仍较明显; 后者在政策实施前期减排效益明显, 随时间而衰减。各地在制定黄标车与老旧机动车政策时, 建议前期加强禁行政策、后期加强淘汰补贴政策执行力度。

关键词: 减排效益; 黄标车; 提前淘汰补贴政策; 禁行政策; 京津冀

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)06-2566-10 DOI: 10.13227/j.hjx.201709207

Emission Reduction Benefits When Eliminating Yellow-label Vehicles in the Jing-jin-ji Region

LU Ya-ling^{1,2}, ZHOU Jia³, CHENG Xi¹, ZHANG Wei^{1,3}, JIANG Hong-qiang^{1*}

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy for Environment Planning, Beijing 100012, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to evaluate policy implementation for yellow-label vehicles (namely, those that fail to meet the Chinese No. 1 standard for exhaust emissions), and to compare the policy of an early elimination subsidy with traffic restrictions of these vehicles, the emission factor method was adopted to calculate the emission reduction resulting from the two policies in the Jing-jin-ji Region. The results showed that: ① The policies led to good emission reductions for the Jing-jin-ji Region. Since the implementation of the policies, the cumulative reductions of CO, HC, NO_x, PM_{2.5}, and PM₁₀ have been 5 003.2 kt, 397.9 kt, 318.2 kt, 9.6 kt, and 10.6 kt, respectively. ② The pollutants reduced most prominently were CO, HC, and NO_x, which contributed greatly to the emission reductions and air pollution control. ③ The main motorcycle types for the CO and HC emission reductions were small gasoline-powered passenger vehicles and light duty gasoline-powered vehicles. Heavy duty diesel cars contributed the most to the emission reduction of NO_x and particulate matters. ④ The emission reductions for CO, HC, and NO_x were greater in densely populated urban areas in the Jing-jin-ji Region. The emission reductions of CO and HC in Beijing, Tianjin, and Shijiazhuang were more obvious than in other cities, and the emission reductions of NO_x and particulate matters were more obvious in Tianjin, Shijiazhuang, Tangshan, and Handan. ⑤ Comparing the two policies of an early elimination subsidy and traffic restriction, the emission reduction of the former policy is continuous for a few years, and the effectiveness of reduction is significant in several years. However, the effectiveness of the latter policy decreases with time.

Key words: emission reduction benefit; yellow-label vehicle; the early elimination subsidy policy; the traffic restriction policy; Jing-jin-ji Region

有研究表明, 机动车尾气排放是造成城市灰霾的重要原因, 对人体健康有重要影响^[1~3]。随着城镇化的推进和居民生活水平的提高, 我国机动车进入了高速增长期, 机动车排放带来的大气环境问题引发了越来越多的关注^[4]。根据中国环境统计年报^[5]公布的数据, 2011~2015 年, 机动车尾气 NO_x 排放占全国总排放量的比例逐年上升。对京津冀及周边颗粒物组分监测分析表明, 京津冀地区空气污染的主要来源依次是工业和燃煤、机动车排放以及

扬尘; 特别是北京市 PM_{2.5} 组分中, 机动车排放贡献率约占 30%, 极端不利天气条件下会达到 50%^[6]。机动车污染防治已经成为京津冀地区污染

收稿日期: 2017-09-23; 修订日期: 2017-12-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0208400); 美国能源基金会项目(G-1607-24908); 国家自然科学基金项目(41571522, 71433007)

作者简介: 卢亚灵(1984~), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为环境规划与大气污染防治, E-mail: luy@caep.org.cn

* 通信作者, E-mail: jianghq@caep.org.cn

防治的重要工作,加快淘汰黄标车和老旧机动车以及限制其上路是近几年工作的重点.随着《大气污染防治行动计划》(国发〔2013〕37号,“大气十条”)的推进,京津冀地区的黄标车淘汰工作接近尾声.该政策实施的减排效益评估以及不同类型黄标车政策的效益对比,是政策制定者以及公众关心的问题,但是目前鲜有研究.

环境政策的效益评估是对环境政策实施的效果进行科学评判的一种行为;效益评估作为评价各种项目方案效益的方法而得到广泛的应用.OECD国家环境政策费用效益分析研究较早,并用于环境决策进程且提升了环境政策的科学性和可行性;在美国,效益分析在行政上得到了广泛运用,并基本形成一套较完整的效益分析体系;欧盟委员会也对不同环境政策开展了广泛的效益评估;英国、澳大利亚等国家也陆续制定了费用效益分析使用手册、指导原则^[7,8].我国还没有建立完整成熟的环境政策的效益评估体系,但是相关工作已经引起重视并要求建立费用效益分析制度^[8].目前除了对“大气十条”实施以来的PM_{2.5}浓度的综合控制效果评估^[9-12],单一政策评估多是针对电力行业^[13-16]和能源行业^[17,18]的环境效益,针对重大活动期间机动车控制政策效果也有少量研究^[19].本研究拟从黄标车提前淘汰补贴政策 and 禁行政策的污染物减排入手,分析京津冀地区黄标车政策总量减排效益,以期为我国黄标车和老旧机动车政策的效益评估体系提供实践和方法参数参考.

1 京津冀黄标车淘汰政策梳理

黄标车的概念最早出现在1999年,当时北京市环境保护局对排放达不到国I标准的汽车发放黄色标志,该类汽车简称“黄标车”^[20].黄标车淘汰政策是指通过设置各类措施,如经济补贴、限制上路、加强监督检查等,促进黄标车被淘汰,从而达到污染减排和改善大气环境质量的目标.我国黄标车淘汰政策主要分为以下两个大的阶段(表1).

第一阶段(1995~2012年):根据国务院有关规定,中央财政每年从车辆购置附加费中安排3亿元用于老旧汽车更新改造.本阶段主要是从老旧机动车的角度进行黄标车更新淘汰,对大气污染防治的目的性不明显,产生的社会影响力较小.由于奥运会等因素,北京市在这一阶段的执行力度较大.

第二阶段(2013年至今):2013年9月,国务院印发“大气十条”,明确要求各地加快淘汰黄标车和老旧车辆,目标是到2015年,淘汰2005年底前注册营运的黄标车,基本淘汰京津冀、长三角、珠三角等区域内的500万辆黄标车.本阶段主要是从大气污染防治的角度进行黄标车淘汰,制订了大规模的黄标车淘汰计划,并产生显著的社会影响力.天津市、河北省各市在这一阶段基本完成黄标车淘汰工作.

