

文章编号:1005-0523(2017)05-0035-07

基于峡谷模型淮南市城市道路 PM_{2.5} 排放研究

吴 中, 欧阳钰荣

(河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要:选取中小城市道路—淮南市淮海北路段作为典型路段,设计并实施了街道峡谷实验;根据现场监测的风速风向、交通量、车型、车速、PM_{2.5}浓度及气象条件,运用峡谷模型求解了不同动力源机动车对PM_{2.5}的贡献。得出了在晴天和小雨两种天气情况下雨天各类车排放因子较晴天均有不同程度的下降,动力源为柴油、汽油和天然气的车排放因子依次下降。结论符合定性分析的结果,说明用峡谷模型研究中小城市道路PM_{2.5}排放因子是适用的。结论表明柴油对PM_{2.5}的贡献最大,城市交通应尽量采用天然气为动力源。

关键词:峡谷模型;城市道路;PM_{2.5}排放因子

中图分类号:U491.1

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.05.006

近几年随着中小城市的快速发展,大气污染状况也和大城市一样逐渐恶化,雾霾天气明显增多。以淮南市为例,数据统计资料表明,淮南市交通工具PM_{2.5}排放占总份额的20%左右(2015年7-8月),在光照条件下纯粹由车辆排放形成的二次排放量并不稳定,约在交通工具排气口一次排放总量的6%~25%。已成为解决城市大气污染的难点问题,已经影响到城市的生态环境以及人民群众日常的工作与生活。PM_{2.5}虽然在大气成分中所占组分较少,但它对空气质量和能见度等有重要的影响。因此汽车尾气排放的研究,尤其是PM_{2.5}排放的研究已经刻不容缓。

科学准确地建立机动车污染源排放清单是进行机动车排放控制的重要依据,而获取准确的机动车排放因子是其关键。^[1]国内外排放因子的研究已经开始从单纯的实验室台驾实测方法向包括现场观测统计在内的综合方法演变,微小颗粒物的排放也开始被考虑。本文以淮南市为例,通过街道峡谷实验,在实测数据基础上得出淮南市机动车不同车型在不同速度及不同天气情况下的PM_{2.5}综合排放因子,为交通运输企业的减排规划提供理论依据和技术支撑。

1 实验设计

1.1 街道峡谷模型原理

城市道路上的排放实验处于半开放环境中,需要考虑道路两侧建筑物屋顶上自然风力的影响^[2]。对于二维断面的街道峡谷,图1表达了街道两侧建筑物对街道横断面的气流气态的影响。

街区内的PM_{2.5}的对流扩散过程是相对复杂的,受影响的因素很多,主要包括:垂直于街道中心线的风速、风向、街区地理因素和污染源强

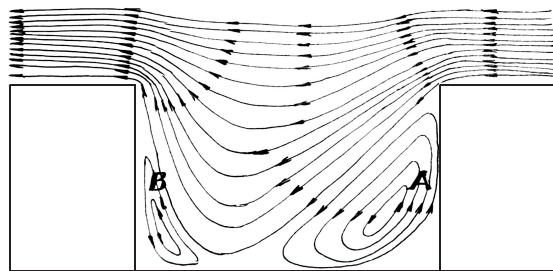


图1 凹型城市“峡谷”街道断面气流流态示意图

Fig.1 Air flow state of street canyon sections

收稿日期:2017-01-08

作者简介:吴中(1964—),教授,博士,研究方向为交通流理论、交通规划与管理。

度等^[3]。在扩散与气流运动的影响下,道路内部的排放物浓度分布呈现如下特征:

- 1) 气流在道路峡谷边侧内部形成回流漩涡,A 区受遮挡流速较小、B 区迎气流流速较大;
- 2) 在气流作用下,迎风区域(B 区)的排放物随风力作用被吹散,浓度较低;
- 3) 排放物在背风区域(A 区)聚集,浓度较高。

街道峡谷模型实验就是同步观测“峡谷”内的交通量,A、B 区的排放浓度、建筑物顶面垂直于街道中心线的风速风向,以及背景 PM2.5 浓度;进而计算车辆的 PM2.5 排放因子^[4]。

