

北京市交通微环境汽车尾气污染的浓度特征

杜 譔¹, 傅立新^{1*}, 邱月明², 金陶胜³ (1.清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2.斯坦福大学土木与环境工程系, 美国加利福尼亚州 94305; 3.南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要: 对北京市典型交通微环境中(包括公交车站, 公交车内以及小轿车内)的汽车尾气污染物 CO、NO、NO₂ 和 PM_{2.5} 浓度进行了监测. 结果表明, NO、CO 和 PM_{2.5} 在交通微环境中的浓度分布相似, 均为公交车内浓度最高, 公交车站浓度最低. NO₂ 为公交车内浓度最高, 小轿车内浓度最低. 公交车内 CO 的早高峰浓度要显著高于晚高峰浓度, 普通公交车内的 CO、NO 和 NO₂ 浓度均低于空调车. 良好的通风条件可以显著改善公交车内空气质量. 对小轿车车内浓度的影响因素分析表明, 选择车流量平峰时段出行、恰当的保养维护车辆、在车辆拥堵区域使用内循环通风模式可以有效地降低车内污染水平.

关键词: 浓度特征; 交通微环境; CO; NO_x; PM_{2.5}; 尾气污染

中图分类号: X831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2009)01-0026-05

Investigation on vehicular pollution level in various transport micro-environments in Beijing. DU Xuan¹, FU Li-xin^{1*}, QIU Yue-ming², JIN Tao-sheng³ (1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, California 94305, USA; 3. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China). *China Environmental Science*, 2009,29(1): 26~30

Abstract: The air pollution concentration features of vehicular pollution in Beijing were investigated. CO, NO, NO₂ and PM_{2.5} were monitored in typical transport microenvironments, including bus stop, in-bus and in-car. The distribution of NO, PM_{2.5} and CO concentration in microenvironments was similar. The concentrations in bus were highest, at bus stop were lowest. In bus, the CO was higher in the morning peak hours than in the afternoon peak hours. Meanwhile, CO, NO and NO₂ were lower in conventional buses than in air-conditioned ones, this revealed that ventilation could improve in-bus air quality significantly. The analysis on influence factors to concentrations in cars showed that traveling in level hours, good maintenance, and using inner-circulation mode in traffic jam areas could reduce in-vehicle pollution level effectively.

Key words: concentration feature; traffic micro-environment; CO; NO_x; PM_{2.5}; vehicular pollution

随着机动车保有量的持续增长, 机动车排放量已成为我国城市大气污染的主要来源^[1-2]. 由于机动车近地面排放, 街道峡谷的地形条件以及微气候特征均会影响污染物的传输扩散, 产生局地空气污染^[3]. CO 和 NO_x 是机动车贡献率较大并对人体健康造成威胁的气体污染物. 大气中可吸入颗粒物尤其是细颗粒物 PM_{2.5} 对人体健康的影响越来越受到重视. 有关研究表明^[4], 公交车站、十字路口、机动车内等交通微环境中 CO、NO_x、颗粒物浓度远高于城区平均水平.

国内外学者对机动车源贡献率较大的大气污染物在交通微环境的特征均有所研究^[5-10]. 本

研究通过污染物浓度监测, 分析北京市典型交通微环境中汽车尾气污染物的浓度特征. 同时, 根据监测结果初步提出交通环境中污染控制措施, 以期降低人群在汽车尾气中暴露的健康风险.

1 材料与方法

1.1 采样与分析方法

选择 CO、NO、NO₂ 以及 PM_{2.5} 作为监测指标.

收稿日期: 2008-04-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50778100)

* 责任作者, 教授, fuchen@tsinghua.edu.cn

2005 年 4~5 月,对选定的公交车站、公交车内和小轿车内污染物浓度进行监测.CO、NO 和 NO₂ 均使用双联球将空气打入塑料铝箔复合膜采气袋的方法采集,每隔 15min 充气 1 次,1h 共充气 4 次,用混合气体浓度代表采样期间的小时平均浓度.使用美国热电子环境仪器公司的 48C 相关红外 CO 分析仪和 42C 高精度化学发光 NO-NO₂-NO_x 分析仪对气体样品进行分析^[1].采用美国 TSI 特赛公司的 DustTrak 8520 颗粒物浓度测定仪对 PM_{2.5} 进行在线测量^[12].

