

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第4期

Vol.35 No.4

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

2008 ~2012 年上海黑碳浓度变化特征分析 王洪强,贺千山,陈勇航,亢燕铭 (1215)

乌鲁木齐市东南郊一次降雪过程的化学组成及其悬浮态颗粒形态特征 陆辉,魏文寿,崔彩霞,何清,王瑶 (1223)

典型地区大气中多溴联苯醚和新型溴代阻燃剂的水平及组成分布 吴辉,金军,王英,李明圆,何松洁,徐萌,孙一鸣 (1230)

某焦化厂周边大气 PM₁₀ 重金属来源及健康风险评价 董婷,李天昕,赵秀阁,曹素珍,王贝贝,马瑾,段小丽 (1238)

基于车流和大气污染物浓度同步增量的机动车平均排放因子估算方法 李润奎,赵彤,李志鹏,丁文军,崔骁勇,许群,宋现锋 (1245)

珠江三角洲地区硫和氮沉降临界负荷研究 孙成玲,谢绍东 (1250)

低温等离子体-生物法处理硫化氢气体研究 李华琴,何觉聪,陈洲洋,黎宝仁,黄倩茹,张再利,魏在山 (1256)

太子河流域莠去津的空间分布及风险评价 郑磊,张依章,张远,朱鲁生,王志强 (1263)

一种大批量测定沉积物微量间隙水样品中溶解态磷和铁含量的方法 王燕,朱春刚,许笛,丁士明 (1271)

外源营养盐输入后水体中营养盐浓度的时空变化 傅玲,赵凯,王国祥,欧媛,范娟,毛丽娜,张佳,韩睿明 (1278)

基于物理过程的矿区地下水污染风险评价 孙法圣,程品,张博 (1285)

重庆典型岩溶地下水系统水文地球化学特征研究 杨平恒,卢丙清,贺秋芳,陈雪彬 (1290)

重庆老龙洞地下河流域氮、磷及微生物污染调查研究 蓝家程,杨平恒,任坤,陈雪彬,徐昕,胡宁 (1297)

苦草 (*Vallisneria spiralis*) 根系对沉积物中各形态磷的影响 李振国,王国祥,张佳,马久远,魏宏农,俞振飞 (1304)

循环廊道湿地中氮归趋过程模拟研究 彭剑峰,宋永会,袁鹏,张雪妍,胡小明 (1311)

不同环境因素下太湖中四环素的自然消减 段伦超,王凤贺,纪莹雪,张帆,赵斌,王国祥 (1318)

再生水中 5 种抗生素抗性菌的紫外线灭活及复活特性研究 黄晶晶,汤芳,席劲璇,庞宇辰,胡洪营 (1326)

二级处理出水的 UV-TiO₂ 消毒及大肠杆菌和粪肠球菌复活试验 王西峰,龚昕,胡晓莲,任伯帜 (1332)

水中 C₆₀ 纳米颗粒的稳定性研究 方华,沈冰冰,荆洁,陆继来,王媛 (1337)

XDLVO 理论解析不同离子条件下海藻酸钠微滤膜污染 赵应许,纵瑞强,高欣玉,谢慧君,殷永泉,梁爽 (1343)

纳米零价铁催化过氧化氢强化修复 4-氯硝基苯污染地下水的研究 付融冰 (1351)

共存氯苯类同系物对六氯苯厌氧降解活性的影响 王琪,刘辉,姜林,唐军 (1358)

硫酸盐还原生物滤池对含镉废水去除效果试验研究 吴宣,谭科艳,胡希佳,顾远,杨宏 (1366)

基于氮平衡原理对南方污水处理厂中试脱氮工艺调控策略研究 姜应和,刘佩炬,王磊,田中凯,刘小英 (1372)

模拟电镀污泥阴离子浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 陈燕,黄芳,谢鑫源 (1377)

电活性生物膜介导 Cu²⁺ 生物还原的试验研究 刘毅,周顺桂,袁勇,刘志 (1384)

模拟废旧线路板生物浸出液中铜的回收 程丹,朱能武,吴平霄,邹定辉,邢翊佳 (1391)

填埋垃圾浸提液与地下水污染物组成差异及成因 何小松,余红,席北斗,崔东宇,潘红卫,李丹 (1399)

化学合成施氏矿物与 H₂O₂ 共存体系下光化学处理垃圾渗滤液的研究 王鹤茹,宋永伟,徐峙辉,崔春红,周立祥 (1407)

处理 BPA 模拟废水的 SBR 工况参数对污泥有机毒性的影响研究 杨娜,陈秀荣,林逢凯,黄华,章斐,赵骏,丁毅 (1414)

剩余污泥厌氧消化甲烷生成势与产甲烷菌群多样性的比较研究 董慧岭,季民 (1421)

锰氧化菌 *Aminobacter* sp. H1 的分离鉴定及其锰氧化机制研究 晏平,姜理英,陈建孟,何智敏,肖少丹,蒋铁锋 (1428)

1 株铁基质自养反硝化菌的脱氮特性 王弘宇,杨开,张倩,季斌,陈丹,孙宇翀,田俊 (1437)

碘普罗胺降解菌 *Pseudomonas* sp. I-24 共代谢降解性能研究 徐冰洁,高品,薛昱,何梦琦,吴凡 (1443)

利用流式细胞术研究鞘氨醇单胞菌 GY2B 降解非过程中细菌表面特性的变化 张梦露,党志,伍凤姬,梁旭军,郭楚玲,卢桂宁,杨琛 (1449)

毒性有机物 BPA 与普通小球藻的相互影响特性研究 陈善佳,陈秀荣,闫龙,赵建国,章斐,江子建 (1457)

