

“PM2.5 与出行方式选择” 测试活动与成果报告

2015 年 1 月至 10 月，自然之友与达尔问携手，联合空气污染专业领域年轻学者宋英石博士，共同设计并完成“PM2.5 与出行方式选择”测试活动，该活动为自然之友与达尔问合作项目——“蓝天实验室”，开展的公众参与系列测试活动之一。

“蓝天实验室”项目试图在中国当下雾霾肆虐的环境下，联合有志于研究空气污染与人体健康影响的专业人士，搭建专业人士与普通公众间沟通的桥梁，并通过一系列面向公众开放的、浅显易懂的科普测试活动，引导公众从对雾霾的认知、应对及参与雾霾治理方面有所改变，通过有效的公众传播，推动公众以积极、客观的态度关注、参与大气治理。我们认为，公众既是雾霾的“受害者”，也是“制造者”。公众在雾霾治理与防护方面的认知及行动，不仅是雾霾治理的关键，且是在当下的中国，公民参与解决环境问题及社会问题的良好推动方向。

1. 测试缘起

出于对生活环境中空气污染实际状况的关注，自 2011 年以来，达尔问的工作人员和志愿者曾多次利用便携式空气检测设备，对北京市不同场所、不同环境下的 PM2.5 浓度进行实地测试，并尝试发现人类日常活动与 PM2.5 浓度的关联，对烹饪、抽烟、不同的出行方式可能产生的 PM2.5 进行检测，取得了许多有参考价值的数据。但是这些检测是零星分散的，如果以所得的数据作为倡导公众进行绿色选择的依据，倡导公众能选择对空气污染影响最小的生活方式，尚不具备足够的说服力。

关于地铁中的 PM2.5 浓度究竟如何，达尔问也做过一些测试，其中一组数据曾被某些媒体错误解读，引起较大争议。因此，自然之友与达尔问合作的“蓝天实验室”项目，希望能发动公众的力量，对“PM2.5 与出行方式选择”进行较为系统、科学的检测研究。

在 10 个月的时间里，蓝天实验室发动志愿者 135 人次携带空气检测器，在

三种不同空气质量情况下，组成出行小组，每组两条对比线路，分别选择三种出行方式进行测试活动。全部测试结果由公众共同与实践得出，我们希望以正式报告呈现，以感谢参与及关注此活动的广大公众。

2. 测试流程介绍

2.1 测试目的

在户外空气质量基本稳定的情况下，测试乘坐公交、地铁与私家车三种交通工具时 PM2.5 浓度的区别，判断三种出行方式之间 PM2.5 浓度是否存在明显差异。

2.2 测试时间：2015 年 1 月——10 月

2.3 天气状况要求：

静稳天气，风力三级以下，根据《环境空气质量指数（AQI）技术规定（试行）》（HJ 633-2012），我们以官方监测站点发布的 PM2.5 浓度对应 AQI 分级，将天气状况划分为三个级别，分别是：优良（PM2.5 浓度低于 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），轻度-中度污染（PM2.5 浓度在 $75\text{--}150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），重度污染天气（PM2.5 浓度高于 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。

2.4 交通方式：地铁，公交，私家车，每条线路均同时测试此三种出行方式。

2.5 测试仪器：每人随身携带一台空气检测仪（型号：清天朗日 QT50 空气知了 PM2.5 检测仪，北京广精深环保科技有限公司出品），并保持全程开机状态。

2.6 测试方案：

北京市公共交通主要是地铁和公交两大类。城区内主要地铁线路分别为东西向的一号线和六号线，南北向的四号线和五号线，以及环行的二号线和十号线。

考虑到实际出行距离，测试路线的可对比性，及实际测试的可操作性，分以下三组线路进行测试。

【第一组】

地铁一号线和六号线，及对应公交线路，从西四环到东四环。

线路	交通方式	具体路线
线路一	地铁	一号线从五棵松站到四惠站，距离约 19 公里
	公交车	从五棵松西站乘坐 1 路车到四惠枢纽站，距离约 21 公里
	私家车	从五棵松桥到四惠桥，距离约 20 公里
线路二	地铁	六号线从海淀五路居站到十里堡站，距离约 20 公里
	公交车	定慧寺东乘坐 701 路到东四十条桥东，换乘 431 路到朝阳公园桥东，19 公里（地铁和公交线路中间交叉，基本平行）
	私家车	从定慧桥北到朝阳公园桥，距离约 18 公里