2007 年 4 月,选择不同的小轿车车型、出行时段和通风方式对车内微环境中的 CO 和 PM_{2.5} 浓度进行实时在线监测.PM_{2.5} 的监测采用 DustTrak 8520 颗粒物浓度测定仪,而 CO 的监测采用美国 TSI 特赛公司的数字直读式空气质量仪 8762.采样与分析方法如表 1 所示.

表 1 采样与分析方法

Table 1 Sampling and analyzing method

污染物	采样方法	分析方法	检出限
NO/NO ₂	双联球打入气袋	化学发光法	0.05×10 ⁻⁹
CO	双联球打入气袋	气体滤光关联法	0.04×10 ⁻⁶
CO	气泵	电化学法	0.125mg/m ³
PM _{2.5}	气泵	光散射法	0.001mg/m ³

1.2 监测点位和路线

根据北京市交通流量时空分布特点,甄选主要路段和上下班高峰时间作为监测的重点.监测布点考虑到了不同的交通流量和道路级别、道路功能.监测时间涵盖高峰和非高峰时段,监测路线覆盖环路和各级道路.

公交车站监测点位选择位于三环辅路的双安商场车站、三环主路的大学生体育馆车站以及市中心的前门车站.监测时间为上午 7:00~9:00,下午 16:00~18:00.监测点位的道路特征参见表 2.

对于公交车内微环境,选择前门大街和北三环中路为监测路段,乘坐公交车,在车内采样.监测时间为上午 7:00~9:00,下午 16:00~18:00.

小轿车车内环境的监测路线,从清华大学出发途经四环路、三环路、二环路以及环路之间的连接支路,随自由行驶车流前进.监测时间包括高

峰期和平峰期.车况特征见表 3.

表 2 监测点道路特征

Table 2 Environmental characteristics of bus stop

监测点	车流量		道路特征
	高峰(辆/h)	全天(辆)	
双安站	12415	186385	距交叉路口约 100m,南面 20m 为 31 层大楼
前门站	4617	71202	道路开阔
大学生体育馆站	10416	165375	道路开阔

表 3 小轿车车况特征

Table 3 Environmental characteristics of passenger car

监测年份	车型	车龄(a)	通风	车况
2005	出租车	6	开窗通风	较旧较脏
	普桑	6	开窗通风	较旧较脏 空间较大
2007	别克凯悦	1	仅开天窗	车况较新
	伊兰特	1	内/外循环	车内干净

1.3 数据分析

为确定小轿车车内浓度的影响因素,对监测数据按照不同参数分组进行统计分析,采用 Matlab7.1 对分组数据进行总体均值的假设检验.

2 结果与讨论

2.1 公交车车内浓度

CO 的主要来源为汽车尾气,气体性质较为惰性,而 NO 除了汽车尾气之外还有各种工业源和民用源,并且化学反应活性较强,易与交通环境中较为富集的 VOC 等其他污染物进行反应,NO₂ 作为二次污染物变化趋势则更为复杂.因而 CO 的变化能够更为清晰的表明公交车内尾气污染物的时间变化规律.

如图 1(a)所示,公交车内 CO 的早高峰浓度要显著高于晚高峰浓度,由图 1(b)和图 1(c)可以看出 NO 和 NO₂ 的浓度变化规律并不规则.以 CO 为指标来判断,可以发现公交车内早间的尾气污染较为严重,分析原因可能为早晨温度较低,车窗紧闭,车厢内通风条件较差,导致车辆排放的污染物较易积累在车厢当中.而下午温度较高,随着开

窗通风,扩散条件的转好,车厢内的污染物浓度有所降低.