缺镁胁迫对普通小球藻光合生理及油脂积累的影响 王珊,赵树欣,魏长龙,于水燕,史吉平,张保国 (1462)

微囊藻毒素对水稻根系生长和抗氧化系统的影响 王妮敏,邓琦,邹华,梁婵娟 (1468)

东北春大豆品种东生 1 号对臭氧胁迫的响应 张巍巍,王光华,王美玉,刘晓冰,冯兆忠 (1473)

生物结皮的发育演替与微生物生物量变化 吴丽,张高科,陈晓国,兰书斌,张德禄,胡春香 (1479)

老化土壤中铅对赤子爱胜蚓生长及繁殖的影响 陈丽红,刘征涛,方征,王晓南,王婉华 (1486)

土壤重金属镉标准值差异比较研究与建议 赵晓军,陆泗进,许人骥,李伯苓,吴国平,魏复盛 (1491)

藏北可可西里地区土壤元素背景值研究 柏建坤,王建力,李潮流,康世昌,陈鹏飞 (1498)

三峡库区香溪河消落带及库岸土壤重金属迁移特征及来源分析 胥焘,王飞,郭强,聂小倩,黄应平,陈俊 (1502)

浙江海宁电镀工业园区周边土壤重金属污染特征及生态风险分析 厉炯慧,翁珊,方婧,黄佳蕾,陆芳华,卢宇浩,张洪铭 (1509)

西湖景区土壤典型重金属污染物的来源及空间分布特征 张海珍,唐宇力,陆骏,周虹,徐芸茜,陈川,赵赞,王美娥 (1516)

生活垃圾焚烧厂周边土壤汞污染特征及评价 解惠婷,张承中,徐峰,李海凤,田振宇,唐琛,刘文彬 (1523)

上海滴水湖周边土壤和沉积物对磷的吸附特征 诸葛祥真,毕春娟,陈振楼,张焕焕,倪玮怡 (1531)

SDBS/Na⁺ 对红壤胶体悬液稳定性的影响 唐颖,李航,朱华玲,田锐,高晓丹 (1540)

稳定化处理对矿渣中重金属迁移转化的影响研究 赵述华,陈志良,张太平,潘伟斌,彭晓春,车融,欧英娟,雷国建,周鼎 (1548)

藻类水体 Cd²⁺ 毒性快速监测新方法研究 段静波,刘文清,张玉钧,赵南京,殷高方,肖雪,余晓娅,方丽 (1555)

用于 1,3-二硝基苯快速检测的免疫传感器研究 龙峰,施汉昌,王洪臣,盛建武 (1561)

Mg/Al 水滑石微波共沉淀法合成及其对 BrO₃⁻ 吸附性能的研究 钟琼,李欢 (1566)

污染场地修复决策支持系统的几个关键问题探讨 廖晓勇,陶欢,阎秀兰,赵丹,林龙勇,李尤 (1576)

城市区域土壤铅含量空间变异的多尺度研究进展 杨孟,李凤英,刁一伟,吴丹 (1586)

水中细菌内毒素污染特性及检测方法研究进展 张灿,刘文君,张明露,田芳,杨毅,安代志 (1597)

六价铬细菌还原的分子机制研究进展 李斗,赵由才,宋立岩,尹雅洁,王洋清,徐中慧 (1602)

农副食品加工工业高浓度废水的厌氧膜生物反应器技术 魏源送,郁达伟,曹磊 (1613)

《环境科学》征稿简则(1427) 《环境科学》征订启事(1497) 信息(1383, 1390, 1398, 1560)

基于车流和大气污染物浓度同步增量的机动车平均排放因子估算方法

李润奎¹, 赵彤², 李志鹏¹, 丁文军³, 崔骁勇³, 许群⁴, 宋现锋^{1*}

(1. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 2. 中国科学院大学数学科学学院, 北京 100049; 3. 中国科学院大学生命科学学院, 北京 100049; 4. 中国医学科学院基础医学研究所, 北京 100005)

摘要: 机动车尾气排放已成为城市大气污染的主要来源并受到了高度关注. 机动车排放因子是反映机动车排放状况的最基本参数, 但实测排放因子代价较高、代表范围有限, 基于国外排放模式估算的排放因子又与我国的实际排放状况存在一定差距. 本研究首先基于早高峰时段车流量和道路附近大气污染物浓度呈近线性增加、气象条件和背景污染物浓度相对稳定的特征, 将时段内污染物浓度的增加主要归因为车流的增加, 从而建立车流和污染物浓度增量之间的关系; 然后采用无限线源高斯扩散模式, 反推道路实际行驶机动车的平均排放因子. 以北京市一条主干道为例, 利用早高峰车流量、污染物浓度、气象观测数据, 进行了实例研究, 并将研究结果同 COPERT4 排放模型的预测结果进行了对比. 本研究同 COPERT4 排放模型预测的 8 月一氧化碳平均排放因子分别为 $2.0 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ 和 $1.2 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$, 12 月分别为 $5.5 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ 和 $5.2 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$. 结果表明, 本方法估算的机动车排放因子在数值大小及季节变化上均与 COPERT4 排放模型较为接近. 所提方法通过消除背景浓度的干扰, 为实时获取车队实际排放因子提供了一种新思路.

