

# 城市道路交通移动源排放核算与扩散方法

屈新明, 丘建栋, 吕锴超, 罗舒琳

(深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 广东 深圳 518021)

**摘要:** 城市道路交通移动源排放核算存在车辆行驶工况测定精度低、本地化排放因子不健全、排放扩散研究不充分等问题, 导致核算方法系统性和精细化程度难以支撑城市级别的排放核算。对排放因子本地化技术路径及自下而上的道路交通移动源排放核算方法开展研究。融合浮动车、卡口、地磁等多源数据, 动态评估道路交通量分布及服务水平, 提出道路实时工况测定方法。基于工况特征提取构建本地道路典型工况、匹配HBEFA模型、标定本地化排放因子, 并利用车辆尾气追踪与分析系统(OPCAS)进行排放因子修正, 形成全面准确的本地化排放因子库。在此基础上, 依据排放扩散理论, 提出基于地理空间区域网格化和高斯烟羽模型的排放扩散模拟计算方法, 将扩散模拟计算结果与监测结果进行对比, 结果表明扩散模拟结果能够准确反映接受点附近的排放浓度变化趋势, 模拟浓度值变化趋势与监测点实验值的变化趋势基本一致。

**关键词:** 城市道路交通; 移动源; 排放核算; 排放因子; HBEFA模型; 排放扩散; 高斯烟羽模型; 深圳市

Accounting and Dispersion Methodologies for Urban On-Road Mobile Source Emissions

QU Xinming, QIU Jiandong, LYU Kaichao, LUO Shulin

(Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518021, China)

**Abstract:** The accounting for urban on-road mobile source emissions has challenges such as low accuracy in determining vehicle driving conditions, inadequate localization of emission factors, and insufficient research on emissions dispersion. These issues hinder the systematic and detailed calculation of emissions at the city level. This paper focuses on the localization of emission factors and a bottom-up approach to account for urban on-road mobile source emissions. By integrating data from multiple sources, including floating cars, checkpoints, and magnetic sensors, the dynamic distribution of road traffic volume and level of service is assessed, and a real-time road condition determination method is proposed. Based on extracted operational characteristics, local road typical conditions are constructed, HBEFA model is matched, and localized emission factors are calibrated. The On-road Plume Chasing and Analysis System (OPCAS) is used for emission factor correction, resulting in a comprehensive and accurate library of localized emission factors. With this methodological foundation, emissions dispersion simulation calculation methods are proposed based on geographical spatial grid and the Gaussian plume model. The simulation results are compared with monitoring results, demonstrating that the dispersion simulation can accurately reflect the concentration trends near the receptor locations. The changes of simulated concentrations are generally consistent with the experimental values collected at the monitoring sites.

**Keywords:** urban road traffic; mobile sources; emission accounting; emission factors; HBEFA model; emissions dispersion; Gaussian Plume Model; Shenzhen

收稿日期: 2023-07-05

作者简介: 屈新明(1994—), 男, 四川巴中人, 硕士, 工程师, 智慧事业部交运PDT副总经理, 主要研究方向: 交通模型、交通大数据挖掘、交通规划决策支持系统研发。E-mail: xinming\_qu@163.com

## 0 引言

根据《中国移动源环境管理年报(2023)》<sup>[1]</sup>, 2022年全国机动车保有量达4.17亿辆, 全国机动车四项污染物(一氧化碳

(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和颗粒物(PM))排放总量为1466.2万t, 机动车污染物排放已经成为城市空气污染主要来源。道路交通移动源具有分布广泛、个体排放量小、排放量不稳定、排放监测核算困难

等特点, 精准核算道路交通移动源排放量, 并研究扩散模型以量化污染物排放量对空气质量的影响具有重要意义。

在城市碳排放及污染物排放核算方面, 储诚山等<sup>[2]</sup>针对天津市公共汽车、出租汽车等特定车型, 提出基于城市客运交通数据的碳排放核算方法。黄冠涛等<sup>[3]</sup>、Y. V. Trofimenko等<sup>[4]</sup>研究了综合移动源的排放模型, 针对道路交通进行全方式的排放核算, 覆盖道路交通移动源和道路交通固定源。细化到微观驾驶行为时, 王天昊<sup>[5]</sup>、单肖年等<sup>[6]</sup>汇总对比了现有融合交通仿真技术的微观车辆排放模型, 面向交通碳排放测算研究VISSIM跟驰模型的优化。在排放扩散研究方面, J. Rissman等<sup>[7]</sup>基于空间网格化研究了美国亚特兰大哈兹菲尔德-杰克逊国际机场周围污染物对环境的影响。针对非道路交通移动源排放核算, 韩博等<sup>[8]</sup>基于飞机起降过程(Landing and Take off, LTO)研究了粤港澳大湾区飞机LTO污染物排放因子及排放清单。