1.2 实验方法

本项目设计如下实验方案用于采集开放环境下的汽车尾气排放数据:

- 1) 在路面两侧位置布设交通流激光调查仪,用于检测双向交通流量、速度等参数;
- 2) 在道路中央分隔带护栏顶部位置布设 PM2.5 浓度仪,用于检测道路内部的 PM2.5 浓度;
- 3) 在道路两侧相邻建筑物距离地面 12.0 m 和 18.3 m 位置分别布设 3 台 PM2.5 浓度仪观测微颗粒浓度,在道路一侧较高的交通宾馆楼顶布设 1 台 PM2.5 浓度仪,用于检测 PM2.5 的背景浓度;
- 4) 在道路两侧建筑物距离地面约 18.3 m 的平面上设置风速风向仪,仪器用三脚架支撑,高于楼面 1.5 m,用于检测风速和风向。另有一台手持式人工读数的风速风向仪用于校核。

具体仪器布置位置见图 2。

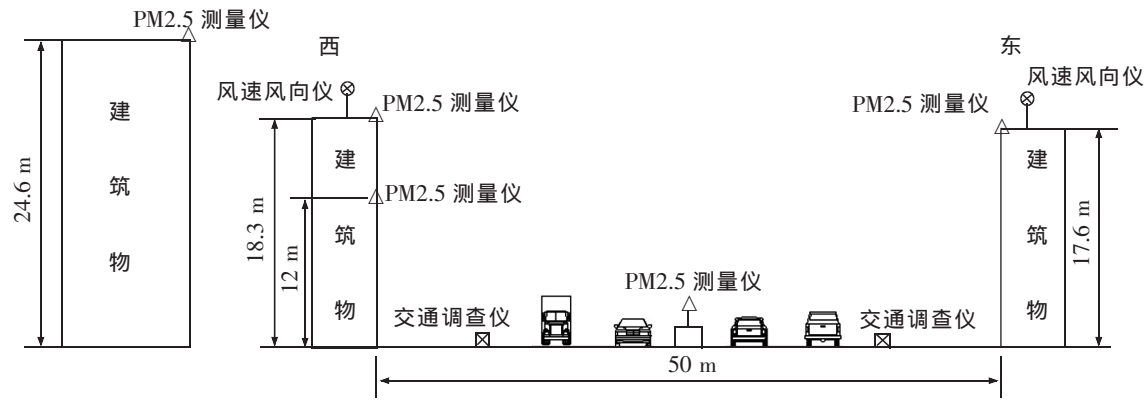


图 2 淮安城市道路实验仪器布置方案

Fig.2 Experiment instrument location on Huai'an city road

1.3 试验设备

试验设备见表 1。

表 1 实验设备及其用途

Tab.1 Experimental equipment and its use

类别	设备名称	设备用途
风速仪	点风速仪	测量楼顶面风速与风向
	微电脑激光粉尘仪	
PM2.5 浓度仪	智能总悬浮颗粒物采样器(采样流量为 100 L/min,滤膜为聚丙烯滤膜)	测量 PM2.5 浓度
交通流检测	路侧激光检测仪	检测交通流流量、速度
	环境监测车辆	布置设备,背景数据
其他	摄像设备	记录实验过程
	便携式电源	为相关设备提供电源
	笔记本电脑	存储、处理实验数据

2 试验及观测数据处理

街道峡谷实验于 2015 年 8 月 1 日—8 月 3 日在淮安市淮海北路(主干道)进行,共计 3 天(全天 24 h 采样),覆盖了交通高峰时段和平峰时段,经历过大晴天与阴雨天。实验同步进行了交通流量、流速与车型、风向与风速以及多点 PM_{2.5} 含量的现场观测。由于采用差分方法处理数据,差分时段选取的短,可以排除开放边界造成的外来空气带来的污染因素。



图 3 淮安城市道路实验现场图

Fig.3 Experiment site map of Huai'an city road

现场采样具体的实验过程为:

- 1) 抽取一定体积的空气,使之通过已恒重的滤膜,则悬浮微粒被阻留在滤膜上,根据采样前后滤膜重量之差及采气体积,即可计算总悬浮颗粒物的质量浓度;
- 2) 记录现场有关参数,包括温度、大气压等;
- 3) 将已恒重的滤膜用小镊子取出,“毛”面向上,平放在采样夹的网托上,拧紧采样夹,按照规定的流量采样;
- 4) 采样后,用镊子小心取下滤膜,使采样“毛”面朝内,以采样有效面积的长边为中线对叠好,放回表面光滑的纸袋并贮于盒内;
- 5) 采集样本交由分析部门处理^[5]。

2.1 街道楼顶气流观测

设定记录 5 分钟平均气流流速,得到每天 04:15–15:50 连续 140 组的风速风向时间平均值,见图 4。

由记录数据可得:14:40 时风速最高,为 7.9 m/s,观测时段 04:15–15:50 内 5 分钟平均是测风速的平均值为 2.74 m/s。

2.2 街道交通流量与车速观测

街道交通流量与车速由二台路侧激光检测仪分别布设在街道东西两侧车行道路边,设置 2~3 人在市公路管理处楼顶上人工记录公交车、大客车、小汽车以及出租车的出现时间与数量。

通过对记录的数据分析,淮安市实测时间段内该路段交通量的高峰期在早上 8:00–9:00。在所有记录车辆中,小汽车所占比例最高,其次是出租车、公交车和大客车(见表 2)。

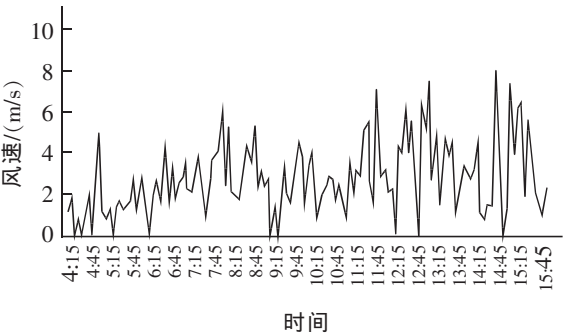


图 4 8 月 1-3 日市公路处楼顶 5 分钟平均实测风速值
Fig.4 The average measured wind speed on the roof within 5 minutes (Aug.1st -3rd)

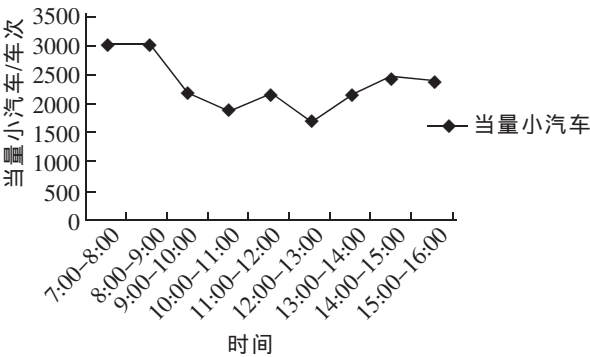


图 5 换算当量小汽车后交通量时间分布
Fig.5 Time distribution after passenger car unit conversion

表 2 不同车型交通量占比
Tab.2 Traffic proportion of different models

参数	公交	大客车	小汽车	出租车
交通量/车次	2 638.5	177	13 824	4 171
占比/%	12.7	0.9	66.4	20.0

观测的淮海北路西侧道路的交通流平均速度是 37.5 km/h,淮海北路西侧道路的交通流平均速度是 33.2 km/h。

2.3 街道 PM2.5 浓度观测

“峡谷”街道底部中央和两侧以及高处的 PM2.5 传感器同步实测 5 分钟平均的历时变化量见图 6。

3 试验结果及分析

3.1 SRI 峡谷模型

Johnson(1973)等^[6]人以街道峡谷内现场监测数据为基础,拟合实测数据提出了预测污染物浓度的经验公式 SRI 模型,它适用于可长时间悬浮于空中并可随空气同步运动的气固态污染物。其基本原理是把街道峡谷某一高度内的峡谷内空间视为一个箱体,并假设污染物在垂直方向均匀变化(等梯度变化)。验证表明,在凹型断面内边壁污染物浓度计算数值上能较好地描述图 1 所示的空气动力学原理。