【第二组】

地铁二号线和十号线，及对应公交线路，分别环行二环路和三环路。

线路	交通方式	具体路线
线路一	地铁	二号线从地铁西直门站开始，环乘一周，约 22 公里
	公交车	乘 44 路内环线路，环乘一周，约 24 公里
	私家车	沿二环路环形一周，距离约 33 公里
线路二	地铁	十号线从知春路站开始，环乘一周，全程 57 公里
	公交车	从大钟寺乘 300 路快公交车，环乘一周，全程 48 公里
	私家车	沿三环路环形一周，距离 48 公里

【第三组】

地铁四号线和五号线，及对应公交线路，从南四环到北四环。

线路	交通方式	具体路线
线路一	地铁	四号线从公益西桥站到中关村站，距离约 21 公里
	公交车	从城南嘉园北站乘特 14 路到长椿街路口西，换乘 47 路至花园路北口，距离约 19 公里
	私家车	从公益西桥向北到志新桥，距离约 20 公里
线路二	地铁	五号线从惠新西街北口站到宋家庄站，距离约 17 公里
	公交车	乘 684 路从惠新东桥南到宋家庄站，距离约 20 公里
	私家车	从惠新东桥向南，过南三环后折向宋家庄站，距离约 19 公里

2.7 具体测试流程及说明：

2.7.1 首先对测试用仪器进行校准实验，确保所选仪器可用于此次实验活动；招募公众志愿者，进行测试前期培训；

2.7.2 测试开始前一周预约测试志愿者，确定人员分工和测试时间，测试前一天根据天气状况确定是否适合测试；

2.7.3 每次测试至少有 10 名志愿者同时参与，两组路线，分别一人乘坐地铁，一人乘坐公交车，自驾车两人，一人开车，一人记录，另有一名室内志愿者负责记录当天的背景空气质量；

2.7.4 测试过程中同时进行数据记录，每隔 5 分钟记录一次数值，记录每次测试的起始时间，采用的交通工具，背景空气质量，以及测试的交通工具内 PM_{2.5} 的实时浓度；

2.7.5 同一线路的测试保证基本在同一时间开始，确保测试过程的背景环境空气质量一致；

2.7.6 分别在不同背景空气质量状况下进行测试，并且所有线路都进行了重复测试；

2.7.7 私家车大部分在开启车内空调内循环的情况下进行测试，偶尔是开启外循环或者开窗进行测试；

2.7.8 本次测试活动未考虑季节性因素，仅根据不同背景空气质量条件进行对比性测试。

2.8 仪器一致性说明：

仪器的精确性是指对同一物体的某特征重复观察值或对某参数的重复估计值彼此之间的接近程度。通俗来讲，仪器的精确性是指各个仪器之间测定的结果是否一致，我们用方差检验来分析 QT50 系列仪器的精确性。

通过在三种不同污染浓度下，对比 QT50 系列仪器的测定结果，来监测该款仪器的精确性。分别在 PM_{2.5} 浓度为 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，188 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （数据来自环保部官方监测点）的三个浓度梯度下，仪器的测试结果如下表所示。

