

文章编号:1007-6735(2010)05-0449-04

城市道路机动车不同车型对二次扬尘的贡献率

张德礼¹, 夏晓梅¹, 殷 玮¹, 胡 环¹, 李源恒²

(1. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2. 上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 定量研究了城市道路机动车各车型对道路二次扬尘中总悬浮颗粒物(TSP)与可吸入颗粒物(PM₁₀)的贡献率. 在上海市杨浦区军工路部分路段采集 TSP 浓度、PM₁₀ 浓度、气压、温度、风速及不同车型流量等数据, 利用高斯扩散模型反推污染物源强, 并据此计算出污染物单车排放因子. 运用多元回归分析得知, 小型车的两种污染物贡献率为负, 中型车与大型车的贡献率为正, 且大型车两污染物的贡献率分别为中型车的 1.74 倍和 1.56 倍.

关键词: 机动车车型; 综合排放因子; 回归分析; 贡献率

中图分类号: X 513 **文献标志码:** A

Different types of motor vehicles' contribution rate of second fugitive dust on urban road

ZHANG De-li¹, XIA Xiao-mei¹, YIN Wei¹, HU Huan¹, LI Yuan-heng²

(1. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Different types of motor vehicles' contribution rates of TSP and PM₁₀ in second fugitive dust on urban road were analysed quantitatively. Concentration of TSP, concentration of PM₁₀, pressure, temperature, wind speed, traffic volume of different types of motor vehicles and other informations were collected in some sections of Jungong Road in Shanghai city. Gaussian atmospheric diffusion model was used to identify reversely the source intensities of pollutions as well as the average motor vehicle emission factor. With multivariate regression method, it can be seen small-type motor vehicle's both pollutions contribution rates are negative, while middle-type motor vehicle's and large-type motor vehicle's are positive, and the latter one is ones are respectively 1.74 times and 1.56 times as great as the former one.

Key words: motor vehicles types; synthesis emissions factor; regression analysis; contribution rate

随着经济的发展和城市化进程的加快, 机动车的保有量也在快速增长, 由此带来了各种交通污染问题, 其中, 机动车扬尘已成为城市道路扬尘的主要来源^[1,2]. 当前一些学者研究了总悬浮颗粒物

收稿日期: 2010-01-22

基金项目: 国家级大学生创新性实验计划项目(5209113017)

作者简介: 张德礼(1988-), 男, 本科.

夏晓梅(联系人), 女, 讲师. E-mail: xm_xia@163.com

(TSP)、可吸入颗粒物(PM₁₀)与交通流的关系,文献[3,4]研究了单车车速和路面尘负荷对 TSP 的影响,文献[5]研究了 TSP 浓度与交通流量的关联度,但都没有研究各车型所占百分率对 TSP、PM₁₀ 的综合排放因子的贡献率. 本文对大量实测的交通及环境数据运用多元回归方法,分析了小型车、中型车和大型车的百分率对 TSP、PM₁₀ 的综合排放因子的贡献率,以期为道路交通粉尘污染治理提供理论依据.

1 实验数据采集与修正

1.1 采集时间与地点

本实验的采样地点位于军工路上海理工大学段,如图 1 所示. 采样时间为每天 8:00 – 18:00,每次采样时间为 1 h,连续 2 d,共计测量 20 次.

1.2 交通流量测量方法

有关研究表明,道路二次扬尘的产生和车辆车重有关^[6]. 按实验目的,将机动车分为小型车(轿车,面包车)、中型车(公交,中型客货车)和大型车(拖挂

车)3 种. 测量人员分为两组,两组轮流测量通过实验道路截面的各车型车量数,每次测量时间为 1 h. 按相关规范^[7]规定的各车型折算系数折算出各车型小时标准交通量后,算得各车型交通量占总交通量的百分率,如表 1 所示. 其中, i 为编号, b 为总交通量(辆/h), c, d, e 分别为小型、中型车、大型车的流量百分率. $E_{\text{TSP}}, E_{\text{PM}_{10}}$ 分别为 TSP 和 PM₁₀ 的单车排放因子.