关键词: 排放因子; 机动车; 污染物浓度; 早高峰; 高斯扩散方程; 交通环境监测站

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)04-1245-05 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.04.005

Estimation of Average Traffic Emission Factor Based on Synchronized Incremental Traffic Flow and Air Pollutant Concentration

LI Run-kui¹, ZHAO Tong², LI Zhi-peng¹, DING Wen-jun³, CUI Xiao-yong³, XU Qun⁴, SONG Xian-feng¹

(1. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. School of Mathematical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Institute of Basic Medical Sciences of Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100005, China)

Abstract: On-road vehicle emissions have become the main source of urban air pollution and attracted broad attentions. Vehicle emission factor is a basic parameter to reflect the status of vehicle emissions, but the measured emission factor is difficult to obtain, and the simulated emission factor is not localized in China. Based on the synchronized increments of traffic flow and concentration of air pollutants in the morning rush hour period, while meteorological condition and background air pollution concentration retain relatively stable, the relationship between the increase of traffic and the increase of air pollution concentration close to a road is established. Infinite line source Gaussian dispersion model was transformed for the inversion of average vehicle emission factors. A case study was conducted on a main road in Beijing. Traffic flow, meteorological data and carbon monoxide (CO) concentration were collected to estimate average vehicle emission factors of CO. The results were compared with simulated emission factors of COPERT4 model. Results showed that the average emission factors estimated by the proposed approach and COPERT4 in August were $2.0 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ and $1.2 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$, respectively, and in December were $5.5 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ and $5.2 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$, respectively. The emission factors from the proposed approach and COPERT4 showed close values and similar seasonal trends. The proposed method for average emission factor estimation eliminates the disturbance of background concentrations and potentially provides real-time access to vehicle fleet emission factors.

Key words: emission factor; on-road traffic; air pollution concentration; morning rush hour; Gaussian dispersion equation; traffic pollution monitoring station

近年来我国汽车保有量快速增长, 已成为世界第一大销售国^[1]. 机动车尾气排放已成为我国大城市一氧化碳(CO)和氮氧化物(NO_x)等大气污染物的主要来源^[2~5]. 单辆机动车行驶单位里程所排放的某种污染物量, 也即排放因子($\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$), 是反映机动车的排放水平的最重要指标, 也是确定机

车污染物排放总量及其环境影响、制定对策的基础

收稿日期: 2013-05-13; 修订日期: 2013-11-08

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(200909016, 201209008); 中国科学院大学校长基金项目

作者简介: 李润奎(1983~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为 GIS 与环境模拟, E-mail: lirun@ucas.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: xfsong@ucas.ac.cn

和依据^[5,6].如何准确获取在路行驶机动车的排放因子,以此为基础计算机动车排放的污染,一直是大气环境领域机动车相关研究的热点问题^[7].

目前比较成熟的排放因子获取方法有台架测试法^[8]、模式计算法^[4,6,9-12]、工况测试法^[4,6,13,14]、公路隧道法^[15,16]、燃料消耗法^[8]、遥感监测等^[8].国内在机动车排放计算方法上主要借用美国、欧洲等开发的计算模型^[10,11,17,18],但由于模型建立的环境不同于国内,模型参数与国内存在差异,且所需调查的车型比例、车辆特性、行驶工况等参数众多,很难对排放因子进行准确的估算^[4].另一方面,由于道路实际在用车类型较多,车队构成复杂,导致部分采用台架、工况等实测方法获取的排放因子基本是特定类型车辆的排放因子^[19,20],并不能准确地代表行驶车队的综合排放情况^[21].Gramotnev等^[22,23]通过道路附近大气中细-超细颗粒物浓度的观测实验,结合CALINE4模式^[24]计算了机动车颗粒物的平均排放因子,在探索机动车平均排放因子方面进行了有益的尝试,但背景浓度是其中需要剔除的干扰因素.

本研究提出基于早高峰车流增量和道路附近交通环境监测站点污染物浓度增量,进而结合高斯扩散方程反推道路实际平均排放因子的方法,以期为估算在路机动车排放因子提供新的思路.

1 方法

1.1 方案设计

基于早上06:00~08:00时段车流量和道路附近大气污染物浓度呈近线性增加、气象条件和背景污染物浓度相对稳定的特征,将道路附近大气污染物浓度的增加近似归因为机动车排放的增加,建立车流增量和污染物浓度增量之间的关系,进而结合高斯扩散方程,反推道路实际路况正常行驶车辆的单车平均排放因子.

1.2 假设条件

对早高峰时段的车流、大气环境及气象特征做如下假设:①道路行驶车队的车型比例近似不变,车辆平均排放因子变化较小;②工业及生活源排放导致的道路周边大气污染物浓度(本研究统称为背景浓度)变化不大;③大气稳定度基本无变化,处于中性或稳定状态.

1.3 公式推导

t 时刻道路附近观测点上某种大气污染物浓度等于机动车排放贡献的浓度和其他来源的背景浓度

之和:

$$c(t) = c_s(t) + c_b(t) \quad (1)$$

式中, $c(t)$ 为大气污染物总浓度, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; $c_s(t)$ 为机动车排放贡献的浓度, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; $c_b(t)$ 为除机动车外的其他排放源贡献的背景浓度, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

$t1$ 和 $t2$ 相邻时刻的大气污染物浓度差:

$$\Delta c = c(t2) - c(t1) = [c_s(t2) + c_b(t2)] - [c_s(t1) + c_b(t1)] \quad (2)$$

根据假设条件②,早高峰时段背景浓度平稳,其增量与机动车排放贡献浓度的增量相比可以忽略,可认为背景浓度 $c_b(t2) \approx c_b(t1)$,则式(2)简化为:

$$\Delta c = c(t2) - c(t1) = c_s(t2) - c_s(t1) \quad (3)$$

如此则消除了浓度增量中的背景值因素的影响,将大气污染物总浓度的变化和机动车排放污染关联起来.

道路附近机动车排放贡献的大气污染物浓度为机动车尾气排放后,经近距离扩散所致,通常可表示成机动车源强和扩散参数的函数:

$$c_s(t) = Q_s(t) \times f(t) \quad (4)$$

式中, $Q_s(t)$ 为机动车排放源强, $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{s})^{-1}$; $f(t)$ 为 t 时刻与气象、观测点到污染源距离等因素相关的扩散系数, $\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$. f 表示污染物在不同气象条件下的空间散布程度.