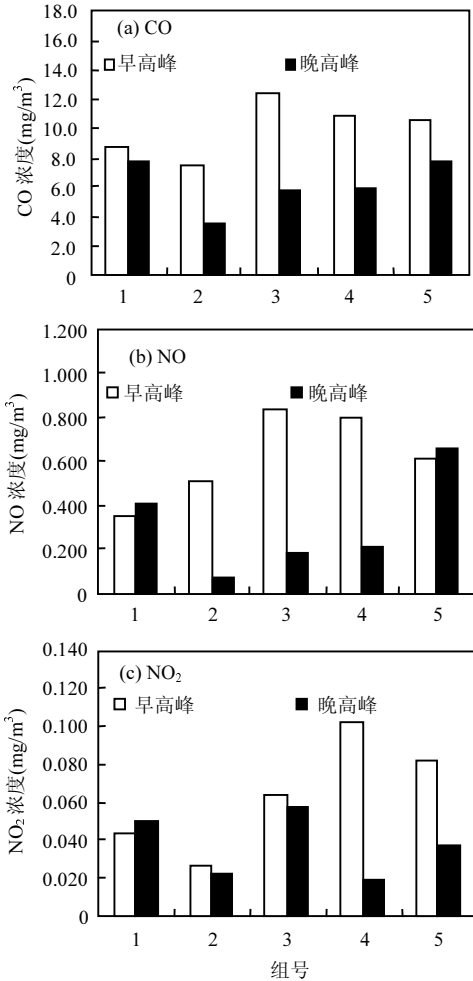


图1 公交车车内污染物浓度变化
Fig.1 Concentrations variation in bus

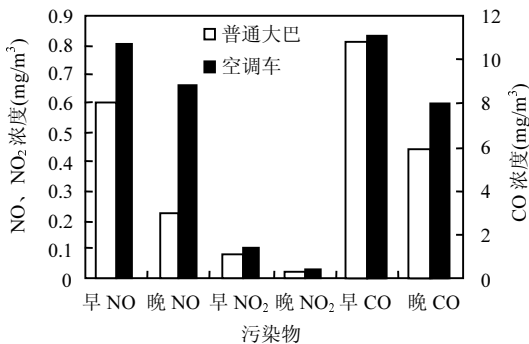


图2 普通大巴和空调车车内浓度对比
Fig.2 Concentrations in conventional/air-conditioned bus

选取同一时段、同一条道路上的普通公交车和关闭车窗的空调公交车进行对比.由图 2 可见,无论早晚高峰,普通公交车车内的 CO、NO 和 NO₂ 浓度均低于空调车.

根据同一时段同一条道路的 PM_{2.5} 浓度数据 (图 3),公交车站的浓度显著低于公交车内.

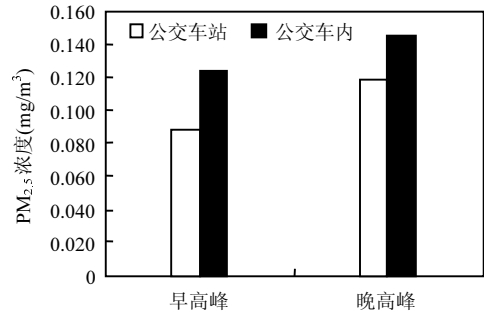


图3 公交车站(前门)和公交车内 PM_{2.5} 浓度对比
Fig.3 PM_{2.5} concentrations in bus and at Qianmen bus stop

2.2 公交车站浓度

以大学生体育馆站为例(图 4),NO₂ 的早高峰浓度显著高于晚高峰浓度,与相关研究中北京城区大气中 NO₂ 的日变化趋势相一致^[13].CO 浓度和 NO 浓度的时间变化规律并不明显,这与车站附近复杂的地形和微气象条件有关.

对照大学生体育馆车站统计的单向车道车流量的日间变化分析车站的 PM_{2.5} 浓度变化规律可以发现,8:00~15:00,PM_{2.5} 的浓度变化和车流量基本上呈正相关,而 15:00~18:00,PM_{2.5} 的浓度和车流量呈负相关.

2.3 小轿车车内浓度

为了研究小轿车车内浓度的影响因素,对监测数据按照高峰期与否、车龄高/低、内/外循环这 3 个分组条件进行统计分析.采用 Matlab7.1 对 2 组监测数据进行了总体均值的假设检验,以确定影响车内浓度的变量,结果见表 4.

对比同一辆车开窗条件下的高峰期与非高峰期车内浓度数据,可以看出,高峰时段出行对于小轿车的车内 CO 和 PM_{2.5} 的暴露浓度有显著影响,高峰时段出行时车内暴露浓度显著偏高.