不同天气情况下 QT50 系列仪器精确性分析表

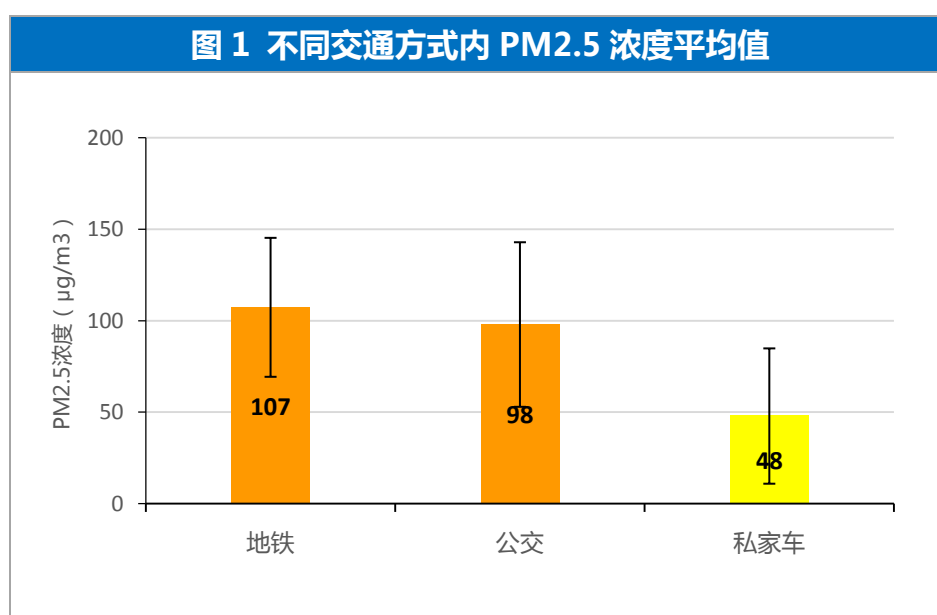
仪器编号	优良天气	重度污染	重度污染
QT50 空气检测器 1 号	28.80±5.26 ab	160.27±37.91 a	240.00±28.43 a
QT50 空气检测器 2 号	28.00±4.06 ab	166.18±30.86 a	248.70±24.62 a
QT50 空气检测器 3 号	31.80±6.72 a	147.18±34.42 a	215.70±24.16 a
QT50 空气检测器 4 号	31.20±13.25 a	157.91±41.13 a	241.70±22.00 a
QT50 空气检测器 5 号	22.80±5.26 b	143.00±35.13 a	214.50±19.19 a
QT50 空气检测器 6 号	27.20±5.31 ab	165.36±41.77 a	249.90±31.09 a

分析结果显示：在高浓度污染天气下，QT50 系列空气颗粒物检测仪没有显著性差异，说明在这样的天气情况下仪器的精确性较好。而在低浓度天气下，QT50 系列仪器存在显著性差异，说明在优良天气下，QT 系列仪器一致性出现波动，差异性为 28%，在 PM2.5 浓度低于 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 天气使用时需要注意。

3. 数据分析

3.1 测试总体 PM2.5 浓度比较

通过对比所有的空气质量情况及所有测试线路的结果来看三种交通工具内的 PM2.5 浓度差别。（图 1），北京地铁平均浓度值（107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），略高于公交车（98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），但是这两种交通方式显著高于私家车（48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。



3.2 不同污染程度 PM2.5 浓度比较

在优良和轻度-中度污染天气状况下,三种交通方式的 PM2.5 的浓度表现一致,均为地铁>公交车>私家车(图2)。经显著性检验,在优良天气下三种交通方式有显著性差异,在轻度-中度污染天气下公共交通显著高于私家车。当外界从优良天气转为轻度-中度污染天气时,地铁内 PM2.5 浓度在两种天气状况下基本没有显著变化,公交车内的 PM2.5 浓度由优良天气下的 $76\mu\text{g}/\text{m}^3$,上升到轻度-中度污染天气下的 $88\mu\text{g}/\text{m}^3$;私家车内 PM2.5 浓度由优良天气下的 $21\mu\text{g}/\text{m}^3$,上升到 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