其中,机动车源强 Q_s 通常表示为车队中车流量及单车排放因子的乘积:

$$Q_s(t) = \sum_{i=1}^n T_i(t) \times E_i(t) \quad (5)$$

式中, n 为车辆类型; $T_i(t)$ 为 t 时刻第 i 种车型的车流量, $\text{辆}\cdot\text{s}^{-1}$; $E_i(t)$ 为 t 时刻第 i 种车型的排放因子, $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{辆})^{-1}$.

将总源强平均分配给每辆车,则可得到各种车型混合后的平均排放因子:

$$Q_s(t) = \sum_{i=1}^n T_i(t) \times E_i(t) = \overline{E(t)} \times \sum_{i=1}^n T_i(t) = \overline{E(t)} \times T(t) \quad (6)$$

式中, $\overline{E(t)}$ 为车队的综合平均排放因子, $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{辆})^{-1}$; $T(t)$ 为所有车型的总流量, $\text{辆}\cdot\text{s}^{-1}$.

根据假设条件①,若时段内车型比例基本不变、行驶工况近似,则各种车型混合后的平均排放因子基本无变化,则 $\overline{E(t2)} = \overline{E(t1)} = \overline{E}$,式(3)结合式(4)和(6),可得:

$$\Delta c = \overline{E(t2)} \times T(t2) \times f(t2) - \overline{E(t1)} \times T(t1) \times f(t1) = \overline{E} \times [T(t2) \times f(t2) - T(t1) \times f(t1)] \quad (7)$$

将式(7)左右变换,转化为平均排放因子的表达式,可得:

$$\bar{E} = \frac{\Delta c}{T(t2) \times f(t2) - T(t1) \times f(t1)} \quad (8)$$

在风速等气象条件变化不大的情况下,即 $f(t1) = f(t2) = f(t)$,式(8)还可以简化为:

$$\bar{E} = \frac{\Delta c}{T(t2) - T(t1)} \times \frac{1}{f(t)} = \frac{\Delta c}{\Delta T} \times \frac{1}{f(t)} \quad (9)$$

式(9)具有直观的物理含义,即在气象条件变化不大的时段内,平均排放因子可以表达为单位车辆排放对道路附近某一点上大气污染物浓度的贡献($\Delta c/\Delta T$)乘以一个与扩散程度相关的反演系数.也可以理解为,将单车排放对观测点处污染物浓度的贡献还原到机动车排放之后、未扩散之前,即可得排放因子.

其中,式(9)中的 $f(t)$ 根据实际情况可以采用不同模式,本研究采用大气扩散计算中广泛应用的无限长线源高斯扩散模式,对于某一地面固定点,其表达式为:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}u(t) \times \sigma_z} \times \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (10)$$

式中, $u(t)$ 为 t 时刻风速, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; σ_z 为垂向扩散距离, m ; H 为排放源高度, m ; z 为观测点高度, m .其中, σ_z 与 t 时刻大气稳定性和观测点到道路的距离有关,根据风速等气象条件不同,可采用不同形式的表达式.其中小风状态的表示为^[25]:

$$\sigma_z = \gamma \times \frac{x}{u} \quad (11)$$

式中, γ 为可查表获取的与大气稳定性有关的垂向扩散参数的回归系数; x 为观测点到道路中心线的距离, m ; u 为风速, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2 实例研究

以北京市一条主干道为例,采用北京市环保局设立的交通环境监测站点(距道路中心线约25 m)观测的2010年8月份和12月份的一氧化碳(CO)小时浓度数据及同期气象数据,采用感应线圈计数结合人工现场调查的车流量和车型数据,利用以上方法计算了机动车平均排放因子.

CO浓度、平均气温和平均风速的24 h变化如图1.从图1(a)可知,CO浓度季节变化较大,8月浓度明显低于12月,且8月浓度在日内变化幅度较小,12月浓度的日变化显著,具有典型的白天低、

晚上高的特征.但可以看出,8月和12月浓度在06:00~08:00时段均有明显上升趋势,产生了局部的浓度高值,该时段CO浓度的增加应主要由机动车流量的迅速增加所致.

图1(b)和图1(c)月均逐时气象观测显示,早上06:00~08:00时段气温变化不大,12月风速基本稳定,8月风速从06:00~08:00略有升高但变化数值较小.