城市道路交通移动源排放核算研究已取得阶段性进展, 扩散研究应用较少。具体存在以下问题: 1)主要针对公共汽车、出租汽车排放进行核算, 导致排放核算覆盖范围不够, 未能覆盖体量更大的私人小汽车排放源; 2)由于对本地车辆行驶工况研究不够深入, 造成对本地车型的排放因子标定不准确或者直接使用国外排放因子, 进而导致排放核算误差大; 3)仅从城市能源消耗和交通工具具体量出发粗略评估道路交通移动源在较长时间内的排放量, 造成排放核算在时间、空间上精细程度不够; 4)排放核算研究主要面向宏观核算区域, 针对污染物排放对周围环境的影响缺少科学评估。

本文针对道路交通移动源开展微观尺度、小时级别的全方式排放核算方法研究, 并进行污染物扩散浓度模拟计算。文中城市

道路交通移动源排放不仅包含交通工具在城市道路运输过程中由于能源消耗产生的CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>等温室气体, 也包括可吸入颗粒物, SO<sub>2</sub>, NO等空气污染物。

## 1 城市道路交通移动源排放核算基本原理

城市交通系统具有机动车保有量大、路网规模大、交通流数据随机性强、不同车型排放差异大等特点, 导致城市道路交通移动源成为排放核算中最重要且难度最大的部分。城市道路交通移动源排放量由车公里数(Vehicle Kilometers of Travel, VKT)和排放因子两大因素决定。车公里数由道路长度和当前路段的交通量决定; 排放因子由车辆行驶工况决定, 衡量了不同车型在当前工况下单位里程的排放量。在给定时段内城市道路交通移动源排放量计算公式为:

$$E^{Road} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k E_{ij}^{Road}, \quad (1)$$

$$E_{ij}^{Road} = VKT_i \times \alpha_{ij} \times EF(\lambda_j, \rho_i), \quad (2)$$

式中:  $E^{Road}$  为路段交通移动源排放量/g;  $E_{ij}^{Road}$  为路段  $i$  上第  $j$  类车型的排放量/g;  $VKT_i$  为路段  $i$  上的车公里数/km, 每辆通过车辆的车公里数可用路段长度代替;  $\alpha_{ij}$  为路段  $i$  上第  $j$  类车型数量占路段  $i$  自然车总量的比例/%;  $EF(\lambda_j, \rho_i)$  为第  $j$  类车在路段  $i$  运行状况为  $\rho_i$  的排放因子/(g·km<sup>-1</sup>)。

城市道路交通移动源排放核算原理见图1, 结合交通需求模型与交通运行监测数据, 动态评估交通需求量(VKT); 根据采集逐秒级GPS数据、车辆构成数据等标定本地化排放因子。以路段为基本核算单位, 利用交通需求量与本地化排放因子动态核算道路交通移动源排放。

### 1.1 动态评估道路交通运行

道路交通量、运行速度和服务水平等决定了不同道路的排放水平, 因此获取实时动态、全面准确的交通运行状况成为道路交通移动源排放核算建模的关键技术前提。基于浮动车GPS数据、卡口识别数据、地磁监测数据和道路地理空间数据, 利用多源数据融合、地图匹配、路径搜索等算法, 计算道路运行速度、车型分布、道路服务水平等评估指标。

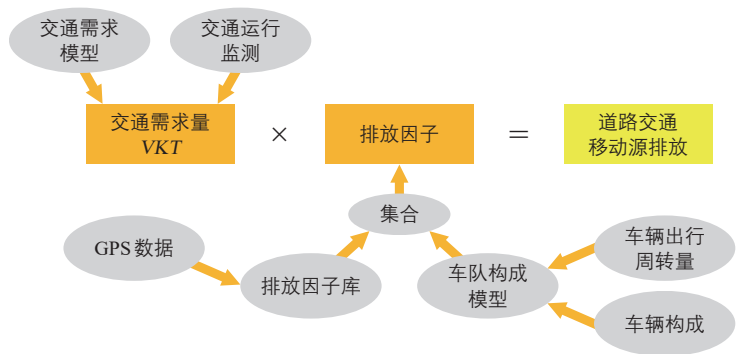


图1 城市道路交通移动源排放核算原理

Fig.1 Accounting principles of urban on-road mobile source emissions

### 1.1.1 交通流数据处理

对浮动车GPS数据、卡口识别数据和道路地理空间数据进行数据清洗，将车辆GPS轨迹与实际路网进行地图匹配，计算道路运行速度。

#### 1) 地图匹配。

在每辆车相邻的两个定位点间找出一条合理的行驶路径，作为该车辆的行驶轨迹。受GPS定位精度的影响，相邻时间点间的行驶路径可能不唯一，需要通过上下游路径并结合车辆监测车速、最短路(或最短时间)优化确定其唯一路径。如图2所示，结合路网结构，选择一条最合理的行驶路径(红色路段为地图匹配识别路径)。

#### 2) 道路运行速度。

样本车辆行程车速  $v=l/t$ ，式中： $v$ 为样本车辆通过路段的平均速度/( $m \cdot s^{-1}$ )； $l$ 为路段长度/m； $t$ 为样本车辆通过路段的行驶时间/s。