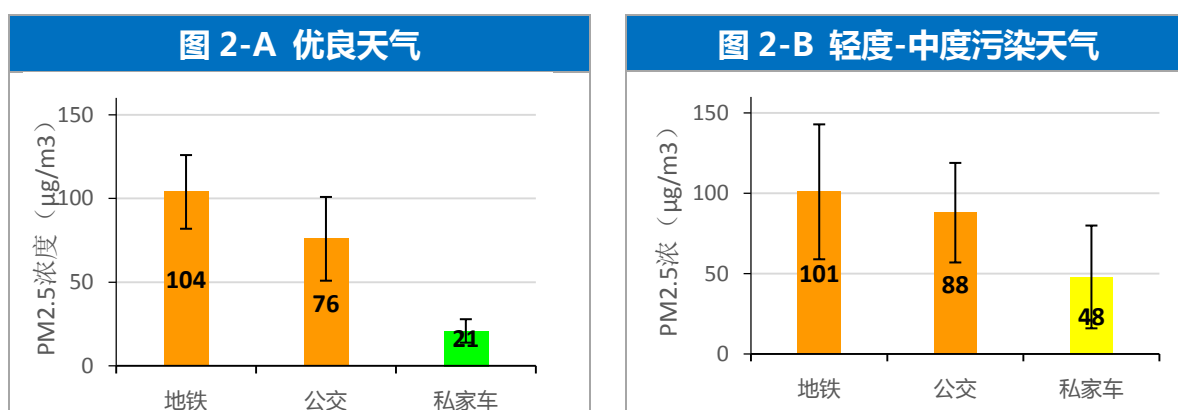
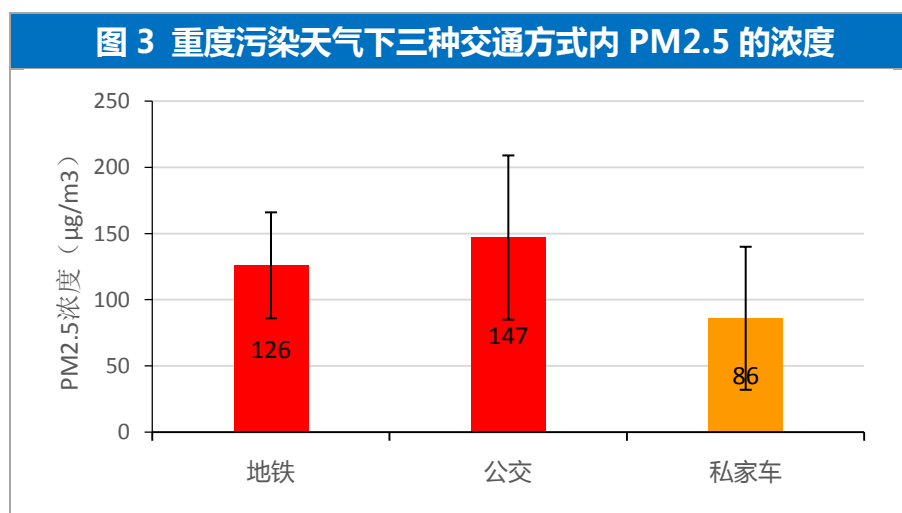


图 2 三种交通方式 PM2.5 浓度值

在重度污染的天气状况下(图3),三种交通方式内均有不同程度的增高,但是三种交通方式没有显著性差异,公交车内 PM2.5 的增幅超过了地铁和私家车。PM2.5 浓度最高的为公交车 $147\mu\text{g}/\text{m}^3$,其次为地铁 $126\mu\text{g}/\text{m}^3$,最低为私家车 $86\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。



从以上分析可以看出，在不同的天气状况下，不同交通方式内 PM2.5 的浓度是不同的。虽然私家车在各种天气状况下，车内 PM2.5 的浓度均为最低，但是这并不是我们倡导的交通方式，因为在测试中参与测试车辆大部分均在车窗紧闭的情况下测定。由于汽车严密的封闭装置，且开启车内空调内循环系统，致使车内的 PM2.5 浓度较低，但是一旦打开车窗或者汽车处于外循环模式，车内的 PM2.5 浓度会迅速回升，最终私家车内 PM2.5 的浓度与公交车内不相上下。在 2015 年 2 月 10 日的一次测试中，我们在私家车开窗的情况下车内 PM2.5 的浓度为 $111\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，公交车内为 $119\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，基本上没有显著差异。

对于地铁和公交车而言，在天气状况为优良和轻度-中度污染时，公交车内 PM2.5 的浓度比地铁稍低，在重度污染天气状况时，地铁内 PM2.5 的浓度则比公交车稍低。这对我们的出行有一定的指导意义。

3.3 城区不同方向 PM2.5 浓度比较

我们选择了四号线和五号线作为南北方向的对比，选择一号线和六号线作为东西方向上的对比，选择二号线和十号线作为环路的对比。

在北京城区东西方向和南北方向上（图 4），三种交通方式 PM2.5 浓度表现比较一致，均为地铁 > 公交车 > 私家车。南北方向上地铁与私家车有显著性差异，东西方向上三种交通方式有显著性差异。

