

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 (1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平 (8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 (15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳 (21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远 (27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 (34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 (39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋 (45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 (51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 (61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 (69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 (77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军 (84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 (91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 (98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 (108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟 (116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 (121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 (129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 (137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 (145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 (150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 (156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 (163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 (169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 (177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴 (182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓 (188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 (194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 (198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文 (204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 (209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏 (217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 (226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 (231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 (237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 (244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 (251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 (257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 (263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文 (271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 (277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 (283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博 (288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 (293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟 (302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋 (308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲 (315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 (321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志 (328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 (336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 (347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 (357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 (364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 (373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 (379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新 (385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌 (395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌 (401)
《环境科学》征订启事 (26)	《环境科学》征稿简则 (68)
信息 (76,144,301,400)	专辑征稿通知 (394)

低碳交通电动汽车碳减排潜力及其影响因素分析

施晓清, 李笑诺, 杨建新

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 交通运输是城市能源消耗和碳排放的重点行业, 为通过节能减排实现低碳城市发展目标, 传统汽油车向新能源汽车的转型是一项重要的举措, 其中电动汽车因其节能减排的优势将在这次转型中发挥重要作用. 在全面总结现有电动汽车节能减排研究成果的基础上, 分析了影响电动汽车的减排因素, 并应用燃料生命周期的理论, 结合北京市的电动汽车推广计划, 以纯电动汽车为例, 采用改进的燃料碳排放模型, 并设置6种情景分析了电动汽车的碳排放及其减排潜力, 包括发电能源结构、车用燃料类型(单位燃料的CO₂排放系数)、汽车类型(百公里能耗)、城市交通状况(时速)、煤电发电技术、电池类型(重量、能效)等因素对电动汽车减排潜力的影响. 结果表明, 改进后的模型能更科学测算燃料消耗碳排放; 纯电动汽车具有明显的制约性碳减排潜力, 在分析的6种影响因素中其波动幅度为57%~81.2%, 其中, 发电能源结构和煤电技术供电路线对电动汽车燃料生命周期碳减排空间起决定性作用, 其减排空间分别可达78.1%及81.2%. 最后从改善能源结构、提高煤电技术、推广节能技术、加快动力蓄电池研发、推广纯电动汽车等方面提出了推广电动汽车降低交通能耗和碳排放的优化措施, 以期对低碳交通新能源汽车转型政策的制定提供科学依据和方法支撑.

关键词: 电动汽车; 碳排放; 生命周期; 减排潜力; 影响因素

中图分类号: X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2013)01-0385-10

Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors

SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Transportation is the key industry of urban energy consumption and carbon emissions. The transformation of conventional gasoline vehicles to new energy vehicles is an important initiative to realize the goal of developing low-carbon city through energy saving and emissions reduction, while electric vehicles (EV) will play an important role in this transition due to their advantage in energy saving and lower carbon emissions. After reviewing the existing researches on energy saving and emissions reduction of electric vehicles, this paper analyzed the factors affecting carbon emissions reduction. Combining with electric vehicles promotion program in Beijing, the paper analyzed carbon emissions and reduction potential of electric vehicles in six scenarios using the optimized energy consumption related carbon emissions model from the perspective of fuel life cycle. The scenarios included power energy structure, fuel type (energy consumption per 100 km), car type (CO₂ emission factor of fuel), urban traffic conditions (speed), coal-power technologies and battery type (weight, energy efficiency). The results showed that the optimized model was able to estimate carbon emissions caused by fuel consumption more reasonably; electric vehicles had an obvious restrictive carbon reduction potential with the fluctuation of 57%-81.2% in the analysis of six influencing factors, while power energy structure and coal-power technologies play decisive roles in life-cycle carbon emissions of electric vehicles with the reduction potential of 78.1% and 81.2%, respectively. Finally, some optimized measures were proposed to reduce transport energy consumption and carbon emissions during electric vehicles promotion including improving energy structure and coal technology, popularizing energy saving technologies and electric vehicles, accelerating the battery R&D and so on. The research provides scientific basis and methods for the policy development for the transition of new energy vehicles in low-carbon transport.

Key words: electric vehicle; carbon emission; life cycle; carbon reduction potential; influencing factors

自1992年人类第一个应对全球变暖问题的国际公约《联合国气候变化框架公约》缔结以来, 温室气体的减排已引起国际社会的普遍关注, 从1997年《京都议定书》的签署, 到2007年“巴厘岛路线图”的制定, 以及2009年哥本哈根会议上各国达成在2050年前控温2℃的共识, 都表明碳减排已成为各国政府环境事务中的重要议题.

从世界范围看, 交通运输是各国能源消耗和碳排放的重点行业. 在发达国家, 交通运输部门的能源消费占能源消费总量的25%~30%, 排放的二氧

收稿日期: 2012-05-08; 修订日期: 2012-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(71173208); 城市与区域生态国家重点实验室开放基金项目(SKLURE2008-1-01)

作者简介: 施晓清(1966~), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为城市及产业生态学和城市生态管理, E-mail: shixq@rcees.ac.cn

化碳占总量的 1/3 左右. 欧盟 27 国的能源与交通数据统计显示,运输业碳排放总量及其在各行业中所占的比重呈逐年快速上升趋势^[1](图 1). 2008 年,奥斯陆气候和环境国际研究中心在美国《国家科学院学报》月刊上发表的研究报告^[2]指出,汽车、轮船、飞机和火车使用燃料所释放的气体是目前造成全球变暖的主要原因之一. 过去 10 a 全球二氧化碳排放总量增加了 13%,而源自交通工具的碳排放增长率却达 25%.

从国内实际看,汽车产业作为石油消耗和温室

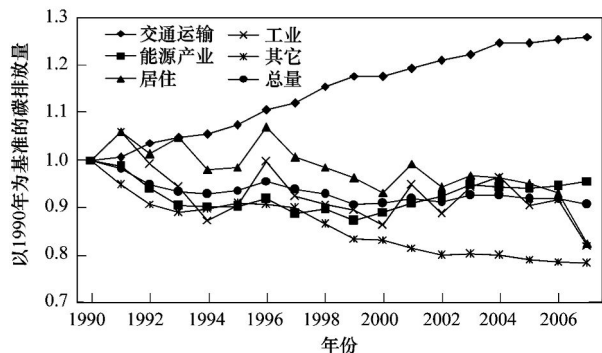


图 1 欧盟 27 国温室气体排放量(按行业类别)

Fig. 1 EU-27 GHG emissions by sector

表 1 汽车生产、温室气体排放现状及预测

Table 1 Status and forecast of car production, GHG emission

年份	汽车产销量/万辆	汽车保有量/万辆	中国 GHG 排放量(以 CO ₂ 计)/亿 t	交通运输碳排放的比重/%
2008	938	6 289	86.7	5.05
2030	7 500	23 000 ~ 25 000	109	9

依据和方法支撑.

