

济南市高精度机动车排放清单的研究

宁二伟, 贾强, 王兴瑜, 朱茂欣, 李健, 冯海霞

山东交通学院, 山东 济南

收稿日期: 2022年12月1日; 录用日期: 2023年1月12日; 发布日期: 2023年1月28日

摘要

近年来, 我国采取了一系列措施, 包括升级机动车排放标准、推行新能源汽车等等, 来控制机动车的污染物排放。但机动车的排放总量却没有减少, 反而不断增加。针对这一问题, 本文以济南市为例, 首先计算济南市2021年的机动车污染物的总排放量, 并对其分车型、分燃料类型的排放量进行分析, 紧接着结合GIS技术和POI兴趣点对其进行分配, 之后利用地理加权回归模型对污染物排放的影响因素进行分析。结果显示: 重型货车在五种污染物排放中的占比都比较高; 污染物排放的空间分布在靠近城市中心时为面源分布, 而在非城市中心为线源分布; 相比于海拔的影响, 路网密度对污染物排放的影响更高。

关键词

机动车排放, 减排, GIS, POI, GWR

Research on High Precision Vehicle Emission Inventory in Jinan

Erwei Ning, Qiang Jia, Xingyu Wang, Maoxin Zhu, Jian Li, Haixia Feng

Shandong Jiaotong University, Jinan Shandong

Received: Dec. 1st, 2022; accepted: Jan. 12th, 2023; published: Jan. 28th, 2023

Abstract

In recent years, China has taken various measures to control pollutant emissions from motor vehicles, such as upgrading motor vehicle emission standards and promoting new energy vehicles. However, the total amount of pollutant emissions from motor vehicles has not been reduced, but has been increasing. To face this problem, this paper takes Jinan city as an example, calculates the total pollutant emissions of motor vehicles in Jinan city in 2021, and analyzes their emissions by vehicle type and fuel type, then combines GIS technology and POI to allocate them, after which the allocation results are analyzed, and finally analyzes the influencing factors of pollutant emissions

by using a geographically weighted regression model. The results show that: heavy trucks have a higher proportion of all five pollutant emissions; the spatial distribution of pollutant emissions is surface source distribution when close to urban centers, while it is line source distribution in non-urban centers; the influence of road network density on pollutant emissions is higher compared to the influence of elevation.

Keywords

Motor Vehicle Emissions, Emission Reduction, GIS, POI, GWR

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

改革开放为我国带来了经济的飞速发展，与此同时，工业快速发展，机动车的保有量也随之快速的增加，由此，机动车污染物的排放也逐年增长。除了对空气质量产生影响，机动车污染物的排放还会伤害人体健康[1]。在此背景下，交通部门的减排成为了不得不重视的一个重要问题，并且引起了学者们的广泛研究。

在排放清单的研究方面，张雅瑞等基于 MOVES 模型建立了 2018 年渭南市机动车污染物排放清单，并结合 GIS 路网、车辆数据对其进行了分配，最终得出机动车污染物的“线-面”空间分布特征以及车流量会影响排放强度的结论[2]。赵大地等自上而下地建立了河南省 2018 年的 1 km 高分辨率排放清单，并对其空间分布进行分析[3]。邹泽耀等采用自下而上的方法，结合交通流量，建立了福建省 2020 年 1 到 7 月期间的机动车污染物排放清单，并对其时间、空间分布进行研究[4]。吕改艳等使用 IVE 模型对重庆主城区的污染物排放进行计算，并分析不同车型的分担率和污染物的空间分布[5]。庞可等基于排放系数法和 GIS，建立了兰州市的机动车污染物排放清单，并通过分析提出合理的防治建议[6]。Huo 等对北京市的轻型机动车排放进行了研究，并对其时空分布进行了分析[7]。在清单分配方面，Wei 等通过人口密度进污染物的排放进行分配[8]；Sun 等按照道路类型进行污染物空间分配[9]；王堃等提出了一种基于 POI 点的排放清单分配方法，并对其分配结果进行了验证[10]；郑君瑜等考虑到了不同等级道路中的交通流量不同，提出基于道路等级和交通流量的空间分配方法[11]；Ghaffarpasand 等综合利用车辆行驶周期、路网数据等信息对伊朗伊斯法罕地区 2018 年的机动车排放清单进行分配[12]。

因此，本文根据济南市 2021 年的机动车统计数据，结合《道路机动车大气污染排放清单指南(试行)》，建立 2021 年的济南市机动车污染物排放清单，并在此基础上结合 GIS 技术进行 1 km × 1 km 的高分辨率网格分配，最后通过地理加权回归模型对其影响因素进行分析。

2. 研究区域

本文选取济南市作为研究范围，济南市位于山东省的中西部，其三面被泰山山脉所包围，而黄河位于济南市北部，因此导致了济南市的空气流通不便，再加上工业的发达，导致了济南市的空气污染十分严重，也因此，济南市被作为环境整治的重点区域。因此，本文选择济南市作为研究区域。济南市的行政区划主要包括十个区和两个县，图 1 为济南市的行政区划图。



Figure 1. Administrative division map of Jinan city

图 1. 济南市行政区划图

3. 数据预处理

本文的研究数据包括济南市车管所提供的 2021 年济南市车辆保有量数据、高德地图导出的济南市 POI 兴趣点数据以及其他济南市各项相关数据(气象环境、平均车速等)。

3.1. 机动车保有量数据预处理

为了更好的对济南市的机动车排放总量进行计算, 首先要确定机动车的排放源分级体系。《道路机动车大气污染物排放清单编制技术(试行)》(以下简称《指南》)中, 对机动车进行了三级划分, 首先根据机动车的载客和载货量划分, 然后根据燃油类型进行划分, 最后在前两个分类的基础上, 根据机动车的排放等级进行划分。此外, 由于目前济南市有部分的国六排放标准的车辆, 而《指南》中, 车辆的排放标准的划分只到国五车辆, 因此将国六车辆并入国五车辆。

3.2. POI 数据的预处理

高德地图导出的 POI 数据分为了 20 个大类, 每一大类又分为了很多小类, 比如, 餐饮服务类分为了中餐厅、火锅店、蛋糕店、地方或特色餐厅等等。为了减少机动车排放清单分配过程中的无关因素, 提高分配的准确程度, 本文只保留了与交通相关的 POI 兴趣点, 对其他 POI 数据进行了删除处理。

