

【调查研究】

文章编号: 1001-5914(2008)06-0514-03

北京市公共交通工具微环境空气质量综合评价

李湉湉^{1,2}, 颜敏², 刘金凤², 张广山^{2,3}, 罗铭^{2,4}, 霍铭群², 谢鹏², 刘兆荣², 白郁华²

摘要: 目的 了解北京市公共交通工具微环境空气质量。方法 于 2004 年 7 月—2006 年 8 月选取北京市城铁(15 个车次)、地铁(8 个车次)、出租车(36 个车次)、公共汽车(46 个车次)中具有代表性的车辆进行了车厢空气中一氧化碳、二氧化碳、颗粒物、苯系物浓度的监测并采用空气质量指数法对交通工具微环境内的空气质量进行评价。结果 公共交通工具车厢内二氧化碳的污染较为严重, 超标率达到 37% 以上, 其中在出租车中的污染最为严重, 超标率达到 92%。除城铁外, 其他交通内 PM10 污染也相当严重, 超标率达到 30% 以上。其中在公共汽车中污染异常严重, 超标率达到 84%。一氧化碳在道路交通系统(公共汽车和出租车)中污染较严重, 超标率在 10% 以上。城铁内空气质量最好, 评为 II 级, CO₂ 是其首要污染物; 非空调公共汽车在开窗情况下的车内空气质量最差, 评为 I 级, PM10 为其首要污染物。结论 在北京市公共交通系统中, 城铁的车内空气质量最好, 其次为地铁、出租车, 公共汽车内的空气质量最差。

关键词: 空气污染; 交通工具; 微环境; 空气质量评价

中图分类号: R122.2

文献标识码: A

Air Quality Assessment in Public Transportation Vehicles in Beijing LI Tian-tian, YAN Min, LIU Jin-feng, et al. Institute for Environment Hygiene and Health Related Product Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China

Abstract: Objective To get knowledge of the air quality in public transportation vehicles in Beijing. Methods The concentration of carbon monoxide, carbon dioxide, particle matter and benzene were measured in the carriages of buses, taxis, subways and railways in Beijing from July 2004 to August 2006. The air quality assessment was conducted in different public transportation vehicles. Results The carbon dioxide concentrations were high in transportation vehicles in Beijing and the exceeding rates were above 37%. The PM10 concentrations were high in buses, taxis and subways, and the exceeding rates were above 30%. The carbon monoxide concentrations were high in buses and taxis, and the exceeding rates were above 10%. Conclusion In Beijing, railway carriages have the best air quality, following by subway and taxis carriages. Buses carriages have the worst air quality.

Key words: Air pollution; Transportation vehicle; Microenvironment; Air quality assessment

近年来, 我国经济高速发展, 城市面积不断扩大, 乘坐交通工具已成为人们的一种主要出行方式。与发达国家居民出行通常依靠私家车的情况不同, 公共交通工具仍是我国居民出行的首选。据调查, 60% 以上北京市民出行依靠公共交通工具, 公共交通系统在北京市城市交通系统中占主体地位。2005 年, 北京市公共交通系统(城铁、地铁、出租车及公共汽车)年运送乘客数接近 60 亿人次^[1]。近年来北京的交通拥堵状况加剧, 人们置身于交通工具微环境内的时间比以往更长, 交通工具内的空气质量直接关系到人们的健康。因此, 笔者对北京市各公共交通工具的空气质量进行综合评价。

1 材料与方法

1.1 现场监测

于 2004 年 7 月—2006 年 8 月选取北京市城铁、

地铁、出租车、公共汽车中具有代表性的车辆进行了车厢空气中 CO、CO₂、PM10、苯系物浓度的监测。采用便携式 GXH-3051 型一氧化碳分析仪(北京均方理化科技研究所)检测 CO 浓度, 采用便携式 PCO₂/10 二氧化碳分析仪(英国 GAS DATA 公司)检测 CO₂ 浓度, 采用便携式 Dustmate 粉尘测定仪(英国 Dustmate 公司)检测 PM10 浓度。在采样现场使用容积为 3.5 L 内壁抛光的不锈钢采样罐采集空气样品, 然后将采样罐带回实验室采用 Varian 3400 型毛细管柱气相色谱仪(美国 Varian 公司)进行气相色谱分析, 获得苯、甲苯、二甲苯的浓度。

