

北京市地铁车厢内PM_{2.5}污染情况及通勤人员的相关认知

熊秀琴¹, 李怡雪¹, 赵昂², 王会², 潘小川¹

摘要:

[目的] 调查北京市地铁车厢内PM_{2.5}污染状况,并与室外环境中PM_{2.5}浓度比较;了解北京市地铁通勤人员对地铁内空气污染的认知及防护情况。

[方法] 于2016年10月—2017年4月选取北京市10条地铁线路,每周调查一次,在周五晚高峰时段(16:30—20:30)测量地铁车厢内PM_{2.5}浓度(春节假期除外),并与对应时间段室外环境的PM_{2.5}浓度进行对比。使用问卷调查地铁通勤人员对地铁内和室外空气污染的认知及防护行为。

[结果] 10条线路的地铁车厢内PM_{2.5}浓度中位数为133 μg/m³,明显高于室外环境PM_{2.5}浓度中位数(61 μg/m³),差异具有统计学意义($P<0.001$)。共计调查618人,仅128名(20.7%)调查对象能正确认知地铁内比室外空气污染更严重。449名(72.7%)调查对象会使用口罩进行空气污染防治,其中仅96人(21.4%)会在雾霾天时在地铁内佩戴口罩。对地铁空气污染状况认知不同者,佩戴口罩的频率存在差异($P=0.008$)。认为室外空气污染更严重的调查对象在地铁内从不佩戴口罩的比例(136/340, 40.0%)明显高于认为地铁内空气污染更严重的调查对象(19/94, 20.2%)。

[结论] 北京市晚高峰时段地铁车厢内的PM_{2.5}浓度总体高于室外环境,而多数地铁通勤人员对此缺乏正确认知,在地铁内佩戴口罩比例偏低,相关防护意识有待加强。

关键词: 北京市; 地铁; 通勤人员; PM_{2.5}; 空气污染; 认知; 防护行为

引用: 熊秀琴, 李怡雪, 赵昂, 等.北京市地铁车厢内PM_{2.5}污染情况及通勤人员的相关认知[J].环境与职业医学, 2018, 35(7): 583-588. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17637

PM_{2.5} concentrations in subway cars in Beijing and related awareness of subway passengers XIONG Xiu-qin¹, LI Yi-xue¹, ZHAO Ang², WANG Hui², PAN Xiao-chuan¹ (1.Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China; 2.Rock Environment and Energy Institute, Beijing 101318, China). Address correspondence to PAN Xiao-chuan, E-mail: xcpan@bjmu.edu.cn
• The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To monitor the PM_{2.5} levels in subway cars in Beijing and compare with the PM_{2.5} levels outside subway stations, and investigate related awareness and protection in subway passengers.

[Methods] A total of 10 subway lines in Beijing were selected. PM_{2.5} concentrations in subway cars were monitored once a week during the evening rush hours (16:30-20:30) on Friday from October 2016 to April 2017 (except the Spring Festival), and compared with the ambient PM_{2.5} concentrations at the same time outside subway stations. A questionnaire survey on the awareness and protective actions related to air pollution both inside and outside subways were conducted among subway passengers.

[Results] The median of PM_{2.5} concentration in subway cars of 10 subway lines was 133 μg/m³, much higher than that outside subway stations (61 μg/m³) ($P<0.001$). Of the 618 passengers interviewed, only 128 passengers (20.7%) thought that the air pollution was more severe in subway than outside; 449 passengers (72.7%) reported that they would use masks to protect them from air pollution, among which only 96 passengers (21.4%) would wear masks in subway cars in hazy days. There was difference in the proportion of passengers wearing masks among the passengers with different cognition of the air pollution in subway cars ($P=0.008$). Compared with those who thought the air pollution was more severe outside subway stations (136/340, 40.0%), the passengers who believed that the air pollution was more severe in subway cars had a much lower proportion of “never using masks in subway cars” (19/94, 20.2%).