对黄标车影响较大的措施主要包括提前淘汰补贴和限行(限制上路)两个措施.所以对京津冀地区的黄标车淘汰政策的总量减排效益分析,选择这两

表1 京津冀黄标车政策实施时间

Table 1 Timetable for the implementation of the elimination policy for yellow-label vehicles in the Jing-jin-ji Region

城市	提前淘汰补贴实施时间(年-月)	禁行政策实施时间
北京市	2008-09~2010-12	2003年二环路内,2009年1月起五环路(含)以内,2009年10月起六环路(含)以内,2015年12月起全市禁行(由于二环路范围较小,故北京市从2009年计算)
天津市	2012-06~2015-03	2012年7月起中环线(含)以内,2013年1月起外环线(不含)以内道路及滨海新区部分区域,2014年1月起天津市中心城区、滨海新区、环城四区在外环线以外的建成区及两区三县建成区,2015年5月全市范围内
石家庄市	2013-01~2014-12	
唐山市	2014-12~2015-06	
秦皇岛市	2014-01~2015-06	
邯郸市	2013-10~2015-06	
邢台市	2015-09~2015-12	
保定市	2014-09~2015-12	
张家口市	2015-01~2015-06	
承德市	2013-01~2015-12	
沧州市	2013-12~2015-12	
廊坊市	2015-01~2015-12	
衡水市	2013-10~2014-05	

第一阶段:到2013年底,各设区市和省直管县(市)城市建成区全面禁止黄标车通行;第二阶段:到2014年6月底,全省所有县(市)城区和高速公路禁止黄标车通行;第三阶段:到2014年底,所有建制镇城区禁止黄标车通行

个措施进行。“十二五”时期及以前黄标车提前淘汰量以及禁行数量的估算、污染物减排量的评估都以表1的时间段为准。表中数据来自各地环保及相关主管部门发布的文件。由于北京市从2009年起开始实施大范围的禁行，故禁行政策的减排效益从该年开始计算。

2 材料与方法

根据《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》(《指南》)^[21]和《城市机动车排放空气污染物测算方法》(《方法》)^[22]等技术性指导文件,编制京津冀区域黄标车提前淘汰补贴和禁行两个政策下的污染物减排量和新置换车辆的污染物新增量,将两者之差作为总量减排效益。根据《指南》要求,采用排放因子法计算正常行驶的机动车污染物排放量,作为减排量或新增量。

2.1 污染物排放量计算

机动车尾气排放量的排放因子法见公式(1):

$$E_i = \sum EF_i \times P_i \times VKT_i \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中, E_i 为京津冀区域第 i 类机动车对应的 CO 、 HC 、 NO_x 、 $PM_{2.5}$ 或 PM_{10} 的年排放量,单位为 t ; EF_i 为 i 类型机动车行驶单位里程尾气所排放的污染物的量,即排放因子,单位为 $g \cdot km^{-1}$; P_i 为所在地区 i 类型机动车的保有量,单位为辆; VKT_i 为 i 类型机动车的年均行驶里程,单位为 $km \cdot 辆^{-1}$ 。 i 代表不同污染控制水平的机动车类型。

2.2 排放因子 EF_i 的确定

排放因子 EF_i 根据机动车类型确定,不同地区、不同控制水平、不同类型机动车排放因子不同。

$$EF_{i,j} = BEF_i \times \Psi_j \times \gamma_j \times \lambda_i \times \theta_i \quad (2)$$

式中, $EF_{i,j}$ 为 i 类机动车在 j 地区的排放因子, BEF_i 为 i 类机动车的综合基准排放系数, Ψ_j 为 j 地区的环境修正因子, γ_j 为 j 地区的平均速度修正因子, λ_i 为 i 类机动车的劣化修正因子, θ_i 为其他使用条件(如负载系数、油品质量等)修正因子。本研究需根据京津冀实际情况确定黄标车(国 I 前)及其他控制水平机动车的修正排放因子。

汽油车和柴油车、其他燃料类型的综合基准排放因子 BEF 详见文献[21]。

环境修正因子 Ψ_j 通过温度、湿度和海拔修正确定。

$$\Psi_j = \Psi_{Temp} \times \Psi_{RH} \times \Psi_{Height} \quad (3)$$

式中, Ψ_{Temp} 为温度修正因子, Ψ_{RH} 为湿度修正因子, Ψ_{Height} 为海拔修正因子。根据京津冀地区近几年月均温度、湿度(京津冀海拔相对较低,不需要进行高海拔修正)可知,京津冀地区每年有5个月需要进行低温修正,有2个月需要进行高温修正;有5个月需要进行低温低湿修正,有3个月需要进行高温高湿修正,有4个月需要进行低温高湿修正。

道路交通状况修正因子 γ_j 根据当地车辆平均行驶速度确定,分为 <20 、 $20 \sim 30$ 、 $30 \sim 40$ 、 $40 \sim 80$ 和 $>80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 这5个速度区间。相关研究表明^[23,24],城市道路的整体平均车速:夜间为 $44 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,晚高峰为 $34 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,平峰为 $32 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,早高峰为 $28 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。由于微型/小型车以汽油车为主,多为车主市区内上班代步;中型/重型车多为柴油车,为市郊或长途货运。因此假设汽油车速度按 $30 \sim 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、柴油车按 $50 \sim 70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 进行速度修正。

劣化修正因子 λ_i 以2014年为基准,2015~2018年的各类车辆劣化修正。由于本研究主要进行2015年及以前黄标车排放因子的计算,故不进行劣化修正。

其他使用条件 θ_i 的修正主要考虑实际油品含硫量、乙醇汽油的乙醇掺混度和柴油车载重对机动车污染物排放的影响。由于机动车 SO_2 排放量较低,乙醇掺混度等数据难以获取,故不进行相关修正。

2.3 活动水平的确定

主要是确定京津冀地区各市由于补贴而提前淘汰的黄标车及新置换机动车数量、禁行政策下的黄标车禁行量及其年均行驶里程 VKT 。为简化计算,假设提前淘汰补贴车主全部置换新机动车。黄标车保有量和提前淘汰补贴黄标车的数量来自北京市、天津市、河北省及其11个地市的每年度政府工作报告、国民经济和社会发展统计公报、环境保护、公安等部门官方网站,黄标车禁行量通过黄标车保有量与禁行时段、区域范围进行估算。年均行驶里程采取《指南》中的经验值。需要特别说明,由于提前淘汰的黄标车有存活周期残存年,相关研究表明平均为3a^[25],因此本研究假设提前淘汰补贴政策总量减排效益可对后两年继续产生影响。

3 结果与讨论

3.1 修订的黄标车排放因子

以《指南》为指导,结合京津冀地区几个主要城

市的地形及气候、机动车平均行驶速度等因素, 参考已有研究^[26], 修订得到京津冀地区不同燃料类型黄标车排放因子, 见表2~4所示. 对比不同燃料类型各类污染物排放因子可知, 汽油和其他燃料黄标车的CO、HC排放因子较高, 柴油车NO_x和颗粒物排放因子较高; 载货车高于载客车, 大型/重型车高于微型/小型车.

《指南》给出了全国基于登记注册日期的排放标准判定方法, 2011年7月1日至2017年12月31日注册的微型、小型载客和微型、轻型载货机动车

为国IV标准; 2011年1月1日至2013年1月1日注册的中型、大型载客机动车为国IV标准, 以后注册的为国V标准; 2013年7月1日起注册的中型、大型载客, 中型、重型载货机动车为国IV标准. 而且北京市2008~2013年轻型汽油车实行国IV排放标准. 为简化计算, 假设2008~2010年北京市、2012~2015年天津市、2013~2015年河北各市淘汰补贴机动车主, 全部置换为与淘汰的黄标车相同车型的国IV排放标准机动车. 国IV标准机动车排放因子见表2~4.

