

青岛市私家车排放清单及其分布特征

李冲冲 王林杰 刘兆惠[#] 王 超

(山东科技大学交通学院, 山东 青岛 266500)

摘要 为掌握青岛市私家车排放尾气污染现状,利用路网数据和实时交通信息,结合实地调研数据和排放因子,编制主城区私家车污染物排放清单。结果表明:(1)在2017年10—12月的工作日,青岛市主城区的私家车CO、碳氢化合物(HC)、NO_x、PM_{2.5}日排放量分别为17.18、9.36、11.77、8.51 t/d。(2)在时间分布上,污染物排放呈现“双峰”特点。早高峰排放量峰值高、高峰持续时间相对较短,晚高峰的峰值略低、高峰持续时间相对较长,高峰期污染物排放量占40%以上。(3)污染物排放主要集中在城区多个商圈的结合处,道路交叉口排放量较高。同时,并不是路网密度越大,空间排放分布值越高。

关键词 私家车 尾气污染 排放清单 排放分布

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2019.08.019

Emission inventory and distribution characteristics of private cars in Qingdao LI Chongchong, WANG Linjie, LIU Zhaohui, WANG Chao. (College of Transportation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong 266500)

Abstract: In order to grasp the exhaust pollution status of private cars in Qingdao, the road network data and real-time traffic information was collected, which was combined with spot investigation data and emission factors to compile the pollutant emission inventory of private cars in main urban area. The results showed that: (1) the average emission of CO, HC, NO_x and PM_{2.5} of private cars in main urban area was 17.18, 9.36, 11.77 and 8.51 t/d respectively on a working day from October to December 2017. (2) In terms of time distribution, the pollutants emissions had obvious “bimodal” characteristic with higher peak value in the morning and longer peak time in the afternoon, and the pollutant emissions of peak time accounted for over 40% of all day. (3) In terms of space distribution, the pollutants emissions mainly concentrated in the combination of multiple business districts in the urban area, the emissions of road intersections were higher, and the greater density of road network did not mean the higher emissions distribution values in space.

Keywords: private cars; exhaust pollution; emission inventory; emission distribution

随着我国经济发展和城市不断扩张,国内机动车特别是私家车近十几年呈现爆发式增长,并具有聚集性使用特征。我国城市大气污染也由煤烟型污染向煤烟、机动车尾气复合型污染转变^[1],并且这种转变已由一线城市蔓延到二、三线城市。机动车尾气中的CO、碳氢化合物(HC)、NO_x、PM_{2.5}对雾霾等环境污染现象有很大影响^[2],长期暴露在高浓度的机动车尾气环境中会严重损害人们的身体健康^[3-4]。国外从20世纪70年代就开始探究机动车排放对大气污染的影响程度^[5-6]。我国的相关研究在20世纪90年代陆续展开,此后国内的专家学者开展了北京、广州、天津等重点城市和全国范围的机动车排放研究,并建立了不同尺度的排放清单^[7-13]。国内外研究一致证明,机动车尾气排放量巨大,是城市大气污染的重要原因之一。而私家车在城区中总量最

多,是其主要的贡献者之一。因此,研究私家车尾气污染现状具有重要的现实意义。

国内早期多采用年均行驶里程法和燃油统计法编制排放清单,此类方法需要数据量少、简单易操作,但无法准确反映道路的实际排放^[14]。同时,国内排放清单的研究主要集中在国家层面和相对发达的城市与地区,很多二、三线城市的排放清单研究目前还处于欠缺的状态^[15]。有研究表明,以实际道路网络 and 实际交通量分布为基础的机动车排放清单可有效降低空间分布的偏差,提高排放清单的精度,但这种排放清单的研究在国内仍处于起步阶段^[16-18]。

实际上,机动车排放已成为青岛市大气污染的主要来源之一^[19]。孙世达等^[20]利用与青岛市相似地区的年均行驶里程研究了青岛市2000—2014年

第一作者:李冲冲,男,1992年生,硕士研究生,研究方向为交通运输工程。[#]通讯作者。

机动车年排放量的变化,并对排放的空间分布做了研究,得出城市中心区尾气排放量更高的结论,但其研究得到的结果显然还不够精确。再者,虽然私家车在城市道路中占比最大,但是针对其排放特征的研究相对较少。因此,本研究利用路网数据和实时交通信息,运用 ArcGIS 软件,建立青岛市主城区的私家车排放清单,并对私家车技术水平和排放分布进行分析,其研究结果也可为交通部门和环保部门制定相关管理政策提供理论依据与数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域与对象