道路运行速度估计  $v_i = \sum_{j=1}^m l_{ij} / \sum_{j=1}^m t_{ij}$ ，式

中： $v_i$ 为一定时间内通过路段的所有样本车辆的平均速度/( $m \cdot s^{-1}$ )； $l_{ij}$ 为车辆  $j$  通过路段  $i$  的行驶距离/m； $t_{ij}$ 为车辆  $j$  通过路段  $i$  的行驶时间/s。

#### 3) 路段交通量推断。

融合处理浮动车GPS数据、卡口识别数据，获得核算时间内的基本道路交通量。由于分布在各个道路上的浮动车数量相对稳定(见图3)，没有检测传感器覆盖的路段可根据浮动车交通量数据进行路段交通量推断。结合卡口识别数据和交通调查数据可确定道路基本车型比例(见表1)，其中车型划分为小汽车、公共汽车和货车；新能源汽车占小汽车交通量的19.49%。由此可获得路段分车型交通量，根据检测断面交通量与推算交通量，再进行多轮次OD反推与迭代校核获取路段连续平滑的交通量。图3是某道路断面实测交通量与统计的浮动车交通量的特征关系。

### 1.1.2 道路服务水平评估

按照《城市交通运行状况评价规范》(GB/T 33171—2016)，根据实际出行时间/自由流状态下的出行时间计算道路服务水平(见图4)。

## 1.2 排放因子标定

车辆排放因子是道路交通移动源排放精

细化核算的关键，中国在排放因子方面的研究比较薄弱，从零开始的本地化建库成本又过大。虽然中国道路交通运行情况与欧洲差异性较大，但是二者运行的车型基本一致，在已经相对成熟的欧洲排放监测模型<sup>[9]</sup>(Handbook Emission Factors for Road Transport,

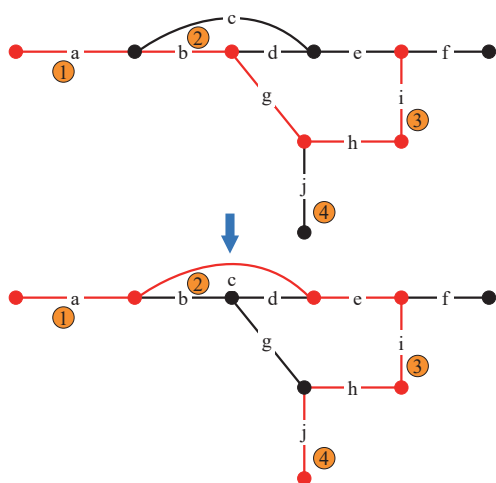


图2 地图匹配示例

Fig.2 Example of map matching

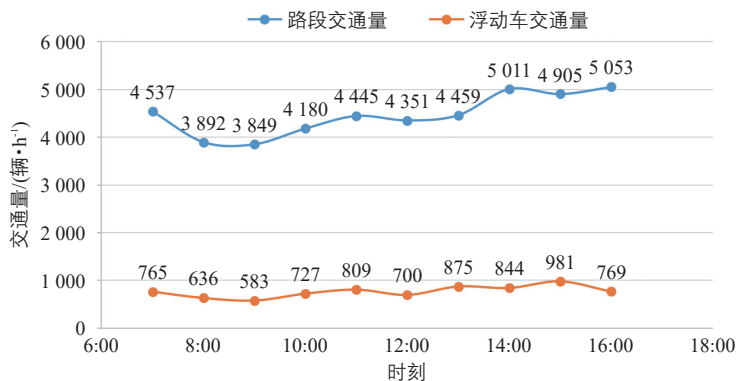


图3 某道路断面实测交通量与浮动车交通量对比

Fig.3 Comparison of observed traffic volume and floating car traffic volume at a road section

表1 道路基本车型比例示例

Tab.1 Example of proportions of typical on-road vehicle types %

车型	小汽车	公共汽车	货车	新能源汽车	新能源公共汽车	新能源货车
比例	86.54	6.81	6.65	19.49	90.48	0

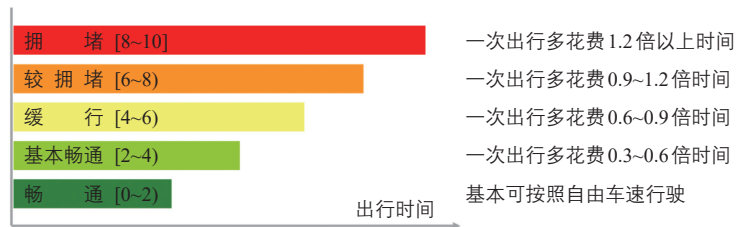


图4 道路服务水平划分

Fig.4 Classification of road level of service

HBEFA)基础上,针对中国城市交通特点因地制宜进行修正、建立本地化排放因子库是具有可操作性、成本较低、准确度较高的方法。

### 1.2.1 行驶单元划分

以浮动车GPS为基础数据,经过数据清洗与填补、地图匹配后,针对车辆行驶轨迹标记行驶路段的道路等级和服务水平;根据车辆启停时间间隔划分车辆行程,并剔除行驶时间过短的异常行程;将预处理后的车辆行程按照道路等级和路段服务水平划分行驶单元。