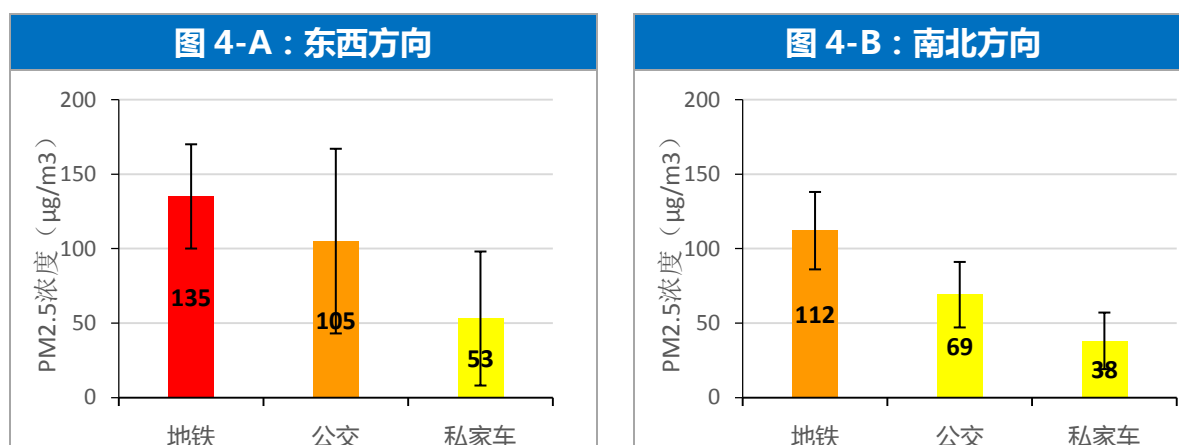
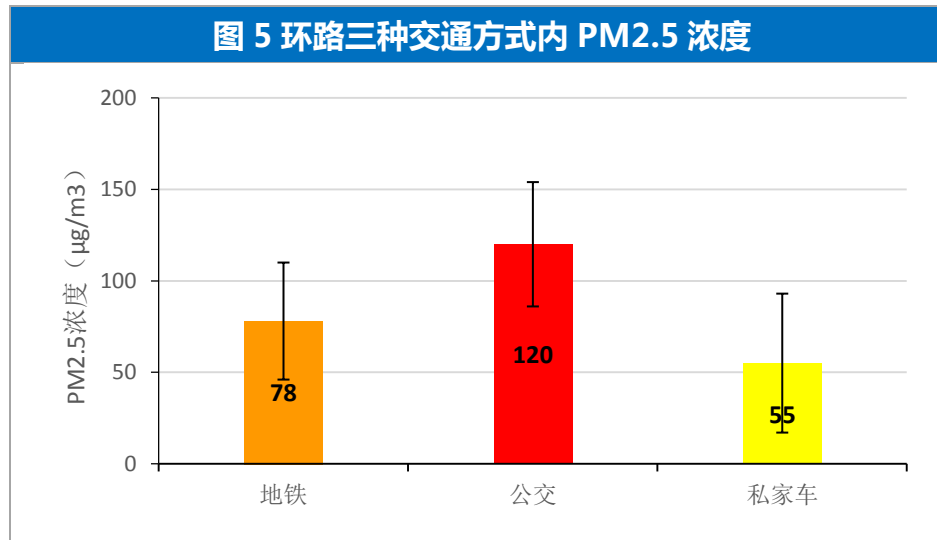


图 4 不同方向上三种交通方式内 PM2.5 浓度

北京环路的对比结果显示(图 5),公交车内 PM2.5 的浓度最高,地铁次之,私家车最低。并且公交显著性高于其他两种交通方式。



通过以上对比可以看出,北京城区不同方向的线路测定结果也有差异。南北方向和东西方向出行,应该选择公交车;而在环路出行,应该选择地铁。

3.4 地铁污染特点分析

3.4.1 地铁的新旧程度对应车厢内 PM2.5 浓度比较

由于建设年代不同,地铁新旧线路采用设备不同,地铁内 PM2.5 的浓度值也有差异(表 1),通过对比三种天气条件下,新地铁线路六号线(ⓐ6)和十号线(ⓐ10),旧地铁线一号线(ⓐ1)和二号线(ⓐ2),其中的 PM2.5 浓度。结果发现新地铁线路车内 PM2.5 的浓度值比旧地铁线路低 $8.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。这可能与地铁的通风系统有关。