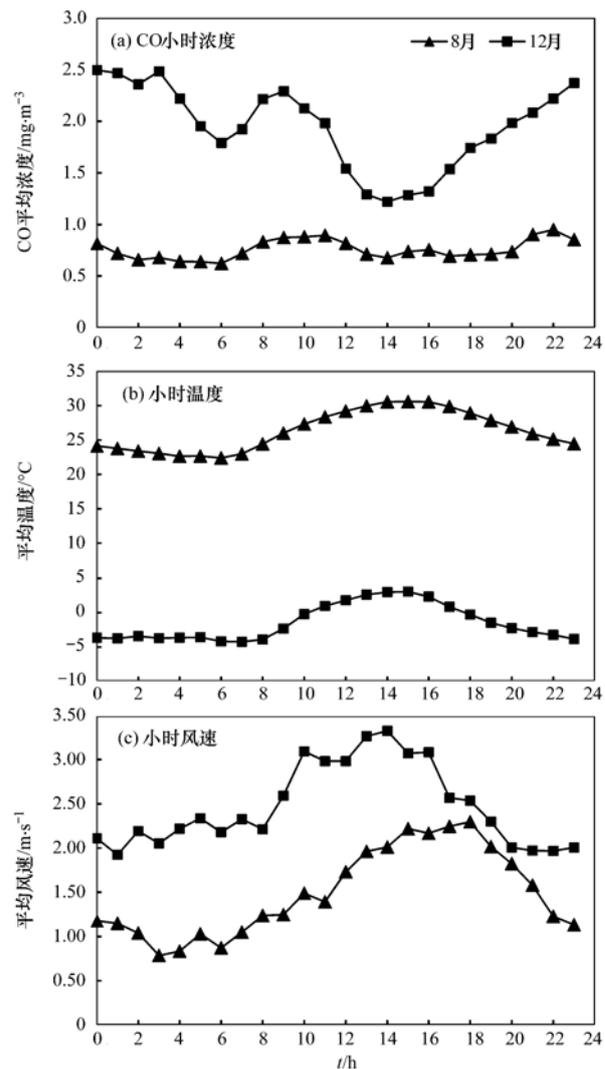


图1 交通观测点CO浓度、平均气温和平均风速的24 h变化

Fig. 1 Hourly variation of CO concentration, air temperature and wind speed from the station close to a major road

由于降雨等气象条件的干扰,需要结合气象好坏和浓度增量对较为典型的日期进行筛选,最后对CO的实际道路平均排放因子进行计算.其中排放源高度取0.4 m,观测点高度为2.5 m,大气稳定性等级为D级(中性)^[26],风速在 $0.5 \sim 1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间, $\gamma = 0.12$.平均排放因子计算结果如表1.从中可以看出,CO平均排放因子的季节变化较大,冬高夏低,

表 1 估算的 CO 平均排放因子及其过程参数

Table 1 Estimated average emission factors of CO and related parameters

月份	时段	浓度增量 /mg·m ⁻³	车流量 /辆·h ⁻¹	平均风速 /m·s ⁻¹	<i>f</i> /s·m ⁻²	平均排放因子 /g·km ⁻¹
8	06:00~07:00	0.2	2 133	0.8	0.21	2.0
	07:00~08:00		4 293	1.0	0.20	
12	06:00~07:00	0.5	1 064	1.1	0.18	5.5
	07:00~08:00		3 307	1.3	0.15	

从 8 月的 2.0 g·km⁻¹ 上升到 12 月的 5.5 g·km⁻¹, 可见, 冬季机动车 CO 排放因子相对于夏季有明显增加。

3 讨论

以上得出的平均排放因子季节变化明显, 12 月早上 CO 的平均排放因子约为 8 月早上的 2.8 倍。为了对这种变化趋势进行验证, 分析了现有主流排放因子计算模式——美国环保局推荐的 MOBILE 模式^[27] 中温度对 CO 排放因子的影响, 见式 (12)^[28]:

$$C = e^{-0.01525 \times (T - 75.0)} \quad (12)$$

表 2 本研究所得 CO 平均排放因子与 COPERT4 的模拟结果

Table 2 Comparison of the calculated CO emission factor from this study with values estimated from COPERT4

估算方法	8 月排放因子/g·km ⁻¹	12 月排放因子/g·km ⁻¹	车辆类型
交通站估算(本研究)	2.0	5.5	实际通行车辆平均
COPERT4 ¹⁾	1.2	5.2	轻型汽油车和公交车混合

1) 利用 COPERT4 估算该路段平均排放因子时, 轻型汽油车采用欧 1~欧 4 排放标准 1.4~2.0 L 排量的小型汽油客车。根据北京市机动车保有量逐年增幅和北京市机动车排放标准实施日期估算的处于国 1~国 4 排放水平的机动车比例分别为 40%、14%、11% 和 35%; 公交车采用欧 1~欧 4 排放标准城市公交车, 国 3 排放水平占 55%, 国 4 占 45%; 平均车速采用 40 km·h⁻¹; 平均单次出行里程 12.4 km; 实地观测的气象信息显示, 早高峰时段夏季温度 23℃, 相对湿度 78.7%, 冬季温度 -4.2℃, 相对湿度 37.0%; 2012 年 5 月人工统计的该路段早高峰小型客车比例约 93%, 公交车比例约 7%, 由于缺乏其他资料, 近似用于代表模拟时段车型构成

常用的 MOBILE、COPERT 等排放因子计算模式基于当地建立的经验公式, 对不同类型的车辆分别考虑了油品质量、行驶里程、维修保养、工况、气象等众多因素对排放的影响, 通过对这些因素的综合考虑获得排放因子的平均水平。本研究是在实际道路上机动车正常行驶状态下得出机动车污染物排放因子, 代表了道路车队的整体污染物排放水平, 因此所估算的排放因子具有较好的代表性。另外, 城市交通环境监测站已开始设立并实时公开数据, 使本方法具有较强的可操作性。

4 结论

提出了基于早高峰时段车流量和道路附近大气污染物浓度增量, 利用无限线源高斯扩散模型, 反推道路实际行驶状态的单车平均排放因子的方法, 该方法降低了背景浓度的干扰。基于一条实际

式中, *C* 为温度修正系数, *T* 为华氏温度(°F)。

式(12)的温度修正系数计算结果显示, 由于气温从 8 月早上(约 23℃)至 12 日早上(约 -4.2℃)的显著降低, 将使 12 月 CO 的排放因子约增至 8 月的 2.1 倍, 这种变化趋势与本研究计算结果较为接近。

此外, 利用欧洲环境署开发的 COPERT4 模型结合实地情况对排放因子进行了模拟(表 2)。8 月和 12 月 CO 的模拟排放因子分别为 1.2 g·km⁻¹ 和 5.2 g·km⁻¹, 与本研究所提方法估算的 2.0 g·km⁻¹ 和 5.5 g·km⁻¹ 在数值上差别不大, 在季节变化上趋势相似。