[Conclusion] The concentration of PM_{2.5} is generally higher in subway cars than in ambient environment during the evening

• 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[作者简介] 熊秀琴(1992—),女,硕士生;研究方向:环境流行病学;E-mail: xiongxiuqin1992@163.com

[通信作者] 潘小川, E-mail: xcpan@bjmu.edu.cn

[作者单位] 1.北京大学公共卫生学院劳动卫生与环境医学系,北京 100191; 2.磐石环境与能源研究所,北京 101318

rush hours in Beijing. However, most subway passengers show poor awareness of the fact and do not wear masks in subway cars. Therefore, their awareness of self-protection from air pollution in subway cars needs to be enhanced.

Keywords: Beijing; subway; passenger; PM_{2.5}; air pollution; awareness; protective behavior

Citation: XIONG Xiu-qin, LI Yi-xue, ZHAO Ang, et al. PM_{2.5} concentrations in subway cars in Beijing and related awareness of subway passengers[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(7): 583-588. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17637

随着城市化的不断升级,地铁已成为城市交通出行的最重要方式之一^[1]。2016年地铁出行的人次已占北京市中心城区工作日总出行人次的33.4%,达到910.62万人次;2016年北京市区轨道交通早高峰平均出行耗时为62.3 min,晚高峰平均出行耗时为56.8 min^[2]。由于涉及人数多,暴露时间长,地铁出行已成为城市居民暴露于空气污染的重要途径之一。

地铁车厢相对封闭,自然通风不足,不利于空气污染物稀释^[3];又因缺乏日光照射,人群密集(尤其在早晚高峰期间),车厢内的空气污染源增多,其空气污染要比其他交通工具更为严重^[4]。PM_{2.5}作为可直接吸入肺部的细颗粒物,粒径小、活性强、表面积大、易吸附有毒有害物质,而且在大气中停留时间长,对人体健康和大气环境质量的影响相比其他大气污染物更大^[5]。高浓度PM_{2.5}暴露可增加心肺疾病、全死因死亡、心肺疾病死亡和癌症死亡风险^[6-8]。既往研究发现,地铁车厢内空气污染物浓度在早晚高峰时段超标现象较为严重;地铁内污染物浓度与地铁内拥挤程度存在正相关关系^[9-12]。天津的一项研究发现,高峰时期地铁车厢内的PM_{2.5}质量浓度(简称浓度)为151.43 μg/m³,明显高于地铁站外环境^[13]。不同城市地铁系统有所差异,暂无针对北京市地铁系统的类似研究。

通勤出行是交通出行最重要的组成部分,2016年北京市通勤出行量占总出行人次的66%^[2]。地铁通勤人员长期规律地暴露于地铁内的空气,遭受的空气污染危害相比其他类型地铁出行人员更大。有关地铁通勤人员对地铁内空气污染的认知及防护情况的调查较少。本研究对北京市地铁车厢内PM_{2.5}进行测量,并调查地铁通勤人员对地铁内空气污染的认知及防护情况,希望为该人群地铁内空气污染防护措施的制定提供科学数据支持。

1 对象与方法

1.1 调查时间和地点

调查过程中,每次问卷调查和PM_{2.5}测量同时进

行。调查日期为2016年10月—2017年4月,共22周(春节假期除外),既包括2016—2017年《北京市供热采暖管理办法》规定的采暖季(2016年11月15日—2017年3月15日),也包括非采暖季。每周调查一次,每次调查的时间段为周五16:30—20:30(北京市晚高峰时间段)。

2016年,北京市共有17条地铁线路,本调查选择了其中10条客流量较大的线路(1号线、2号线、4号线、5号线、6号线、8号线、9号线、10号线、13号线和14号线)。2016年所选线路的日均客运强度均居于前10位(除14号线外,第11位),日均客运强度排在第10位的八通线由于是1号线的延续段故被排除;2016年入选的10条线路总行驶里程占北京市所有线路的76%,日均客流量之和为790.11万人次,占有线路的87%,具有较好的代表性^[2]。

调查时将10条线路分为5组,每组包含可相互换乘的2条线路。调查员也分为5组,每组2名。每组调查员每周轮流负责一组地铁线路的调查,以保证每次(每周)调查均可覆盖10条线路。考虑到调查志愿者的安排,每次调查的起始车站和起始时间不作限定,只规定调查的线路和调查的时间段。