表2 京津冀地区汽油黄标车和国IV机动车排放因子/g·km⁻¹

Table 2 Emission factor for gasoline-powered yellow-label and Chinese No. 4 standard vehicles in the Jing-jin-ji Region/g·km⁻¹

机动车类型			CO	HC	NO _x	PM _{2.5}	PM ₁₀
载客汽车	微型	国0	24.780	2.553	1.953	0.022	0.024
		国IV	0.655	0.071	0.032	0.002	0.002
	小型	国0	24.780	2.553	1.953	0.022	0.024
		国IV	0.655	0.071	0.032	0.002	0.002
	中型	国0	37.700	3.513	2.911	0.077	0.086
		国IV	1.908	0.102	0.194	0.005	0.005
	大型	国0	97.059	4.891	5.109	0.229	0.254
		国IV	3.632	0.397	0.768	0.034	0.038
载货汽车	微型	国0	46.082	4.741	3.280	0.077	0.086
		国IV	2.283	0.161	0.227	0.005	0.005
	轻型	国0	46.082	4.741	3.280	0.077	0.086
		国IV	2.283	0.161	0.227	0.005	0.005
	中型	国0	118.631	6.545	5.754	0.229	0.254
		国IV	4.336	0.545	0.899	0.034	0.038
	重型	国0	118.631	6.416	5.754	0.229	0.254
		国IV	4.336	0.528	0.899	0.034	0.038

表3 京津冀地区柴油黄标车和国IV机动车排放因子/g·km⁻¹

Table 3 Emission factor for diesel-powered yellow-label and Chinese No. 4 standard vehicles in the Jing-jin-ji Region/g·km⁻¹

机动车类型			CO	HC	NO _x	PM _{2.5}	PM ₁₀
载客汽车	微型	国0	0.783	0.487	1.011	0.163	0.181
		国IV	0.076	0.010	0.518	0.028	0.031
	小型	国0	0.783	0.487	1.011	0.163	0.181
		国IV	0.076	0.010	0.518	0.028	0.031
	中型	国0	2.270	0.924	4.157	1.396	1.551
		国IV	1.068	0.225	2.035	0.092	0.103
	大型	国0	6.113	1.652	9.440	1.120	1.245
		国IV	1.887	0.066	7.518	0.219	0.244
载货汽车	微型	国0	46.082	4.741	3.280	0.077	0.086
		国IV	2.283	0.161	0.227	0.005	0.005
	轻型	国0	46.082	4.741	3.280	0.077	0.086
		国IV	2.283	0.161	0.227	0.005	0.005
	中型	国0	118.631	6.545	5.754	0.229	0.254
		国IV	4.336	0.545	0.899	0.034	0.038
	重型	国0	118.631	6.416	5.754	0.229	0.254
		国IV	4.336	0.528	0.899	0.034	0.038

3.2 各地黄标车保有量及提前淘汰补贴量

通过对北京市、天津市、河北省及其 11 个地市的每年度政府工作报告、国民经济和社会发展统计公报、中国机动车污染防治年报,环境保护、公安

等部门官方网站公布的数据进行梳理分析,结合近几年环境统计数据库的机动车保有量数据,得到相对可靠的北京市、天津市、河北省的历年黄标车保有量和年度提前淘汰数据,分别见表 5、6。

表 4 京津冀地区其他燃料黄标车和国 IV 机动车排放因子/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$

Table 4 Emission factor for other fuel-powered yellow-label and Chinese No. 4 standard vehicles in the Jing-jin-ji Region/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$

机动车类型			CO	HC	NO _x	PM _{2.5}	PM ₁₀
载客汽车	微型	国 0	17.510	2.236	1.721	0.028	0.031
		国 I	0.500	0.062	0.036	0.003	0.003
	小型	国 0	17.510	2.236	1.721	0.028	0.031
		国 I	0.500	0.062	0.036	0.003	0.003
	中型	国 0	9.100	1.920	6.000	0.099	0.110
		国 I	2.330	0.596	1.785	0.006	0.007
	大型	国 0	18.700	3.840	21.160	0.293	0.326
		国 I	4.670	1.192	6.524	0.044	0.049

表 5 京津冀地区黄标车禁行年份的黄标车保有量¹⁾

Table 5 Number of yellow-label vehicles retained during the forbidden years in the Jing-jin-ji Region

城市	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
北京市	196 000	90 000	40 000	32 000	24 000	15 200	5 200	0
天津市					250 000	180 000	100 000	0
石家庄市						107 792	54 477	32 798
唐山市						99 065	47 275	27 260
秦皇岛市						36 291	17 002	9 489
邯郸市						57 542	28 616	16 783
邢台市						45 745	23 715	14 105
保定市						96 176	49 368	29 148
张家口市						33 354	16 461	9 694
承德市						20 371	10 062	5 729
沧州市						77 432	38 902	22 380
廊坊市						62 765	30 359	17 564
衡水市						31 503	15 871	8 807

1) 因 2008 ~ 2011 年、2008 ~ 2012 年天津市、河北省各市没有采取禁行措施,故没有其黄标车保有量

表 6 京津冀地区黄标车提前淘汰补贴数量

Table 6 Number of yellow-label vehicles eliminated subsidy in the Jing-jin-ji Region

城市	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
北京市	60 000	106 000	50 000					
天津市					40 000	70 000	80 000	100 000
石家庄市						98 000	53 000	
唐山市							73 000	32 000
秦皇岛市						6 303	46 200	
邯郸市						90 000	38 000	14 525
邢台市								4 512
保定市							49 187	11 813
张家口市								21 000
承德市						32 863	7 396	5 638
沧州市						87 000	56 000	18 000
廊坊市								30 861
衡水市						27 798	13 145	

3.3 减排量

3.3.1 减排总量

自从北京市 2008 年实施黄标车提前淘汰补贴政策、2009 年实施大范围的禁行政策，天津市 2012 年、河北省各市 2013 年实施两项政策以来，京津冀地区黄标车淘汰政策的污染减排效益明显，具体减排量见表 7 所示。2008 ~ 2011 年主要是北京市实施政策产生的减排效益贡献，随着北京市淘汰补贴政策的结束和黄标车保有量的减少，减排效益在 2011 年减弱。2012 年天津市开始实施相关政策，2013 年河北省相关政策陆续推进，减排量迅速增加。从不同污染物看，黄标车政策的总量减排主要体现在 CO、HC 和 NO_x，颗粒物减排量相对较少。

表 7 两种黄标车政策下的京津冀地区减排总量/t

Table 7 Emission reduction for the yellow-label vehicle elimination policy in the Jing-jin-ji Region/t

年份	CO	HC	NO _x	PM _{2.5}	PM ₁₀
2008	15.68	1.45	1.20	0.03	0.03
2009	15.47	1.43	1.15	0.03	0.03
2010	15.37	1.42	1.12	0.03	0.03
2011	11.25	1.04	0.82	0.02	0.03
2012	24.17	2.21	1.81	0.05	0.05
2013	141.08	10.93	8.96	0.28	0.31
2014	138.90	10.72	8.56	0.27	0.30
2015	138.40	10.59	8.20	0.25	0.28