1.1.1 城铁 北京市共有两条城铁线路, 即 13 号线和八通线, 其中 13 号线运行车辆为今后该市城铁运营的主力车型。本研究选取 13 号线车辆为城铁的代表性车辆, 分别于夏季(2004 年 7 月及 8 月)和冬季(2004 年 12 月)的每个采样日的高峰时段和非高峰时段进行现场监测。共进行了 15 个车次的现场实测, 其中夏季 9 个车次, 冬季 6 个车次。采样点设置在车厢中部且避开车门位置, 采样高度均在人体呼吸区域范围内。

作者单位: 1. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所(北京 100050); 2. 北京大学环境科学与工程学院(北京 100871); 3. 北京市环境保护监测中心(北京 100044); 4. 农业部环境保护科研监测所(天津 300191)

作者简介: 李湉湉(1979-), 女, 博士, 从事环境健康研究。

1.1.2 地铁 与大气环境相比, 各条地铁环境差别

并不大,所以采样在春季进行(2005 年 3 月),并没有分季节进行。采样期间,北京市地铁线路包括 1 号线及 2 号线,这两条线路在北京交通中具有重要的地位,所以均包括在此次研究中。地铁车厢所采用的通风方式为关闭车窗采用电扇机械通风。先期调查发现,上下班高峰时期由于地铁车厢内过分拥挤,无法开展正常的现场采样工作,因此本次研究选取了 12:30—15:30 的次高峰时间进行现场采样。共进行了 8 个车次的现场实测。采样点设置在车厢中部且避开车门位置,采样高度均在人体呼吸区域范围内。

1.1.3 出租车 在进行出租车空气样本采样的 2005 年,北京市有出租车 6.3 万辆,根据出租车的品牌及使用年限在其中选取了 3 款最具代表性的车型进行研究。其中包括老旧淘汰车型、过渡车型以及北京出租车的主力车型。出租车采样包括两个季节,冬季(2005 年 1 月)和春季(2005 年 3—4 月),采样时间为 9:00—11:00 及 14:00—16:00。在采样期间,每天用同一辆出租车,一条路线往返检测 2 次,每次采样 25 min。共进行了 36 个车次的现场实测,其中冬季 20 车次,春季 16 车次。采样点设置在出租车中部人体呼吸区域范围内。

1.1.4 公共汽车 在进行公共汽车空气样本采样的 2006 年,北京市有公共汽车 1.9 万辆。北京市公共汽车的车辆品牌庞杂,车辆新旧程度不一,选取具有代表性的车辆相对困难。因此,需要将北京市公共汽车分为具有代表性的类型,并在各类型中选取合适的车型(并兼顾路线的因素)。本研究将北京市目前的公共汽车分为以下 4 类:非空调新车、非空调旧车、空调新车、空调旧车。现场监测分别在冬季(2006 年 1 月)、春季(2006 年 4 月、5 月)及夏季(2006 年 7 月、8 月)进行,采样时间为 9:00—12:00。共进行了 46 个车次的现场实测,其中冬季 14 车次,春季 16 车次,夏季 16 车次。采样点设置在车厢中部且避开车门位置,采样高度均在人体呼吸区域范围内。

1.2 评价标准

按照 GB 18883—2002《室内空气质量标准》进行评价。CO、CO₂、PM₁₀、苯、甲苯、二甲苯的浓度限值分别为 10 mg/m³、0.10%, 0.15 mg/m³、0.11 mg/m³、0.20 mg/m³、0.20 mg/m³。

1.3 空气质量评价方法

采用姚志麒提出的最高值与平均值兼顾的空气质量指数法对交通工具微环境空气质量进行评价^[2]。此方法在室内及交通工具微环境空气质量评价中已有成功应用的先例^[3-5]。该方法首先将各污染物的平均浓度(c_i)除以该污染物的评价标准值(S_i),得到质量分指数 I_i ,选出其中最大值(I_{\max}),再求出 i 个污染物质量分指数的平均值(I_{av}),两者的几何均数即为空气质量指数

$$I = \sqrt{I_{\max} \cdot I_{\text{av}}} = \sqrt{\max \left[\frac{c_1}{S_1}, \frac{c_2}{S_2}, \dots, \frac{c_k}{S_k} \right] \cdot \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{c_i}{S_i} \right]} \quad (1)$$