研究区域主要包含青岛市市北区、市南区,涵盖了李沧区和崂山区的部分区域(以下简称青岛市主城区)。本次调研青岛市主城区的大部分高架路、主干路、次干路和部分支路。研究对象为上述范围内道路上行驶的私家车,计算 CO、HC、NO_x、PM_{2.5} 日排放量。

由于青岛市在 2016 年 4 月就已推行国 V 标准,并在全市范围内施行黄标车禁行政策,因此从国 I 开始统计。根据历年《山东省统计年鉴》中的数据汇总得到表 1 和图 1。青岛市私家车保有量从 2000 年的 7 万辆,增加到 2016 年的 191 万辆,年均增长率为 26%。私家车人均拥有量增长趋势与保有量增长趋势一致,按照青岛市户籍人口计算,从 2000 年

表 1 青岛市私家车排放水平及其私家车排放标准
Table 1 The emission level constitution of private cars in Qingdao and its emission standard

排放水平比例/%	排放标准	时间
9	国 I	2000 年 7 月至 2005 年 6 月
8	国 II	2005 年 7 月至 2008 年 6 月
27	国 III	2008 年 7 月至 2011 年 6 月
43	国 IV	2011 年 7 月至 2016 年 3 月
13	国 V	2016 年 4 月起

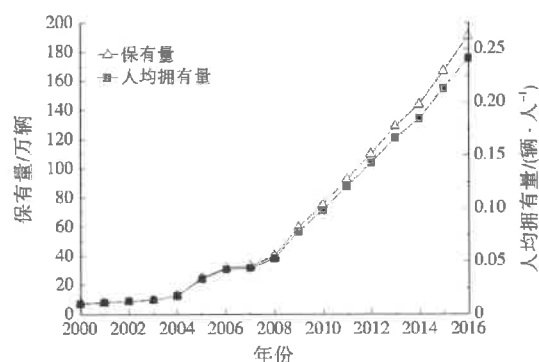


图 1 青岛市私家车保有量与人均拥有量
Fig.1 The total possession and per capita possession of private cars in Qingdao

0.01 辆/人,增加到 2016 年 0.24 辆/人。作为人均占用道路面积大且人均排放量高的出行方式,私家车的爆发式增长方便市民出行的同时,也带来了严重的交通拥堵和环境污染问题。

1.2 排放清单编制方法

参考第二次全国污染源普查技术方案,以 2015 年发布的《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南》(以下简称指南)为主要依据,确立青岛市主城区私家车污染物排放计算公式为:

$$EF = BEF \times \varphi \times \gamma \times \omega \times \theta \quad (1)$$

$$E_{aij} = Q \times \frac{1}{12} \times \beta \times L \times EF \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中:EF 为综合排放因子, g/(km·辆);BEF 为基准排放因子, g/(km·辆); φ 为环境修正因子; γ 为平均速度修正因子; ω 为车辆劣化修正因子; θ 为其他修正因子; E_{aij} 为道路 i 上第 j 时段污染物 a 的排放量, t; Q 为道路交通量, 辆/h; β 为私家车比例修正因子; L 为道路长度, km。

式(2)中单位时段设为 5 min,因此需要将 Q 与 1/12 相乘,得到单位时段交通量。

1.3 数据获取与排放因子确定

从青岛市交通部门获取主城区各道路的实时平均车速和道路实时饱和度数据。获取的速度为路段平均车速,精度为分钟级,作为 γ 的取值依据。道路饱和度为道路交通量与通行能力的比值,取值范围为 0~1,因此其与道路通行能力之积即为各道路的 Q 。在计算过程中,也同时考虑了道路等级与车道数量对结果的影响。抽取 16 条道路进行实地调查,取 $\beta=0.8$ 。编制排放清单所需的 BEF 与其他修正因子参考指南选取,其中 BEF 见表 2, γ 见表 3。

表 2 不同污染物的 BEF
Table 2 BEF of different pollutants
g/(km·辆)