1 材料与方法

1.1 交通领域碳排放研究方法综述

气体排放的大户,在我国石油对外依存度不断提高的严峻形势下,汽车产销量、保有量的大幅度增长,必然对我国的能源安全以及“至 2020 年,单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40% ~ 45%”的减排承诺产生巨大压力. 如表 1 所示,预计从 2008 ~ 2030 年,我国汽车产销量和汽车保有量将分别以年均 31.8%、12.8% 的速度增长,由此导致的温室气体排放量及交通运输所占的比重将分别以年均 1.2%、3.5% 的速度增长^[3]. 因此,城市交通的节能减排和以“低碳经济”理念为指导的新能源汽车的转型成为我国低碳城市建设的重要工作之一. 同时,在传统汽油车向新能源汽车转型的潮流中,电动汽车由于具有污染少、能源转化率高、晚间低谷充电、在我国锂资源储量丰富以及国家政策支持等优势,成为我国新能源汽车转型的首选. 本研究结合北京市的电动汽车推广计划,以纯电动汽车为对象,在全面总结现有电动汽车节能减排研究成果的基础上^[3~48],运用生命周期理论,利用改进的燃料碳排放模型量化分析了 6 种不同情景下电动汽车燃料生命周期的碳减排潜力,探索了影响电动汽车碳排放的关键因素,以期对低碳交通政策制定提供科学

当前国内外学者根据不同目的、对象、尺度提出了许多分析交通领域碳排放的方法,主要有:因素分解法、模型分析法、投入产出法和生命周期评价,其适用范围和优缺点如表 2 所示.

表 2 交通碳排放分析方法归类

Table 2 A classification of analysis methods for transport carbon emission

方法	类别	适用范围	优缺点
因素分解法	LMDI ^[4,5] Laspeyre ^[6] STIRPAT ^[7] Kaya ^[8] GAID ^[9]	把目标变量的变化分解成若干个影响因素,辨别各个因素的影响程度	①客观分析交通碳排放的影响因素 ②数据来源不足造成因素不完全分解 ③只限于分解为行业尺度的运输模式、经济规模、能源强度等宏观因素
模型分析法	TC-SIM ^[10] 系统动力模型 ^[11] LEAP ^[12] 客货周转量模型 ^[3] 燃料碳排放模型 ^[13~21]	①燃料的碳排因子 × 燃料消耗量 ②不同的参数或修正碳排放系数分析国家等不同尺度的 CO ₂ 排放量和减排潜力 ③不同情景下交通领域的碳排放分析及预测	①前 5 种模型适用于政策指导和情景预测 ②燃料碳排放模型对数据要求不高,适用于计算某交通工具使用过程中的碳排放;方法简便易于实现,结果能够真实反映由于消耗燃料产生的碳排放
投入产出法		城市、国家等宏观尺度研究各产业部门的碳排放 ^[22~25]	①反映经济对环境的直接、间接影响 ②分部门计算 CO ₂ , 对生产不同产品的部门采用平均化方法产生误差 ③只得到行业数据,无法获悉产品情况
生命周期评价		①研究产品生产、使用、回收的能量和物质利用及废弃物排放 ②各类汽车、燃料生命周期的能耗、GHG 排放等环境影响 ^[26~48]	①边界系统完善,适用于产品尺度 ②对数据质量的要求较高,若无法获知原始数据的情况下采用次级数据,结果的不确定性较大

比较各种方法的应用范围和优缺点可以看出,燃料碳排放模型适用于产品和行业尺度,生命周期评价适用于产品尺度,其它方法适用于行业、城市、国家等宏观尺度,应用具体方法时又有数据质量、时空尺度等局限。考虑到本文的研究对象为电动汽车,研究目标为探索影响电动汽车碳排放的因素及各因素的碳减排效果,数据来源仅限于汽车使用阶段,因此采用燃料碳排放模型并针对损耗和转换效率进行修正,分析时在前人研究的基础上考虑多个参数,优化数据质量,用具体车型的具体参数值代替平均值和假设值,由单纯计算电动汽车碳排放拓展到深度探索减排潜力及影响碳排放各因素的影响效果。

1.2 燃料生命周期碳排放计算方法

所谓燃料生命周期涉及能源开采、加工,燃料生产、运输、储存、分配以及汽车使用的整个过程,汽车用燃料的碳排放系数就是从燃料生命周期的角度考虑单位燃料的碳排放。国外应用燃料碳排放模型研究已有 20 多年的历史,被广泛用于从生命周期角度评价汽车替代燃料的环境影响及效益。本研究在保留了汽车保有量、行驶里程、平均百公里能耗、汽车用燃料的碳排放系数等参数的基础上,考虑到生产、输送及使用过程中存在燃料损耗,为提高结果的准确性和科学性,用输电效率、汽油运输效率、充电效率等参数修正模型如下:

$$EM = \frac{VS \times U \times FE \times EF}{TE \times CE} \times \frac{12}{44} \quad (1)$$

式中,EM 为汽车碳排放量(t); VS 为汽车保有量(辆); U 为汽车行驶里程(km); FE 为汽车平均百公里能耗[$10^{-2} \text{ L} \cdot \text{km}^{-1}$ 或 $10^{-2} (\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot \text{km}^{-1}$]; EF 为汽车用燃料的 CO_2 排放系数 [$\text{t} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{t} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$]; TE 为输电效率或汽油运输效率(%); CE 为充电效率(%).