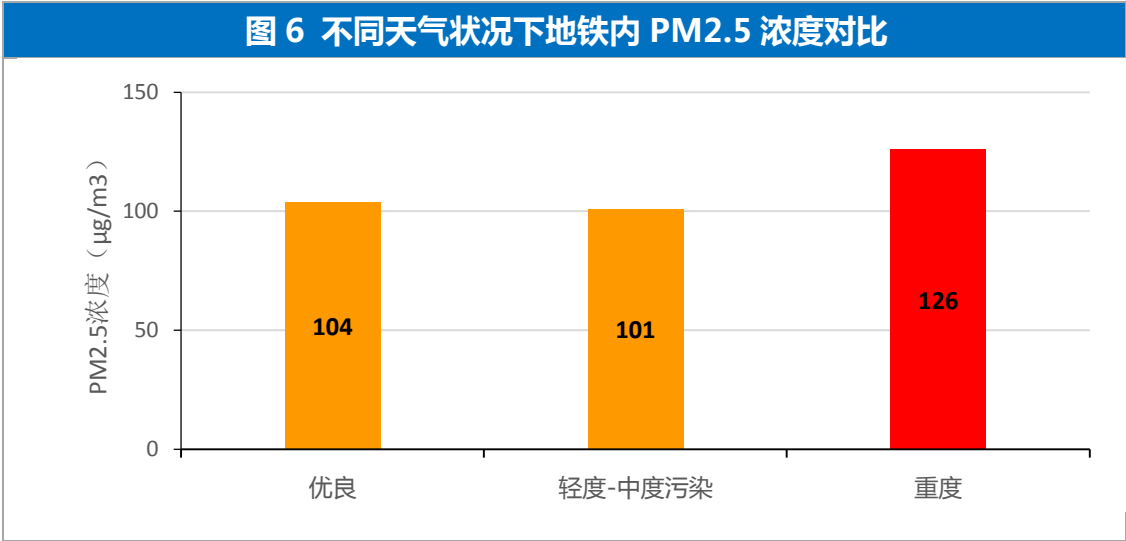
表 1 新旧地铁内 PM2.5 的浓度差异对比

方向	类别	线路	污染级别	浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	均值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
东西方向	旧线	④ 1	优良	80	141
			优良	118	
			轻中度	193	
			重度	174	
	新线	④ 6	优良	116	134
			优良	122	
			轻中度	144	
			重度	157	
环行方向	旧线	④ 2	优良	118	83
			轻中度	107	
			轻中度	49	
			轻中度	44	
			重度	97	
	新线	④ 10	优良	65	73
			轻中度	133	
			轻中度	52	
			轻中度	52	
			重度	65	

(2) 不同污染程度下地铁车厢内 PM2.5 浓度对比

通过对比不同天气污染状况下地铁内 PM2.5 浓度发现, 城市地铁是一个相对封闭的环境, 其内部 PM2.5 浓度变化不大($101\text{-}126\mu\text{g}/\text{m}^3$), 经显著性检验, 在不同天气下, 地铁内 PM2.5 浓度没有显著差异。因此无论外界环境怎样变化, 对地铁内部环境影响较小, 或者说地铁内对外界污染物浓度的变化反应不敏感。所以在污染浓度较小的环境下, 公交车内空气质量好于地铁, 应该选择公交出行, 而在重污染情况下, 地铁内空气质量好于公交车, 地铁出行则是良好的选择。

另外, 地铁内 PM2.5 浓度虽然相对变化不大, 但始终处于轻度污染到中度污染的水平, 建议易感人群做好防护。



3.5 不同交通方式耗时对比

除了空气污染外，大家同样关心的一个问题就是出行时间，因此我们以六号线为例进行了重点比较（表 2），选取的测试时间为 2015 年 1 月 21 日和 2015 年 1 月 31 日。