排放标准	CO	HC	NO _x	PM _{2.5}
国 I	6.71	0.663	0.409	0.026
国 II	2.52	0.314	0.324	0.011
国 III	1.18	0.191	0.100	0.007
国 IV	0.68	0.075	0.032	0.003
国 V	0.46	0.056	0.017	0.003

2 排放清单与排放分布

2.1 排放清单

青岛市属于旅游城市,为避免夏季外地游客和节假日对研究结果的影响,从 2017 年 10 月 9 日至 12 月 23 日中每个星期的工作日选取任意一天的交通数据进行主城区私家车污染物排放情况统计。

表 3 不同污染物的 γ
Table 3 γ of different pollutants

污染物	速度/(km·h ⁻¹)				
	<20	20~<30	30~<40	40~80	>80
CO	1.69	1.26	0.79	0.39	0.62
HC	1.68	1.25	0.78	0.32	0.59
NO _x	1.38	1.13	0.90	0.86	0.96
PM _{2.5}	1.68	1.25	0.78	0.32	0.59

表 4 青岛市主城区私家车日排放量及其比例
Table 4 The private cars daily emissions and their proportions in main urban area of Qingdao

项目	CO		HC		NO _x		PM _{2.5}	
	日排放量/(t·d ⁻¹)	日排放比例/%	日排放量/(t·d ⁻¹)	日排放比例/%	日排放量/(t·d ⁻¹)	日排放比例/%	日排放量/(t·d ⁻¹)	日排放比例/%
国Ⅰ	8.33	48	0.70	7	4.27	36	3.54	41
国Ⅱ	2.01	12	2.63	28	1.88	16	1.18	14
国Ⅲ	3.65	21	3.16	34	3.26	28	1.84	22
国Ⅳ	2.74	16	2.39	26	1.96	17	1.62	19
国Ⅴ	0.45	3	0.48	5	0.40	3	0.33	4
合计	17.18	100	9.36	100	11.77	100	8.51	100