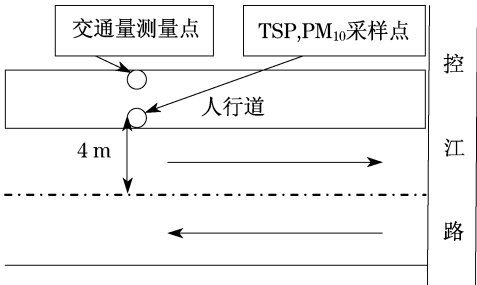


图 1 实验采集点示意图
Fig.1 Schematic diagram of the location of the experimental data acquisition

表 1 各车型交通量百分率与污染物单车排放因子
Tab.1 Percentage of each type of motor vehicle’s traffic volume and the average motor vehicle emission factors of pollution

i	$b/(\text{辆} \cdot \text{h}^{-1})$	$c/\%$	$d/\%$	$e/\%$	$E_{\text{TSP}}/(\text{g} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$	$E_{\text{PM}_{10}}/(\text{g} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$
1	534	68.91	21.91	9.18	423.22	360.83
2	566	74.91	22.08	3.00	457.41	363.45
3	597	58.29	34.67	7.04	524.36	378.29
4	750	66.00	21.07	12.93	410.51	286.04
5	667	81.11	12.44	6.45	422.94	306.45
6	752	70.21	18.75	11.04	463.00	278.73
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
18	829	49.70	22.44	28.76	584.82	456.60
19	557	53.68	38.24	8.08	511.72	356.91
20	668	43.86	48.86	9.28	526.78	467.47

1.3 TSP 与 PM₁₀ 的采集方法

TSP、PM₁₀ 测量仪器均为 KC-120 H 型智能中流量 TSP 采样器,所用的滤膜为 TSP、PM₁₀ 专用滤膜,运用重量法测定^[7]. 实验前一天将采样滤膜标号,在恒温恒湿箱平衡 24 h,并在实验当天在此平衡条件下迅速称量,精确到 0.1 mg,记下滤膜的质量 m_0 ,放入保存袋内带到实验地点. 将称量过的滤膜绒面向上,平放在支持网上,安好采样头顶盖,开始采样,记录下采样起始时间、采样温度 $T(\text{K})$ 、大气压力 $P(\text{kPa})$ 和现场采样流量 $Q_0(\text{L}/\text{min})$. 样品采样结束后,取下采样头,用镊子轻轻取出滤膜,放入原保存袋内. 待室外采样结束后将采样后的滤膜放在恒温恒湿箱中,与空白

滤膜相同的平衡条件下平衡 24 h 后,用电子天平称量,精确到 0.1 mg,记下采样后的滤膜质量 m_1 ,计算出各滤膜质量增量 $\Delta m = m_1 - m_0$.

1.4 污染物浓度计算与修正

按文献[8]的有关规定对实验数据进行修正,将测得的数据运用公式计算总悬浮颗粒物(TSP)与可吸入颗粒物(PM₁₀)的浓度 $C(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

2 污染物源强与单车排放因子的确定

2.1 污染物源强的确定

2.1.1 污染物扩散模拟

按文献[9]的规定,选用本次预测模式及其有关

参数. 由于本次实验中污染是由车辆在开阔路段行驶产生的,实验环境为小风和静风(风速 $U<1.5\text{ m/s}$),可使用无限长线源高斯模式中的烟团模型进行模拟.

$$C(x,y)=\frac{2Q}{(2\pi)^{3/2}\gamma_2\eta}G$$
$$\eta^2=x^2+y^2+\frac{\gamma_1^1}{\gamma_2^2}H_e^2$$
$$G=e^{-U^2/2\gamma_1^2}\left[1+\sqrt{2\pi}s e^{s^2/2}\phi(s)\right]$$
$$\varphi(s)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^s e^{-t^2/2}dt, s=\frac{Ux}{\gamma_1\eta}$$

式中, C 为以污染源的烟羽轴线为 x 轴的坐标系中,地面 (x,y) 处的地面浓度; Q 为源强; x 为下风向距离; y 为纵向距离; H_e 为排放源有效高度; γ_1, γ_2 为小风和静风状态下扩散参数表达式中的系数; U 为有效高度平均风速; t 为积分中间变量; G, s, η 为扩散模型中间变量.

2.1.2 污染物排放源强推算

对烟团模型求反函数,可得

$$Q=C(x,y)(2\pi)^{3/2}\gamma_2\eta/2G$$

因实验在静风条件下, γ_1, γ_2 采用特纳(Turner)扩散参数系数中的 D 级稳定度, $\gamma_1=0.47, \gamma_2=0.11$. 运用 MATLAB 软件对采样得到的污染物浓度数据进行反推运算,可以得到所测路段 TSP 和 PM_{10} 的理论排放源强 $Q(\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$.