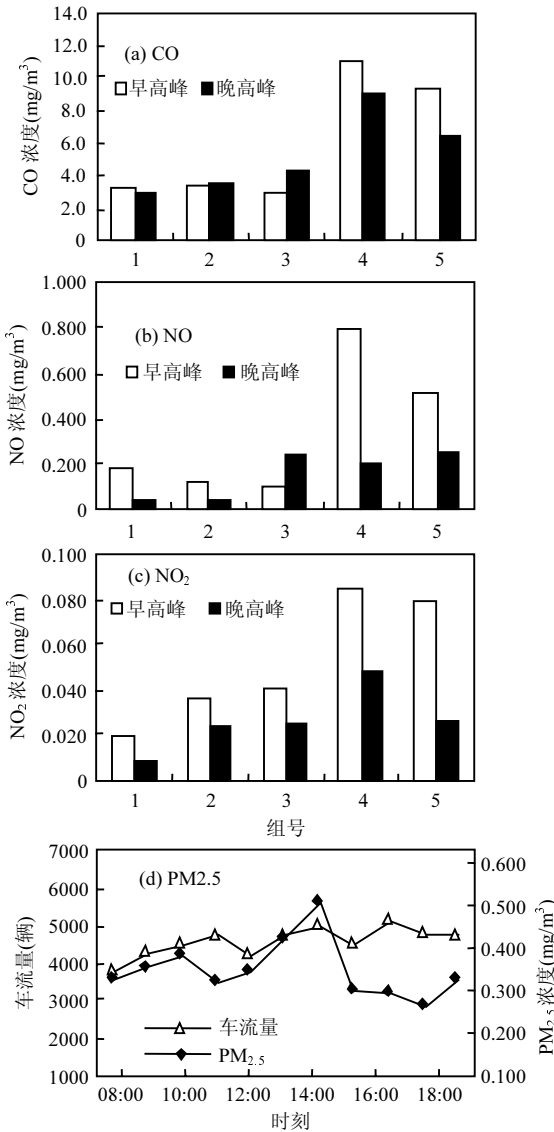


图4 公交车站(大学生体育馆)污染物浓度变化
Fig.4 Concentrations variation at bus stop of University Students' Gymnasium of Capital Institute of P.E.

表4 总体均值的假设检验*

Table 4 Results of significance test

比较项目	统计检验指标	CO	PM _{2.5}
高峰期/平峰期	H	1	1
	P	0	0
保养程度好/坏	H	1	1
	P	0	0
外循环/内循环	H	1	1
	P	0	0

注:*检验方法为z检验。 μ_1 和 μ_2 分别为2次监测均值,假设检验是 $H_0: \mu_1 = \mu_2$; $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$,H值为1,拒绝 H_0 ,2次监测浓度有显著差异.P值为假设2组数据误差异的概率

对比均为开窗通风且均在高峰期监测但保养程度不同的2组车内浓度数据.从统计检验结果可以看出,小轿车的保养程度对CO和PM_{2.5}有显著影响.这可能与汽车的自污染有关^[14].由于汽车自排放和其他车排放的污染物都更容易从车身的缝隙中泄漏到车厢内,造成保养程度差的车辆车内浓度水平显著较高.

对比保养程度相当且均在高峰时段出行但通风模式不同的2组车内浓度数据.可以看出,采用内循环,没有与外界进行空气交换的一组车内浓度显著低于开窗监测的车内浓度.因而,通风模式对于车内的污染物暴露浓度也有很大影响.车厢密闭情况好则受机动车互排放的影响小,车内的暴露浓度也会较低.

Paul等^[15]发现行驶条件会对车内浓度造成影响,加速工况下的车内浓度比怠速工况下的浓度高15%,而怠速状态下的浓度又比自由行驶状态下的浓度高20%.因此,同一辆车并且通风条件均为开窗,车内浓度数据的对比分析结果如表5所示.CO浓度为堵车>慢行>快行,而PM_{2.5}浓度则随着行驶速度的加快有递增的趋势,可能与颗粒物的道路扬尘排放有关.即车速增高有利于降低车内气态污染物的浓度,但可能会加重车内颗粒物的污染.除了行驶速度的影响,道路类型不同也会造成车流量以及扩散条件的差异,从而影响车内尾气污染物浓度.

表5 不同行驶条件下的小轿车内污染物浓度

Table 5 Concentrations in cars under different travel conditions

路段	普桑, 开窗		别克凯悦, 开窗	
	CO 浓度 (mg/m ³)	行驶条件	路段	PM _{2.5} 浓度 (mg/m ³)
双清路	9.6	堵车	双清路	0.210
三环路	4.6	慢行	长安街	0.388
学院路	0.9	快行	通惠河北路	0.386

注:堵车,车速低于10km/h;慢行,车速10~30km/h;快行,车速高于30km/h.浓度为小时均值.