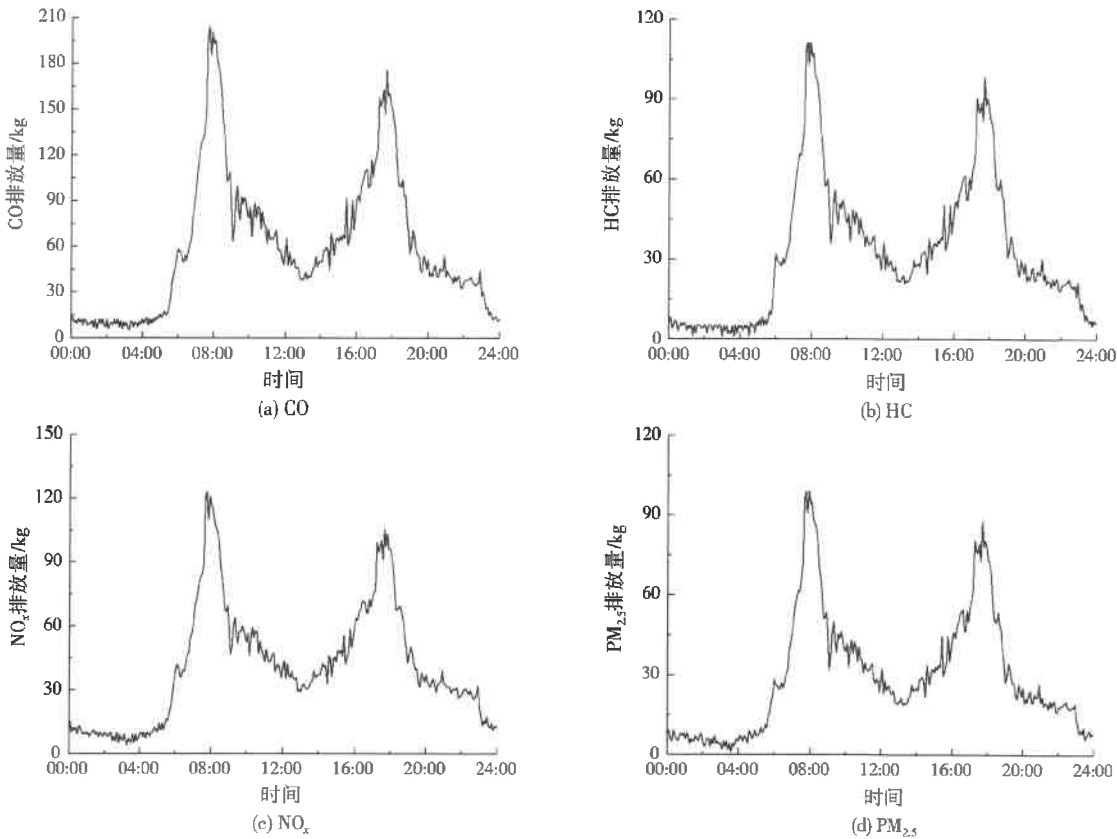


图 2 青岛市主城区私家车排放时间分布
Fig.2 The time distribution of private cars emissions in main urban area of Qingdao

如表 4 所示,私家车尾气中的 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}日排放量分别为 17.18、9.36、11.77、8.51 t/d。结合表 1,国Ⅲ、国Ⅳ型私家车占 70%,数量最多,但其 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}日排放量分别占 37%、60%、45%、41%;国Ⅰ、国Ⅱ型私家车虽然占 17%,

但其 CO、HC、NO_x、PM_{2.5}日排放量分别占 60%、35%、52%、55%。这说明,老旧私家车由于排放水平低和车辆老化,单车排放量处于较高水平,也说明提高私家车的整体排放水平对减少尾气污染的作用显著。

2.2 排放时间分布

如图2所示,由于使用了相同的交通数据,私家车尾气中CO、HC、NO_x、PM_{2.5}排放的时间变化规律相近,且都有突出的“双峰”,高峰形态相似,通勤特征明显,这与其他地区的研究结论一致^[21]。5:30左右污染物排放量开始增加;23:00左右下降;从23:00至次日5:30,排放量一直处于较低值,并且波动不大。

道路在6:50—8:50排放量显著增加,为排放早高峰,早高峰时间占全天的8%,CO、HC、NO_x、PM_{2.5}排放量分别为3.63、1.99、2.24、1.77 t,早高峰排放量约占日排放量的21%,7:40左右出现峰值。

16:30—19:00排放量再次增加,为排放晚高峰,晚高峰时间占全天的10%,CO、HC、NO_x、PM_{2.5}排放量分别为3.76、2.09、2.43、1.86 t,晚高峰排放量约占日排放量的22%,17:40左右出现峰值。高峰期污染物排放量占40%以上,私家车尾气排放量较大且相对集中。

早高峰排放量峰值高、高峰持续时间相对较短,晚高峰的峰值略低、高峰持续时间相对长,同时晚高峰的排放量略大于早高峰。这与获得的道路运行情况一致,即早高峰的拥堵程度更大,晚高峰的拥堵时间更长。这些特点与人们早晨上班、上学不能迟到,