删除之后的 POI 兴趣点大类上分为了道路附属设施、交通设施服务这两个大类, 其中, 交通设施服务包括公交车站、停车场、地铁站等; 道路附属设施包括收费站和高速服务区。具体的分布图见图 2。

3.3. 其他数据

除机动车保有量数据和 POI 数据之外, 其他数据通过查找获取, 主要包括: 济南市平均温度、平均

相对湿度、海拔、机动车平均速度、机动车劣化系数以及燃料含硫量数据，通过这些数据对基准排放因子进行修正。

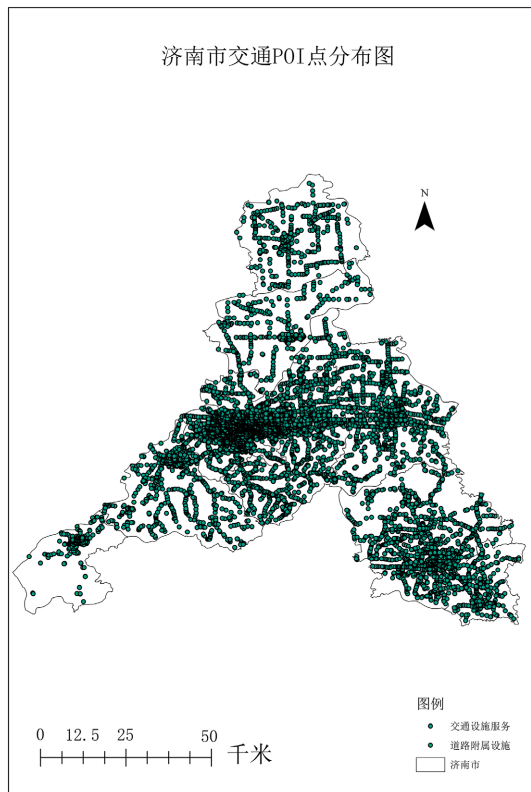


Figure 2. Distribution map of traffic POI points in Jinan
图 2. 济南市交通 POI 点分布图

对于劣化系数，《指南》中给出了 2014~2018 年的各个污染物的劣化修正系数。本文数据为 2021 年数据，因此参考其他文献对劣化修正因子进行说明[13]。首先根据污染物的排放量与机动车车龄的关系，计算出逐年的机动车排放量，最后用计算出的排放量除以第六年的排放量得到劣化系数。车龄根据机动车排放标准实施时间进行确定。计算公式如式(1)所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} L(\text{CO}, Y) = 0.36 \ln Y + 0.26 \\ P(\text{CO}, Y) = \frac{L(\text{CO}, Y)}{L(\text{CO}, Y = 6)} \\ L(\text{HC}, Y) = 58.888 \ln Y + 68.980 \\ P(\text{HC}, Y) = \frac{L(\text{HC}, Y)}{L(\text{HC}, Y = 6)} \\ L(\text{NOX}, Y) = 661.4 \ln Y + 871.0 \\ P(\text{NOX}, Y) = \frac{L(\text{NOX}, Y)}{L(\text{NOX}, Y = 6)} \end{array} \right. \quad (1)$$

式中， $L(\text{CO}, Y)$ 代表车龄为 Y 的车辆 CO 排放量， $P(\text{CO}, Y)$ 代表车龄为 Y 的车辆排放因子； $L(\text{HC}, Y)$ 代表车龄为 Y 的车辆 HC 排放量， $P(\text{HC}, Y)$ 代表车龄为 Y 的车辆排放因子。 $L(\text{NO}_x, Y)$ 代表车龄为

Y 的车辆 HC 排放量, $P(\text{NOX}, Y)$ 代表车龄为 Y 的车辆的排放因子。此外, 由于使用模型为对数模型, 因此在前几个数据的模拟过程中, 测算出的排放量并不是特别稳定, 为了更加贴合现实, 选择从较为稳定的车龄为 6 的年份为基准, 其排放因子为 1, PM2.5 和 PM10 的劣化修正因子为 1。

4. 研究方法

4.1. 排放因子法

排放因子法利用当地的机动车保有量数据, 结合机动车的年均行驶里程和污染物的排放系数对排放总量进行计算。计算公式如式(2)所示:

$$E = \sum_i P_i * EF_i * VKT_i * 10^{-6} \quad (2)$$

式中, E 为机动车污染物的年总排放量, 单位为吨; P_i 为 i 类型机动车的保有量, EF_i 为 i 类型机动车行驶单位距离所排放的污染物的量, 单位为克/公里; VKT_i 为 i 类型机动车的年均行驶里程[14]。

机动车的污染物主要包括五类, 分别为 CO、CH、NO_x、PM2.5 以及 PM10, 《指南》给出了各个污染物的基准排放因子以及修正方法。通过济南市的本地参数, 如温度、湿度、海拔、燃料含硫情况等可以对污染物的基准排放因子进行本地化修正。

4.2. 基于 POI 兴趣点的排放清单分配

POI 兴趣点包含了丰富的信息, 而且获取相对比较容易, 利用 POI 信息能够对机动车排放清单进行分配。本文中, 首先利用 GIS 对济南市的行政规划图进行网格化, 之后统计各个网格内的 POI 点的数量, 最后根据每个网格内的 POI 点数量对计算出来的机动车排放总量进行分配。

4.3. 地理加权回归模型分析

地理加权回归模型加入了数据的空间权重, 利用最小二乘法和数据的空间位置进行统计分析, 可以研究变量在局部空间中的关系[15]。为了更好地治理机动车污染物排放提出建议, 本文拟利用地理加权回归模型探索机动车污染物排放的影响因素。

5. 结果分析

5.1. 济南市机动车污染物排放总量

Table 1. Total pollutant discharge in Jinan
表 1. 济南市污染物排放总量表

污染物	排放总量(吨)
CO	56848.17847
HC	14484.77308
NOX	23263.101
PM2.5	594.7791612
PM10	4932.273827

如表 1 所示, 2021 年, 济南市机动车污染物排放量分别为: CO 为 56848.17847 吨; HC 为 14484.77308 吨; NOX 为 23263.101 吨; PM2.5 为 594.7791612 吨; PM10 为 4932.273827 吨。