道路的案例研究结果显示, 8 月和 12 月 CO 的综合平均排放因子分别为 2.0 g·km⁻¹ 和 5.5 g·km⁻¹, 表现出明显的夏季排放相对较低而冬季排放较高的特征。验证过程中, COPERT4 模拟的该路段 8 月和 12 月 CO 的综合平均排放因子分别为 1.2 g·km⁻¹ 和 5.2 g·km⁻¹, 与本方法估算的排放因子在数值上较为接近, 在季节变化上趋势相似。所提出的平均排放因子估算方法是一种新的思路, 可结合当前设立的城市交通环境监测站点进行排放因子估算研究, 可实时、长期对机动车排放进行监测, 便于直接对机动车控制措施(如机动车排放标准)的效果进行验证。但是, 由于本方法受到气象参数选取的影响, 且平均排放因子将随道路功能和车型比例的不同而发生变化, 本文的初步研究结果需要在更多气象和道路条件下进一步验证。

参考文献:

- [1] 姚志良, 王岐东, 王新彤, 等. 典型城市机动车非常规污染物排放清单[J]. 环境污染与防治, 2011, **33**(3): 96-101.
- [2] Chan C K, Yao X H. Air pollution in mega cities in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(1): 1-42.
- [3] He K B, Huo H, Zhang Q. Urban air pollution in China: Current status, characteristics, and progress[J]. *Annual Review of Energy and the Environment*, 2002, **27**(1): 397-431.
- [4] 戴璞, 陈长虹, 黄成, 等. 不同行驶工况下轻型柴油车瞬时排放的 CMEM 模拟研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(5): 1520-1527.
- [5] 郝吉明, 吴焯, 傅立新, 等. 中国城市机动车排放污染控制规划体系研究[J]. 应用气象学报, 2002, **13**(1): 195-203.
- [6] 王岐东, 霍红, 姚志良, 等. 基于工况的城市机动车排放模型 DC MEM 的开发[J]. 环境科学, 2008, **29**(11): 3285-3290.
- [7] 傅立新, 郝吉明, 何东全, 等. 北京市机动车污染物排放特征[J]. 环境科学, 2000, **21**(3): 68-70.
- [8] 郭丽辉, 高原. 确定机动车排放因子的几种方法[J]. 云南环境科学, 2004, **23**(S1): 191-192.
- [9] 黄成, 刘娟, 陈长虹, 等. 基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(11): 3275-3732.
- [10] 吴焯, 郝吉明, 李伟, 等. 应用 PART5 模式计算机动车尾气管的颗粒物排放[J]. 环境科学, 2002, **23**(1): 6-10.
- [11] 谢绍东, 宋翔宇, 申新华. 应用 COPERT III 模型计算中国机动车排放因子[J]. 环境科学, 2006, **27**(3): 415-419.
- [12] 姚志良, 贺克斌, 王岐东, 等. IVE 机动车排放模型应用研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 1928-1933.
- [13] 胡京南, 郝吉明, 傅立新, 等. 机动车排放车载实验及模型模拟研究[J]. 环境科学, 2004, **25**(3): 19-25.
- [14] 王海鲲, 傅立新, 周昱, 等. 应用车载测试系统研究轻型机动车在实际道路上的排放特征[J]. 环境科学, 2008, **29**(10): 2970-2974.
- [15] 王伯光, 张远航, 祝昌健, 等. 城市机动车排放因子隧道试验研究[J]. 环境科学, 2001, **22**(2): 55-59.
- [16] 朱春, 张旭. 柴油/CNG 公交车排放颗粒物粒径分布特征隧道实测研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(10): 2279-2284.
- [17] 郝吉明, 吴焯, 傅立新, 等. 北京市机动车污染分担率的研究[J]. 环境科学, 2001, **22**(5): 1-6.
- [18] 宋翔宇, 谢绍东. 中国机动车排放清单的建立[J]. 环境科学, 2006, **27**(6): 1041-1045.
- [19] 万涛, 于雷, 裴文文, 等. 捷达车实测排放因子和 MOBILE6 预测值的对比分析[J]. 交通环保, 2005, **26**(2): 11-14.
- [20] 胡伟, 钟秦. 隧道实验测定南京市机动车 PM₁₀ 排放因子[J]. 环境工程学报, 2009, **3**(10): 1852-1855.
- [21] 林秀丽. 中国机动车污染物排放因子及其修正方法研究[J]. 环境科学与管理, 2009, **34**(9): 38-43.
- [22] Gramotnev G, Brown R J, Ristovski Z, *et al.* Determination of average emission factors for vehicles on a busy road [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(4): 465-474.
- [23] Gramotnev G, Ristovski Z, Brown R J, *et al.* New methods of determination of average particle emission factors for two groups of vehicles on a busy road [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(16): 2607-2610.
- [24] Benson P E. A review of the development and application of the CALINE3 and CALINE4 models [J]. *Atmospheric Environment Part B Urban Atmosphere*, 1992, **26**(3): 379-390.
- [25] 张征, 沈珍瑶, 韩海荣, 等. 环境评价学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 295-305.
- [26] 蒋维楣, 孙鉴泞, 曹文俊, 等. 空气污染气象学教程[M]. 北京: 气象出版社, 2004. 72-73.
- [27] United States Environmental Protection Agency. Sensitivity Analysis of MOBILE6. 0 [EB/OL]. <http://www.epa.gov/otaq/models/mobile6/r02035.pdf>, 2011-6-10.
- [28] United States Environmental Protection Agency. Exhaust Emission Temperature Correction Factors for MOBILE6: Adjustments for Engine Start and Running LA4 Emissions for Gasoline Vehicles [EB/OL]. <http://www.epa.gov/otaq/models/mobile6/r01029.pdf>, 2011-6-10.