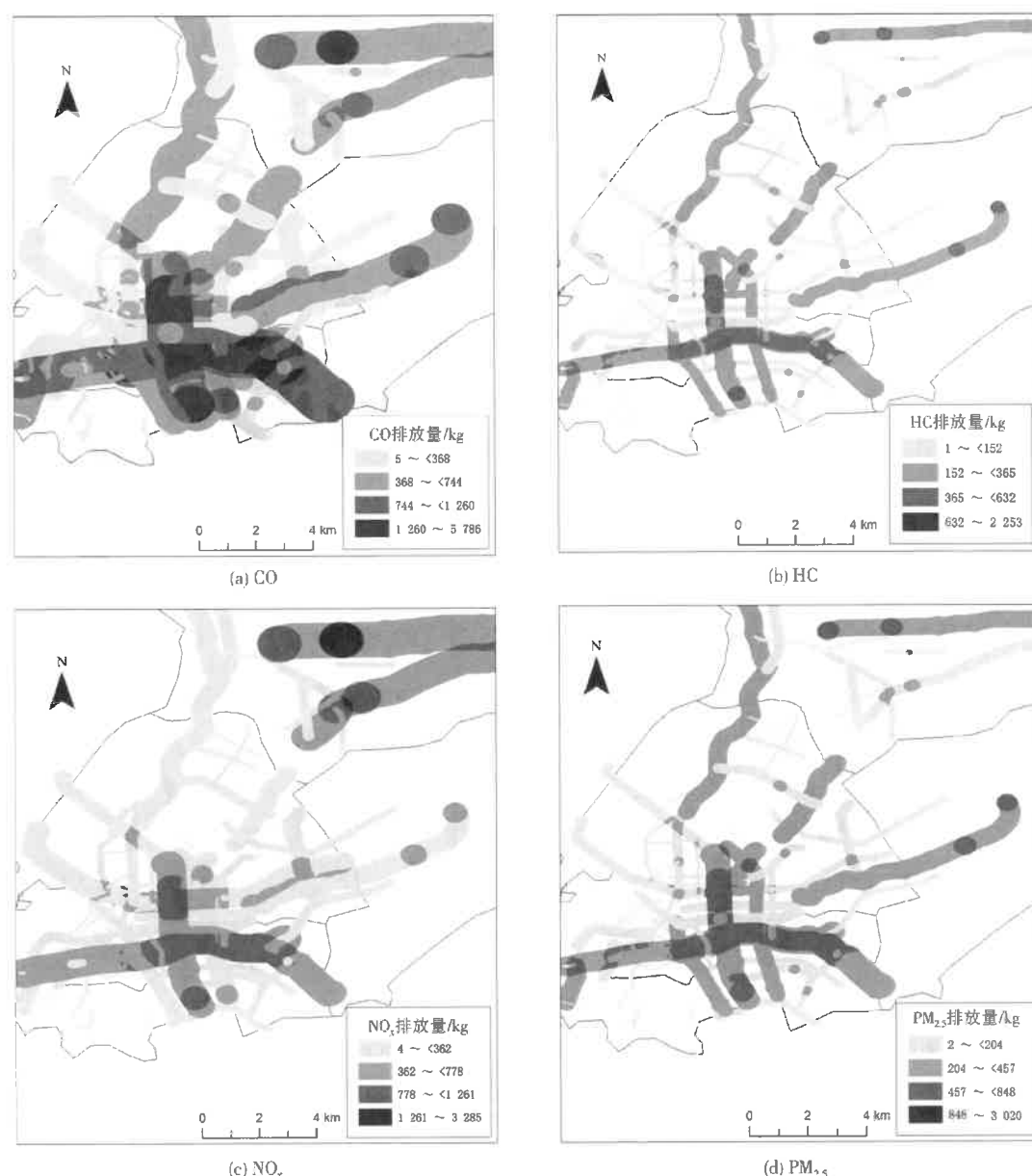


图3 青岛市主城区私家车排放空间分布

Fig.3 The space distribution of private cars emissions in main urban area of Qingdao

但是晚间回家的时间相对分散有关。

2.3 排放空间分布

将每条道路污染物的日排放量进行自定义分级并取整,空间分布结果如图3所示。排放量最大的区域位于青岛市市南区、市北区分界线附近,包括宁夏路、山东路、胶宁高架路等道路,这些道路穿过青岛商务办公区,周围又分布着台东、新都心、浮山后和东部商圈,人流密集,交通量大,也容易发生交通拥堵,而北部的排放高点则位于李村商业区。因此,空间分布中的大部分高值区域都与商业区有关。

此外,青岛市老城区(如青岛火车站附近)虽然人口密度和路网密度较大,但并不是排放量最大的区域。经调查,这与老城区道路狭窄曲折、地形起伏较大及城市中心转移有关。这也说明,在ArcGIS软件中划分网格、依据路网密度进行排放分布研究而忽略实际交通运行特征的方法,其研究结果会出现一定的偏差。

另外,将私家车污染物排放与实际路网进行地理匹配,发现部分排放高点与道路交叉口相对应,因此可推断道路交叉口增加了车辆的污染物排放量,并且其影响结果显著。

3 结论和建议

(1) 在2017年10—12月的工作日,青岛市主城区的私家车CO、HC、NO_x、PM_{2.5}日排放量分别为17.18、9.36、11.77、8.51 t/d。

(2) 在时间分布上,污染物排放呈现“双峰”特点。6:50—8:50为排放早高峰,16:30—19:00为排放晚高峰,早高峰排放量峰值高、高峰持续时间相对较短,晚高峰的峰值略低、高峰持续时间相对较长,高峰期污染物排放量占40%以上。