### 1.2.2 确定典型工况

针对行驶单元速度-时间曲线选取相关特征指标,包括行驶距离、平均速度、停车时间比例和相对正加速度。

1) 平均速度  $\bar{v} = \frac{s}{T_{total}}$ , 式中:  $s$  为总行驶距离/m;  $T_{total}$  为总行驶时间/s。

2) 停车时间比例

$$P_{stop} = \frac{T_{stop}}{T_{total}},$$

$$T_{stop} = \begin{cases} t_2 - t_1 & v_1 = 0, a_1 = 0 \\ 0 & other \end{cases} + \sum_{i=2}^n \begin{cases} t_i - t_{i-1} & v_{is} = 0, a_i = 0 \\ 0 & other \end{cases}, \quad (3)$$

式中:  $P_{stop}$  为停车时间比例/%;  $T_{stop}$  为停车时间/s;  $t_i$  为第  $i$  次停车时刻;  $v_{is}$  为第  $i$  次停车的速度/( $m \cdot s^{-1}$ );  $a_i$  为第  $i$  次停车的加速度/( $m \cdot s^{-2}$ )。

3) 相对正加速度是描述工况曲线动力需求的特征参数,计算公式为:

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i \times a_i^+) dt}{x}, \quad (4)$$

式中:  $RPA$  为相对正加速度/( $m \cdot s^{-2}$ );  $v_i$  为速度/( $m \cdot s^{-1}$ );  $a_i^+$  为正加速度/( $m \cdot s^{-2}$ );  $t$ ,  $T$  为时间/s;  $x$  为行驶距离/m。

将计算得到的行驶距离、平均速度、停车时间比例和相对正加速度特征指标进行均值方差归一化。针对不同道路等级对应的服务水平选择特征指标,并将归一化后值最小(最接近行驶单元工况分布中心)的前20个行驶单元作为候选工况。对候选工况进行可视化分析,将明显不符合对应等级道路运行条件(速度过低、怠速时间长)的工况删除,余下工况作为本地典型工况。

### 1.2.3 计算排放因子

通过对比分析发现,超过50%的深圳市典型工况与欧洲HBEFA模型的典型工况在道路工况上无法对应。针对本地典型工况与欧洲HBEFA模型已有工况特征相似的情况,本文直接使用HBEFA模型中工况对应的排放因子或者对排放因子进行插值计算后使用;针对本地典型工况与欧洲HBEFA模型中工况不匹配的情况,需要通过欧洲客车和重型车排放模型(Passenger Car and Heavy Duty Emission Model, PHEM)<sup>[10]</sup>模拟计算排放因子。

PHEM是基于排放特性图模拟不同驾驶模式的排放因子模型,利用发动机负载和发动机速度通过发动机瞬态地图计算排放因子。考虑到不同工况和不同车型的瞬态影响,可以用瞬态校正函数对排放因子的结果进行调整。

### 1.2.4 排放因子校核

为验证通过工况匹配获取的排放因子库的准确性,利用车辆尾气追踪与分析系统



a 监测车



b 车载监测设备

图5 OPCAS系统实景

Fig.5 Real scene of OPCAS system

(On-road Plume Chasing and Analysis System, OPCAS)设备实测小汽车排放因子;同时与环保部门和科研机构合作,利用车载排放分析系统(Portable Emission Measurement System, PEMS)对排放因子进行交叉验证。

实际操作中针对不同的道路运行速度,选择适当的目标车辆,OPCAS监测车(见图5a)与目标车辆之间保持5~20 m间距,以此捕捉不同车辆在不同等级道路不同服务水平下1~2 min内排放浓度的变化,通过车载监测设备(见图5b)进行在线快速测量。

基于燃油碳平衡原理,OPCAS系统利用燃油中碳元素与CO<sub>2</sub>的转化关系,以及监测车在目标车辆尾气中得到的CO<sub>2</sub>、各类气体排放浓度与环境背景中相应气体的浓度差,得到排放因子,计算公式为

$$EF_p = \frac{\Delta_p}{\Delta c_{CO_2} \times \frac{MW_c}{MW_{CO_2}} + \Delta c_{CO} \times \frac{MW_c}{MW_{CO_2}}} \times W_c, \quad (5)$$

式中:  $EF_p$  为排放因子;  $p$  为排放气体种类标记;  $W_c$  为燃油碳含量/g;  $M$  为燃油质量/g;  $W_{CO_2}$  为CO<sub>2</sub>碳含量/g;  $\Delta$  为浓度增加,即浓度<sub>跟随</sub>-浓度<sub>背景</sub>。

实验对15辆车共计约300个排放因子进行了验证。本地相同工况下,基于工况提取的排放因子与基于OPCAS系统追车测量车辆的排放因子间平均误差小于15%,验证了基于工况提取的排放因子具有较高的准确性。

## 2 排放扩散方法

城市道路交通移动源的排放核算是对一定时期内排放总量的评估,侧重核算排放的强度。为确定城市区域空气污染浓度水平,本文进一步基于道路交通移动源排放扩散理论,模拟计算排放气体扩散后的浓度水平,形成排放核算和扩散模拟计算的闭环。