5.1.1. 分燃料类型排放总量

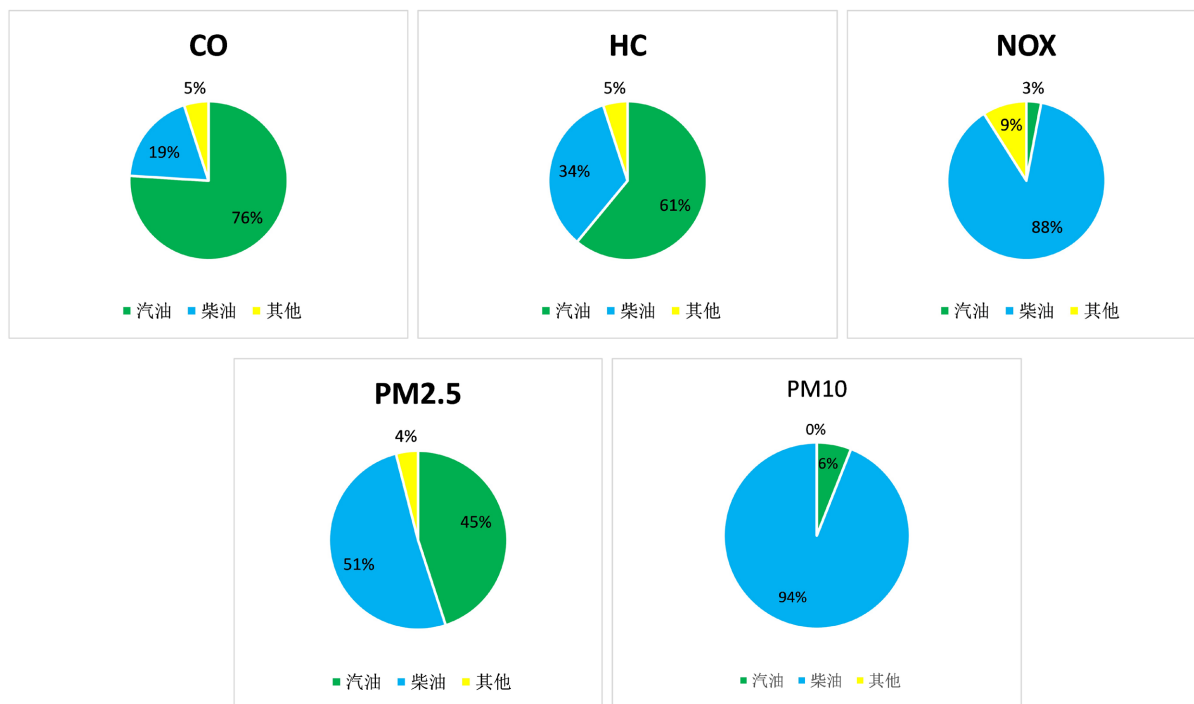


Figure 3. Proportion of pollutants by fuel type

图 3. 分燃料类型污染物占比图

分燃料类型的排放占比图如图 3 所示，CO、HC 主要来源于汽油，而 NOx、PM10 主要来源于柴油，PM2.5 的占比中，汽油为 45%，柴油为 51%。通过搜索资料以及查看数据发现，造成这种差异的原因一方面来自于排放因子和机动车保有量的不同，而另一方面，则是由于汽油和柴油的组成成分不同。因此，对 CO、HC 排放的控制主要是从汽油车的管控入手，而 NOx 和 PM10 的管控需要从柴油车管控入手。

5.1.2. 分车辆类型排放总量

Table 2. Pollutant emission table by vehicle type

表 2. 分车型污染物排放表

车辆类型	污染物排放情况(吨)									
	CO		HC		NOx		PM2.5		PM10	
微型载客	395.89	0.70%	88.33	0.61%	7.76	0.03%	2.44	0.41%	2.68	0.05%
小型载客	35499.06	62.45%	7407.74	51.14%	763.68	3.28%	245.94	41.35%	285.29	5.78%
中型载客	1018.14	1.79%	217.99	1.50%	157.76	0.68%	9.49	1.60%	37.07	0.75%
大型载客	3947.92	6.94%	1203.78	8.31%	4223.17	18.15%	103.25	17.36%	585.01	11.86%
轻型载货	8553	15.05%	2130.65	14.71%	5186.5	22.29%	79.47	13.36%	1150.46	23.33%
中型载货	152.38	0.27%	81.56	0.56%	356.55	1.53%	5.28	0.89%	80.33	1.63%
重型载货	5832.03	10.26%	2862.92	19.77%	12520.64	53.82%	142.42	23.95%	2781.77	56.40%
普通摩托车	1431.05	2.52%	473.15	3.27%	31.33	0.13%	5.27	0.89%	5.27	0.11%

Continued

轻便摩托车	6.74	0.01%	12.64	0.09%	0.14	0.00%	0.03	0.01%	0.03	0.00%
三轮货车	11.94	0.02%	5.98	0.04%	15.54	0.07%	1.15	0.19%	4.32	0.09%
低速货车	0.03	0.00%	0.03	0.00%	0.03	0.00%	0.03	0.01%	0.03	0.00%
总计	56848.18	100.00%	14484.77	100.00%	23263.1	100.00%	594.77	100.00%	4932.26	100.00%

如表 2 所示，CO、HC 的排放中，小型载客汽车和重型载货汽车占前两位，其中，小汽车排放量大的原因是保有量多，而载货汽车则是由于排放因子较大，NOX、PM10 的排放量中，重型载货都位于第一位，PM2.5 则位于第二位，由此，对于污染物的控制，一方面要控制机动车的保有量，另一方面，重型货车的控制也应该作为一个主要的方向。因此，本文将重型货车污染占比单独排列。