2 碳减排及其影响因素

发展电动汽车有利于中国节能减排目标的实现。电动汽车的能源利用效率比传统燃油汽车高出 46% 以上,并具有 13% ~ 68% 的二氧化碳减排潜力^[49],但其减排潜力受多因素影响。下面将依次探索发电能源结构、车用燃料类型(单位燃料的 CO_2 排放系数)、汽车类型(百公里能耗)、城市交通状况(时速)、煤电技术供电路线、电池类型(重量、能效)等 6 个因素对电动汽车燃料生命周期碳排放的影响效果。

2.1 北京市电动汽车发展规划

根据北京汽车行业协会制定的北京汽车产业“十二五”发展规划,2015 年北京的纯电动汽车在用车将达到 10 万辆的规模,并将以乘用车为主;北京市发改委称,2012 年北京市将在多个区县开展纯电动出租车试点工作,在原有延庆试点 50 辆纯电动出租车(车型为北汽迷迪纯电动出租车 BJ6438EV1)基础上,再增加 400 辆,从而使全市纯电动出租车规模达到 450 辆;根据北京市科委、市财政局编制的《北京市私人购买新能源汽车补贴试点方案》,到 2012 年底北京市计划推动私人购买新能源汽车 3 万辆,其中纯电动汽车 23 000 辆、插电式混合动力汽车 7 000 辆。同时《方案》明确,自今年下半年起,在北京私人购买新能源汽车可直接上牌,无需参加小客车指标申请摇号;北京市科委新闻发言人朱世龙表示,到 2012 年,北京预计建成充电站 100 座,充电桩 3.6 万个。

2.2 发电能源结构的影响

根据《北京市“十一五”时期电力发展规划》和《北京市“十二五”时期能源发展建设规划》,2010 年和 2015 年北京市的能源消费结构和发电能源结构中各种能源所占的比重如表 3 所示。

表 3 北京市能源消费结构和发电能源结构表¹⁾

能源种类	2010 年		2015 年		燃料的 CO_2 排放系数/ $\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	
	能源结构/%	发电能源结构/%	能源结构/%	发电能源结构/%	2010 年	2015 年
煤炭	30.3	41.68	16.8	0	0.836	0.811
天然气	13.1	28.22	24.2	69.09	0.413	0.413
新能源和可再生能源	3.2	6.25	6.1	11.91	0	0
水	—	3.43	—	—	0	0
其它	30.4	20.42	28.3	19	—	—
调入电	23	23	24.4	24.4	0.806	0.786

1) 调入电由华北电网和京津唐电网提供,2010 年华北电力集团供电煤耗为 $328.2 \text{ g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$,清洁能源装机比例高达 25%,力争 2015 年供电煤耗低于 $320 \text{ g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$,清洁能源比重有望超过或接近 30%;我国以火力发电为主,以燃烧煤炭的火力发电为参考,2010 年每生产 1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 电要消耗约 0.342 kg 标准煤,预计 2015 年将降到 0.33 kg 标准煤^[50],国家发改委根据中国的煤炭利用比例,建议煤的含碳量取值为 67%,折合 CO_2 排放量 2010 年为 0.836 kg、2015 年为 0.811 kg;2015 年发电能源结构除煤炭外,其它能源数据根据 2010 年能源结构与发电能源结构的比例推算

发电能源结构决定了单位电量的 CO_2 排放系数,绝大部分的中国电力是由火力发电厂产生的,但一个城市真实的能源结构取决于它的地理位置. 综合考虑北京市的发电结构由煤炭、天然气、新能源和可再生能源等多能源组成、且三分之一为调入电量的现实,将模型(1)中的汽车用燃料的 CO_2 排放系数 EF 作如下分解:

$$EF = p_1 \sum_{i=1}^4 f_i \times EF_i + p_2 \times EF' \quad (2)$$

式中, p_1 、 p_2 分别为本地发电和调入电占总电量的比例(%); i 为煤炭、天然气、新能源和可再生能源、水等 4 种能源种类; f_i 、 EF_i 分别为对应能源在发电能源结构中占的比重和 CO_2 排放系数[%、

$\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$]; EF' 为华北电网的 CO_2 排放系数 [$\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$].

更正后的 2010 年、2015 年的北京市单位电量 CO_2 排放系数分别为 $0.543 \text{ kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $0.407 \text{ kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$. 选取已于 2011 年投入北京市延庆区运营的北汽迷迪纯电动出租车 BJ6438EV1 为研究对象,在年均行驶里程、百公里能耗等参数不变的情景下,结合模型(1)与表 4 中数据,计算得到北京市在 2010 年和 2015 年不同的发电能源结构下,推广 50 辆纯电动汽车的年碳排放量与减排潜力,并分别与全国电网平均值、不考虑效率参数的计算结果作比较(图 2).

表 4 燃油、燃气、耗电出租车相关参数值¹⁾

Table 4 Related parameter values of gasoline, gas and electric taxi

车型	数量	年均行驶里程/km	百公里能耗	CO ₂ 排放系数		运输效率/%	充电效率/%
				2010 年	2015 年		
燃油出租车	50	60 000	10L	4.5 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	4.5 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	95	—
北汽迷迪 BJ6438EV1	50	60 000	21.6 $\text{kW} \cdot \text{h}$	0.543 $\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	0.407 $\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	94	91

1) 纯电动汽车的相关参数来源于北汽集团官网;从汽油全生命周期的角度,二氧化碳排放系数为 $4.5 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ [41];效率参数如表 3[36,45]

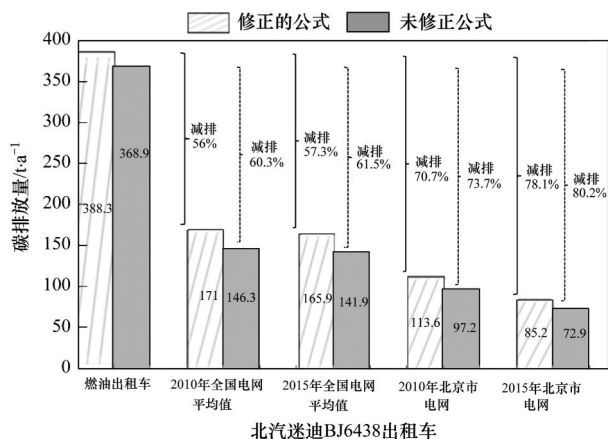


图 2 不同发电能源结构情景下的碳排放与减排空间

Fig. 2 Carbon emission and reduction potential of different power generation structures

图 2 显示,利用修正的模型,在北京市发电能源结构下,纯电动汽车在 2010 年和 2015 年的减排空间分别为 70.7%、78.1%;在全国电网的能源结构下,分别减排 56%、57.3%;与全国电网平均值相比较,2010 年和 2015 年利用北京市电网充电的碳

减排空间分别为 33.6%、48.6%,表明北京市电网较全国电网能源结构更合理、更清洁. 经过修正的模型较未修正的模型减排空间减少 2.1%~4.3%. 由此看出,修正后的模型计算结果更合理科学;纯电动汽车耗电行驶生命周期碳减排空间较大且电网能源结构对其影响明显. 因此,电网能源结构是影响电动汽车的碳排放及其减排空间的关键因素之一.