### 2.1 排放扩散理论

大量实验和理论研究证明,连续源平均烟流(如道路交通排放尾气)的浓度分布符合高斯分布。高斯烟羽模型做如下假定:1)排放浓度在  $y, z$  轴上的分布符合高斯分布;2)在全部空间中风速是均匀、稳定的;3)源强是连续均匀的;4)在扩散过程中污染物质量守恒(不考虑转化)。道路交通移动源排放扩散满足模型假设,其对接受点的污染浓度影响可用有限长线源高斯扩散公式进行计算,即

$$dC = \frac{qy}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (6)$$

式中:  $dC$  为任意无限小线源(交通源)的排

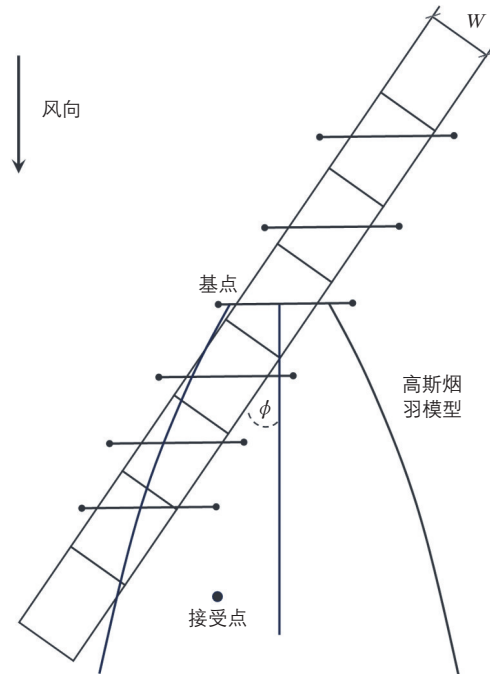


图6 Link-Element算法基本思想

Fig.6 Basic concept of the Link-Element algorithm

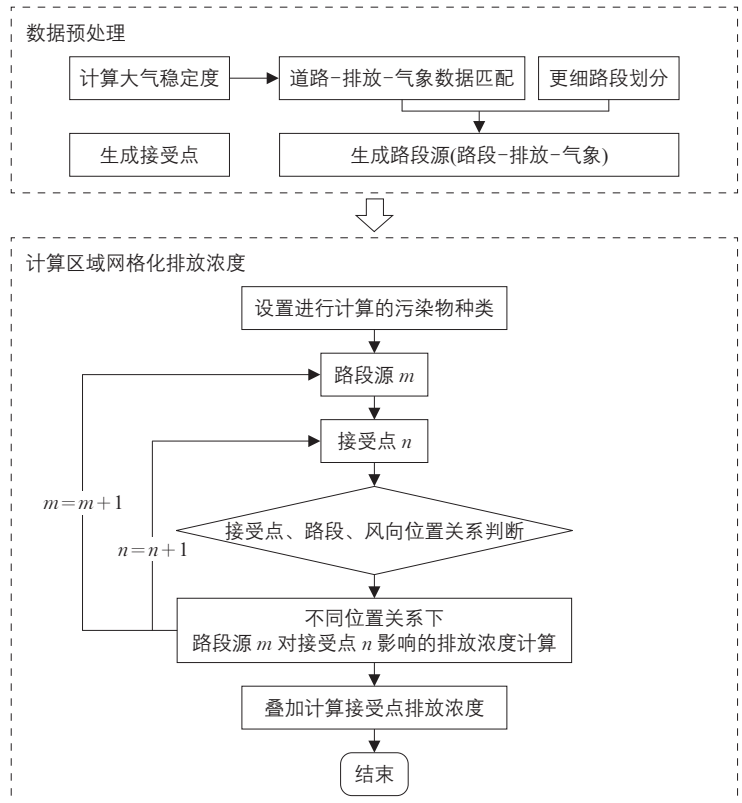


图7 排放扩散模拟计算流程

Fig.7 Calculation process of emissions dispersion simulation

量扩散至接受点  $C$  的排放浓度/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ );  $q$  为线源排放强度/( $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ );  $y$  为接受点水平距离/m;  $u$  为风速/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ );  $\sigma_y, \sigma_z$  分别为横向(水平方向  $y$ )和纵向(竖直方向  $z$ )扩散系数, 由气温、气压、云量、大气稳定度等决定;  $z$  为接受点高度/m;  $H$  为线源高度/m。

由于存在下风向不与道路线源垂直的情况, 道路交通移动源扩散模拟借鉴 CALINE4 模型<sup>[12]</sup>, 采用 Link-Element 算法将道路划分为线源。Link-Element 基本思想如图 6 所示, 选取接受点上风向的点为基点, 将道路划分为多个单元(Element), 第一个单元的长度等于道路宽度  $W$ , 其余单元长度逐渐递增,  $\phi$  为风向与道路夹角。过每个单元的中心点作垂直于风向的线段, 以单元在线段上的面积投影比例为系数计算线段的线源强度, 这些线段即为道路的有限长等效线