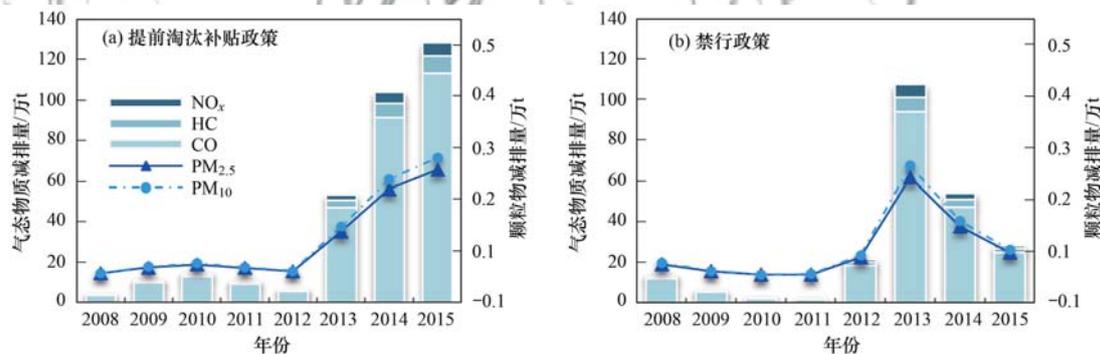


图 1 京津冀地区两种黄标车政策下的减排量

Fig. 1 Emission reductions with the yellow-label vehicle elimination policies in the Jing-jin-ji Region

不同车型减排效益，与各类型机动车的提前淘汰补贴量、禁行量以及其排放因子有关。京津冀地区的黄标车以汽油车和柴油车为主，其他燃料车较少；汽油车的 CO、HC 等排放因子相对较高，柴油车 NO_x 和颗粒物排放因子相对较高。

汽油车中，小型载客汽车与轻型载货汽车是减排的主要贡献车型。这两种车型对各污染物减排的分担率都较大。小型载客汽车对 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀的分担率占汽油车的减排比例分别为

3.3.2 不同政策减排量对比

历年京津冀地区黄标车提前淘汰补贴政策和禁行政策的污染物减排量分别见图 1。2008 年禁行政策减排效益大于提前淘汰补贴政策；2009 ~ 2011 年则正好相反。这期间主要是北京市黄标车政策发挥作用。2012 ~ 2013 年禁行政策比提前淘汰补贴政策减排总量更大，2014 ~ 2015 年提前淘汰补贴政策减排效益更显著。这期间主要是天津市和河北省各市黄标车政策发挥作用。在政策实施初期，禁行政策减排效益更显著；随着政策推进和各地黄标车保有量的减少，提前淘汰补贴政策的减排效益更加凸显。此外，提前淘汰补贴政策主要与当年补贴淘汰黄标车量相关，而且其效益具有一定的时间延续性。

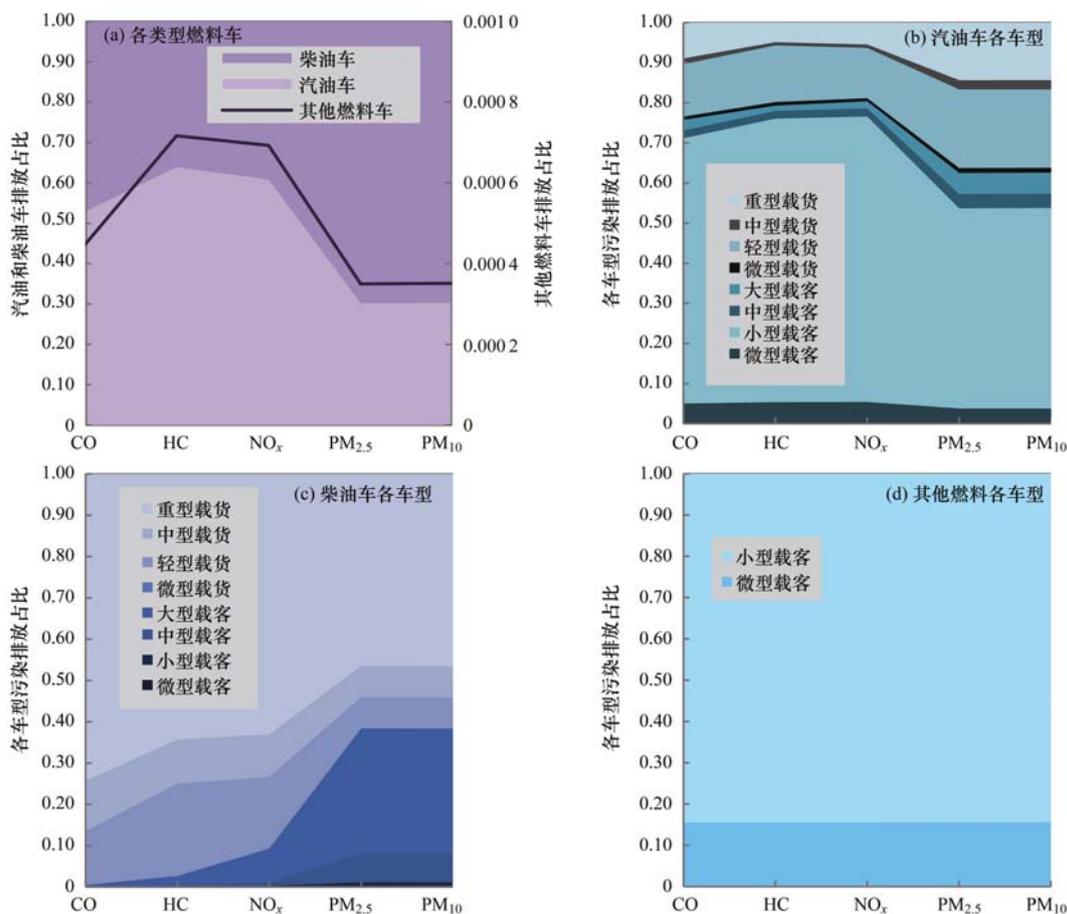
3.3.3 不同车型减排量对比

通过 2008 ~ 2015 年各污染物减排量累加，得到京津冀地区不同燃料类型黄标车提前淘汰补贴与禁行政策的减排量，见图 2(a) 所示。汽油车、柴油车、其他燃料黄标车的不同车型总量减排效益，见图 2(b) ~ 2(d) 所示。汽油车是 CO 与 HC 的减排主体，对这两种污染物的减排分担率分别为 85.7% 与 64.0%。柴油车是 NO_x 和颗粒物的主要减排贡献车型，2008 ~ 2015 年对 NO_x、PM₁₀、PM_{2.5} 的累计减排分担率分别为 79.4%、91.1%、91.0%。其他燃料车的减排量很小。

49.5%、47.4%、50.0%、61.3%、61.4%。轻型载货汽车分别为 20.0%、24.7%、25.5%、14.7%、14.7%。

柴油车中，重型载货汽车是主要贡献车型，对 5 种污染物的减排分担率占柴油车的减排比例分别为 72.7%、67.4%、67.0%、68.0%、67.9%。

其他燃料车，主要是以天然气为主燃料的小型载客汽车和微型载客汽车。由于这类车型的黄标车数量很少，故减排量也相对较少，减排污染物主要



其他燃料车主要是小型载客和微型载客车型减排,其他车型基本没有

图2 京津冀地区黄标车淘汰政策下的不同车型减排量

Fig. 2 Emission reductions of the yellow-label vehicle elimination policy of different vehicle types

是CO,其次是HC和NO_x,颗粒物很少.小型载客汽车减排比例较高,CO、HC、NO_x减排比例都在85%左右.

3.3.4 减排量地区分布

参考相关研究^[27],以道路为基础进行京津冀13个城市网格化计算.从图3可以看出,减排主要体现在CO、HC和NO_x,颗粒物直接减排相对较少.政策实施较早的北京市和天津市,各污染物减排量多于河北省各市.