2.3 车用燃料类型(单位燃料的 CO_2 排放系数)的影响

选取已于 2011 年投入北京市延庆区运营的北汽迷迪纯电动出租车 BJ6438EV1 为研究对象,结合推广目标“2012 年北京市将在多个区县开展纯电动出租车试点工作,使全市纯电动出租车规模达到 450 辆”估算出租车在年均行驶里程、百公里能耗等参数不变的情景下,纯电动出租车相对于燃油出租车和燃气出租车在耗电行驶生命周期阶段的碳排放量及减排潜力(表 5、图 3),由于 LPG 的效率参数缺失,因此假设 LPG 运输过程中损耗忽略.

表 5 燃油、燃气、耗电出租车相关参数值¹⁾

Table 5 Related parameter values of gasoline, gas and electric taxi

车型	数量	年均行驶里程/km	使用年限/a	百公里能耗	CO ₂ 排放系数	运输效率/%	充电效率/%
燃油出租车	450	60 000	8	10 L	4.5 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	95	—
LPG 出租车	450	60 000	8	8.7 L	3.63 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	—
北汽迷迪 BJ6438EV1	450	60 000	8	21.6 $\text{kW} \cdot \text{h}$	0.543 $\text{kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$	94	91

1) 从 LPG 全生命周期的角度,其二氧化碳排放系数 $3.63 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ [41];“—”表示没有相关数据,其它数据来源同表 4

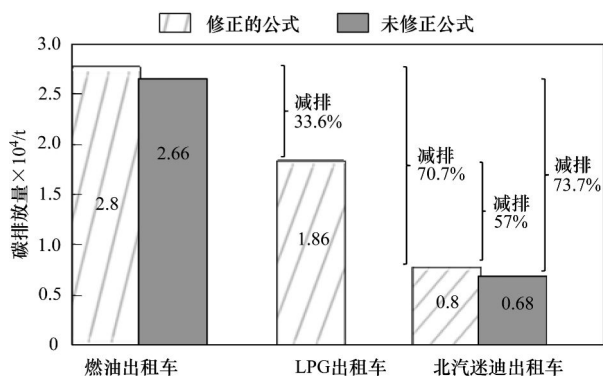


图3 不同车用燃料类型情景下的碳排放与减排空间

Fig. 3 Carbon emission and reduction potential of different fuel types

从图3可得,利用修正的模型计算纯电动出租车相对于燃油、LPG出租车的减排率分别为

表6 出租车与公交车的相关参数值¹⁾

Table 6 Related parameter values of taxi and bus

车型	数量	年均行驶里程 $\times 10^4/\text{km}$	使用年限 /a	百公里能耗	CO ₂ 排放系数	运输效率 /%	充电效率 /%
LPG 出租车	50	6	8	8.7L	3.63 kg·L ⁻¹	—	—
北汽迷迪 BJ6438EV1	50	6	8	21.6 kW·h	0.543 kg·(kW·h) ⁻¹	94	91
LPG 公交车	50	7.3	8	71 L	3.05 kg·L ⁻¹	—	—
福田欧 VBJ6123 电动公交车	50	7.3	8	90 kW·h	0.543 kg·(kW·h) ⁻¹	94	91

1) 纯电动汽车的相关参数来源于北汽集团官网; 从 LPG 全生命周期的角度,出租车和公交车燃气的二氧化碳排放系数分别为 3.63kg·L⁻¹、3.05kg·L⁻¹^[41]; 其它参数值来源同表4

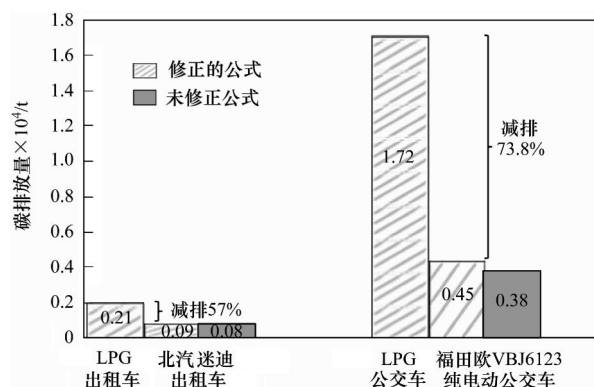


图4 不同汽车类型情景下的碳排放与减排空间

Fig. 4 Carbon emission and reduction potential of different car types

汽车类型直接影响汽车的百公里能耗。图4显示,利用修正的模型计算纯电动出租车与纯电动公交车相对于 LPG 汽车的减排率分别为 57%、73.8%,这是由于公交车的百公里能耗远大于出租车。经过修正的模型较未修正的模型减排空间减小:出租车为 4.9%、公交车为 4.1%。

2.5 城市交通状况(时速)的影响

据北京交通委的信息,目前北京市车速为 20 km·h⁻¹的拥堵时间为日均 1.75 h(畅通时速约 50 ~

70.7%、57%,LPG 出租车相对于燃油出租车的减排率为 33.6%。车用燃料类型直接影响单位燃料的 CO₂ 排放系数。燃油出租车行驶过程中的碳排放量最大为 62.2 t·辆⁻¹,这是由于汽油生命周期的 CO₂ 排放系数大于其它燃料。经过修正的模型较未修正的模型减排空间减少 3%。

2.4 汽车类型(百公里能耗)的影响

分别选取已于 2011 年投入北京市延庆区和长安街运营的 50 辆北汽迷迪纯电动出租车 BJ6438EV1 和北汽福田欧 VBJ6123 纯电动公交车为研究对象,估算在年均行驶里程、CO₂ 排放系数等参数不变的情景下,出租车和公交车两种不同车型的纯电动汽车在耗电行驶生命周期的碳排放量及减排潜力(表6、图4)。

60 km·h⁻¹),行驶距离为 35 km。假设北京市交通拥堵和畅通时的汽车能耗^[51]:汽油车分别为 0.34 L·km⁻¹、0.1 L·km⁻¹,电动汽车分别为 0.6 (kW·h)·km⁻¹、0.216 (kW·h)·km⁻¹,在 CO₂ 排放系数、效率等参数不变的情景下,计算 1 辆出租车行驶过程中由拥堵到畅通的碳排放量与减排率(表7、图5)。

图5结果表明,利用修正的模型计算,当车速由 60 km·h⁻¹降低到 20 km·h⁻¹时,燃油出租车的公里能耗增加 70.6%,碳排放增加 70.6%,纯电动出租