SRI 峡谷模型:

$$C_{Lee}=C_b+\frac{K \cdot q}{(u+u_0)(\sqrt{x^2+z^2}+L_0)} \tag{1}$$

$$C_{Lw}=C_b+\frac{K \cdot q(H-z)}{(u+u_0)H \cdot B} \tag{2}$$

式中: C_{Lee} 和 C_{Lw} 分别为街道峡谷内屋顶风的上风侧和下风侧的污染物浓度; C_b 为峡谷上面的背景浓度; u 为屋顶风速; u_0 为最小稀释参数, 设定为 $0.5(m \cdot s^{-1})$; q 为交通车道的排放强度 $(g/m/s)$; x 和 z 分别为受体水平和垂直方向距车道中央的距离; L_0 为污染物初始混合长度; H 和 B 分别为建筑物高度和街道宽度; K 为经验常数, Johnson 等人取值为 7。藤谷等人监测东京都峡谷内 CO 浓度后得到 SRI 模式中参数 K 在 1.6~39 之间, 大气稳定性为弱不稳定时 K 值小。东京都基于测定的 NO_x 数据得到 K 值为: 不稳定、中性时为 1/0.228,

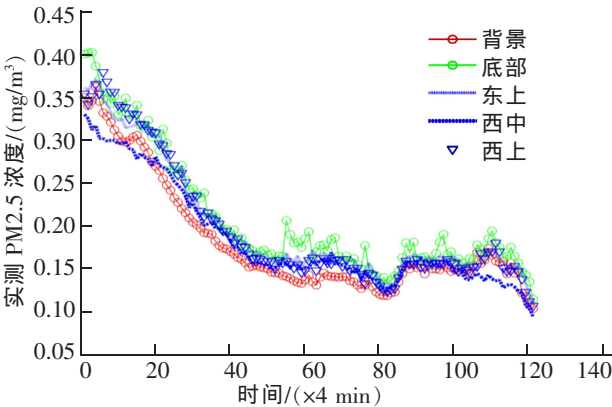


图 6 城市街道实测 PM2.5 浓度值
Fig.6 PM2.5 concentration in the city street

稳定时为 1/0.153。因此,可以看出峡谷模型应用中 K 值较难标定^[7]。

由于模型中包含经验常数 K , K 值的大小与现场气压大小、街道宽度和建筑物高度都有关,峡谷模型无法直接求解。

3.2 值的评估

为了评估 K 值,采用较封闭的隧道试验观测结果^[8](满足质量守恒定律)。由于该试验是在南京市进行的,淮安市和南京市的柴油、汽油可能成分不完全相同,但天然气是采用同一输送管道的,成分相同,能进行比较,因此选用天然气车型进行比较。思路是利用南京市隧道的观测结果,由质量守恒方程计算 PM2.5 排放因子;再由淮安市城市道路监测的天然气的 K 值(不精确,是个范围)由质量守恒方程反推 PM2.5 排放因子,与隧道 PM2.5 排放因子计算值最接近的 K 值为城市道路的 K 值。

3.2.1 计算隧道中的

依据 PM2.5 质量守恒方程:

$$S \int_t^{t+T} \int_{x_0}^{x_0+\Delta x} c(x,t) dx dt = \Delta x \sum_{i=1}^N \alpha_i N_i m S \int_t^{t+T} v(t) [c_{\text{出}}(t) - c_{\text{入}}(t)] dt \quad (3)$$

式中: $c(x,t)$ 为沿程随时间变化 PM2.5 浓度; $v(t)$ 为出口处断面风速仪瞬时值; $c_{\text{出}}(t)$, $c_{\text{入}}(t)$ 分别为隧道主干计算段出入口处断面风速仪瞬时值; α_i 为排放因子, g/km ; N_i 为 T 时段内驶过隧道的车辆总数, 其下标 i 代表车辆种类; S 为隧道空间横截面积; Δx 为隧道主干段计算区间的长度, 即首尾 1 号至 4 号 PM2.5 浓度传感器间的隧道长度。当隧道横截面积不变时, 两边的 S 可消去。

