

# 冬季低温地区道路移动源大气污染物排放清单

高成康<sup>1,2</sup>, 许庆江<sup>1,2</sup>, 邢玉红<sup>1,2</sup>, 那洪明<sup>1,2</sup>

(1. 东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 东北大学 国家环境保护生态工业重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 研究了冬季低温地区道路移动源排放清单及污染特征. 以长春市为例, 基于测试和“道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南”, 建立了 2016 年全年的道路移动源大气污染物排放清单, 利用 ArcGIS 进行空间分配, 并基于 IVE 模型分析典型车辆启动排放贡献率. 结果表明, 长春市道路移动源 CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 年排放量分别为 13.17, 2.90, 4.09, 0.22, 0.24 万 t; 小型客车和重型货车分别为 CO, HC 和 NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> 的主要来源; 启动阶段, 长春市典型车辆冬季启动贡献率高于上海市; 另外, 道路移动源排放强度呈现出由城市中心向边缘递减的趋势.

**关 键 词:** 道路移动源; 冬季低温地区; 排放清单; 启动排放; 空间分布

中图分类号: X 511 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2019)09-1343-07

## Emission Inventory of Atmospheric Pollutants from on-Road Vehicles in Low-Temperature Areas in Winter

GAO Cheng-kang<sup>1,2</sup>, XU Qing-jiang<sup>1,2</sup>, XING Yu-hong<sup>1,2</sup>, NA Hong-ming<sup>1,2</sup>

(1. School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. SEP Key Laboratory of Eco-industry, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: XU Qing-jiang, E-mail: 876609430@qq.com)

**Abstract:** The emission inventory and pollution characteristics of on-road vehicles were studied in low temperature areas in winter. Taking Changchun as an example, and based on tests and the technical guide for emission inventory preparation of on-road vehicles, an emission inventory of Changchun was established in 2016. ArcGIS was used to allocate space, and the contribution rate of typical vehicles starting emission was analyzed based on the IVE model. The results showed that the annual emissions of CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> are 137 700, 29 000, 40 900, 2 200 and 2 400 tons, respectively. Minibuses are the dominant contributors to CO and HC, while heavy-duty trucks are the main sources of NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub>. Meanwhile, the contribution rate during the start-up phase of typical vehicles in Changchun is higher than that in Shanghai. In addition, the emission intensity tends to decrease from the center of city to the outskirts.

**Key words:** on-road vehicle; low-temperature area in winter; emission inventory; start-up emission; spatial distribution

近年来,我国机动车保有量持续高速增长,截至 2016 年,全国机动车保有量达到 2.95 亿辆,年均增长率高达 7.5%. 北京、天津等城市移动源对细颗粒物浓度的贡献率达 13.5%~41.0%,机动车已经成为城市空气污染的主要来源之一,严重威胁群众健康安全<sup>[1-2]</sup>. 国内外诸多学者采用模型及实测方法获得机动车排放因子,结合机动车活动水平建立了本地化排放清单<sup>[3-5]</sup>. Hao 等采

用 MOBILE5 模型分析了北京、广州和上海的机动车排放情况<sup>[6-7]</sup>; Wang 等基于 IVE 模型建立了上海市机动车排放清单,分析了机动车排放特征及分担率<sup>[8]</sup>; Zhang 等基于交通历史数据,采用 MOBILE-China 模型对广州市历年机动车排放控制措施实施效果进行了评估<sup>[9]</sup>. 从地域角度分析,相关研究主要集中在京津冀、长三角和珠三角地区,针对冬季低温地区机动车排放特征的研究

相对欠缺. 低温情况下, 机动车动力系统从环境温度运行到工作温度的时间加长, 启动排放增大, 车内空调负荷以及运行排放因子更大, 进而导致较大的排放量.

本文选择长春市为冬季低温地区典型城市, 以 2016 年为时间边界, 基于测试和“道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南”(简称“指南”)获取污染物排放因子, 结合机动车活动水平建立道路移动源排放清单, 采用 IVE 模型分析典型车辆的启动排放贡献率, 并利用 ArcGIS 分析其空间排放特征, 以期为冬季低温地区道路移动源排放治理提供参考.