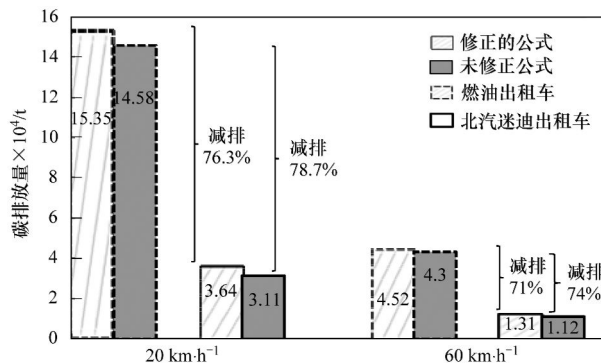


图5 不同时速情景下的碳排放与减排空间

Fig. 5 Carbon emission and reduction potential of different velocities

表 7 不同车速下出租车的相关参数值

Table 7 Related parameter values of taxi in different velocities

车型	数量	里程 /km	能耗		CO ₂ 排放系数	运输效率 /%	充电效率 /%
			20 km·h ⁻¹	60 km·h ⁻¹			
燃油出租车	1	35	0.34 L·km ⁻¹	0.1 L·km ⁻¹	4.5 kg·L ⁻¹	95	—
北汽迷迪 BJ6438EV1	1	35	0.6 (kW·h)·km ⁻¹	0.216 (kW·h)·km ⁻¹	0.543 kg·(kW·h) ⁻¹	94	91

车分别增加 64%、71%，纯电动出租车相对于燃油出租车的减排强度由 71% 提高到 76.3%；利用未修正的模型计算，相应的减排强度由 74% 提高到 78.7%；经过修正的模型较未修正的模型在时速为 20 km·h⁻¹、60 km·h⁻¹ 时的减排空间分别减少 2.4%、3%。随着车速的降低，电动汽车相对于汽油车减排优势愈发明显。

2.6 不同煤电技术供电路线的影响

对于纯电动汽车，煤电技术对减排效果起关键

作用，欧训民等^[45]利用 Tsinghua-CA3E 模型对 7 条燃料技术路线全生命周期的能耗和 GHG 排放进行了定量分析和比较，指出相对汽油车路线，各煤电技术路线节能减排优势明显，其中煤电 IGCC 工厂应用 CCS 技术具有 80% 的减排率。本研究在百公里能耗、年均行驶里程等参数不变的情景下，利用模型(1)和表 8 数据对比分析不同煤电技术供电路线与汽油车路线生命周期的碳排放量，探索碳减排潜力(图 6)。

表 8 不同燃料技术路线相关参数值¹⁾

Table 8 Related parameter values of different fuel technology lines

路线描述	年均行驶里程 × 10 ⁴ km	使用年限 /a	百公里能耗	供电煤耗(标煤) /kg·(kW·h) ⁻¹	充电效率 /%	运输效率 /%
汽油	6	8	10 L	—	—	95
网电	6	8	21.6 kW·h	0.328	91	94
亚临界	6	8	21.6 kW·h	0.37	91	94
超临界机组	6	8	21.6 kW·h	0.295	91	94
超超临界机组	6	8	21.6 kW·h	0.291	91	94
IGCC 机组	6	8	21.6 kW·h	0.261	91	94
IGCC + CCS 机组	6	8	21.6 kW·h	0.21	91	94

1) 汽油:汽油车燃用汽油;网电:以综合电网直接供电,不区分电网来源,其中煤电占 70%,水电占 20%,核电占 5%,气电占 2%,其他类型发电占 3%;亚临界:采用亚临界技术新建煤电厂,保障新增车用电量;超临界机组:采用超临界技术新建煤电厂,保障新增车用电量;超超临界机组:采用超超临界技术新建煤电厂,保障新增车用电量;IGCC 机组:采用 IGCC 技术新建煤电厂,保障新增车用电量;IGCC + CCS 机组:采用 IGCC + CCS 技术新建煤电厂,保障新增车用电量。IGCC(integrated gasification combined cycle,整体煤气化联合循环发电系统)技术是将煤气化技术和高效的联合循环相结合的先进动力系统,CCS(CO₂ capture and storage,碳捕捉及封存)技术是对 CO₂ 进行捕捉和收集的技术。除汽油和网电,其它技术路线的供电煤耗数据引自文献[45]

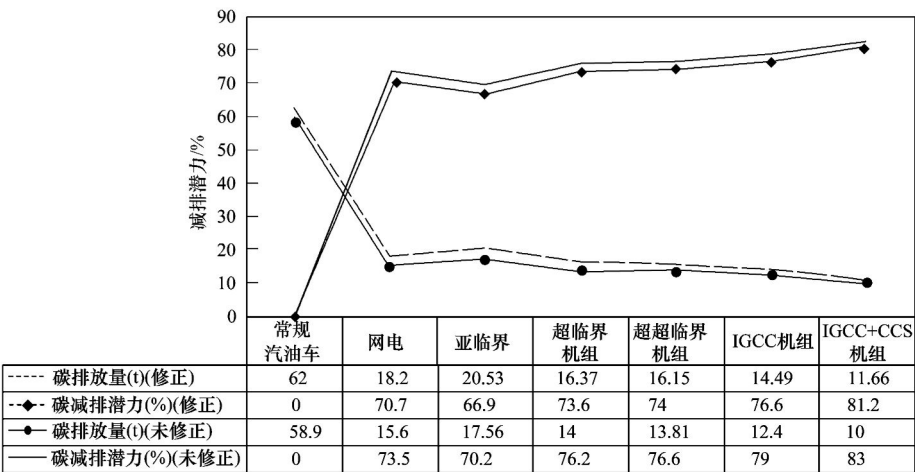


图 6 不同燃料技术路线的碳排放量与碳减排潜力

Fig. 6 Carbon emission and reduction potential of different fuel technology lines

图 6 数据显示,利用修正的模型计算,相对汽油车路线,在不同煤电技术供电路线下,电动汽车耗电行驶生命周期阶段减排效率差异明显,碳减排率在 66.9%~81.2% 之间变化;经过修正的模型较未修正的模型减排空间减少 1.8%~3.6%。其中应用 IGCC 与 CCS 组合技术减排效果最显著,可达到 81.2%,这是由于应用此技术既降低供电煤耗,还能对 CO₂ 进行捕捉和收集。根据 IPCC 相关文献的论述^[45],煤电 IGCC 工厂应用 CCS 技术能降低约 20% 的电力输出,同时捕捉 85%~95% 的 CO₂。

表 9 不同类型电池的相关参数值

Table 9 Related parameter values of different batteries

电池类型	重量 /kg	行驶里程 /km	续驶里程 /km	每公里能耗 /kW·h	CO ₂ 排放系数 /kg·(kW·h) ⁻¹	充电效率 /%	能量密度 /(kW·h)·kg ⁻¹
磷酸铁锂电池 ^[53,54]	188	480 000	120	0.216	0.543	91	0.125
锰酸锂电池 ^[55]	300	480 000	200	0.218	0.543	80	0.114
铅酸蓄电池 ^[54]	446	480 000	100	0.222	0.543	82.5	0.04