CONTENTS

Analysis of Characteristics of Black Carbon Concentration in Shanghai from 2008 to 2012	WANG Hong-qiang, HE Qian-shan, CHEN Yong-hang, <i>et al.</i> (1215)
Chemical Characteristics and Insoluble Particulates' Surface Morphology of a Snowfall Process in the Southeastern Suburb of Urumqi	LU Hui, WEI Wen-shou, CUI Cai-xia, <i>et al.</i> (1223)
Comparative Study of the Level and Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers and New Brominated Flame Retardants in the Atmosphere of Typical Urban	WU Hui, JIN Jun, WANG Ying, <i>et al.</i> (1230)
Source and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Ambient Air PM ₁₀ from One Coking Plant	DONG Ting, LI Tian-xin, ZHAO Xiu-ge, <i>et al.</i> (1238)
Estimation of Average Traffic Emission Factor Based on Synchronized Incremental Traffic Flow and Air Pollutant Concentration	LI Run-kui, ZHAO Tong, LI Zhi-peng, <i>et al.</i> (1245)
Study on Critical Loads of Sulfur and Nitrogen in the Pearl River Delta	SUN Cheng-ling, XIE Shao-dong (1250)
Hydrogen Sulfide Removal by the Combination of Non-Thermal Plasma and Biological Process	LI Hua-qin, HE Jue-cong, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (1256)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Atrazine in Taizi River Basin, China	ZHENG Lei, ZHANG Yi-zhang, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (1263)
Development of a Method for Measuring Dissolved Reactive Phosphorus (DRP) and Dissolved Ferrous Iron in Large Batch in Pore Water Samples of Sediments with Micro-volumes	WANG Yan, ZHU Chun-gang, XU Di, <i>et al.</i> (1271)
Temporal and Spatial Variation of Water Nutrient Level After Exogenous Nutrient Input	FU Ling, ZHAO Kai, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (1278)
Physical Process Based Risk Assessment of Groundwater Pollution in the Mining Area	SUN Fa-sheng, CHENG Pin, ZHANG Bo (1285)
Hydrogeochemical Characteristics of a Typical Karst Groundwater System in Chongqing	YANG Ping-heng, LU Bing-qing, HE Qiu-fang, <i>et al.</i> (1290)
Investigation of Nitrogen, Phosphorus and Microbial Contamination in Laolongdong Underground River System of Chongqing	LAN Jia-cheng, YANG Ping-heng, REN Kun, <i>et al.</i> (1297)
Effects on Phosphorus Fraction Distribution in Sediment by Roots of <i>Vallisneria natans</i>	LI Zhen-guo, WANG Guo-xiang, ZHANG Jia, <i>et al.</i> (1304)
Modeling Nitrogen Transformation in a Novel Circular-Flow Corridor Wetland	PENG Jian-feng, SONG Yong-hui, YUAN Peng, <i>et al.</i> (1311)
Natural Attenuation of Tetracycline in the Water of Taihu Lake Under Different Environmental Conditions	DUAN Lun-chao, WANG Feng-he, JI Ying-xue, <i>et al.</i> (1318)
Inactivation and Reactivation of Antibiotic-Resistant Bacteria During and After UV Disinfection in Reclaimed Water	HUANG Jing-jing, TANG Fang, XI Jin-ying, <i>et al.</i> (1326)
Photoreactivation of <i>Escherichia coli</i> and <i>Enterococcus faecalis</i> in the Secondary Effluent Disinfected by UV-TiO ₂	WANG Xi-feng, GONG Xin, HU Xiao-lian, <i>et al.</i> (1332)
Stability of C ₆₀ Nanoparticles in Aquatic Systems	FANG Hua, SHEN Bing-bing, JING Jie, <i>et al.</i> (1337)
Fouling Behavior of Sodium Alginate During Microfiltration at Various Ionic Compositions; XDLVO Approach	ZHAO Ying-xu, ZONG Rui-qiang, GAO Xin-yu, <i>et al.</i> (1343)
Enhanced Remediation of 4-Chloronitrobenzene Contaminated Groundwater with Nanoscale Zero-valence Iron (nZVI) Catalyzed Hydrogen Peroxide (H ₂ O ₂)	FU Rong-bing (1351)
Effect of the Coexistence of Chlorobenzene Homologue on Anaerobic Degradation of Hexachlorobenzene	WANG Qi, LIU Hui, JIANG Lin, <i>et al.</i> (1358)
Research on Removal Efficiency of Cd(II)-bearing Wastewater by Sulfate-reducing Biological Filter	WU Xuan, TAN Ke-yan, HU Xi-jia, <i>et al.</i> (1366)
Control Strategies of Nitrogen Removal Process in a Pilot Test of the Southern WWTP Based on the Nitrogen Balance	JIANG Ying-he, LIU Pei-ju, WANG Lei, <i>et al.</i> (1372)
Effect of Simulated Inorganic Anion Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	CHEN Yan, HUANG Fang, XIE Xin-yuan (1377)
Microbial Reduction of Cu ²⁺ Mediated by Electroactive Biofilms	LIU Yi, ZHOU Shun-gui, YUAN Yong, <i>et al.</i> (1384)
Copper Recovery from Artificial Bioleaching Lixivium of Waste Printed Circuit Boards	CHENG Dan, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1391)
Difference of Contaminant Composition Between Landfill Leachates and Groundwater and Its Reasons	HE Xiao-song, YU Hong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1399)
Photochemical Degradation of Landfill Leachate Facilitated by Combined Schwertmannite and H ₂ O ₂	WANG He-ru, SONG Yong-wei, XU Zhi-hui, <i>et al.</i> (1407)