式中: I —空气质量指数; I_{\max} —最大质量分指数; I_{av} —平均质量分指数; c_i —第 i 种污染物的浓度; S_i —第 i 种污染物的评价标准值; K —污染物个数。

I 的数值越大,反映综合污染越严重,通过引入室内空气污染质量等级判断标准^[6],如表 1 所示,对交通工具微环境内的空气质量进行判断。本研究所监测污染物的浓度按 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》进行评价。该评价方法中,质量分指数(I_i)定义为污染物浓度(c_i)与标准值(S_i)之比, S_i 的倒数可看作其权重系数,形象地表示了某个污染物浓度与其标准值间的距离。该指数特点为:(1)形式简单,计算方便,适应污染物个数的增减,适用于综合评价几种污染物共同作用下的空气质量。(2)兼顾了各参数中最大值与平均值的影响。由于人的感觉与污染物浓度大小不成线性比例,当某一污染物污染严重时,可能会造成比较大的危害,引入 I_{\max} 项就是为了体现污染最严重的因子对整个空气质量的影响。

表 1 室内空气质量等级判断标准^[6]

空气质量指数(I)	室内空气质量等级	评价
≤ 0.49	I	清洁
0.50 ~	II	未污染
1.00 ~	III	轻污染
1.50 ~	IV	中污染
≥ 2.00		重污染

2 结果与讨论

2.1 各种交通工具车厢空气中污染物浓度

表 2 可见,公共汽车车厢空气污染最严重,除了苯以外,其他污染物浓度不同程度超标,其中 PM₁₀ 超标最为严重,超标率达到了 84%。而城铁车厢空气质量最好,仅 CO₂ 浓度超标。本研究中交通工具车厢空气中 CO₂ 浓度均呈现不同程度的超标,出租车内 CO₂ 浓度超标率最高,达到了 92%。公共汽车和出租车车厢空气中 CO 浓度均有超标,且出租车的超标率(45%)高于公共汽车(10%)。除城铁外,其他交通工具车厢空气中 PM₁₀ 浓度均超标,超标率达到 30% 以上,其中地铁 PM₁₀ 污染较为严重,超标率为 91%。而苯系物在各交通工具车厢空气中的浓度均较低,仅在公共汽车内出现了甲苯(3%)及二甲苯(3%)的超标现象,超标率仅为 3%。间、对二甲苯和邻二甲苯在公共汽车车厢空气中的浓度分别为(0.039±0.046)和(0.017±0.025)mg/m³,样本量均为 85 件,在出租车车厢空气中的浓度分别为(0.011±0.011)和(0.005±0.006)mg/m³,样本量均为 38 件。二甲苯在城铁车厢空气中的浓度为(0.004±0.002)mg/m³,样本量为 18 件;在地铁车厢空气中的浓度为

表 2 交通工具微环境内污染物浓度和超标情况

交通工具	CO			CO ₂			PM10			苯			甲苯		
	样本量 (件)	$\bar{x}\pm s$ (mg/m ³)	超标率 (%)	样本量 (件)	$\bar{x}\pm s$ (%)	超标率 (%)	样本量 (件)	$\bar{x}\pm s$ (mg/m ³)	超标率 (%)	样本量 (件)	$\bar{x}\pm s$ (mg/m ³)	超标率 (%)	样本量 (件)	$\bar{x}\pm s$ (mg/m ³)	超标率 (%)
公共汽车	642	8.5±23.1	10	660	0.13±0.06	50	633	0.76±1.11	84	87	0.017±0.016	0	88	0.044±0.067	3
出租车	173	10.6±7.0	45	170	0.20±0.09	92	142	0.13±0.14	33	38	0.015±0.011	0	38	0.013±0.010	0
城铁	194	1.0±0.5	0	201	0.11±0.04	60	83	0.11±0.06	0	18	0.014±0.006	0	18	0.012±0.005	0
地铁	156	2.3±1.0	0	156	0.10±0.03	37	156	0.32±0.13	91	21	0.008±0.002	0	26	0.010±0.003	0