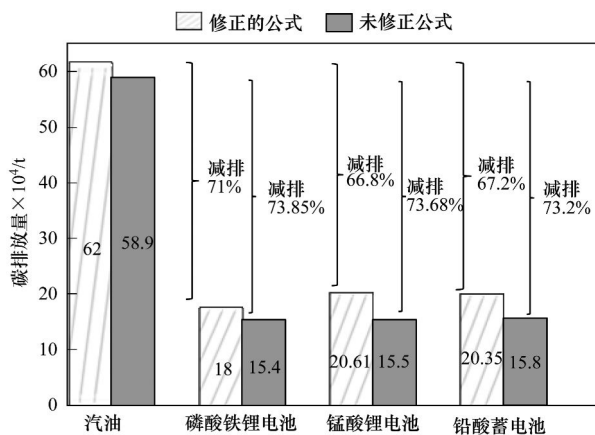


图 7 不同类型电池情景下的碳排放量与碳减排潜力

Fig. 7 Carbon emission and reduction potential of different batteries

图 7 数据显示,利用修正的模型计算,与燃油出租车比较,磷酸铁锂电池、锰酸锂电池、铅酸蓄电池分别具有 71%、66.8%、67.2% 的减排空间;磷酸铁锂电池驱动电动车碳减排性能优于锰酸锂电池、铅酸蓄电池驱动车。经过修正的模型较未修正的模型减排空间减少 2.85%~6.88%。

3 分析

(1) 结果表明,优化后的计算模型考虑了燃料的利用效率及能源运输效率,能更科学地测算燃料消耗碳排放。在设置的 6 种情景中,经过修正的模型较未修正的模型减排空间减少 1.8%~6.88%。纯电动汽车与传统汽车相比,在汽车保有量、行驶里程、使用年限相同的条件下,由于北京市清洁能

2.7 电池类型(重量、能效)的影响

车重与能耗有着直接的关系,一般整车重量每减轻 100 kg,百公里油耗可下降 0.1 L^[52] (1%),电池可通过电池重量和能量效率等参数影响汽车的能源消耗,从而导致不同的碳排放。在 CO₂ 排放系数、行驶里程等参数不变的情景下,利用模型(1)和表 9 数据,分析比较假设以磷酸铁锂电池、锰酸锂电池、铅酸电池为动力的北汽迷迪纯电动出租车 BJ6438EV1 在耗电行驶生命周期的碳排放量及减排潜力,并与汽油车作比较(图 7)。

源发电的比重较大,单位电能的 CO₂ 排放系数远远小于其它燃料,致使纯电动汽车具有较大的减排空间。

(2) 电动汽车电能生命周期阶段的碳排放受发电能源结构、车用燃料类型(单位燃料的 CO₂ 排放系数)、汽车类型(百公里能耗)、城市交通状况(时速)、煤电技术供电路线、电池类型(重量、能效)等多因素的共同作用,各因素对纯电动汽车的制约性碳减排影响在区间 57%~81.2% 内波动。

(3) 由于电动汽车使用阶段碳排放主要来自电能的消耗,其环境影响集中在发电阶段,因此发电能源结构和煤电技术供电路线对电动汽车生命周期的碳减排空间起决定性作用,其减排空间分别可达 78.1%、81.2%。

(4) 不同类型车的减排潜力不同,根据本研究中分别比较纯电动出租车与 LGP 出租车以及纯电动公交车与 LGP 公交车的减排潜力的差异达到了 26.8%。

(5) 汽车时速对各类型汽车的能耗影响较大,直接影响汽车的碳排放。根据以上分析,燃油车与电动车的公里能耗分别增加了 70.6%、64%,由于燃油车的公里能耗增长幅度大于电动车,且汽油的 CO₂ 排放系数远大于电力,导致低速时电动车的碳减排潜力增加 5.3%。另外电动汽车在交通堵塞时电动机不需要怠速运转,制动时电动机可以起到发电机的作用,即能把汽车动能转化成电能储存进蓄电池^[36],提高了电能的利用率。结合北京市交通拥

堵的现状,推广电动汽车将具有更大的减排优势。

(6)与燃油出租车比较,磷酸铁锂电池驱动电动车分别以 12.7%、11.5% 的减排率优于锰酸锂电池和铅酸蓄电池驱动电动车;这是由于磷酸铁锂电池具有重量轻、能量密度大、充电效率高等优势,导致以其为动力的电动汽车的百公里能耗低于其它类型电池。

4 对策与建议

电动汽车及新能源汽车的推广能有效解决能源危机及控制温室气体排放,根据本研究结果,从碳减排的角度提出以下对策和建议,为以低碳城市建设为目标的城市低碳交通的转型提供支持。

(1)改善能源结构,提高煤电技术。逐渐改善中国以煤炭发电的局面,减少煤炭发电,提高新能源(太阳能、风能、水能、核电等)发电的比例,同时采用 IGCC、CCS 等节能减排技术,降低供电煤耗是减少电动汽车碳排放最有效的途径。目前国内首个燃煤电厂烟气二氧化碳捕集项目已在华能北京热电有限公司示范运营,年可回收二氧化碳 3 000 t。

(2)大力推广电动汽车节能技术。有效利用电动汽车可以实现再生制动的特性,降低制动能量损耗,同时推广车身轻量化技术、绿色轮胎技术等,降低汽车能耗,减少温室气体排放。

(3)大力改善城市交通拥堵状况。虽然交通拥堵时电动汽车具有更大的减排空间,但低速能耗约为正常时速的 3 倍,碳排放绝对量显著增加。因此应合理布局城市交通道路及有效控制城市车辆总数,避免由于交通拥堵导致的能耗损失和碳排放增加。

(4)加快动力蓄电池等关键技术的研发。纯电动汽车受到电池续航能力、充电时间等制约,目前还没有一款非常完善的产品推向市场。考虑到安全性能、无污染、重量轻、原材料来源广泛等特点,磷酸铁锂电池是目前电动汽车最理想的动力源。已在深圳市投入运营的比亚迪 E6 纯电动出租车也是以磷酸铁锂电池为动力源。

(5)目前纯电动汽车的推广还存在很多困难。应在国家政策的宏观背景下,从研发电池等关键技术、规划建设充电站等配套设施、协调利益相关者等方面加快纯电动汽车的推广普及。