CO、HC减排集中在北京市、天津市、石家庄市等人口和机动车密集的大城市城区.NO_x和颗粒物减排在北京市城区分布较少,但是在天津市、石家庄市、唐山市、邯郸市减排较多.CO、HC主要是小型载客汽油黄标车减排,京津石等大城市的城区该类黄标车补贴淘汰量和限量都较大,故减排量大;NO_x和颗粒物减排以柴油车为主,而津石唐等重工业特征明显的城市,该类黄标车补贴淘汰量和限量较多,故减排量也较大.

3.4 不确定性分析

评估过程中,不确定性来源主要为活动水平数据的估算以及排放因子的本地化^[4, 28].本研究的不确定性主要包括:①不同车型黄标车估算.北京市、天津市、河北省黄标车补贴淘汰量和保有量数据来自政府公布的数据,不确定性较小.但各车型黄标车补贴淘汰量和保有量数据,则根据2011~2013年环境统计数据中,各市不同车型黄标车数量进行估算,存在一定误差.②黄标车禁行量的估算.各地黄标车禁行范围不是全域覆盖、时间也不是全年禁行,进行计算时也会产生一定误差.③排放因子修正误差.修正过程中的参数系数力求准确,但是月均气温、湿度的估计,道路交通状况修正因子的确定,其他使用条件的修正等,都会产生一定的不确定性.

借鉴相关研究^[29-32],采用评级的方法对各影响因素进行半定量的不确定性评估,为未来进一步研究提供方向.评级从A~E表征数据的可靠性或本地化程度逐渐降低,不确定性增加.本研究建立

的黄标车减排清单具有一定的不确定性，但能够反映京津冀黄标车尾气排放的基本情况，如表 8 所

示。以后仍需提高不同活动水平和排放因子修正的精确性，进一步降低评估的不确定性。

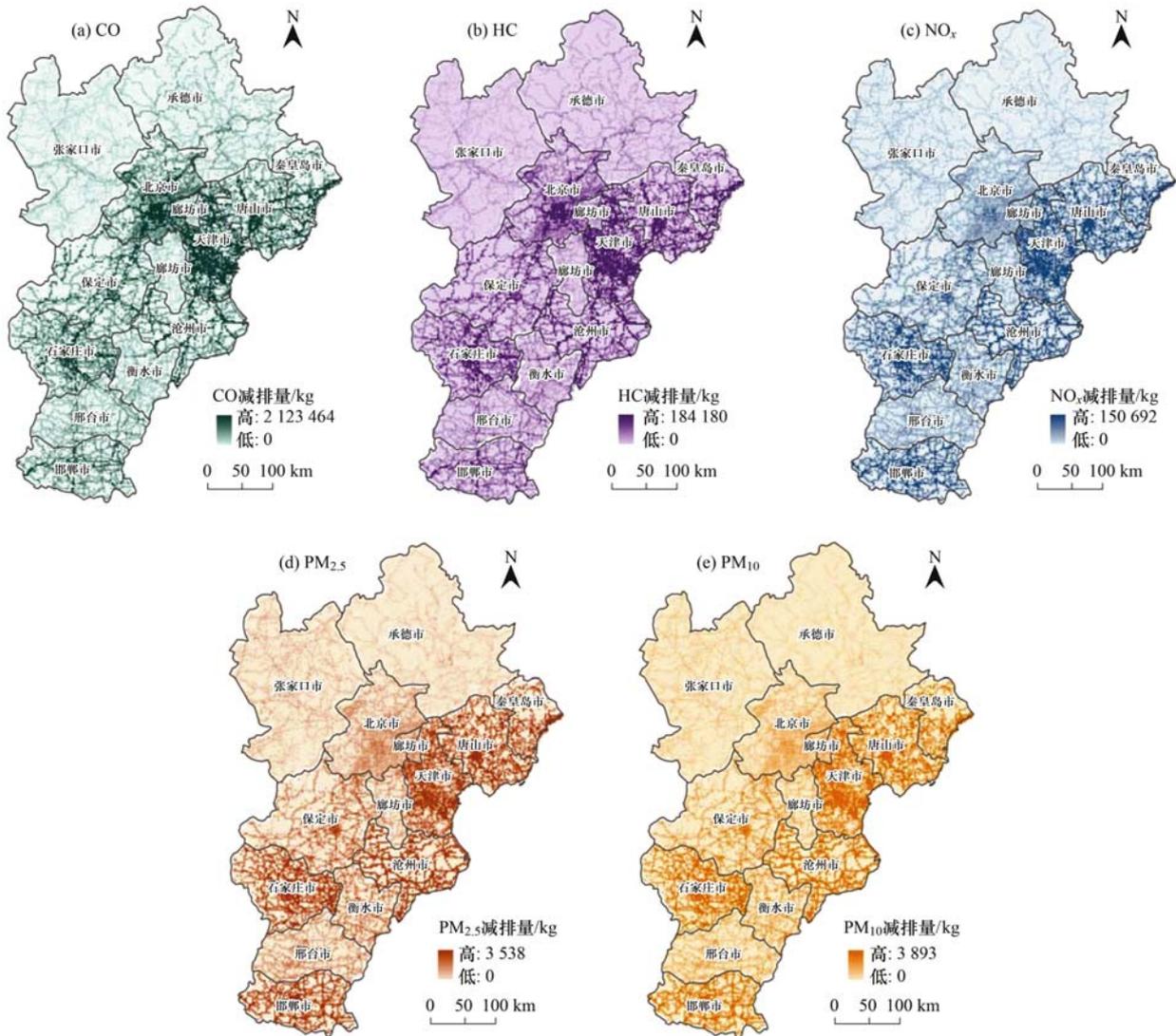


图 3 不同城市黄标车淘汰减排效益

Fig. 3 Emission reduction benefits in different cities

表 8 京津冀黄标车淘汰减排的不确定性

Table 8 Uncertainty regarding the elimination policy emission reductions in the Jing-jin-ji Region

项目	不同车型估算	禁行范围时间估算	排放因子修正	减排量评估
空间	北京市	A ~ B	B	B
	天津市	A ~ B	B	B
	石家庄市	A ~ B	B ~ C	B
	其他城市	B ~ C	B ~ C	B ~ C
时间	2010 年及以前	B	B ~ C	B
	2011 ~ 2013 年	A ~ B	B	B
	2014 ~ 2015 年	B ~ C	B ~ C	B ~ C

4 结论

(1) 京津冀地区实施黄标车政策以来，通过提前淘汰补贴和城区主要路段禁行等措施，取得较好

的减排效益。其中 2008 ~ 2011 年北京市实施黄标车政策，对区域产生减排效益，随着北京市淘汰补贴政策的结束和黄标车保有量的减少，减排效益在 2011 年后减弱。2012 年天津市、2013 年河北省开

始实施黄标车政策,减排量迅速增加。CO、HC、NO_x等污染物减排占当年各地排放量的比例较高,为总量减排工作做出贡献。颗粒物减排相对较小。

(2)从不同车型看,汽油车是CO与HC的排放主体,黄标车淘汰政策对这两种污染物的减排分担率较高,其中小型载客汽车与轻型载货汽车是主要贡献车型。柴油车是NO_x和颗粒物的减排贡献车型,重型载货汽车淘汰的减排效果最为明显。其他燃料车的减排量很小,且以小型载客汽车和微型载客汽车减排为主。