源。根据公式(6)计算每个单元对接受点的浓度贡献, 最后叠加得到接受点受路段影响的排放浓度值。

### 2.2 排放扩散模拟计算

在实际排放扩散模拟计算中, 将地理空间区域进行网格化处理, 确定排放源在网格中的位置。基于实时气象数据(风速、风向、气温、气压、大气稳定度、云量、太阳高度角等)计算排放横向和纵向扩散系数, 基于公式(6)模拟计算排放源所在网格一种污染物排放强度对其余非排放源网格该污染物排放浓度的影响(见图 7)。对区域内多处污染源同一个网格的排放扩散浓度进行叠加, 将所有排放源的所有排放种类进行计算, 即可模拟计算空间区域内所有网格的排放浓度水平(见图 8)。将计算结果与空气监测点获取的监测浓度进行对比, 可评估排放扩散模拟计算的有效性。

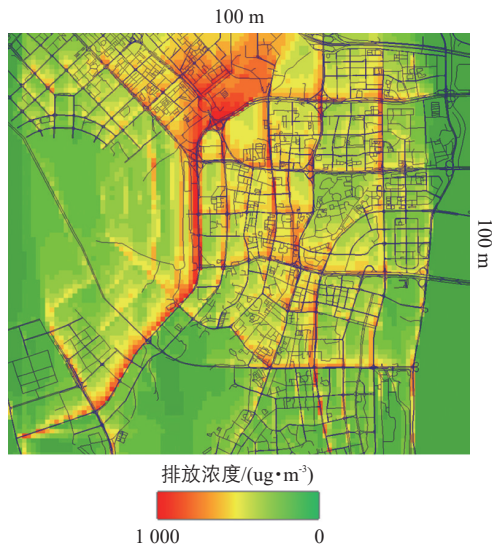


图 8 100 m×100 m 网格排放扩散模拟示意  
Fig.8 Illustration of emissions dispersion simulation in a 100 m × 100 m grid

### 2.3 模拟计算结果与监测结果对比

为更好地评估排放扩散模拟计算的有效性, 本文设计了实验监测点周边区域路网排放场景的模拟方案: 选取实验监测点周边 4 km 半径范围的 8 km×8 km 区域路网排放场景, 基于实验时段内 11 011 条路段排放强度和气象数据进行模拟计算。空气监测点位于图 9 中的实验点(经纬度坐标: 113.910, 22.562), 监测车在实验点的监测浓度值为 Obs。排放扩散模拟计算点设置如下: 1) 实验点所在的区域网格点(区域中 1 km×1 km 网格化的 1121 网格中心点)的模拟排放浓度值用 Model-1121 表示; 2) 距离实验点道路旁 10 m 的特殊点(经纬度坐标: 113.905036, 22.529729)的模拟排放浓度值用 Model-10 m 表示。

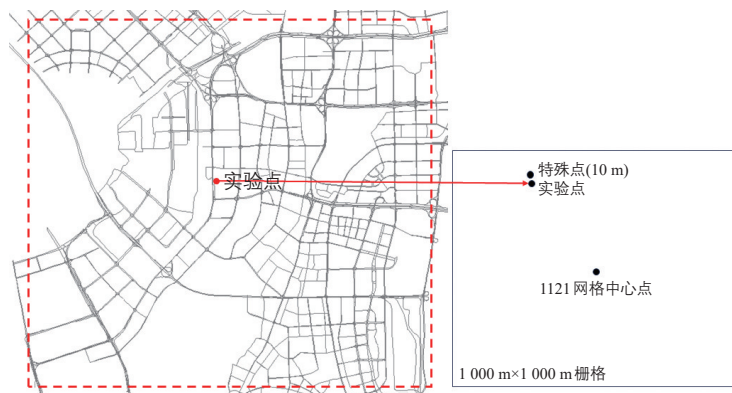


图 9 排放扩散模拟计算区域  
Fig.9 Calculation area for emissions dispersion simulation

区域路网排放扩散模拟计算结果与实验监测结果的小时变化对比见图 10。特殊点(Model-10 m)不同污染物的模拟浓度变化趋势与单条道路实验监测结果的变化趋势基本吻合, 说明实验监测点附近道路的污染物浓度主要受到该道路排放的影响, 而其他较远道路排放扩散而来的污染物浓度相对较小, 不影响总体浓度结果。1121 网格中心点距离实验监测点 500 m 以上, 其扩散模拟计算结果与实验监测结果差别较大, 验证了这一距离下道路交通移动源排放扩散能力有限。

### 3 深圳市实践应用

深圳市已成立首个交通碳排放工程实验室，基于上述方法，通过本地典型路况监测成功计算本地化环境与工况条件下的排放因子，标定形成了深圳市高精度排放因子库。同时，应用高斯烟羽模型从排放量延伸到排放浓度、从交通碳排研究延伸到生态环境污染，实现深圳市各级道路交通移动源排放核算及道路周边环境排放浓度的量化评估。研发实时交通碳核算平台，支持“宏-中-微”观多尺度的道路交通移动源排放特征量化及可视化，实现深圳市域的实时排放核算及扩散影响区域评估(见图11)。