# 1 研究方法

长春市地处中国东北平原腹地, 年平均气温 4.8 ℃, 最低温度 -39.8 ℃, 冬季(12 月~次年 2 月)平均气温 -12 ℃, 其中低温日数(≤ -20 ℃)平均 34.1 天/年, 约占冬季时长的 1/3, 属于典型的冬季低温地区<sup>[10]</sup>. 同时, 随着国 V 排放标准的全面实施以及“黄包车”淘汰政策的逐步落实, 2016 年车型分布能够代表长春市的最新状况.

道路移动源大气污染物包括尾气和 HC 蒸发排放两部分, 为保证建立的排放清单与其他区域具有可比性, 采用通用“指南”中提供的方法:

$$E = E_1 + E_2.$$

(1)

式中:  $E$  为机动车排放总量;  $E_1$  为尾气排放量;  $E_2$  为 HC 蒸发排放量.

尾气排放量:

$$E_1 = \sum_i P_i \times EF_i \times VKT_i \times 10^{-6}.$$

(2)

式中:  $EF_i$  为  $i$  类型机动车单位行驶里程尾气排放的污染物含量, g/km;  $P_i$  为  $i$  类型机动车保有量, 辆;  $VKT_i$  为  $i$  类型机动车的年均行驶里程, km/辆.

HC 蒸发排放量:

$$E_2 = (EF_{a_i} \times \frac{VKT_i}{v_i} + EF_{b_i} \times 365) \times P_i \times 10^{-6}.$$

(3)

式中:  $EF_{a_i}$  为  $i$  类型车驾驶蒸发排放因子, g/h;  $v_i$  为  $i$  类型车平均运行速度, km/h;  $EF_{b_i}$  为驻车期间综合排放因子, g/d.

基于测试和调研获得机动车运行工况、环境参数、燃料品质、劣化程度等参数, 据此对污染物排放因子进行本地化修正, 并结合机动车活动水平建立长春市道路移动源大气污染物排放清单.

## 1.1 机动车运行工况

机动车运行工况与排放因子关系密切, 其中速度是运行工况的主要表征参数. 根据长春市城区功能性质, 选择朝阳区和二道区作为商业区和居民区代表, 每个区内选取快速路、主干道和居民路构建测试路线, 如图 1 所示.

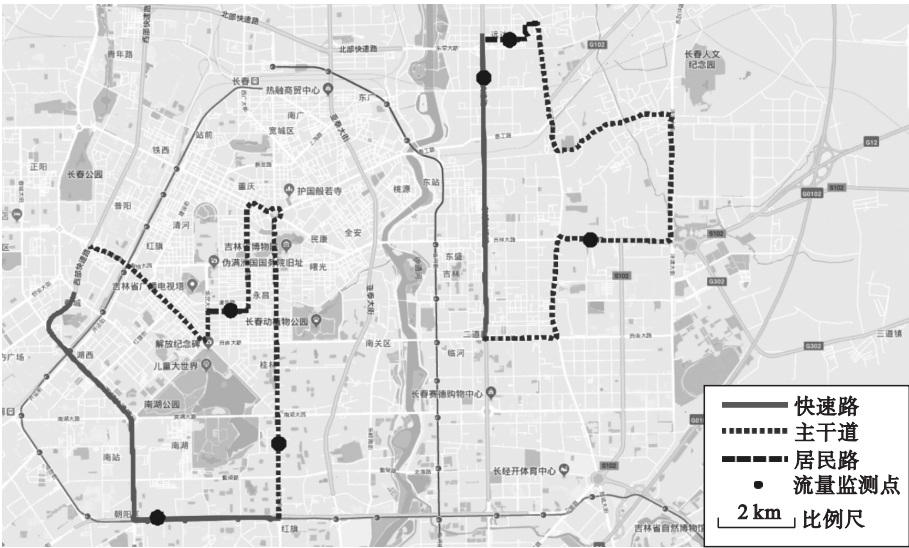


图 1 轻型汽车行驶特征测试路线及交通流量监测点

Fig. 1 Test route of the driving characteristics for light vehicles and traffic flow monitoring points

对轻型汽车, 将便携式 GPS 安装在车辆上, 实时监测工况信息, 获得 7:00~20:00 的行驶特征. 对公交车, 利用手持式 GPS 对 8 辆代表性公

交车进行测试, 运行路线从市中心向城郊辐射展开, 涵盖主干道、次干道及居民路等典型道路. 对出租车, 采用同样方法获取连续 24 h 的行驶特

征. 其他类型车辆工况,通过查阅文献获取.