表 2 不同交通方式耗时对比

时间	交通方式	时间（分钟）	平均（分钟）
2015.1.21	地铁	35	35
2015.1.31		35	
2015.1.21	公交	95	90
2015.1.31		85	
2015.1.21	私家	95	80
2015.1.31		65	

从表 2 的分析发现乘坐地铁是最便捷的交通方式，这为我们在不同污染状况下选择不同的交通方式，提供了另一个维度的参考。

4 . 结论

通过本次测试活动，我们得出以下结论：

(1) 虽然私家车内 PM2.5 的浓度均为最低，开启车内净化系统可保持 PM2.5 浓度在优良水平，但无论从 PM2.5 吸入总量还是从污染排放方面，我们都不建议在上下班时间采用私家车的交通方式。因为上下班时间私家车通勤时间往往长于公共交通，我们推断车内人员吸入 PM2.5 总量将不低于甚至高于公共交通出行，且私家车怠速和低速行驶时的排放导致对大气的污染贡献更大。

(2) 对于公共交通的地铁和公交车而言，在优良和轻中度污染天气状况下，公交车内 PM2.5 的浓度较地铁稍低；在重度污染天气状况下，地铁内 PM2.5 的浓度较公交车稍低。**因此，在污染浓度较小的环境下，公交车内空气质量好于地铁；而在重污染情况下，地铁内空气质量好于公交车。**

(3) 在北京城区南北方向和东西方向出行时，公交车内 PM2.5 浓度较地铁稍低，为良-轻度污染，地铁则为轻度-中度污染；而在环路出行时，地铁内 PM2.5 浓度较公交车稍低，地铁内为轻度污染，公交车内则为中度污染。

(4) 新地铁线路车内 PM2.5 的浓度值比旧地铁线路低 $8.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。地铁内部是一个相对封闭的环境，受外界污染影响较小。

(5) 地铁内 PM2.5 浓度虽然相对变化不大，但始终处于轻度污染到中度污染的水平。

5 . 其他可参考测试结果

2009 年《上海地铁站台环境质量分析》中显示，上海测试站台的 PM1.0、PM2.5 与 PM10 平均浓度分别达到了 $234\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $293\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $372\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，颗粒物浓度超标比较严重。¹

¹ 上海地铁站台环境质量分析,叶晓江,连之伟,蒋淳潇,陈焕新,刘陵飞,建筑热能通风空调。2009.10

2013年,严国庆对上海地铁系统的测试表明,不同类型的地铁站台的PM_{2.5}浓度在78-218 ug/m³之间,地铁车厢的PM_{2.5}浓度在85-190 ug/m³之间。

2

2013年6月,对西安地铁2号线各监测车站的站厅、站台、车厢及室外的PM₁₀、PM_{2.5}、CO₂的污染水平进行了监测分析结果表明:站厅、站台和车厢的PM_{2.5}浓度最大值分别为97.97,131.56,97.1 ug/m³,各监测站点细颗粒物污染较严重。³

2014年5月26日,英国《每日邮报》刊登英国伦敦国王学院最新调查研究发现,在室内外各种环境中,地铁里空气最脏。伦敦国王学院的研究人员选择了6名身体健康的志愿者,让他们随身携带空气检测仪,在一天时间里,随时监测自己所到之处的空气质量。监测结果发现,地铁中的空气质量最差,每立方米的PM_{2.5}浓度达到64 ug/m³;其次为在路上开车,数值是33 ug/m³;再往下依次为:步行去商场和操场,数值为31 ug/m³;高峰期在路上骑自行车是26 ug/m³;在隧道中开车数值为21 ug/m³;在厨房中做饭是19 ug/m³。相对来说,花园和无油烟的家里空气质量最好,PM_{2.5}浓度可达到低于11.4。

上述在不同时间、地点完成的测试结果传递给我们的共同信息是,地铁空间存在空气污染,需要引起我们的关注并采取相应措施。

6. 建议

(1) 北京地铁公司和相关政府管理部门加强对地铁内空气质量的关注和管理,有条件的地铁线路,应加装空气净化设施。

(2) 北京公交集团及地铁公司对地铁及公交车厢内的PM_{2.5}等空气质量指标进行实时监控,并且每隔半小时通过车厢内的LED电子屏、移动电视等终端让乘客知晓车厢内的空气质量。