### 4 结束语

本文利用多源交通大数据对道路交通移动源排放核算与扩散进行研究。在对深圳市本地车辆行驶运行工况提取计算的基础上，通过与HBEFA模型匹配，提取计算本地化排放因子。然后，利用OPCAS系统对排放因子进行验证和标定，形成了本地化车辆排放因子库。

通过整合浮动车、卡口、地磁等多源数据，对道路运行速度与分车型交通量进行动态推算。构建自下而上的道路交通移动源排放核算模型，以道路为单位进行排放核算。在道路交通移动源排放核算基础上，根据地理空间区域网格化和高斯烟羽模型的排放扩散模拟计算方法，将道路交通移动源排放核算方法与扩散理论联合应用。通过将扩散模拟计算结果与实际监测结果进行对比，验证了排放扩散模型的准确性。结果表明，排放扩散模拟结果可以精确反映接受点附近排放浓度的变化趋势，模拟浓度值的变化趋势与监测点实验值的变化趋势基本一致。

本文采用高斯烟羽模型进行城市尺度的动态排放扩散研究，后续将进一步基于流体力学原理对街道峡谷的精细化扩散开展研究，为居民出行提供更加精准的交通环境预报服务。

参考文献：

References:

[1] 中华人民共和国生态环境部. 中国移动源环境管理年报(2023)[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2023.

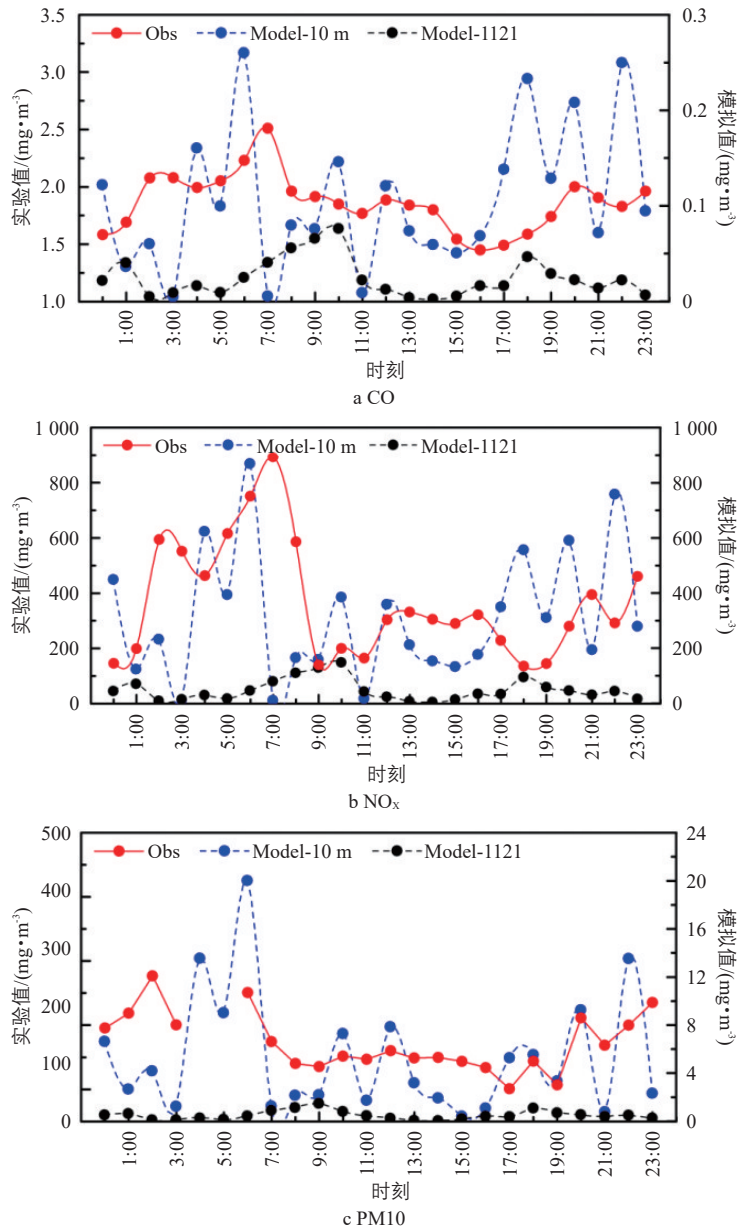


图10 排放扩散模拟计算结果与实验监测结果的小时变化对比

Fig.10 Comparison of hourly variations in emissions dispersion simulation calculation results and experimental monitoring results

Ministry of Ecology and Environment of the P. R.C. China mobile source environmental management annual report (2023) [R]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment of the P. R.C., 2023.

[2] 储诚山, 陈洪波, 陈军. 城市道路客运交通碳排放核算及实证分析[J]. 生态经济, 2015, 31(9): 56-60.

CHU C S, CHEN H B, CHEN J. Empirical analysis and accounting of carbon emissions for urban road passenger transportation[J]. Ecological economy, 2015, 31(9): 56-60.