(3)从空间分布看,自从黄标车淘汰政策实施以来,京津冀13个城市CO、HC、NO_x减排效益都较为明显,特别是道路密集的城区。CO、HC减排集中在北京市、天津市、石家庄市等人口和机动车密集的大城市城区。NO_x和颗粒物减排在天津市、石家庄市、唐山市、邯郸市分布比其他地区多。

(4)对比提前淘汰补贴和禁行两种政策,总体来看减排效益的大小主要与政策实施力度、黄标车保有量及补贴淘汰量、禁行量等密切相关。具体到京津冀地区,政策实施初期禁行政策比提前淘汰补贴政策的减排效益显著,主要是因为初期黄标车保有量较多,禁行措施限制较多的黄标车上路和污染物排放。后期黄标车数量逐渐减少,禁行政策效益衰减;而提前淘汰补贴政策的效益具有时间延续性,对后两年继续产生影响,效益凸显。各地应根据黄标车和老旧机动车保有量制定有针对性的政策,在前期可加大禁行力度;随着保有量的减少,可加大淘汰补贴政策力度。

参考文献:

- [1] Fraser M P, Cass G R, Simoneit B R T. Particulate organic compounds emitted from motor vehicle exhaust and in the urban atmosphere[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(17): 2715-2724.
- [2] Buckeridge D L, Glazier R, Harvey B J, et al. Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002, **110**(3): 293-300.
- [3] McDonald J D, Eide I, Seagrave J, et al. Relationship between composition and toxicity of motor vehicle emission samples[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2004, **112**(15): 1527-1538.
- [4] 孙世达,姜巍,高卫东. 青岛市机动车排放清单与空间分布特征[J]. *中国环境科学*, 2017, **37**(1): 49-59.
Sun S D, Jiang W, Gao W D. Vehicle emission inventory and spatial distribution in Qingdao [J]. *China Environmental Science*, 2017, **37**(1): 49-59.
- [5] 中华人民共和国环境保护部. 2015年中国环境统计年报[M]. 北京:中国环境科学出版社,2016.62-63.
- [6] 中华人民共和国环境保护部. 2016年中国机动车环境管理年报[R]. 北京:中华人民共和国环境保护部,2016.5-6.
- [7] EPA. Final plan for periodic retrospective reviews of existing regulations[R]. Washington, DC: Office of Management and Budget, 2000. 1-9.
- [8] 董战峰,王军锋,滕爱玉,等. OECD国家环境政策费用效益分析实践经验及启示[J]. *环境保护*, 2017, **45**(2): 93-98.
Dong Z F, Wang J F, Qu A Y, et al. Implication of the updated cost-benefit analysis practice of environmental policy in OECD membership Countries[J]. *Environmental Protection*, 2017, **45**(2): 93-98.
- [9] 中国科学院“大气灰霾成因与控制”专项总体组. “大气十条”实施以来京津冀PM_{2.5}控制效果评估报告[J]. *中国科学院院刊*, 2015, **30**(5): 668-678.
- [10] 刘俊,安兴琴,朱彤,等. 京津冀及周边减排对北京市PM_{2.5}浓度下降评估研究[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(11): 2726-2733.
Liu J, An X Q, Zhu T, et al. Evaluation of PM_{2.5} decrease in Beijing after emission restrictions in the Beijing-Tianjin-Hebei and surrounding regions [J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(11): 2726-2733.
- [11] 李沈鑫,邹滨,刘兴权,等. 2013-2015年中国PM_{2.5}污染状况时空变化[J]. *环境科学研究*, 2017, **30**(5): 678-687.
Li S X, Zou B, Liu X Q, et al. Pollution status and spatial-temporal variations of PM_{2.5} in China during 2013-2015 [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2017, **30**(5): 678-687.
- [12] 石敏俊,李元杰,张晓玲,等. 基于环境承载力的京津冀雾霾治理政策效果评估[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, **27**(9): 66-75.
Shi M J, Li Y J, Zhang X L, et al. Will the haze control target of Beijing-Tianjin-Hebei region be realized? An assessment based on environmental carrying capacity [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, **27**(9): 66-75.
- [13] 薛文博,杨金田,陈潇君,等. “十一五”电力行业二氧化硫总量控制的环境效益评估[J]. *环境科学研究*, 2010, **23**(11): 1355-1360.
Xue W B, Yang J T, Chen X J, et al. Environmental benefit assessment of the ‘Eleventh Five-Year Plan’ total pollution control of sulfur dioxide emissions from the power industry[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2010, **23**(11): 1355-1360.
- [14] 薛文博,王金南,杨金田,等. 电力行业多污染物协同控制的环境效益模拟[J]. *环境科学研究*, 2012, **25**(11): 1304-1310.
Xue W B, Wang J N, Yang J T, et al. Simulation of environmental effects of multi-pollutants from the electric power industry [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, **25**(11): 1304-1310.
- [15] 朱法华,王临清. 煤电超低排放的技术经济与环境效益分析[J]. *环境保护*, 2014, **42**(21): 28-33.
Zhu F H, Wang L Q. Analysis on technology-economy and environment benefit of ultra-low emission from coal-fired power units [J]. *Environmental Protection*, 2014, **42**(21): 28-33.
- [16] 周磊,周洋毅,吴建. 浙江省火电行业主要污染物减排环境效益研究[J]. *中国环境管理*, 2015, **7**(5): 89-95.
Zhou L, Zhou Y Y, Wu J. Study on environmental benefits of the main pollutant emission reduction by thermal power industry