(3) 相关部门在城市主要街道设立空气质量监测LED电子屏,发布路面空气质量监测数据,以使市民知晓户外空气质量情况。

(4) 在空气质量优良或轻度-中度污染情况下,如果时间允许,建议公众选择公交车出行;在重度污染天气时,建议公众乘坐地铁出行。

(5) 易感人群在乘坐公交车和地铁时,建议采取适当的防护措施,以避免空气污染对健康的影响。

² 城市轨道交通系统颗粒物浓度的测试研究,严国庆,东华大学硕士学位论文,2014.5

³ 西安地铁环境中PM₁₀、PM_{2.5}、CO₂污染水平分析,樊越胜,胡泽源,刘亮,谢伟,艾帅,环境工程,2014,32(5)

(6) 私家车主尽量减少不必要的开车出行, 采取绿色、健康、环境友好的出行方式。

7. 志愿者参与情况

“PM2.5 与出行方式选择”活动, 分别在 2015 年的以下日期完成测试: 1 月 21 日, 1 月 23 日, 1 月 27 日, 1 月 31 日, 2 月 10 日, 3 月 19 日, 3 月 22 日, 3 月 25 日, 4 月 23 日, 5 月 7 日, 5 月 20 日, 5 月 21 日, 5 月 27 日, 7 月 8 日, 8 月 13 日, 10 月 6 日, 共计 16 次测试。每次测试的参与人数为 5-10 人(每次为对比两条线路, 每条线路公交车 1 名、地铁 1 名、私家车 2 名(开车、记录各一名), 官方数据记录 1 名), 故共计 135 人次参与此次测试活动。从大学在校学生到公司白领, 再到退休职工, 从 19 岁到 63 岁均有参与。其中, 有 117 人次为女性参与, 占比为 86.67%。在这些参与的女性中, 多为对雾霾与生活健康关注的人士, 并希望通过一己之力为空气污染治理贡献力量。

测试结果是此次活动的重点, 而在过程中, 志愿者的参与也是活动开展的重要目标。将测试结果公布传播, 公众只是被动接受新的认知, 难以产生深刻的体会和共鸣。只有直接参与活动中, 切身感受不同出行方式下 PM2.5 浓度的变化, 体验式认知才会对自己的行为模式有所思考与改变。这也是为什么我们希望公众直接参与到活动中, 共同完成测试的原因。

8. 志愿者感言

参与实验时我负责私家车测试, 当从群里知道地铁内的检测员已经到达终点时, 我却还在途中堵车, 真是感觉无奈呀! 要是没有这个测试机会我永远也不会知道地铁会比开车快那么多, 地铁真的是很高效的出行方式。

——于嘉瑞

每天乘坐地铁根本不知道地铁的空气质量, 以为地铁内开着空调就会好, 测了才知道其实空气质量并不好。为了健康我以后进地铁也要戴口罩。

——冬天

PM2.5 与出行方式选择测试活动, 是我第一次在北京进行环保领域的实践, 虽然没能一次性把雾霾天变成心里向往的蓝天, 但是向着美好行动着, 永远是快

乐的~

——格桑央金

雾霾来临的时候，压抑绝望但又无能为力。虽然成为蓝天实验室的志愿者，去测量雾霾指数并非有立竿见影的效果，但只有了解才能解决。很开心参与到这个活动~

——马秋爽

蓝天和白云，你我的责任！加入自然之友，践行绿色公民！

——于现荣

很高兴能参与这个测试活动，为环保做贡献！

——周平

亲自测试空气质量比感官感受空气质量更震撼，希望人人都能行动起来为改善空气质量做贡献。

——贾宁

对于我，能够近距离接触出行方式的相关测试是一种很新鲜的志愿方式，是很难得的体验，虽然次数不多，但对我们目前的环境有了更真切的认识和理解...希望以后多组织这种实践性强的活动，并且积极把成果向社会宣传，有机会还想支持下去。这个活动以众人之力共同监测我们生活的环境，很有意义。每个人既是污染的受害者也是始作俑者，保护环境，需要我们每个人的努力。

——马雪

通过这次活动让我更加真实地了解了身边的环境，同时也结交了很多志同道合的朋友，希望还可以为公益活动贡献自己的一份力量！

——宋英石