1.2 机动车道路交通流量

道路交通流量是反映机动车活动水平的重要参数. 不同道路类型,其交通流量及时间变化存在显著差异,因此,分别在快速路、主干道及居民路上设置流量监测点,如图1所示. 监测设备采用HT3000-E移动高清抓拍仪,兼具雷达测速、视频监控及交通流量统计功能,获得7:00~20:00不同车型的小时交通流量.

1.3 机动车技术分布及保有量

机动车技术分布及不同车型保有量也是建立排放清单的主要参数. 通过视频无法获知车辆的尾气处理技术、燃料类型、累计行驶里程等参数. 为此,针对轻型客车,采用问卷调查获取机动车技术参数,调研范围包括企事业单位、火车站等;大中型载客车、载货车、摩托车的技术分布及保有量通过部门调研获取.

1.4 车载测试

通过“指南”获取的本地化排放因子存在不确定性,因此,采用SEMTECH-DS车载测试系统检测长春市国V汽油车的真实排放因子,并对“指南”排放因子进行验证.

2 结果与讨论

2.1 机动车活动水平

1) 机动车行驶特征. 图2展示了长春市轻型客车的小时平均速度变化. 基于车辆行驶工况合成法<sup>[11]</sup>,利用速度、加速度等参数生成了公交车1100 s的行驶特征曲线,如图3所示.

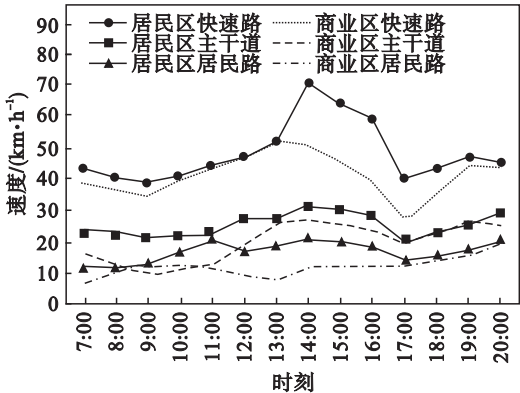


图2 轻型客车速度分布  
Fig. 2 Speed distribution of light buses

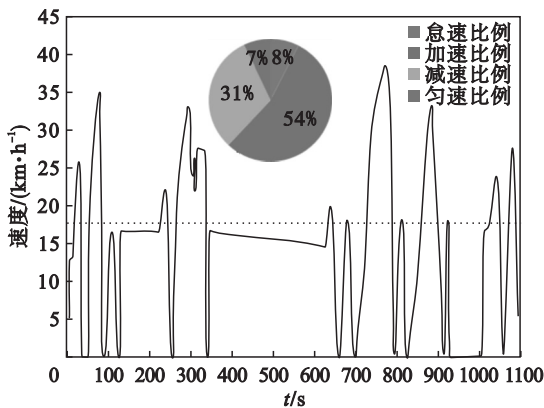


图3 公交车行驶特征  
Fig. 3 Driving characteristics of buses

从图2可知,快速路、主干道和居民路的平均速度呈波浪式分布,受上下班高峰影响,波谷出现在8:00~9:00和16:30~17:30. 商业区车辆平均速度从大到小依次是快速路、主干道和居民路,分别为41.69,19.57,12.53 km/h,而居民区同类道路分别比商业区高10.77%,31.88%和40.48%,可见居民区交通状况优于商业区. 综合不同城市功能区、不同道路及不同时段的速度分布,得到轻型客车的平均速度约为25.8 km/h.

从图3可知,公交车平均速度为15.34 km/h,平均加速度和减速度分别为0.20,-0.36 m/s<sup>2</sup>,加减速比例高达85%. 对于出租车,其平均速度为26.8 km/h,平均加速度和减速度分别为0.28,-0.51 m/s<sup>2</sup>,且加减速较为频繁.

对已有研究成果<sup>[12-13]</sup>分析,得到中型客车、大型客车、轻微型货车、中型货车及重型货车的平均速度分别为49.7,25.8,27.3,49.7,80.4 km/h.

2) 道路交通流量. 图4展示了长春市典型道路逐时交通流量变化. 快速路和主干道交通流量随时间呈波浪式分布,波峰时段与上下班高峰期一致. 快速路交通流量最大,为5489辆/h;其次为主干道和居民路,分别为3945和1112辆/h. 快速路上小型客车比重高达90.4%,出租车次之,为6.6%. 主干道小型客车比重较快速路低,为71.1%,而出租车、公交车比重有较大提升,分别为16.7%和4.2%,这与主干道承载着重要的公共交通功能有关. 居民路摩托车比重明显提高,峰值达12%,且多数为电动摩托车.