5.1.3. 重型货车污染物占比

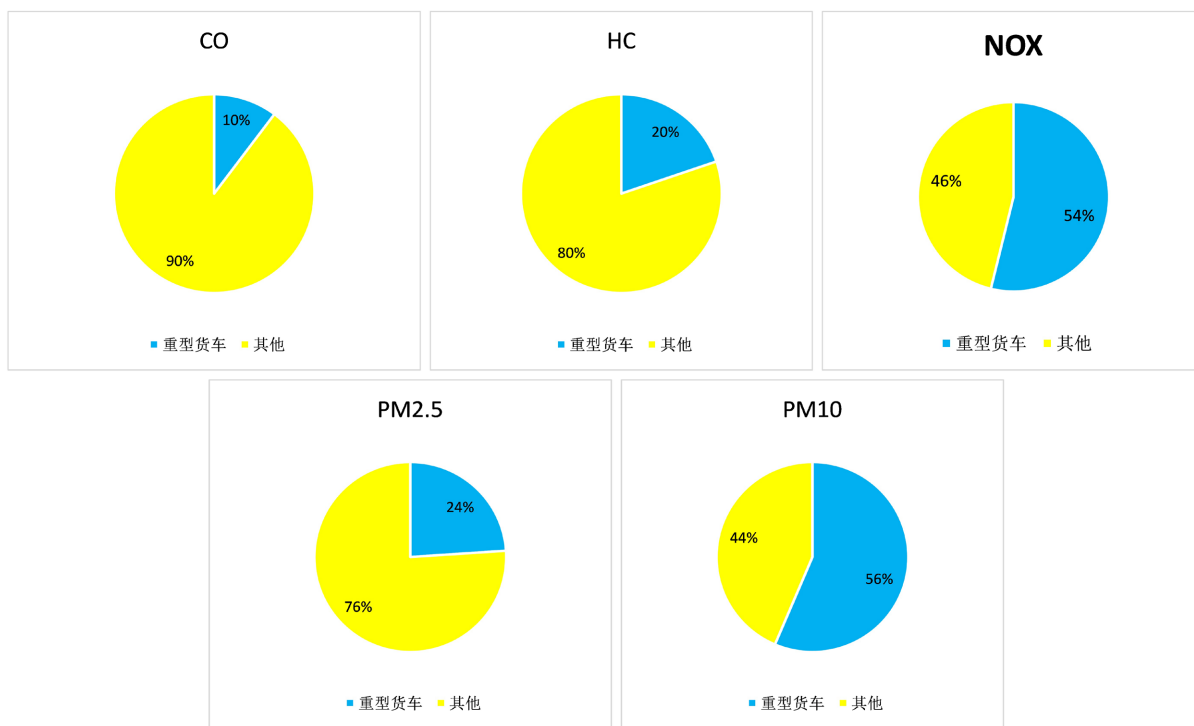


Figure 4. Proportion of pollutants in heavy trucks

图 4. 重型货车污染物占比图

图 4 为重型货车在各个污染物排放中的占比图。CO 的排放中，重型货车占比为 10%；HC 中的占比为 20%；NOX 为 54%；PM2.5 为 24%、PM10 为 56%。而机动车的保有量数据显示，重型货车占比仅为 2%，而重型货车中的清洁能源车辆占比也为 2%，因此，重型货车污染物排放较多的原因是一方面重型货车的年均行驶里程较大，另一方面，清洁能源车辆的占比较低。

5.2. 网格化排放清单分配结果

图 5 为五种不同污染物的分配结果图，图中，不同颜色代表了不同的污染物排放量，排放量由少至多的颜色分别为白色、黄色、绿色、蓝色、红色。

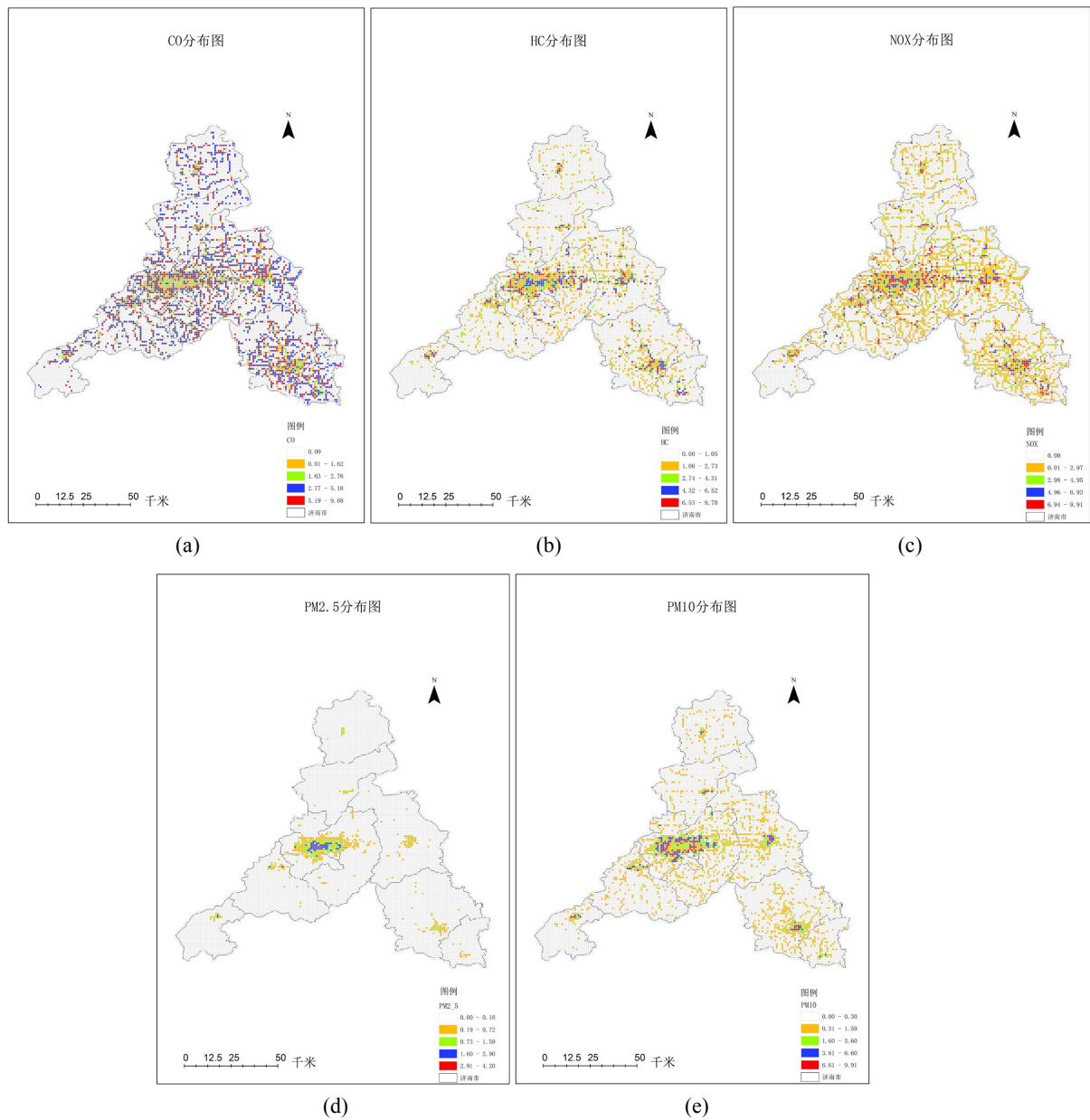


Figure 5. Pollutant distribution results
图 5. 污染物分配结果图

上图结果显示:

- 1) 越靠近城市中心, 五种污染物的排放量就越大, 在靠近城市中心的区域呈现出面源分布的特点。
- 2) CO 的排放在非城市中心呈现明显的线源分布特点, 而且网格分配结果显示多为蓝色和红色, 且非城市中心, 其排放量明显也很大, 这是因为很多网格内没有 POI 点, 而 CO 的排放量又比较大, 因此在分配时, 有 POI 点的网格和没有 POI 点的网格 CO 排放量会相差特别大。
- 3) HC 在非城市中心的区域分布较为分散, 网格颜色多为黄色。
- 4) NOx 在非城市中心的分布同 CO 相似, 都呈带状分布, 但是网格颜色多为黄色。
- 5) PM2.5 从图上来看, 仅分布在城市中心, 非城市中心区域几乎没有分布。

6) PM10 的分配结果与 NOX 很相似，城市中心排放量明显呈面源分布，不同之处在于相比 NOX，PM10 非城市中心的带状分布更加不明显。

综上所述，在路网更加密集，机动车保有量更多的城市中心，污染物的排放呈现面源分布的特点，且相比非市中心，其颜色更深，即单个网格的排放量更大，此外，非城市中心的污染物排放除 PM2.5 之外，都呈现带状分布的特点。总体来看，各个污染物的分布都呈现出从城市中心向郊区扩散的趋势。

5.3. 网格化排放清单分配结果

5.3.1. 空间自相关分析

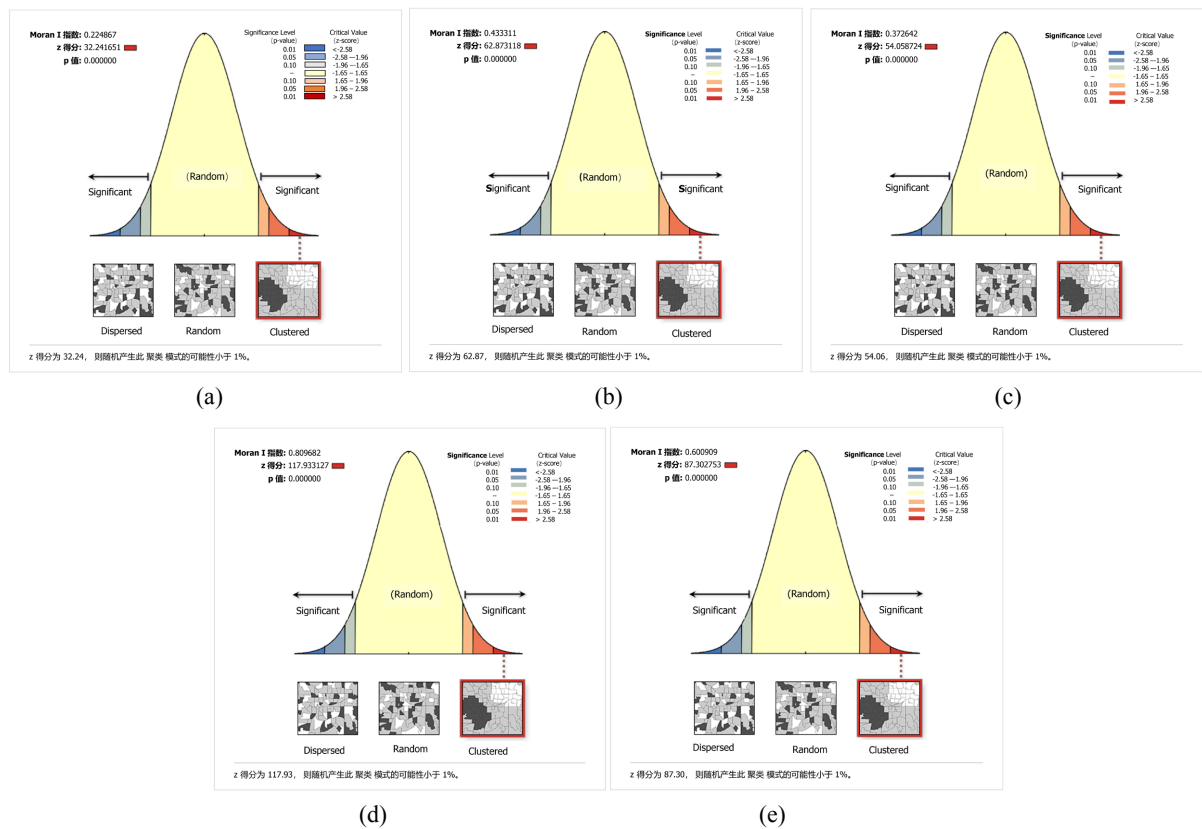


Figure 6. Results of spatial autocorrelation analysis
图 6. 空间自相关分析结果图

图 6 为五种污染物的空间自相关报表，依次为 CO、HC、NOX、PM2.5、PM10。分析结果显示五种污染物的空间分布呈现明显聚集模式，且随机产生这种聚集模式的概率小于 1%，即这种结果不是随机产生的，因此能够通过地理加权回归模型进行分析。

分别将路网密度和海拔作为解释变量，五种污染物的排放量为因变量，通过地理加权回归分析其相关性。R2 越高代表相关性越高，拟合效果越好。

5.3.2. 解释变量为路网密度

一般情况下，路网越密集，代表人口越多，经济、工业越发达，机动车的保有量也就越多，因此路网密度会直接对污染物的排放产生影响，路网密度越大，排放越多，反之越少。地理加权回归结果如下图所示，图 7 中，不同颜色代表不同的标准误差，用来量化每个系数的可靠性，若其大于 2.5，则结果不可靠。