(3) 在空间分布上,污染物排放最大的区域出现在城区中心多个商圈的结合处,老城区即使路网密度较高也不是排放量最大的区域,这说明依据路网密度进行排放分布研究而忽略实际交通运行特征的方法研究结果会出现一定的偏差。此外,道路交叉口的污染物排放量与路段相比更高。

(4) 提高私家车排放水平对减轻尾气污染的作用明显。因此,建议相关部门加快新型私家车推广的同时,进一步加大老旧私家车的监管与淘汰力度。此外,提升公共交通服务水平、完善轨道交通建设、倡导绿色出行、自觉减少私家车的使用,都有助于缓解使用私家车带来的环境污染问题。

参考文献:

- [1] 郝艳石,邓顺熙,丘兆文,等.基于MOVES模型的西安市机动车排放清单研究[J].环境污染与防治,2017,39(3):227-235.
- [2] TIE X, CAO J. Aerosol pollution in China: present and future impact on environment[J]. Particuology, 2009, 7(6): 426-431.
- [3] BUCKERIDGE D, GLAZIER R, HARVEY B, et al. Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area[J]. Environmental Health Perspective, 2002, 110(3): 293-300.
- [4] SYDBOM A, BLOMBERG A, PAMIA S, et al. Health effects of diesel exhausts emissions[J]. European Respiration Journal, 2001, 17(4): 733-746.
- [5] 梁涛. 哈尔滨市机动车尾气中典型污染物排放特征研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [6] MILLER C A, HIDY G. Air emission inventories in North America: a critical assessment[J]. Journal of the Air Waste Management Association, 2006, 56(8): 1115-1129.
- [7] 刘莹, 陈艳艳, 程颖, 等. 基于交通指数的机动车污染排放分析方法研究——以北京为例[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(3): 422-427.
- [8] 邱立勋, 陈愚, 赵黛青, 等. 广州市至2020年城市客运交通发展情景分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(7): 114-118.
- [9] ZHANG S J, WU Y, LIU H, et al. Historical evaluation of vehicle emission control in Guangzhou based on a multi-year emission inventory[J]. Atmospheric Environment, 2013, 76: 32-42.
- [10] 刘欢, 贺克斌, 王岐东. 天津市机动车排放清单及影响要素研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, 48(3): 370-373.
- [11] ZHENG B, HUO H, ZHANG Q, et al. High resolution mapping of vehicle emissions in China in 2008[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14(18): 9787-9805.
- [12] ZHANG S J, WU Y, HUANG R K, et al. High-resolution simulation of link-level vehicle emissions and concentrations for air pollutants in a traffic-populated eastern Asian city[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2016, 16(15): 9965-9981.
- [13] YANG X F, LIU H, MAN H Y, et al. Characterization of road freight transportation and its impact on the national emission inventory in China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, 15(4): 2105-2118.
- [14] 李丽, 刘永红, 邓思欣, 等. 基于动态交通流的佛山市机动车网格化排放清单[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2017, 56(2): 66-75.
- [15] 姚志良, 张明辉, 王新彤, 等. 中国典型城市机动车排放演变趋势[J]. 中国环境科学, 2012, 32(9): 1565-1573.
- [16] 郑君瑜, 车汶蔚, 王兆礼. 基于交通流量和路网的区域机动车污染物排放量空间分配方法[J]. 环境科学学报, 2009, 29(4): 815-821.
- [17] LIU Y H, MA J L, LI L, et al. A high temporal-spatial vehicle emission inventory based on detailed hourly traffic data in a medium-sized city of China[J]. Environmental Pollution, 2018, 236: 324-333.
- [18] ZHANG S J, NIU T L, WU Y, et al. Fine-grained vehicle emission management using intelligent transportation system data[J]. Environmental Pollution, 2018, 241: 1027-1037.
- [19] 青岛市环境保护局. 青岛市机动车污染防治年报[R]. 青岛: 青岛市环境保护局, 2014.
- [20] 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.
- [21] 樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 等. 基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征[J]. 环境科学, 2015, 36(8): 2750-2757.

编辑: 黄 苇 (收稿日期: 2018-12-21)