3) 机动车保有量及技术分布. 结合长春市机动车保有量<sup>[14]</sup>、燃料类型<sup>[15]</sup>,分析不同燃料机动车保有量,并根据问卷调查得到机动车排放控制标准分布,如图5所示.

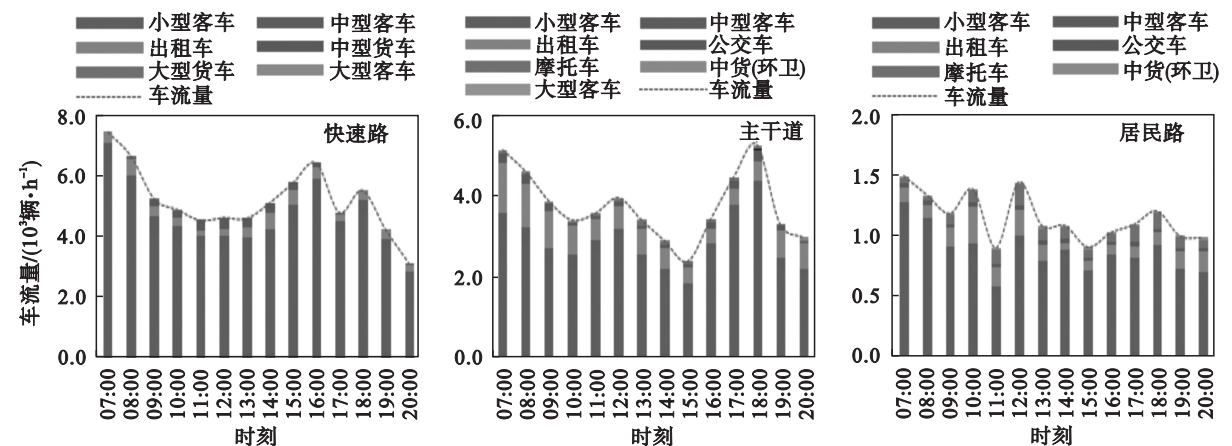


图 4 典型道路交通流量逐时变化  
Fig. 4 Traffic flow by time on typical roads

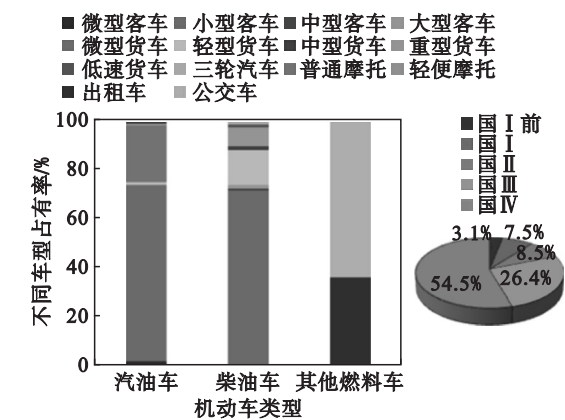


图 5 机动车类型及排放标准分布  
Fig. 5 Distribution of vehicle types and emission standards

分析可知,汽油车保有量最大,为 121.99 万辆,其次为柴油车和其他燃料车辆,分别为 47.46 万辆和 0.49 万辆;排放标准以国Ⅲ和国Ⅳ为主.

2.2 机动车大气污染物排放因子

准确的机动车排放因子是分析排放清单的关键.基于“指南”,结合车辆运行工况、环境参数、燃料品质等进行排放因子本地化修正,并采取加权平均法,以不同排放标准车型数量为权重分析得到长春市不同车型的综合排放因子,见表 1.

2.3 机动车大气污染物排放量

1) 尾气排放.结合长春市不同车型保有量、年均行驶里程及排放因子,分析 2016 年长春市机动车不同燃料类型的排放清单,见表 2.