2.4 交通微环境浓度对比分析

如表6所示,比较2005年3种交通微环境的监测结果可以看出,NO和CO在微环境中的浓度

分布相似,均为公交车内浓度最高,公交车站浓度最低,小轿车内浓度处于中等水平。 $PM_{2.5}$ 的公交车内浓度要高于公交车站浓度。 NO_2 为公交车内浓度最高,小轿车内浓度最低。

这种微环境浓度差异主要与排放源以及微环境扩散条件有关。公交车使用的燃料多为柴油,而且使用频率高,同小轿车相比污染物排放量更高,因而公交车内空气质量更差。公交车站同车内环境相比空间开阔,通风状况好,更利于尾气污染物的扩散,因而空气质量在 3 种微环境中最佳。

表 6 交通环境污染物浓度监测结果

Table 6 Results of monitoring in transport environments

微环境	统计指标	污染物			
		NO	NO ₂	CO	PM _{2.5}
公交车站	平均值(mg/m ³)	0.268	0.072	5.4	0.104
	标准差(mg/m ³)	0.235	0.025	3.1	0.090
	样本数	20	20	20	623
公交车内	平均值(mg/m ³)	0.469	0.101	8.1	0.136
	标准差(mg/m ³)	0.262	0.027	2.7	0.073
	样本数	20	20	20	127
小轿车内	平均值(mg/m ³)	0.308	0.063	7.0	-
	标准差(mg/m ³)	0.107	0.021	2.5	-
	样本数	16	16	16	-

注:CO、NO和NO₂每个样本均有2个平行样;PM_{2.5}为实时监测数据,无平行样;-无可比较数据

3 结论

3.1 NO、CO 和 $PM_{2.5}$ 在微环境中的浓度分布相似,均为公交车内浓度最高,公交车站浓度最低。 NO_2 为公交车内浓度最高,小轿车内浓度最低。

3.2 公交车内 CO 的早高峰浓度要显著高于晚高峰浓度,普通公交车车内的 CO、NO 和 NO_2 浓度均低于空调车。

3.3 车内浓度对比分析表明,是否在高峰时段出行、车辆的保养程度和车内通风模式是影响小轿车车内暴露浓度的主要因素。在高峰期出行、车辆保养程度差、采用外循环通风均会造成车内污染物浓度上升。

参考文献:

[1] 北京市大气污染综合治理对策研究课题组.北京市大气污染综

合防治对策研究 [R]. 北京:清华大学, 2001:52-53.

- [2] 邵龙义,时宗波,黄勤.都市大气环境中可吸入颗粒物的研究 [J]. 环境保护, 2000,(1):24-29.
- [3] 王宝民,柯咏东,桑建国.城市街谷大气环境研究进展 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005,41(1):146-154.
- [4] 宋瑞金,王桂芳,王斌.人体对机动车废气污染物暴露水平的研究 [J]. 环境与健康杂志, 1998,15(5):196-199.
- [5] Gulliver J, Briggs D J. Personal exposure to particulate air pollution in transport Microenvironments [J]. Atmospheric Environment, 2004,38(1):1-8.
- [6] Adams H S, Nieuwenhuijsen M J, Colvile R N. Determinants of fine particle ($PM_{2.5}$) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(2):4557-4566.
- [7] Colvile R N, Gomez-Perales J E, Nieuwenhuijsen M J. Use of dispersion modeling to assess road-user exposure to $PM_{2.5}$ and its source apportionment [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(20):2773-2782.
- [8] Gulliver J, Briggs D J. Time-space modeling of journey-time exposure to traffic-related air pollution using GIS [J]. Environmental Research, 2005,97(1):10-25.
- [9] Chan L Y, Liu Y M. Carbon monoxide levels in popular passenger commuting modes traversing major commuting routes in Hong Kong [J]. Atmospheric Environment, 2001,35(15):2637-2646.
- [10] Adams H S, Nieuwenhuijsen M J, Colvile R N. Fine particle ($PM_{2.5}$) personal exposure levels in transport microenvironments [J]. Science of the Total Environment, 2001,279(1-3):29-44.
- [11] 马志强,王跃思,孙扬,等.北京大气中常规污染物的垂直分布特征 [J]. 环境科学研究, 2007,20(5):1-6.
- [12] 李龙凤,王新明,赵利容,等.广州市街道环境 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度的变化特征 [J]. 地球与环境, 2005,33(2):57-60.
- [13] 安俊琳,王跃思,李昕.北京大气中 NO、 NO_2 和 O_3 浓度变化的相关性分析 [J]. 环境科学, 2007,28(4):706-711.
- [14] Marshall J D, Eduardo B. Vehicle self-pollution intake fraction: children's exposure to school bus emissions [J]. Environmental Science and Technology, 2005,39(8):2559-2563.
- [15] Paul S. Carbon-monoxide exposures inside an automobile traveling on an urban arterial highway [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1994,44(8):1010-1018.

作者简介: 杜 譞(1982-),女,北京市人,清华大学环境科学与工程系博士研究生,主要从事机动车污染及其健康风险研究.发表论文 3 篇.