5 结论

(1)针对路线损耗及能源利用效率的不同,本研究对传统能耗碳排放模型进行了改进,结果表明,

改进后的模型能更客观科学测算燃料碳排放。

(2)应用改进的燃料碳排放模型,设置 6 种情景分析了影响电动汽车能耗生命周期的碳排放与减排空间的影响因素。结果表明,与传统汽油车比,电动汽车具有较大的制约性减排空间,车用燃料类型、汽车类型等因素对电动汽车耗电行驶生命周期的碳排放具有不同的影响效果,而结合中国 70% 以上为煤炭发电的特点,发电的能源结构和煤电技术对电动汽车的减排空间起决定性作用。

(3)在目前拥堵的交通状况下,推广电动汽车对节能减排实现低碳交通目标具有重要的现实意义。

(4)城市低碳交通的实现需要综合利用优化能源结构、提高煤电技术、推广节能技术、改善交通拥堵、加快清洁高效动力蓄电池研发、大力推广纯电动汽车等降低交通能耗和碳排放的优化措施。

参考文献:

- [1] European Union. EU energy and transport in figures, statistical pocketbook [R]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. 200-211.
- [2] 中国气候变化信息网. 全球交通工具碳排放增幅惊人[EB/OL]. <http://www.ccchina.gov.cn/cn/NewsInfo.asp?NewsId=10503>, 2008-01-16.
- [3] 刘建琴. 中国交通运输部门节能潜力和碳排放预测[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 640-646.
- [4] 张明. 基于指数分解的我国能源相关 CO₂ 排放及交通能耗分析与预测[D]. 大连: 大连理工大学, 2009. 49-99.
- [5] Lu I J, Lin S J, Lewis C. Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea[J]. Energy Policy, 2007, 35(6): 3226-3235.
- [6] Lee S, Lynn S, Lynn P. Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(1): 57-76.
- [7] 徐雅楠, 杜志平. 我国交通运输业的碳排放测度及因素分解[J]. 物流技术, 2011, 30(6): 16-19.
- [8] 陈飞, 诸大建, 许焜. 城市低碳交通发展模型、现状问题及目标策略——以上海市实证分析为例[J]. 城市规划学刊, 2009, (6): 39-46.
- [9] Sgouridis S, Bonnefoy P A, Hansman R J. Air transportation in a carbon constrained world: long-term dynamics of policies and strategies for mitigating the carbon footprint of commercial aviation[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2011, 45(10): 1077-1091.
- [10] Hickman R, Ashiru O, Banister D. Transport and climate change: simulating the options for carbon reduction in London[J]. Transport Policy, 2010, 17(2): 110-125.
- [11] Han J, Hayashi Y. A system dynamics model of CO₂ mitigation

- in China's inter-city passenger transport [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2008, **13**(5): 298-305.
- [12] 朱跃中. 未来中国交通运输部门能源发展与碳排放情景分析[J]. *中国工业经济*, 2001, (12): 30-35.
- [13] 袁向华, 王洪起, 王晓乔. 电动交通工具的污染减排及对策[J]. *北方环境*, 2011, **23**(5): 36, 52.
- [14] Zanni A M, Bristow A L. Emissions of CO₂ from road freight transport in London: Trends and policies for long run reductions [J]. *Energy Policy*, 2010, **38**(4): 1774-1786.
- [15] Wang C, Cai W J, Lu X D, *et al.* CO₂ mitigation scenarios in China's road transport sector [J]. *Energy Conversion and Management*, 2007, **48**(7): 2110-2118.
- [16] 张慧丽, 姚胜永. 石家庄市居民出行交通碳排放调查分析[J]. *交通科技与经济*, 2011, **13**(6): 23-26.
- [17] 朱松丽. 北京、上海城市交通能耗和温室气体排放比较[J]. *城市交通*, 2010, **8**(3): 58-63.
- [18] 蔡闻佳, 王灿, 陈吉宁. 中国公路交通业 CO₂ 排放情景与减排潜力[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2007, **47**(12): 2142-2145.
- [19] 陈洁行, 吕剑, 沈悦林, 等. 杭州交通与低碳环境研究[J]. *杭州科技*, 2010, (2): 53-55.
- [20] 李中杰, 郑一新, 陈云波, 等. 昆明交通运输碳排放特征与问题解析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, **21**(3): 505-508.
- [21] 蔡博峰, 曹东, 刘兰翠, 等. 中国交通二氧化碳排放研究[J]. *气候变化研究进展*, 2011, **7**(3): 197-203.
- [22] 刘清欣. 河南省能源行业碳足迹在产业间传递路径研究[J]. *水电能源科学*, 2011, **29**(9): 206-208.
- [23] 付雪, 王桂新, 魏涛远. 上海碳排放强度结构分解分析[J]. *资源科学*, 2011, **11**(11): 2124-2130.
- [24] 徐大丰. 碳生产率、产业关联与低碳经济结构调整——基于我国投入产出表的实证分析[J]. *软科学*, 2011, **25**(3): 42-46, 56.
- [25] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 等. 碳足迹分析方法研究综述[J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(7): 71-78.
- [26] 杨建新, 徐成, 王如松. 产品生命周期评价方法及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2002. 124-137.
- [27] 王寿兵, 董辉, 王如松, 等. 中国某轿车生命周期内能耗和环境排放特性[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2006, **45**(3): 328-334.
- [28] 伍昌鸿, 马晓茜, 陈勇, 等. 汽车制造、使用及回收的生命周期分析[J]. *汽车工程*, 2006, **28**(2): 207-211, 175.
- [29] Humphreys K K, Placet M, Singh M. Life-cycle assessment of electric' vehicles in the United States [A]. In: IECEC. *Proceeding of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*[C]. Washington: IECEC, 1996. 2124-2127.
- [30] Bakker D. Battery Electric Vehicles: Performance, CO₂ emissions, lifecycle costs and advanced battery technology development[D]. Netherlands: Universiteit Utrecht, 2010. 36-42.
- [31] 范军锋, 何健, 周锋, 等. 基于全生命周期的新能源汽车环境影响评估[J]. *新能源汽车*, 2008, (6): 5-7, 17.
- [32] 卫振林, 申金升, 黄爱玲. 车用替代燃料生命周期评价的比较研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2006, **6**(2): 62-65.
- [33] 李晓娜, 史占国, 张国方. 汽车产品生命周期评价(LCA)研究[J]. *北京汽车*, 2007, (1): 1-4.
- [34] 于晓英, 李亚峰, 王玉兵. 汽车生命周期全过程存在的环境问题及解决措施[J]. *环境科学与管理*, 2009, **34**(7): 39-41.
- [35] 艾江鸿, 李海峰, 林鉴军. 电动汽车的全寿命周期环境影响分析[J]. *技术经济*, 2010, **29**(3): 35-39.
- [36] 王成. 电动汽车发展对能源与环境影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007. 25-54.
- [37] 闵海涛, 程猛. 新能源汽车环境影响及能源效率分析[J]. *拖拉机与农用运输车*, 2007, **34**(4): 105-108.
- [38] Baptisía P, Ribáu J, Bravo J, *et al.* Fuel cell hybrid taxi life cycle analysis[J]. *Energy Policy*, 2011, **39**(9): 4683-4692.
- [39] Samaras C, Meisterling K. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles: Implications for policy[J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(9): 3170-3176.
- [40] 胡志远, 浦耿强, 王成焄. 代用能源汽车生命周期评估[J]. *试验与研究*, 2002, (5): 49-53.
- [41] 方景瑞. 新能源汽车能源及环境效益的分析研究与评价[D]. 长春: 吉林大学, 2009. 8-54.
- [42] 张阿玲, 柴沁虎, 申威. 氢动力汽车和电动汽车在中国的应用前景分析[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2009, **49**(9): 107-110.
- [43] 魏丹, 刘莘昱. 电动汽车环境效益比较分析研究[J]. *河南电力*, 2009, (4): 4-6.
- [44] 刘宏, 王贺武, 罗茜, 等. 纯电动汽车生命周期3E评价及微型化发展[J]. *交通科技与经济*, 2007, (6): 44-48.
- [45] 欧训民, 张希良, 覃一宁, 等. 未来煤电驱动电动汽车的全生命周期分析[J]. *煤炭学报*, 2010, **35**(1): 169-172.
- [46] Ou X M, Yan X Y, Zhang X L. Using coal for transportation in China: life cycle GHG of coal-based fuel and electric vehicle, and policy implications[J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2010, **4**(5): 878-887.
- [47] Hackney J, De Neufville R. Life cycle model of alternative fuel vehicles: emissions, energy, and cost trade-offs [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2001, **35**(3): 243-266.
- [48] DeLuchi M A. Emissions of greenhouse gases from the use of transportation fuels and electricity[EB/OL]. http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=5457338, 2008-06-30.
- [49] The Climate Group. Towards Market Transformation Electric Vehicles [EB/OL]. http://www.theclimategroup.org.cn/publications/2010-05-Towards_Market_Transformation_Electric_Vehicles, 2010-05-04.
- [50] 陈学婧. 2015 年我国供电标准煤耗或降到每千瓦时 330 克 [EB/OL]. <http://info.electric.hc360.com/2010/12/130912293706.shtml>, 2010-12-13.