表 1 机动车大气污染物综合排放因子  
Table 1 Comprehensive emission factors of atmospheric pollutants for vehicles g/km

机动车类型	汽油车					柴油车					其他燃料车				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
小微型客车	3.92	0.47	0.20	0.01	0.01	0.20	0.04	0.71	0.06	0.06	—	—	—	—	—
中型客车	10.41	1.06	0.69	0.02	0.02	1.98	0.44	3.00	0.25	0.28	—	—	—	—	—
大型客车	22.41	2.12	1.68	0.08	0.09	4.87	0.26	9.01	0.56	0.62	—	—	—	—	—
轻微型货车	13.51	1.52	0.79	0.02	0.02	1.81	0.48	3.14	0.13	0.14	—	—	—	—	—
中型货车	28.17	3.00	0.96	0.08	0.09	2.31	0.34	4.87	0.30	0.33	—	—	—	—	—
重型货车	28.17	2.97	1.94	0.08	0.09	2.78	0.34	6.21	0.35	0.39	—	—	—	—	—
出租车	13.37	1.34	0.51	0.01	0.01	—	—	—	—	—	1.94	4.80	2.65	0.08	0.08
公交车	22.58	2.14	1.96	0.08	0.09	4.87	0.26	9.01	0.56	0.62	6.97	1.71	9.04	0.06	0.07
普通摩托车	2.72	0.43	0.06	0.00	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
轻便摩托车	1.67	1.28	0.05	0.00	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
三轮汽车	—	—	—	—	—	0.18	0.04	0.17	0.01	0.01	—	—	—	—	—
低速货车	—	—	—	—	—	0.47	0.17	0.63	0.03	0.03	—	—	—	—	—



表 2 不同燃料类型的机动车污染物排放量  
Table 2 Amount of pollutants from different fuel vehicles  
万 t

燃料类型	污染物类型					合计
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	
汽油	11.39	1.38	0.50	0.02	0.02	13.29
柴油	1.61	0.26	3.41	0.19	0.22	5.50
其他燃料	1.73	0.04	0.17	0.00	0.00	0.39
合计	13.17	1.68	4.09	0.22	0.24	19.18

从表 2 可知,2016 年长春市机动车 5 种常规污染物尾气排放量为 19.18 万 t。其中,CO 排放 13.17 万 t,占总量的 68.67%;其次为 NO<sub>x</sub>,HC 和 PM<sub>10</sub>,分别占 21.30%,8.77% 和 1.26%。汽油车对排放总量的贡献率为 69.30%,并且对 CO 和 HC 的排放贡献率高达 86.43% 和 82.31%,这主要与汽油车保有量有较大关系。柴油车仅占机动车保有量的 27.97%,但其对 NO<sub>x</sub> 和 PM<sub>10</sub> 的排放贡献率却高达 83.54% 和 89.72%,说明柴油车是 NO<sub>x</sub> 和 PM<sub>10</sub> 的主要排放源。

图 6 展示了长春市不同车型排放分担率。其中,对 CO 和 HC 排放贡献最大的均是小型客车,占 47.81% 和 45.47%,这与其保有量大且多以汽油为燃料有关;其次是出租车和普通摩托车,分别为 16.88%,13.32% 和 14.49%,17.18%,虽然出租车保有量低,但因年均行驶里程长,且多在城区低速行驶,发动机燃烧工况较差,导致较大的 CO 和 HC 排放,而普通摩托车则与其排放控制水平滞后且保有量较大有关。对 NO<sub>x</sub>,PM<sub>10</sub> 贡献率最大的均是重型货车,达 40% 以上,这归咎于重型货车年均行驶里程较长且以柴油为燃料;小型货车对 NO<sub>x</sub>,PM<sub>10</sub> 的贡献率分别为 16.64% 和 12.68%,一方面受其保有量影响,同时,约 85% 的车辆使用柴油,且多在城区行驶,运行工况较差。

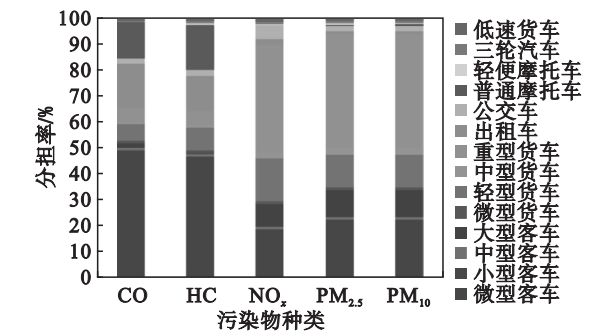


图 6 不同车型对污染物排放的分担率  
Fig. 6 Contribution of different type vehicles to pollutant emission