结合不同 PM2.5 观测值和当时的风速风向与空间相对位置, 根据整理的 m 组离散实测数据, 划分成 5 种车型, 分别列出离散形式的方程组, 求解排放因子。

3.2.2 测量城市道路的 K 值

由于线源排放浓度与交通流量呈现正比关系, 待定的系数 K 无法依据面向街道的两侧建筑物立面上布设的三台仪器观测数据标定得出。街道峡谷底部 PM2.5 传感器紧靠车辆排气管, 其观测数据最接近理想的线源强度。如果以谷底数据作为线源排放强度, 按照它观测数据推算标定出的 K 值参见图 7。图 7 中 K 值有一定范围的变化, 变化区间在 1-19 之间。

3.2.3 标定城市道路的 K 值

因为由观测值标定的 K 值范围太大, 因此对每一个整数 K 值, 通过 SRI 峡谷模型反向推算城市道路的天然气的 PM2.5 排放因子, 与 3.2.1 中的隧道天然气的 PM2.5 排放因子值最接近的 K 值为城市道路的 K 值。结果标定出 K 值在 10.1 左右, 基本落在图 7 的取值区间的平均值上。

3.3 计算机动车排放因子

将方程(1)和(2)变换, 各时段排放强度 q 可以写为

$$q = (C_{Le} - C_b)(u + u_0)(\sqrt{x^2 + z^2} + L_0)/K \quad (4)$$

或

$$q = (C_{Lw} - C_b)(u + u_0)H \cdot B / ((H - z)K) \quad (5)$$

可以看出, q 可以写成下列与自变量相关的函数形式:

$$q = \frac{1}{K} f(x, z, u, \dots)$$

在 $T=5$ 分钟平均时间内, 排放强度 q 与交通量的关系(定义)可以表达为

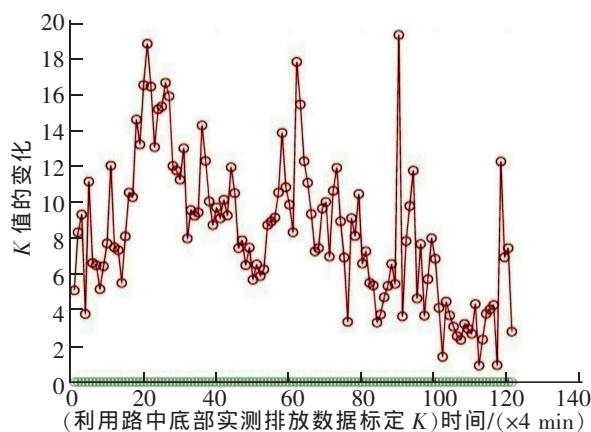


图 7 城市道路中由 PM2.5 数据标定的 K 值
Fig.7 K value of PM2.5 data calibration on the urban road

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i N_i = 1000 q L_0 / (3.6v)$$

即

$$q = \frac{3.6 v}{1000 q L_0} \sum_{i=1}^N \alpha_i N_i \quad (6)$$

在(6)式中, v 为车辆空间平均车速; L_0 为污染物初始混合长度, 为排放因子, g/km; N_i 为 T 时段内驶过观测点的车辆总数, 其下标代表车辆种类。

上风侧为

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i N_i = 1000 (C_{Le} - C_b) (u + u_0) (\sqrt{x^2 + z^2} + L_0) / 3.6vK \quad (7)$$

下风侧为

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i N_i = 1000 (C_{Lw} - C_b) (u + u_0) H \cdot BL_0 / [(3.6vK)(H - z)] \quad (8)$$

根据淮安市中心区域 8 月 1-3 日 06:00 至 16:00 现场实测数据, 在天气良好情况下, 得到平均 25~40 km/h 车速下的城市汽车排放因子如表 3。

表 3 淮安城市汽车 PM_{2.5} 的平均排放因子计算值
Tab.3 Calculating value of PM_{2.5} average emission factors

出租车(天然气)/g/km	小汽车(汽油)/g/km	公交(天然气)/g/km	大客车(柴油)/g/km	均方误差/%	备注
0.012 33	0.062 35	0.083 42	0.167 48	29	晴天
0.011 76	0.035 16	0.080 65	0.161 30	29	雨天