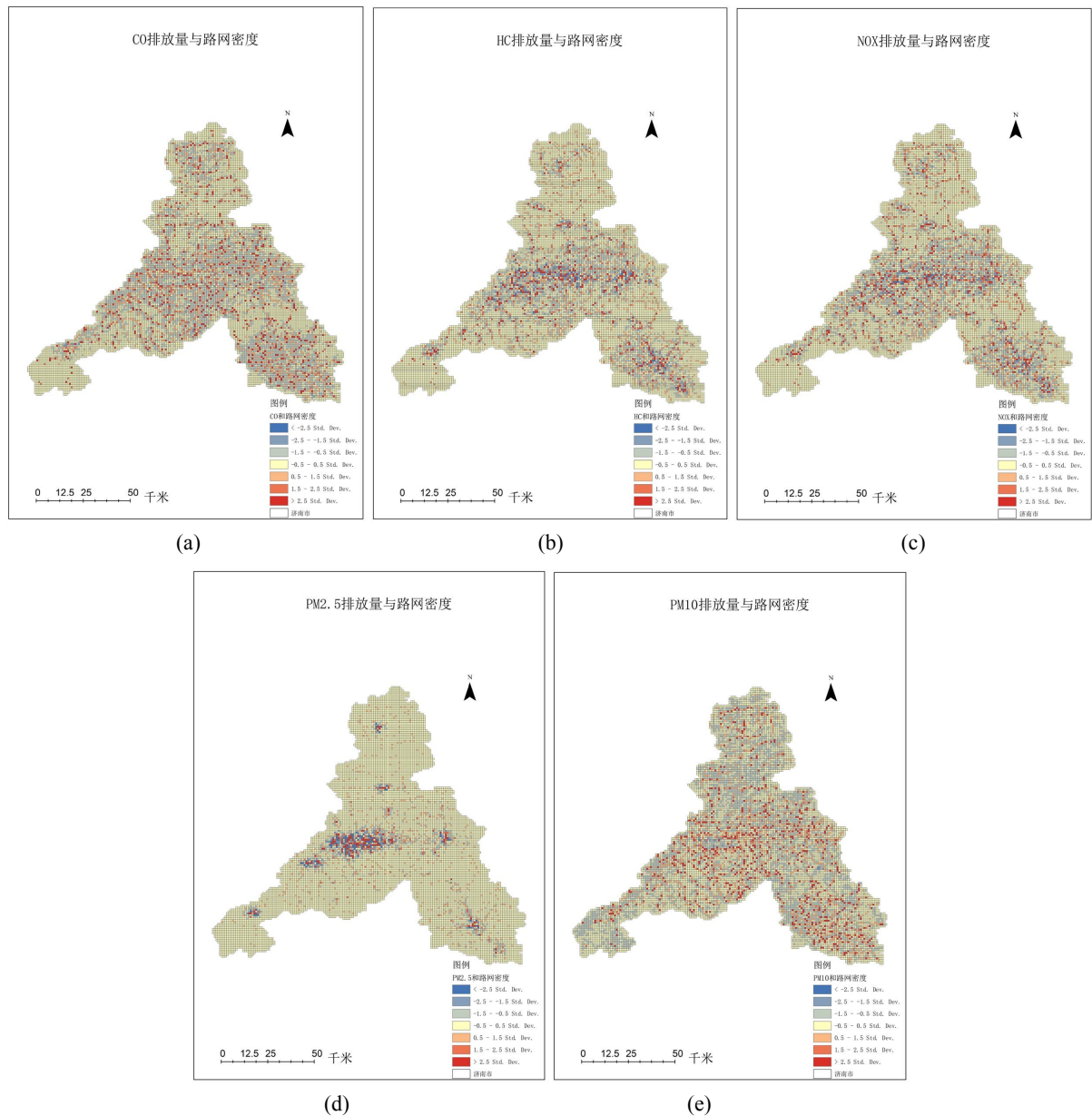


Figure 7. Geographically weighted regression results when the explanatory variable is road network density
图 7. 解释变量为路网密度时地理加权回归结果图

5.3.3. 解释变量为海拔

由于济南市的特殊地理环境，空气流通不便，由此造成污染物浓度较高，因此将坡度作为一种解释变量，来对污染物的排放进行地理加权回归分析，其结果如图 8 所示。

5.3.4. 路网密度和海拔共同作为解释变量

当同时使用两种解释变量进行分析时，需要进行共线性检验，即检查两种解释变量之间的相关性，如果两者之间相关性不大，则可以使用地理加权回归模型，反之则不能。

首先，对两个因子进行相关性分析，分析结果显示两者间 R^2 为 0.1172，表明两者之间并不存在共线性问题；然后利用最小二乘法进行验证，如果结果显示两个变量的方差膨胀因子在 0 到 10 之间，则表明

两者没有共线性问题。经过检验，两个解释变量的方差膨胀系数为 1.132776，因此可以将两者共同作为解释变量，其结果如下表所示；此外，地理加权回归模型中的条件数如果为空或者小于 0 或者大于 30，则解释变量之间存在明显的共线性问题，不适用于地理加权回归模型，本文中的回归结果显示，条件数在 0 到 30 之间，因此地理加权回归模型具有较强的可信度。其结果如图 9 所示。