2) 蒸发排放. 随着尾气处理技术的提高,蒸发

排放对机动车污染物排放的贡献率越来越大<sup>[16]</sup>。分析得到,2016 年长春市道路机动车 HC 蒸发排放量为 1.22 万 t,占机动车 HC 总排量的 42.07%,远高于北京市 20.00% 的水平<sup>[17]</sup>。其中,小型客车 HC 蒸发排放量最大,占蒸发排放总量的 75.03%;其次为摩托车、出租车和微型客车,这主要与不同车型保有量和蒸发排放控制技术等因素有关。

3) 启动排放. 启动排放是机动车污染物排放的重要阶段,有研究表明,冷启动排放量约占完整工况的 50%<sup>[18]</sup>。本文以小型汽油车为例,基于运行工况、热浸时间及车辆技术分布等数据,利用 IVE 模型得到了长春市 1~12 月份启动排放贡献率,如图 7 所示。由图可知,CO 和 HC 启动排放贡献率随时间变化明显,呈现夏季低、冬季高的特点,其中,CO 平均启动排放贡献率达 50.0%,且冬季约为夏季的 1.5 倍。相比而言,NO<sub>x</sub> 和 PM<sub>10</sub> 随季节无明显变化。

图 8 对比了国内外典型城市冬季启动排放贡献率。其中,长春市 CO 启动排放贡献率高于其他城市,HC 约为上海市的 2 倍,这主要与长春市冬季气温较低有关<sup>[8,19]</sup>。

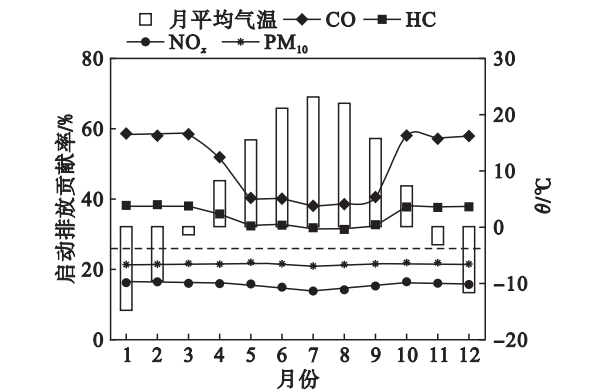


图 7 小型汽油车启动排放贡献率  
Fig. 7 Contribution of start-up emission from small gasoline vehicles

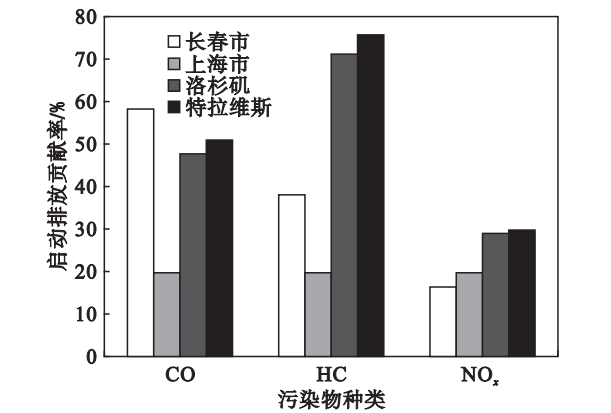


图 8 典型城市冬季启动排放贡献率  
Fig. 8 Contribution of start-up emission in typical cities in winter

4) 大气污染物排放清单. 结合尾气排放和蒸发排放,分析得到长春市 2016 年机动车 CO,HC,NO<sub>x</sub>,PM<sub>2.5</sub>及 PM<sub>10</sub>的排放量分别为 13. 17,2. 90,4. 09,0. 22,0. 24 万 t. 其中,汽油车对 CO 和 HC 的排放贡献率为 86. 43% 和 89. 76%,柴油车对 NO<sub>x</sub> 和 PM<sub>10</sub> 的排放贡献率为 83. 54% 和 89. 72%,说明汽油车和柴油车分别是 CO,HC 和 PM<sub>10</sub>,NO<sub>x</sub> 的主要源头.

2. 4 大气污染物空间分布

基于长春市路网,以道路交通流量为权重,对道路移动源大气污染物进行 1 km × 1 km 网格化空间分配,如图 9 所示.

的建立.