4 结论

1) 各类车排放因子小雨时比晴天时都有不同程度的下降。说明空气中的高湿度会降低 PM_{2.5} 扩散的作用。

2) 淮安市以柴油、汽油、天然气为动力源的机动车 PM_{2.5} 平均排放因子依次减少, 晴天时最大(柴油大客车)为 0.167 48 g/km, 最小(天然气出租车)为 0.123 3 g/km。雨天时最大(柴油大客车)为 0.161 30 g/km, 最小(天然气出租车)为 0.011 76 g/km。重型车大于轻型车, 排放标准越高的汽车 PM 排放量最低。提倡尽可能采用天然气为动力源。

参考文献:

- [1] 苏小芳, 范炳全, 黄远东, 等. 城市次干道路段机动车污染物排放因子的测定[J]. 上海理工大学学报, 2004(4): 318-322.
- [2] 谢绍东, 张远航, 唐孝炎. 我国城市地区机动车污染现状与趋势[J]. 环境科学研究, 2000, 13(4): 22-25, 38.
- [3] 郭振宇. 城市街道峡谷内机动车尾气排放的 PM_{2.5} 的对流扩散规律研究[D]. 山东建筑大学, 2013: 18-21.
- [4] 朱光灿, 闻德荪. 城市道路汽车尾气扩散箱型模式研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2001, 31(4): 88-91.
- [5] 郑春霞, 王文全, 钱翌, 等. 新疆乌鲁木齐市公路两侧大气总悬浮物、Pb~(2+), Cd~(2+)含量测定及分析[J]. 新疆农业大学学报, 2007(1): 57-60.
- [6] STACHELIN J, SCHLAPFER K, BURGIN T, et al. Emission factor from road traffic from a tunnel study (Gubist Tunnel Switzerland) Part I: concept and first results[J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(6): 999-1009.
- [7] 程晓燕. 城市交通源空气质量模拟研究[D]. 清华大学, 2002: 35-70.
- [8] 吴中, 侯新超, 徐辉, 等. 基于隧道法的机动车 PM_{2.5} 排放因子研究[J]. 华东交通大学学报, 2016(4): 130-135.

On PM2.5 Emissions of Huai'an City Road Based on Canyon Model

Wu Zhong, Ouyang Yurong

(College of Civil and Transportation Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking Huaihai North Road in Huai'an city, a small-medium city, as the typical road section, this study designed and implemented the street canyon experiment. According to the measured PM2.5 concentration, wind speed and direction, traffic volume, vehicles, speed and meteorological conditions, the canyon model was used to calculate the contribution of motor vehicles with different power sources to PM2.5. It is obtained that the emission factors of various types of vehicles in rainy days are less than those in sunny days, and the emission factors of diesel, gasoline and natural gas decline in succession. The results of qualitative analysis show that it is feasible to use the canyon model to study the PM2.5 emission factors on small and medium-sized city roads and that diesel oil becomes the greatest contributor to PM2.5, and it is suggested to adopt natural gas as the power source in urban traffic.

Key words: the canyon model; urban road; PM2.5 emissions

(责任编辑 王建华)

(上接第 11 页)

On Modeling Design of Column Structure Based on Revit

Zhang Weijin, Long Wei, Gong Pengcheng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Revit, the architecture design software of three-dimension parameter, is widely used in construction industry. This study explores how to read the construction drawing information of frame column plane method in order to quickly realize three-dimensional modeling and reinforcement layout. Then, it proposes a reconstruction method of three-dimensional model based on Revit. Taking the link column CAD drawing as the research object and using secondary development of Revit as the main technology, it carries out programming by Revit API function, reads data information of the column components and then establishes three-dimensional model of the column structure. Through a large number of application tests of Revit, it is found that secondary development of Revit may transform the two-dimensional information of column construction drawings into three-dimensional construction information modeling by reading and identifying precisely construction drawings information of column structure, which would greatly improve three-dimensional modeling efficiency of structure columns.

Key words: BIM; structure column; structural working drawing; rebar; Revit secondary development

(责任编辑 王建华)