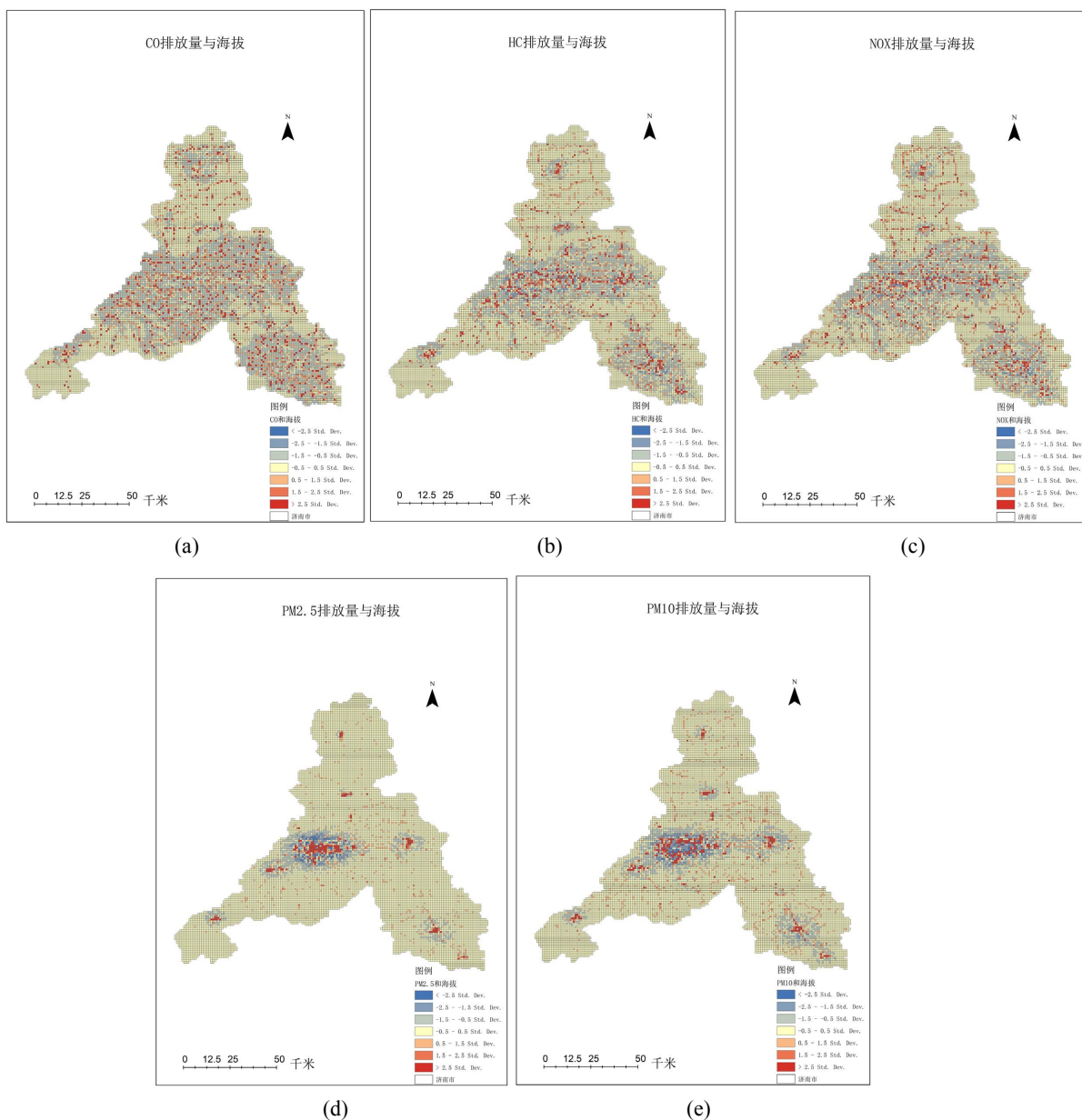


Figure 8. Geographically weighted regression results when the explanatory variable is altitude

图 8. 解释变量为海拔时地理加权回归结果图

5.3.5. 地理加权回归结果

如表 3 所示，当路网密度做为解释变量时：CO 的 R2 为 0.200285，原因在于路网并不密集非城市区域，CO 的排放量也是比较高的，另外四种污染物拟合效果都比较好，说明路网密度对这几种污染物的排放量会造成很大的影响，即路网密度越大，污染物的排放越多；当海拔做为解释变量时：R2 比路网密度

的回归结果小，代表其与污染物排放量的相关性跟路网密度相比较小，但从R2的数值来看，海拔可以作为一个影响机动车污染物排放量的一个影响因素；两者共同做为解释变量时：当两者共同作为解释变量时，拟合结果相比海拔作为单个影响因素有所提高，但与路网密度作为单个解释变量的拟合结果相比，R2 较低。

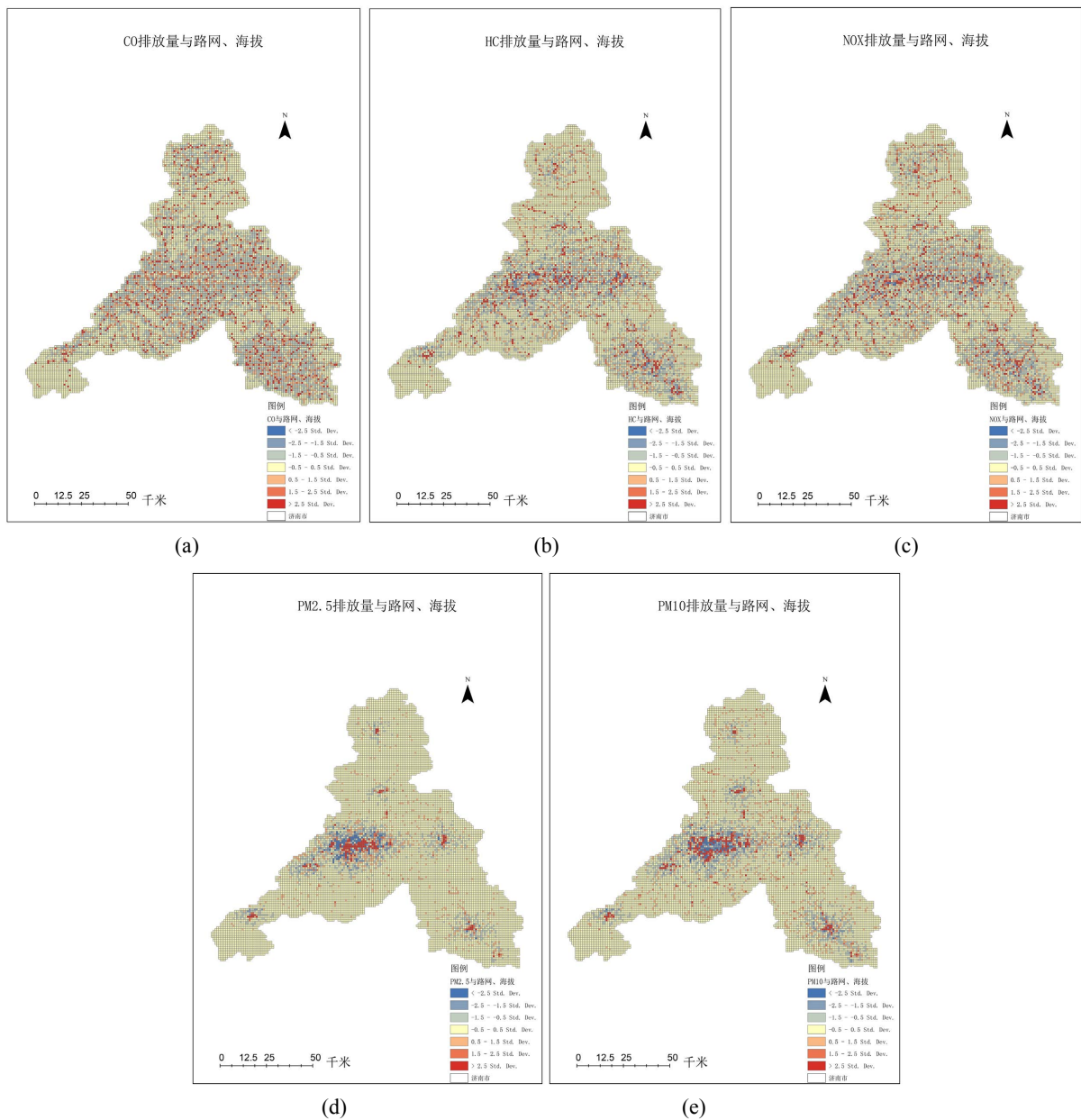


Figure 9. Geographic weighted regression results for road network density and altitude
图 9. 解释变量为路网密度及海拔时地理加权回归结果图