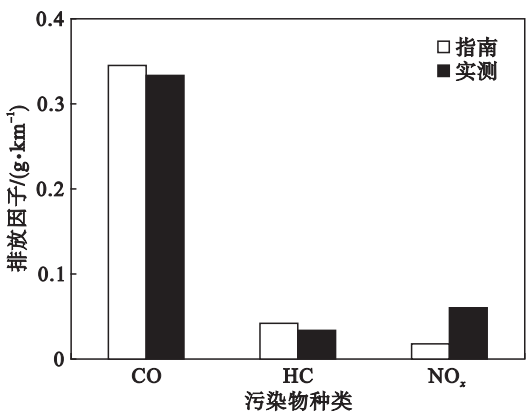


图 10 车载试验与指南排放因子对比  
Fig. 10 Comparison of emission factors between on-board test and guideline

4 结 论

1) 本文以长春市为例建立了冬季低温地区道路移动源大气污染物排放清单. CO,HC,NO<sub>x</sub>,PM<sub>2.5</sub>和 PM<sub>10</sub> 的年排放量分别为 13. 17,2. 90,4. 09,0. 22,0. 24 万 t,合计 20. 40 万 t. 不同燃料和车型排放的主要污染物不同,应根据大气污染特征开展治理工作. 同时,HC 蒸发排放占 HC 排放总量比重大,随着排放标准的日趋严格,蒸发排放的贡献率可能逐步提高,应从技术和管理层面加强机动车蒸发排放控制,尤其是小型客车的管理. 另外,受冬季低温影响,长春市典型车辆启动排放贡献率大,CO,HC 启动排放贡献率在低温条件下均有较大攀升.

2) 长春市道路移动源大气污染物排放空间分布区域特征明显,高排放区域集中在人口密集的城市中心区域,应从发展公共交通、推广清洁能源方面减少机动车排放.

参考文献:

[ 1 ] 中华人民共和国环境保护部. 中国机动车环境管理年报 [ EB/OL ]. ( 2017 - 06 - 03 ) [ 2018 - 09 - 05 ]. <http://dqhj.mee.gov.cn/jdchjgl/zhgldt/201706/P020170605550637870889.pdf>. ( Ministry of Enviromental Protection of People Republic of China. China vehicle environmental management annual report [ EB/OL ]. ( 2017 - 06 - 03 ) [ 2018 - 09 - 05 ]. <http://dqhj.mee.gov.cn/jdchjgl/zhgldt/201706/P020170605550637870889.pdf>. )

[ 2 ] Poorfakhraei A, Tayarani M, Rowangould G. Evaluating health outcomes from vehicle emissions exposure in the long range regional transportation planning process[J]. *Journal of Transport & Health*, 2017( 6 ): 1034 - 1042.

[ 3 ] Fontaras G, Franco V, Dilara P, et al. Development and review of Euro 5 passenger car emission factors based on

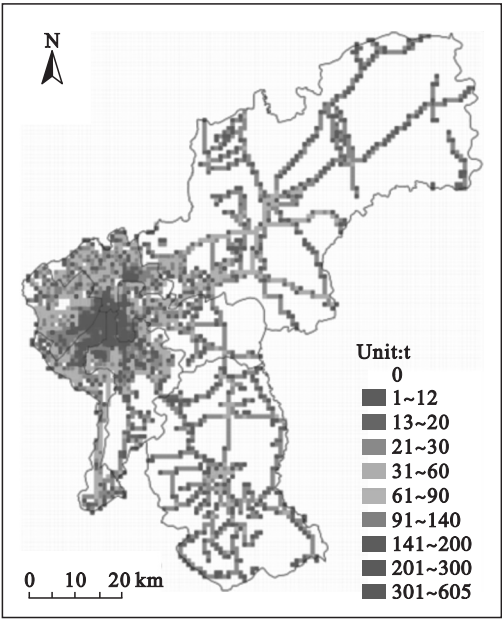


图 9 机动车大气污染物空间分布  
Fig. 9 Spatial distribution of atmospheric pollutants from vehicles

从图 9 可知,机动车大气污染物呈明显的区域和线条状特征,由城市中心向城市边缘递减,高排放区集中在机动车活动水平较高、路网密集、交通流量大的城市中心区域,尤其以东部、南部、西部、北部快速路围成的方形区域排放较为集中.

3 不确定性分析

本地化的机动车排放因子存在不确定性. 因此,将其与车载测试结果进行对比,如图 10 所示. 由图可知,NO<sub>x</sub> 排放因子与“指南”存在一定差异,这与燃油品质及车辆劣化程度有关,CO 和 HC 真实排放因子与“指南”接近,仅差 3% 和 11%. 综上,认为基于“指南”本地化的排放因子具有代表性,可用于指导长春市机动车排放清单

experimental results over various driving cycles [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2014, 468/469 : 1034 – 1042.