(0.008±0.002)mg/m³, 样本量为 20 件。由于在不同情况下空气交换率等参数存在较大差异(如空调公共汽车和非空调公共汽车), 因此部分交通工具车厢空气中污染物浓度数据离散程度较大。

2.2 交通工具微环境内空气质量综合评价

在本研究测定的通风方式下, 各交通工具微环境内的空气质量综合评价结果见表 3。

表 3 交通工具微环境内空气质量综合评价

交通工具	通风方式	空气质 量指数	最大质量分指数		车内空气 质量等级
			污染物	数值	
空调公共汽车	关窗	1.34	CO	1.82	III
	开窗	1.53	PM10	2.80	IV
非空调公共汽车	关窗	2.36	PM10	4.62	
	开窗	4.23	PM10	9.70	
出租车	关窗	1.17	CO ₂	2.00	III
地铁	关窗	1.13	PM10	2.17	III
城铁	关窗	0.66	CO ₂	1.17	II

城铁内空气质量最好, 评定为 II 级(未污染), CO₂ 是其首要污染物, 这与乘客数量较多有关, 目前城铁内的通风系统基本可以保证车内较清洁的空气质量, 在原有基础上改善车厢内通风换气系统, 将有助于车内空气质量的进一步提高。地铁车厢内空气质量被评定为 III 级(轻污染), 其中 PM10 的污染最为严重, 由于地铁车厢内并无 PM10 来源, 所以地铁地下运行环境空气质量的改善, 将促进地铁车厢内空气质量的提高。在各种交通工具中, 非空调公共汽车在开窗情况下的车内空气质量最差, 评定为 V 级(重污染), PM10 为其首要污染物, 污染指数达到了 9.70。本研究发现, 与关窗时相比, 开窗情况下道路交通系统空调公共汽车和非空调公共汽车车厢内空气质量下降, 且其首要污染物均为 PM10。因为在关窗的情况下, 颗粒物被不同程度地阻止在车外。由于空调系统的运行会过滤掉车内的

部分颗粒物, 所以关窗时空调公共汽车车厢空气中 PM10 浓度会显著下降, 首要污染物为 CO。

3 小结

各种交通工具车厢空气中 CO₂ 浓度超标率均达 30% 以上, 其中出租车车厢空气中 CO₂ 污染最为严重, 浓度平均值达 0.20%。除城铁车厢空气中 PM10 浓度达标外, 地铁、出租车、公共汽车内的 PM10 浓度超标率均达 30% 以上, 公共汽车内 PM10 污染非常严重, 浓度平均值达 0.76 mg/m³。在道路交通系统中, 公共汽车及出租车车厢空气中 CO 浓度超标率达到 10% 以上, 出租车内 CO 污染较为严重, 浓度平均值达 10.6 mg/m³。

北京市公共交通工具车厢内空气质量的排序为: 城铁的车内空气质量最好, 其次为地铁、出租车, 而公共汽车的车内空气质量最差。总之, 轨道交通系统的车内空气质量要好于道路交通系统。通风方式及空气交换率在不同程度上决定着车内空气质量及车内的首要污染物。在关窗或空气交换率较小的情况下, 车内的空气质量一般较好, 且车内首要污染物多为具有明显车内来源的污染物, 如 CO、CO₂ 等。在开窗或空气交换率较大的情况下, 车内的空气质量较差且首要污染物为颗粒物。

参考文献:

[1] 北京市统计局. 北京市统计年鉴 2006 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
[2] 杨克敌. 环境卫生学 [M]. 5 版. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 316.
[3] 白郁华, 陈旦华. 室内环境质量调查——北京大学园区室内空气污染综合评价 [M]. 北京: 原子能出版社, 1998: 62.
[4] 沈晋明, 毛继传, 孙光前. 上海办公大楼空气质量客观评价 [J]. 建筑热能通风空调, 1995, 4: 14-17.
[5] Li TT, Bai YH, Liu ZR, et al. In-train air quality assessment of the railway transit system in Beijing, China [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2007, 12:64-67.
[6] 沈晋明. 室内空气品质的评价 [J]. 暖通空调, 1997, 4: 22-25.

(收稿日期: 2008-02-28 修回日期: 2008-04-01)
(本文编辑: 高申)