6. 结论和展望

1) 2021 年，济南市机动车的五种污染物排放量分别为 CO：56848.17847 吨；HC：14484.77308 吨；NOX：23263.101 吨；PM2.5：594.7791612 吨；PM10：4932.273827 吨。

Table 3. Geographically weighted regression results
表 3. 地理加权回归结果表

污染物种类	各个解释变量的回归结果 R2		
	路网密度	海拔	路网密度及海拔
CO	0.200285	0.15875	0.187904
HC	0.465945	0.308196	0.358389
NOX	0.378857	0.273687	0.320485
PM2.5	0.832691	0.601419	0.629015
PM10	0.625438	0.422031	0.465452

2) CO 的排放中, 汽油占 76%, 柴油占 19%; HC 的排放中, 汽油占 61%, 柴油占 34%; NOX 的排放中, 汽油占 3%, 柴油占 88%; PM2.5 的排放中, 汽油占 45%, 柴油占 51%; PM10 的排放中, 汽油占 6%, 柴油占 94%。

3) CO 的排放中, 重型货车占比为 10%; HC 中的占比为 20%; NOX 为 54%; PM2.5 为 24%、PM10 为 56%。

4) 污染物的分配结果显示, 在城市中心, 污染物的分布呈现面源分布的特点, 而非城市中心的区域则呈现带状分布的特点。

5) 路网密度和海拔的地理加权回归结果显示, 两者可以做为机动车污染物排放量的影响因素, 但是路网密度的影响明显要比海拔更大。

此外, 本文有一些不足之处, 首先, 对于污染物排放总量的计算, 不够精细, 没有济南市的机动车年均行驶里程数据, 而且机动车的划分将天然气和其他类型划分到了一起; 其次, 在对污染物排放的网格划分中, 只考虑的 POI 点, 而没有考虑其他的因素; 最后, 在地理加权回归模型的分析中, 由于数据问题, 只设置了两种解释变量。这些问题将在后续的研究中解决。

参考文献

- [1] Zheng, X., Wu, Y., Zhang, S.J., *et al.* (2017) Characterizing Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions from Diesel Vehicles Using a Portable Emissions Measurement System. *Scientific Reports*, 7, Article No. 10085. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09822-w>
- [2] 张雅瑞, 李光华, 邓顺熙, 孙智钢, 宋慧, 路珍珍, 巴利萌, 李姜豪. 渭南市道路移动源高分辨污染物排放清单及特征研究[J]. 环境科学学报, 2022, 42(2): 332-340. <https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2021.0350>
- [3] 赵大地, 张宇, 史旭荣, 刘鑫, 许艳玲, 薛文博. 河南省 1 km 分辨率机动车大气污染物排放清单[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(4): 469-475+487. <https://doi.org/10.15985/j.cnki.1001-3865.2022.04.009>
- [4] 邹泽耀, 郑鑫程, 徐崇敏, 曾晓莹, 邱荣祖, 林森, 王占永, 胡喜生. 疫情背景下的福建省高速公路机动车污染物排放清单[J]. 环境科学学报, 2022, 42(5): 119-128. <https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2021.0476>
- [5] 吕改艳, 张卫东, 李振亮, 吕平江, 蒲茜, 袁睿, 胡伟. 重庆市主城区基于动态交通流的机动车污染物排放特征[J]. 环境污染与防治, 2021, 43(11): 1364-1370. <https://doi.org/10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.11.002>
- [6] 庞可, 祝禄祺, 范建峰, 马彩云, 潘峰. 兰州市道路移动源排放清单及防控政策减排核算[J]. 环境保护科学, 2021, 47(3): 113-117. <https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021.03.019>
- [7] Huo, H., Zhang, Q., He, K.B., Wang, Q.D., Yao, Z.L. and Streets, D.G. (2009) High-Resolution Vehicular Emission Inventory Using a Link-Based Method: A Case Study of Light-Duty Vehicles in Beijing. *Environmental Science & Technology*, 43, 2394-2399. <https://doi.org/10.1021/es802757a>
- [8] Sun, S.D., Jiang, W. and Gao, W.D. (2016) Vehicle Emission Trends and Spatial Distribution in Shandong Province, China, from 2000 to 2014. *Atmospheric Environment*, 147, 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.065>

-
- [9] Wei, W., Wang, S.X., Chatani, S., *et al.* (2008) Emission and Speciation of Non-Methane Volatile Organic Compounds from Anthropogenic Sources in China. *Atmospheric Environment*, **42**, 4976-4988. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.044>
- [10] 王堃, 高佳佳, 田贺忠, 淡默, 岳涛, 薛亦峰, 左朋莱, 王晨龙. 基于 POI 兴趣点的排放清单空间分配方法[J]. 中国环境科学, 2017, 37(6): 2377-2382.
- [11] 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. <https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2009.04.018>
- [12] Oga, B., Talaie, M.R., Ahmadikia, H., Khozani, A.T. and Shalamzari, M.D. (2020) A High-Resolution Spatial and Temporal On-Road Vehicle Emission Inventory in an Iranian Metropolitan Area, Isfahan, Based on Detailed Hourly Traffic Data. *Atmospheric Pollution Research*, **11**, 1598-1609. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.06.006>
- [13] 白广德. 长春市乘用车排放劣化规律及控制策略研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [14] 生态环境部. 道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行) [EB/OL]. <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587831090.pdf>, 2021-05-03.
- [15] 杨青, 彭若慧, 刘星星, 曹兰娟. 基于地理加权回归的省域碳排放影响因素研究[J/OL]. 环境工程技术学报: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5972.X.20220831.1151.002.html>, 2022-11-27.