[ 4 ] Kousoulidou M, Fontaras G, Ntziachristos L, et al. Use of portable emissions measurement system ( PEMS ) for the development and validation of passenger car emission factors [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2013, 64 ( 1 ) : 329 – 338.

[ 5 ] Mohammadiha A, Malakooti H, Esfahanian V. Development of reduction scenarios for criteria air pollutants emission in Tehran traffic sector, Iran [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2018, 622/623 : 17 – 28.

[ 6 ] Hao J, He D, Wu Y, et al. A study of the emission and concentration distribution of vehicular pollutants in the urban area of Beijing [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2000, 34 ( 3 ) : 453 – 465.

[ 7 ] Hao J, Wu Y, Fu L, et al. Source contributions to ambient concentrations of CO and NO<sub>x</sub> in the urban area of Beijing [ J ]. *Environmental Letters*, 2001, 36 ( 2 ) : 215 – 228.

[ 8 ] Wang H, Chen C, Huang C, et al. On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2008, 398 ( 1 ) : 60 – 67.

[ 9 ] Zhang S, 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 ] 高锋, 王宝书, 孙鸿雁, 等. 近 60 年长春冬季气温变化特征 [ J ]. *安徽农业科学*, 2009, 37 ( 29 ) : 14234 – 14236.  
( Gao Feng, Wang Bao-shu, Sun Hong-yan, et al. Characteristics of winter temperature change in Changchun during recent 60 years [ J ]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37 ( 29 ) : 14234 – 14236. )

[ 11 ] 李孟良, 李洧, 方茂东, 等. 道路车辆实际行驶工况解析方法研究 [ J ]. *武汉理工大学学报 ( 交通科学与工程版 )*, 2003, 27 ( 1 ) : 69 – 72.  
( Li Meng-liang, Li Wei, Fang Mao-dong, et al. Research on analytical method of actual driving conditions of road vehicles [ J ]. *Journal of Wuhan University of Technology* ( *Transmission Science & Engineering* ), 2003, 27 ( 1 ) : 69 – 72. )

[ 12 ] Motrycz G, Krzysztof S, Beata S, et al. Investigations on the dynamics of motor vehicle driving in nighttime conditions [ J ]. *The Archives of Automotive Engineering-Archiwum Motoryzacji*, 2016, 73 ( 3 ) : 103 – 118.

[ 13 ] 吴云波, 王惠中, 刘军, 等. 南京市轻型车行驶工况的研究 [ J ]. *汽车实用技术*, 2011 ( 5 ) : 61 – 64.  
( Wu Yun-bo, Wang Hui-zhong, Liu Jun, et al. Research on driving conditions of light vehicles in Nanjing [ J ]. *Automotive Practical Technology*, 2011 ( 5 ) : 61 – 64. )

[ 14 ] 长春市统计局. 长春统计年鉴 [ M ]. 北京: 中国统计出版社, 2016 : 214 – 215.  
( Changchun Bureau of Statistics. Changchun statistical yearbook [ M ]. Beijing: China Statistics Press, 2016 : 214 – 215. )

[ 15 ] 中国汽车技术研究中心. 中国汽车工业年鉴 [ M ]. 天津: 中国汽车工业年鉴期刊社, 2016 : 228 – 292.  
( China Automotive Technology and Research Center. China automotive industry yearbook [ M ]. Tianjin: China Automotive Industry Yearbook Press, 2016 : 228 – 292. )

[ 16 ] Gentner D R, Harley R A, Miller A M, et al. Diurnal and seasonal variability of gasoline-related volatile organic compound emissions in Riverside, California [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43 ( 12 ) : 4247 – 4252.

[ 17 ] Song Y, Shao M, Liu Y, et al. Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Beijing [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41 ( 12 ) : 4348 – 4353.

[ 18 ] Serie E, Joumard R. Modelling of pollutant emissions during cold start for road vehicles [ J ]. *International Journal of Vehicle Design*, 1998, 20 ( 1/2/3/4 ) : 172 – 180.

[ 19 ] Reiter M S, Kockelman K M. The problem of cold starts: a closer look at mobile source emissions levels [ J ]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2016, 43 : 123 – 132.