[3] 黄冠涛, 宋国华, 于雷, 等. 综合移动源排放模型: MOVES[J]. 交通信息与安全,

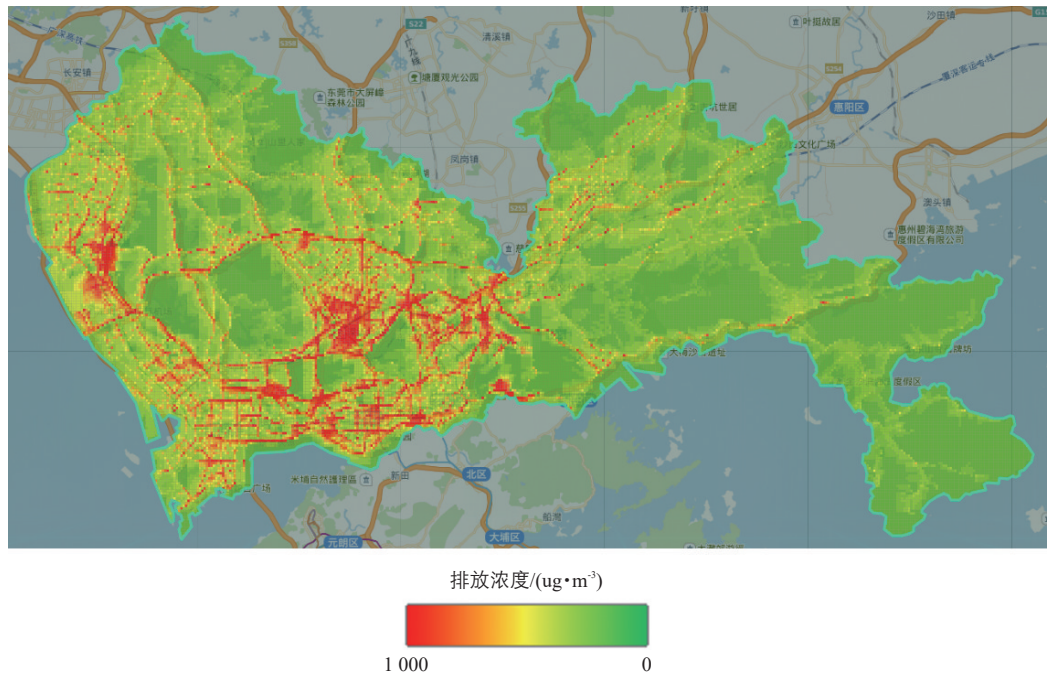


图 11 深圳市域道路交通移动源排放核算及扩散影响区域示意

Fig.11 Illustration of urban on-road mobile source emissions and dispersion impact areas in Shenzhen

- 2010, 28(4): 49-59.
- HUANG G T, SONG G H, YU L, et al. Overview of the comprehensive mobile source emissions model: MOVES[J]. Journal of transport information and safety, 2010, 28(4): 49-59.
- [4] TROFIMENKO Y V, KOMKOV V I, DONCHENKO V V, et al. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport[J]. Periodicals of engineering and natural sciences, 2019, 7(1): 465-473.
- [5] 王天昊. 面向交通排放测算的 VISSIM 跟驰模型优化分析[J]. 交通与运输, 2021, 37(4): 26-31.
- WANG T H. Optimization study of VISSIM following model for traffic emission measurement[J]. Traffic and transportation, 2021, 37(4): 26-31.
- [6] 单肖年, 陈小鸿. 交通仿真模型融合微观车辆排放模型研究综述[J]. 交通运输工程与信息学报, 2021, 19(2): 11-24.
- SHAN X N, CHEN X H. Review of studies that integrate traffic-simulation models with microscopic vehicle-emissions models[J]. Journal of transportation engineering and information, 2021, 19(2): 11-24.
- [7] RISSMAN J, ARUNACHALAM S, WOODY M, et al. A plume-in-grid approach to characterize air quality impacts of aircraft emissions at the Hartsfield-Jackson atlanta international airport[J]. Atmospheric chemistry and physics, 2013, 13(18): 9285-9302.
- [8] 韩博, 何真, 张铎, 等. 粤港澳大湾区飞机 LTO 污染排放因子及排放清单[J]. 中国环境科学, 2020, 40(12): 5182-5190.
- HAN B, HE Z, ZHANG D, et al. Research on aircraft LTO pollutant emission factors and emission inventory in Guangdong- Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China[J]. China environmental science, 2020, 40(12): 5182-5190.
- [9] KELLER M, HAUSBERGER S, MATZER C, et al. HBEFA version 3.3. background documentation[R]. Berne: INFRAS, 2017.
- [10] TUG. Emission factors from the model PHEM for the HBEFA version 3[R]. Austria: Graz University of Technology, 2009.
- [11] STOCKIE J M. The mathematics of atmospheric dispersion modeling[J]. SIAM review, 2011, 53(2): 349-372.
- [12] 王莹, 李成名, 赵占杰, 等. CALINE4 模型扩散参数的城市建筑影响[J]. 测绘科学, 2019, 44(8): 142-148.
- WANG Y, LI C M, ZHAO Z J, et al. Influence of buildings on diffusion parameters in CALINE4 model[J]. Science of surveying and mapping, 2019, 44(8): 142-148.