Effects of Operating Parameters on Organic Toxicity of Sludge Treating Synthetic Bisphenol A Wastewater	YANG Na, CHEN Xiu-rong, LIN Feng-kai, <i>et al.</i> (1414)
Comparative Study on Biological Methane Potential and Methanogen Biodiversity in the Anaerobic Digestion of Excess Sludge	DONG Hui-yu, JI Min (1421)
Isolation and Identification of Mn Oxidizing Bacterium <i>Aminobacter</i> sp. H1 and Its Oxidation Mechanism	YAN Ping, JIANG Li-ying, CHEN Jian-meng, <i>et al.</i> (1428)
Nitrate Removal by a Strain of Nitrate-Dependent Fe(II)-Oxidizing Bacteria	WANG Hong-yu, YANG Kai, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (1437)
Study on the Iopromide-Degrading Characteristics of Strain <i>Pseudomonas</i> sp. I-24 via Co-Metabolism	XU Bing-jie, GAO Pin, XUE Gang, <i>et al.</i> (1443)
Using Flow Cytometry to Explore the Changes of <i>Sphingomonas</i> sp. GY2B Bacterial Surface Characteristics in the Process of Degrading Phenanthrene	ZHANG Meng-lu, DANG Zhi, WU Feng-ji, <i>et al.</i> (1449)
Research on Characteristic of Interrelationship Between Toxic Organic Compound BPA and <i>Chlorella vulgaris</i>	CHEN Shan-jia, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i> (1457)
Effect of Magnesium Deficiency on Photosynthetic Physiology and Triacylglyceride(TAG) Accumulation of <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Shan, ZHAO Shu-xin, WEI Chang-long, <i>et al.</i> (1462)
Effects of Microcystins on Growth and Antioxidant System of Rice Roots	WANG Wei-min, DENG Yu, ZOU Hua, <i>et al.</i> (1468)
Responses of Soybean Cultivar Dongsheng-1 to Different O ₃ Concentrations in Northeast China	ZHANG Wei-wei, WANG Guang-hua, WANG Mei-yu, <i>et al.</i> (1473)
Development and Succession of Biological Soil Crusts and the Changes of Microbial Biomasses	WU Li, ZHANG Gao-ke, CHEN Xiao-guo, <i>et al.</i> (1479)
Effects of Lead on the Growth and Reproduction of <i>Eisenia fetida</i> with Aged Soils	CHEN Li-hong, LIU Zheng-tao, FANG Zheng, <i>et al.</i> (1486)
Soil Heavy Metal Cadmium Standard Limit and Range of Background Value Research	ZHAO Xiao-jun, LU Si-jin, XU Ren-ji, <i>et al.</i> (1491)
Study on Soil Element Background Values of the Hoh Xil Area in North Tibet	BAI Jian-kun, WANG Jian-li, LI Chao-liu, <i>et al.</i> (1498)
Transfer Characteristic and Source Identification of Soil Heavy Metals from Water-Level-Fluctuating Zone Along Xiangxi River, Three-Gorges Reservoir Area	XU Tao, WANG Fei, GUO Qiang, <i>et al.</i> (1502)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Ecological Risk Analysis for Soil Around Haining Electroplating Industrial Park	LI Jiong-hui, WENG Shan, FANG Jing, <i>et al.</i> (1509)
Sources and Spatial Distribution of Typical Heavy Metal Pollutants in Soils in Xihu Scenic Area	ZHANG Hai-zhen, TANG Yu-li, LU Jun, <i>et al.</i> (1516)
Distribution and Assessment of Mercury in the Ambient Soil of a Municipal Solid Waste Incinerator	XIE Hui-ting, ZHANG Cheng-zhong, XU Feng, <i>et al.</i> (1523)
Phosphorus Adsorption Characteristics of Soils and Sediments Surrounding Dishui Lake in Shanghai	ZHUGE Xiang-zhen, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1531)
Impact of SDBS/Na ⁺ on Red Soil Colloidal Stability	TANG Ying, LI Hang, ZHU Hua-ling, <i>et al.</i> (1540)
Effects of Stabilization Treatment on Migration and Transformation of Heavy Metals in Mineral Waste Residues	ZHAO Shu-hua, CHEN Zhi-liang, ZHANG Tai-ping, <i>et al.</i> (1548)
Study on a New Method of Fast Monitoring Toxicity of Cd ²⁺ by Algal in Water	DUAN Jing-bo, LIU Wen-qing, ZHANG Yu-jun, <i>et al.</i> (1555)
Immunosensor for Rapid Detection of 1,3-Dinitrobenzene	LONG Feng, SHI Han-chang, WANG Hong-chen, <i>et al.</i> (1561)
Mg/Al Layered Double Hydroxides Prepared by Microwave-Assisted Co-Precipitation Method for the Removal of Bromate	ZHONG Qiong, LI Huan (1566)
Discussion on Several Key Points of Decision Support System for Remediation of Contaminated Sites	LIAO Xiao-yong, TAO Huan, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (1576)
A Review of Multi-Scale Studies on Spatial Variation of the Lead (Pb) Concentration in Urban Soils	YANG Meng, LI Feng-ying, DIAO Yi-wei, <i>et al.</i> (1586)
Review on Characteristics and Detecting Assay of Bacterial Endotoxin Contamination in Water Environment	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (1597)
Advances in Molecular Mechanism of Bacterial Reduction of Hexavalent Chromium	LI Dou, ZHAO You-cai, SONG Li-yan, <i>et al.</i> (1602)
Anaerobic Membrane Bioreactors for Treating Agricultural and Food Processing Wastewater at High Strength	WEI Yuan-song, YU Da-wei, CAO Lei (1613)

《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4月15日 35卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 4 Apr. 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