- in Zhejiang Province [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2015, 7(5): 89-95.
- [17] 朱超, 史志斌. 重点能源转型政策环境绩效评价研究[J]. 环境影响评价, 2017, 39(4): 4-9.
Zhu C, Shi Z B. Study of environmental performance assessment of key energy transformation policies[J]. Environmental Impact Assessment, 2017, 39(4): 4-9.
- [18] 张继平, 宁杨翠, 刘春兰, 等. 北京市门头沟区“煤改电”工程大气环境质量改善效果监测分析[J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(10): 898-906.
Zhang J P, Ning Y C, Liu C L, *et al.* Monitoring and analysis of effect of project ‘replacing coal with electricity’ improving atmospheric environmental quality in Mentougou District, Beijing [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2017, 33(10): 898-906.
- [19] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. APEC 会议期间北京机动车排放控制效果评估[J]. 环境科学, 2016, 37(1): 74-81.
Fan S B, Tian L D, Zhang D X, *et al.* Evaluation on the effectiveness of vehicle exhaust emission control measures during the APEC Conference in Beijing [J]. Environmental Science, 2016, 37(1): 74-81.
- [20] 范秀英, 张微, 韩圣慧. 我国汽车尾气污染状况及其控制对策分析[J]. 环境科学, 1999, 20(5): 102-108.
Fan X Y, Zhang W, Han S H. Vehicle pollution situation and its control in China [J]. Environmental Science, 1999, 20(5): 102-108.
- [21] 中华人民共和国环境保护部. 道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2014. 32-48.
- [22] HJ/T 180-2005, 城市机动车排放空气污染测算方法[S].
HJ/T 180-2005, Method for estimation of air pollution from vehicular emission in urban area[S].
- [23] 何立强, 胡京南, 祖雷, 等. 国 I ~ 国 III 重型柴油车尾气 PM_{2.5} 及其碳质组分的排放特征[J]. 环境科学学报, 2015, 35(3): 656-662.
He L Q, Hu J N, Zu L, *et al.* Emission characteristics of exhaust PM_{2.5} and its carbonaceous components from China I to China III heavy-duty diesel vehicles [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(3): 656-662.
- [24] 田灵娣, 樊守彬, 张东旭, 等. 行驶速度对机动车尾气排放的影响[J]. 环境工程学报, 2016, 10(11): 6541-6548.
Tian L D, Fan S B, Zhang D X, *et al.* Influence of average speed on vehicle exhaust emissions [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(11): 6541-6548.
- [25] Lavee D, Becker N. Cost-benefit analysis of an accelerated vehicle-retirement programme [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2009, 52(6): 777-795.
- [26] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. 北京市机动车尾气排放因子研究[J]. 环境科学, 2015, 36(7): 2374-2380.
Fan S B, Tian L D, Zhang D X, *et al.* Emission factors of vehicle exhaust in Beijing [J]. Environmental Science, 2015, 36(7): 2374-2380.
- [27] 王人洁, 王堃, 张帆, 等. 中国国道和省道机动车尾气排放特征[J]. 环境科学, 2017, 38(9): 3553-3560.
Wang R J, Wang K, Zhang F, *et al.* Emission characteristics of vehicles from national roads and provincial roads in China [J]. Environmental Science, 2017, 38(9): 3553-3560.
- [28] 毛红梅, 张凯山, 第宝锋. 四川省天然源 VOCs 排放量的估算和时空分布[J]. 中国环境科学, 2016, 36(5): 1289-1296.
Mao H M, Zhang K S, Di B F. Studies on estimates of biogenic VOC emission and its temporal and spatial distribution in Sichuan [J]. China Environmental Science, 2016, 36(5): 1289-1296.
- [29] 尹佩玲, 黄争超, 郑丹楠, 等. 宁波-舟山港船舶排放清单及时空分布特征[J]. 中国环境科学, 2017, 37(1): 27-37.
Yin P L, Huang Z C, Zheng D N, *et al.* Marine vessel emission and its temporal and spatial distribution characteristics in Ningbo-Zhoushan Port [J]. China Environmental Science, 2017, 37(1): 27-37.
- [30] 张礼俊, 郑君瑜, 尹沙沙, 等. 珠江三角洲非道路移动源排放清单开发[J]. 环境科学, 2010, 31(4): 886-891.
Zhang L J, Zheng J Y, Yin S S, *et al.* Development of non-road mobile source emission inventory for the Pearl River Delta Region [J]. Environmental Science, 2010, 31(4): 886-891.
- [31] EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook-2013 [EB/OL]. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>, 2013-08-29.
- [32] 郑君瑜, 张礼俊, 钟流举, 等. 珠江三角洲大气面源排放清单及空间分布特征[J]. 中国环境科学, 2009, 29(5): 455-460.
Zheng J Y, Zhang L J, Zhong L J, *et al.* Area source emission inventory of air pollutant and its spatial distribution characteristics in Pearl River Delta [J]. China Environmental Science, 2009, 29(5): 455-460.