2.2 确定污染物单车排放因子

逆向反推计算得到污染物排放源强后,计算污染物单车排放因子^[10]

$$E=3\,600Q/\sum_i V_i$$

式中, V_i 为观测时段内通过观测点处的标准车量数,辆/h.

根据污染物源强计算得到的 TSP 和 PM_{10} 的单车排放因子 E_{TSP} 和 $E_{\text{PM}_{10}}$ ($\text{g}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$),如表 1 所示.

3 确定不同车型贡献率

3.1 主成分分析

将小型车百分率、中型车百分率和大型车百分率作为自变量,TSP 综合排放因子 E_{TSP} 、 PM_{10} 综合排放因子 $E_{\text{PM}_{10}}$ 作为因变量,进行多元线性回归分析.因自变量间存在完全共线性,使用 SPSS 软件对自变量数据进行主成分分析,得到两个主成分,能够包含 93.25% 的原始信息,主成分中各个指标的权重如表 2 所示. C_1, C_2 为第一、第二主成分权重.第一主成分、第二主成分用各车型比例表示如式(1)和式(2)所示.各自变量与因变量关系如图 2 和图 3(见下页)所示.

$$F_1=-4.345S+4.294M+4.174L+1.058\tag{1}$$

$$F_2=-0.043S-6.549M+10.769L+0.381\tag{2}$$

式中, F_1, F_2 分别为第一、第二主成分; S, M, L 为小型车、中型车和大型车的百分率.

表 2 主成分指标中各个因素的权重

Tab.2 Principal component in the weight of various factors

各车型比例	C_1	C_2
小型车比例	-1.000	-0.005
中型车比例	0.787	-0.617
大型车比例	0.602	0.799

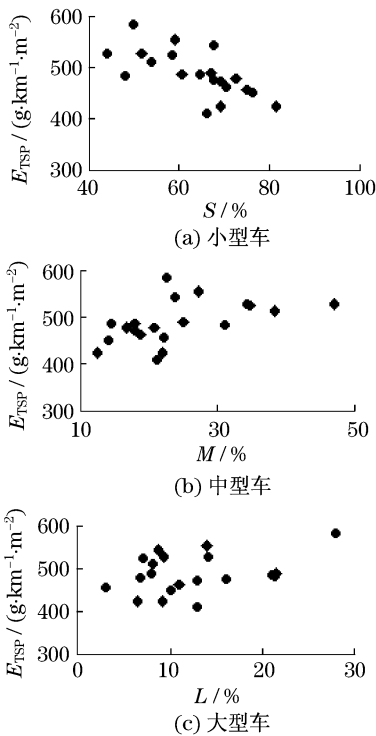


图 2 TSP 综合排放因子与不同型车百分率的关系

Fig.2 Relationship between TSP synthesis emissions factor and percentage of different types of motor vehicle

3.2 不同车型百分率的污染物贡献率

3.2.1 不同车型百分率对 TSP 的贡献率

E_{TSP} 与主成分 F_1, F_2 回归的方程为

$$E_{\text{TSP}}=36.607F_1+5.375F_2+492.975\tag{3}$$

式(3)判定系数 $R^2=0.588$. 取显著性水平 $\alpha=0.05$,查表得 F 分布的上 0.05 分位点 $F_{0.05}=8.69, t$ 分布的上 0.05 分为点 $t_{0.05}=1.724\,7$. 统计量 $F=10.03>F_{0.05}=8.69$,该方程的回归效果显著.第一主成分 F_1 的系数对应的统计量 $|t|=2.938>t_{0.05}=1.724\,7, F_1$ 的回归系数是显著的.第二主成分 F_2 的系数对应的统计量 $|t|=2.578>t_{0.05}=1.724\,7, F_2$

回归系数也是显著的.将式(1)和式(2)代入式(3)中,得各车型百分率的 TSP 贡献率模型为

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{TSP}} &= -159.29S + 121.99M + 210.68L + 533.75 \\ R^2 &= 0.588 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