- [51] Matsushashi R, Kudoh Y, Yoshida Y, *et al.* Life cycle of CO₂-emissions from electric vehicles and gasoline vehicles utilizing a process-relational model[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2000, 5(5): 306-312.
- [52] 汽车轻量化是实现节能减排的重要手段[EB/OL]. http://cn.china.cn/article/d888013_6823af_d2182_9682.html, 2010-10-21.
- [53] 新能源汽车网. 福田纯电动轿车迷迪 BJ6438EV1[EB/OL]. <http://www.xnyauto.com/electric/576.html>.
- [54] den Bossche P V, Vergels F, Mierlo J V, *et al.* SUBAT: an assessment of sustainable battery technology[J]. Journal of Power Sources, 2006, 162(2): 913-919.
- [55] Notter D A, Gauch M, Widmer R, *et al.* Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles[J]. Environmental Science and Technology, 2010, 44(17): 6550-6556.

第二届挥发性有机污染物(VOCs)检测分析、减排控制、 环境政策研究专辑征稿通知

挥发性有机物污染对生态、环境、健康产生了重要的影响,从国家层面上 VOCs 已经被列为重点控制的污染物,对挥发性有机污染物的减排与控制有着迫切的需求,有关挥发性有机污染的研究已经引起政府、地方、企业和科研人员密切的关注。

为了支持国家挥发性有机污染减排与控制,更好地促进与提高有关我国挥发性有机污染的科学研究,《环境科学》2011 年出版“挥发性有机污染物(VOCs)检测分析、减排控制、环境政策研究”专辑(中国科学院生态环境研究中心郝郑平研究员为专辑的特邀主编)。专辑出版后,引起了极大地反响和关注。

这一年多以来,我国挥发性有机污染的科学研究取得了一定进步与发展,不断有作者和相关部门希望能继续此专辑的编辑。为了继续支持我国未来 VOCs 减排和控制,进一步促进我国挥发性有机污染 VOCs 研究的发展和深入,《环境科学》计划 2013 年出版第二届挥发性有机污染物(VOCs)检测分析、减排控制、环境政策研究专辑(非增刊),邀请中国科学院生态环境研究中心郝郑平研究员为本专辑特邀主编,并开展挥发性有机污染 VOCs 研究优秀论文评选。现诚挚邀请国内外挥发性有机污染 VOCs 研究领域的专家、学者、技术人员踊跃投稿。

征文范围

- 1) 挥发性有机污染(VOCs)的监测与分析
- 2) 挥发性有机污染(VOCs)的排放与特征
- 3) 挥发性有机污染(VOCs)的控制与过程
- 4) 挥发性有机污染(VOCs)的控制技术与设备
- 5) 挥发性有机污染(VOCs)的反应与转化
- 6) 挥发性有机污染(VOCs)的减排模式与政策
- 7) 挥发性有机污染(VOCs)的其它研究内容

征文要求

- 1) 稿件参考《环境科学》已发表论文格式,文章以 Word 文档为附件发送至:hjlx@rcees.ac.cn,电子邮件主题为“VOCs 专辑+文章题目”。《环境科学》已发表文章范文可在网站 www.hjlx.ac.cn 首页点击下载。
- 2) 稿件参考文献后须注明通讯联系人和第一作者详细邮政地址、邮编、电话、手机、电子信箱等。
- 3) 只接受中文投稿文章;综述类文章,导师应为第一作者,不接受第一作者为学生的综述类投稿。
- 4) 特别说明:本专辑不是增刊,而是在《环境科学》2013 年下半年正刊上刊出。

重要日期

论文投稿截止日期:2013 年 7 月 1 日

联系方式

联系人:李老师

地址:北京市海淀区双清路 18 号生态中心《环境科学》编辑部

邮编:100085

电话:010-62941102

传真:010-62849343

E-mail:hjlx@rcees.ac.cn

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinoloprop-ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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