CONTENTS

Diurnal Variation of SOA Formation Potential from Ambient Air at an Urban Site in Beijing	LIU Jun, CHU Bi-wu, HE Hong (2505)
Characteristics of Key Size Spectrum of PM _{2.5} Affecting Winter Haze Pollution in Taiyuan	YANG Su-ying, YU Xin-yang, ZHAO Xiu-yong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Ions in PM _{2.5} During Winter in Panjin	ZHANG Lei, JI Ya-qin, WANG Shi-bao, <i>et al.</i> (2521)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in the Rainy Season of Guangzhou City	GU Ying-gang, YU Xiao-fang, YANG Wen-da, <i>et al.</i> (2528)
Emission Characteristics of Dehydrated Sugar and Acephenanthrylene in Particles from Tropical Forest Burning	JIN Cheng-miao, CUI Min, HAN Yong, <i>et al.</i> (2538)
Construction and Application of Vertical Diffusion Index for Analyzing Weather During Pollution Events in Tianjin	CAI Zi-ying, HAN Su-jin, ZHANG Min, <i>et al.</i> (2548)
Comparison Between Atmospheric Wet-only and Bulk Nitrogen Depositions at Two Sites in Subtropical China	ZHU Xiao, WANG Jie-fei, SHEN Jian-lin, <i>et al.</i> (2557)
Emission Reduction Benefits When Eliminating Yellow-label Vehicles in the Jing-jin-ji Region	LU Ya-ling, ZHOU Jia, CHENG Xi, <i>et al.</i> (2566)
Health Assessment of the Stream Ecosystem in the North Canal River Basin, Beijing, China	GU Xiao-yun, XU Zong-xue, LIU Lin-fei, <i>et al.</i> (2576)
Pollution Characteristics and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Phthalic Acid Esters During High Water Level Periods in the Wuhan Section of the Yangtze River, China	DONG Lei, TANG Xian-qiang, LIN Li, <i>et al.</i> (2588)
Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Downstream Areas of the Aojiang River, Fujian Province	ZHANG Dan-dan, GUO Ya-ping, REN Hong-yun, <i>et al.</i> (2600)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in the Sediments of the Estuary of the Tributaries in the Three Gorges Reservoir, SW China	FANG Zhi-qing, CHEN Qiu-yu, YIN De-liang, <i>et al.</i> (2607)
Assessment of Physico-chemical Properties and Phosphorus Fraction Distribution Characteristics in Sediments after Impounding of the Three Gorges Reservoir to 175 m	PAN Chan-juan, LI Rui, TANG Xian-qiang, <i>et al.</i> (2615)
Source of Nitrate in Surface Water and Shallow Groundwater Around Baiyangdian Lake Area Based on Hydrochemical and Stable Isotopes	KONG Xiao-le, WANG Shi-qin, DING fei, <i>et al.</i> (2624)
Thermal Stratification and Its Impacts on Water Quality in Shahe Reservoir, Liyang, China	SUN Xiang, ZHU Guang-wei, DA Wen-yi, <i>et al.</i> (2632)
Spatial and Temporal Variation Characteristics of Drip Water Hydrogeochemistry in the Xueyu Cave of Chongqing and Its Implications for Environmental Research	ZENG Ze, JIANG Yong-jun, LÜ Xian-fu, <i>et al.</i> (2641)
Distinguishing the Compositions and Sources of the Chromophoric Dissolved Organic Matter in a Typical Karst River During the Dry Season; A Case Study in Bitan River, Jinfo Mountain	LIU Yue, HE Qiu-fang, LIU Ning-kun, <i>et al.</i> (2651)
Environmental Significance of the Stable Isotopes in Precipitation at Different Altitudes in the Tuolai River Basin	LI Yong-ge, LI Zong-xing, FENG Qi, <i>et al.</i> (2661)
Spatial-Temporal Variations of CO ₂ and CH ₄ Flux Through a Water-air Interface Under the Effect of Primary Productivity in Wulixia Reservoir	PENG Wen-jie, LI Qiang, SONG Ang, <i>et al.</i> (2673)
Spatiotemporal Succession Characteristics of Algal Functional Groups and Its Impact Factors for a Typical Channel-Type Reservoir in a Southwest Mountainous Area	ZHANG Yao-wen, LI Hong, LI Jia, <i>et al.</i> (2680)
Seasonal Succession of Phytoplankton Functional Groups and Their Driving Factors in the Siminghu Reservoir	ZHENG Cheng, LU Kai-hong, XU Zhen, <i>et al.</i> (2688)
Effects of Nutrient Addition on the Growth and Competition of Bloom Forming Cyanobacterium <i>Chrysochloris ovalisporum</i> ; An In-situ Experiment	WANG Meng-meng, ZHANG Wei, ZHANG Jun-yi, <i>et al.</i> (2698)
Purification Effect of Submerged Macrophyte System with Different Plants Combinations and C/N Ratios	LIU Miao, CHEN Kai-ning (2706)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Concentration Dynamics in Natural Ditches Under an Irrigation-Drainage Unit in the Jiangnan Plain	HUA Ling-ling, ZHANG Fu-lin, ZHAI Li-mei, <i>et al.</i> (2715)
Distribution and Treatment of Antibiotics in Typical WWTPs in Small Towns in China	CHAI Yu-feng, ZHANG Yu-xiu, CHEN Mei-xue, <i>et al.</i> (2724)
Effects and Mechanism of the Combination of Ozone-PAC as a Pretreatment for the Reduction of Membrane Fouling	DONG Bing-zhi, GAO Hao-yang, HU Meng-liu (2732)
Start-up and Process Characteristics of Simultaneous ANAMMOX and Denitrification (SAD) in a Pilot-scale Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)	YU De-shuang, TANG Jia-jia, ZHANG Jun, <i>et al.</i> (2740)
Phosphate Removal on Zirconium Alginate/Poly(<i>N</i> -isopropyl acrylamide) Hydrogel Beads with a Semi-interpenetrating Network	ZENG Xue-yang, LUO Hua-yong, ZHANG Yao-kun, <i>et al.</i> (2748)
Shortcut Nitrification Rapid Start and Stability of Corn Starch Wastewater	LONG Bei-sheng, LIU Xun-lei, LIU Hong-bo, <i>et al.</i> (2756)
Nitrifying Bacteria Culture in Entrapment Immobilization	YANG Hong, HU Yin-long (2763)
Performance of the Removal of Nitrogen During Anaerobic Ammonia Oxidation Using Different Operational Strategies	AN Fang-jiao, PENG Yong-zhen, DONG Zhi-long, <i>et al.</i> (2770)
Transformation of Protein in Sludge During High Solids Anaerobic Digestion	ZHAN Yu, SHI Wan-sheng, ZHAO Ming-xing, <i>et al.</i> (2778)
Changes in Heavy Metal Speciation and Release Behavior Before and After Sludge Composting Under a Phosphate-rich Atmosphere	LI Yu, FANG Wen, QI Guang-xia, <i>et al.</i> (2786)
Effect of Denitrification and Phosphorus Removal Microorganisms in Activated Sludge Bulking Caused by Filamentous Bacteria	GAO Chen-chen, YOU Jia, CHEN Yi, <i>et al.</i> (2794)
Microbial Population Dynamics During Domestication and Cultivation of Biofilm to Remove and Enrich Phosphate	MENG Xuan, PAN Yang, ZHANG Hao, <i>et al.</i> (2802)
Effects of Elevated Tetracycline Concentrations on Aerobic Composting of Human Feces: Composting Behavior and Microbial Community Succession	SHI Hong-lei, WANG Xiao-chang, LI Qian, <i>et al.</i> (2810)
Effect of Long-term Organic Amendments on Nitric Oxide Emissions from the Summer Maize-Winter Wheat Cropping System in Guanzhong Plain	YUAN Meng-xuan, WANG Jin-feng, TAN Yue-hui, <i>et al.</i> (2819)
Effects of Mushroom Residue Application Rates on Net Greenhouse Gas Emissions in the Purple Paddy Soil	QI Le, GAO Ming, ZHOU Peng, <i>et al.</i> (2827)
Estimation of Winter Wheat Photosynthesized Carbon Distribution and Allocation Belowground via ¹³ C Pulse-labeling	SUN Zhao-an, CHEN Qing, HAN Xiao, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Vegetation Restoration on Soil Nitrogen Pathways in a Karst Region of Southwest China	YANG Yi, OUYANG Yun-dong, CHEN Hao, <i>et al.</i> (2845)
Identifying the Origins and Spatial Distributions of Heavy Metals in the Soils of the Jiangsu Coast	LÜ Jian-shu, HE Hua-chun (2853)
Source Identification and Spatial Distribution of Heavy Metals in Soils in Typical Areas Around the Lower Yellow River	YU Yuan-he, LÜ Jian-shu, WANG Ya-meng (2865)
Spatial Variation of Soil Heavy Metals in Lin'an City and Its Potential Risk Evaluation	ZHENG Jing-zhi, WANG Chu-dong, WANG Shi-han, <i>et al.</i> (2875)
Principal Component Analysis and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils around a Pb-Zn Mine in Southwestern China	ZHOU Yan, CHEN Qiang, DENG Shao-po, <i>et al.</i> (2884)
Spatial Variation of Heavy Metals in Soils and Its Ecological Risk Evaluation in a Typical <i>Carya cathayensis</i> Production Area	ZHANG Hong-ju, ZHAO Ke-li, YE Zheng-qian, <i>et al.</i> (2893)
Influence of Biochar Application on Growth and Antioxidative Responses of Macrophytes in Subsurface Flow Constructed Wetlands	HUANG Lei, CHEN Yu-cheng, ZHAO Ya-qi, <i>et al.</i> (2904)
Effect of Iron on the Release of Arsenic in Flooded Paddy Soils	WANG Xin, ZHONG Song-xiong, CHEN Zhi-liang, <i>et al.</i> (2911)
Concentrations and Health Risk Assessments of Heavy Metal Contents in Soil and Rice of Mine Contaminated Areas	TIAN Mei-ling, ZHONG Xue-mei, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (2919)
Effect of Calcium Silicate-biological Humus Fertilizer Composite on Uptake of Cd by Shallots from Contaminated Agricultural Soil	LIU De-ling, YIN Guang-cai, CHEN Zhi-liang, <i>et al.</i> (2927)
Accumulation Characteristics of Heavy Metals in Greenhouse Soil and Vegetables in Siping City, Jilin Province	LI Lian-fang, ZHU Chang-xiong, ZENG Xi-hai, <i>et al.</i> (2936)
Effect of Foliar Zinc Application on Bioaccessibility of Cadmium and Zinc in Pakchoi	WANG Lin, GU Peng-lei, LI Ran, <i>et al.</i> (2944)
Mercury Distribution of Benthonic Animals and Response to Mercury in Sediments in Caohai Wetland, Guizhou Province	XU Yi-yuan, ZENG Ling-xia, HE Tian-rong, <i>et al.</i> (2953)
Discussion of Emissions and Health Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from the Retreading Process of Waste Tires	FU Jian-ping, ZHAO Bo, LI Yu-qing, <i>et al.</i> (2963)
Spatiotemporal Dynamics of CO ₂ Emissions in Chongqing: An Empirical Analysis at the County Level	SUN Xiu-feng, SHI Kai-fang, WU Jian-ping (2971)
Impact of Size on Environmental Behavior of Metal Oxide Nanoparticles	YAN Yu-peng, TANG Ya-dong, WAN Biao, <i>et al.</i> (2982)
Fate and Toxicity of UV Filters in Marine Environments	ZHU Xiao-shan, HUANG Jing-ying, LÜ Xiao-hui, <i>et al.</i> (2991)