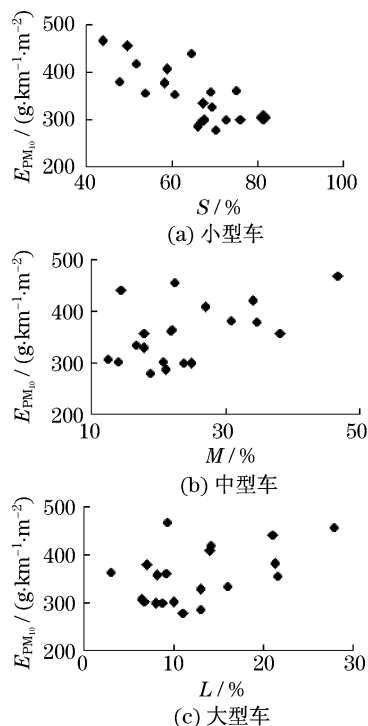


图3 PM_{10} 综合排放因子与不同车型百分率的关系
Fig.3 Relationship between PM_{10} synthesis emissions factor and percentage of different types of motor vehicle

3.2.2 不同车型百分率对 PM_{10} 的贡献率

$E_{\text{PM}_{10}}$ 与主成分 F_1, F_2 回归的方程为

$$E_{\text{PM}_{10}} = 45.094F_1 + 5.452F_2 + 362.820 \quad (5)$$

式(5)判定系数 $R^2 = 0.574$.取显著性水平 $\alpha = 0.05$,统计量 $F = 9.53 > F_{0.05} = 8.69$,该方程的回归效果显著.第一主成分 F_1 的系数对应的统计量 $|t| = 2.711 > t_{0.05} = 1.7247$, F_1 的回归系数是显著的.第二主成分 F_2 的系数对应的统计量 $|t| = 2.449 > t_{0.05} = 1.7247$, F_2 的回归系数也是显著的.将式(1)和式(2)代入式(5)中,得各车型百分率的 PM_{10} 贡献率为

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{PM}_{10}} &= -196.17S + 157.93M + 246.93L + 412.61 \\ R^2 &= 0.574 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

两模型均通过一致性检验,具有较高的置信度.两模型中小型车百分率的系数为负,中型车百分率与大型车百分率的系数为正.单车排放因子是将3种车折算成标准车后求出的,可将不同车型流量占总流量的百分率视为各车型构成一辆标准车的比

例.当交通量一定时,小型车比例增加,中型车与大型车比例之和将减少,道路 TSP 与 PM_{10} 的排放量将迅速减少;反之,随小型车比例的减少,道路 TSP 与 PM_{10} 的排放量将迅速增加,这与实际情况相符.

4 结束语

通过污染采样实验和交通流实际数据的收集,推算得到了 TSP 综合排放因子与 PM_{10} 综合排放因子,并拟合了两者与道路小型车、中型车以及大型车的百分率的关系,建立模型确定各种车的贡献率.由模型可知,小型车对 TSP 综合排放因子、 PM_{10} 综合排放因子的贡献率为负,中型车与大型车对 TSP 综合排放因子、 PM_{10} 综合排放因子的贡献率为正,且大型车的贡献率约为中型车的贡献率的 1.74 倍和 1.56 倍.从城市道路交通污染治理方面来看,该结论为今后城市道路车型分时限行等研究提供了理论依据,为基于污染控制的交通规划提供了理论基础.

参考文献:

- [1] WATSON J, CHOW J, MATHAI C, et al. Receptor models in air resources management: a summary of the APCA international specialty conference [J]. Journal Air Waste Management, 1989, 39(4): 419 - 426.
- [2] CHOW J, LIU C, CASSMASSI J, et al. A neighborhood-scale study of PM_{10} source contributions in rubidoux [J]. Atmospheric Environment, 1992, 26A (4): 693 - 706.
- [3] 张承中, 刘立忠, 李涛, 等. 单辆机动车二次扬尘量化计算的实验研究[J]. 环境工程, 2002, 20(5): 38 - 40.
- [4] 张承中, 刘立忠, 李涛, 等. 机动车二次扬尘机理及影响因素[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(2): 88 - 90.
- [5] 张新英, 胡衡生, 雷婷婷, 等. 城市空气污染物与交通流量的关联度分析[J]. 环境与健康, 2004, 21(2): 94 - 95.
- [6] 樊守彬, 田刚, 李钢, 等. 北京铺装道路扬尘排放规律研究[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2396 - 2399.
- [7] 徐吉谦, 陈学武. 交通工程总论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [8] 李安城, 刘砚华. GB/T 15432 - 1995 中华人民共和国环境空气总悬浮物的测量方法-重量法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [9] 环境影响评价技术导则委员会. HJ/T2.2 - 93 环境影响评价技术导则[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.
- [10] 陈辉煌, 高岩, 范炳全, 等. 城市道路机动车不同速度等效排污模型研究[J]. 上海理工大学学报, 2009, 31(3): 278 - 28.