1.2 PM_{2.5}浓度测量

采用便携式测量仪器AirBeam测量PM_{2.5}浓度,记录每条线路测量期间(大于等于20 min)的PM_{2.5}平均浓度。选取调查员在调查期间实际停留时间最长的地铁车厢进行测量,测量时避开车厢内通风道、空调风口、车门等,并尽量距离车厢壁1 m左右,采样高度为人群呼吸带范围(距地面1.2~1.5 m)。室外PM_{2.5}浓度值为地铁内测量的同时北京市环境保护监测中心的PM_{2.5}小时值(即该小时北京市各监测点的PM_{2.5}均值)。

1.3 问卷调查

1.3.1 调查对象 调查对象为北京市地铁通勤人员,年龄18~65岁,每周乘坐地铁上下班的天数大于等于3 d,不包括学生。调查前获得调查对象的知情同意,调查对象完全同意后自愿接受调查,且调查过程中仍可随时退出;所有调查均匿名进行,未获取调

查对象的姓名、联系方式等隐私信息。

1.3.2 调查方式 在每条线路上随机进入一节车厢，对一排的乘客逐个进行调查，若有不符合条件或者拒答的通勤人员则跳过，问下一个。每天每条线路完成2~3名调查对象的调查。采用访谈式的方法，即每个调查员询问问卷内容，调查对象回答问题，调查员填写答案。

通过询问“您认为一般来讲，空气污染在地铁内还是地铁站外更严重？”(选项为地铁内、地铁站外、不确定)来调查地铁通勤人员对地铁空气污染的认知情况。通过询问“如果您认为受到了空气污染的影响，会采取什么措施来进行空气污染防护？”(选项为无措施、口罩、空气净化器、其他)来调查其对空气污染的防护情况。在选择用口罩进行防护的调查对象中，进一步询问其在地铁内佩戴口罩的情况，问题为“您在乘坐地铁时佩戴口罩的频率是？”(选项为总是佩戴、有雾霾时佩戴、偶尔佩戴和从不佩戴)。

问卷调查过程中，原则上由调查者询问并填写答案；若调查对象要求自己填写，调查员应对填写的内容进行全面的检查，如有疑问需重新调查核实，更正错误，补填遗漏。每周回收问卷，发现漏答或不符合逻辑的问卷予以剔除，以保证数据的可靠性。

1.4 统计学分析

使用EpiData 3.1软件进行问卷录入，录入后人工核查数据是否有异常值，若有则与原始问卷核对，了解是填错还是确实存在异常值，若是填错则删除。采用SPSS 20.0软件进行统计分析。由于PM_{2.5}浓度不满足正态分布，故使用非参数Wilcoxon检验比较地铁车厢内和室外PM_{2.5}浓度差异。采用Fisher精确检验比较不同特征调查对象的空气污染认知情况和防护行为差异。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 地铁车厢内和室外PM_{2.5}浓度比较

在测量期间，北京市地铁车厢内的PM_{2.5}浓度总体上高于同一时间段室外PM_{2.5}浓度，差异有统计学意义($P<0.001$)。按照是否采暖季与不同线路进行分层分析后，结果保持不变，地铁车厢内PM_{2.5}浓度均高于同时间段室外浓度，差异均具有统计学意义(均 $P<0.001$)。见表1。

如图1所示，地铁车厢内的PM_{2.5}浓度和室外的PM_{2.5}浓度呈正相关关系， $R^2=0.5675$ 。线性拟合方程显

示，即使同期室外PM_{2.5}为0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，地铁车厢内PM_{2.5}平均浓度仍达89.728 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。该线性拟合趋势线和 $y=x$ 参考线交于一点，交点处PM_{2.5}浓度为224.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表1 2016年10月—2017年4月北京市地铁车厢内和室外环境PM_{2.5}浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 1 PM_{2.5} concentrations in subway cars and outdoor environment in Beijing between October 2016 and April 2017

分组 Group	采样量 Sample number	车厢内 PM _{2.5} 浓度 PM _{2.5} concentrations in subway cars		室外 PM _{2.5} 浓度 PM _{2.5} concentrations in outdoor environment		P
		P ₅₀	P _{25~P₇₅}	P ₅₀	P _{25~P₇₅}	
是否采暖季 Heating season						
否 (No)	77	119	87~152	54	20~88	<0.001
是 (Yes)	121	147	105~199	106	17~183	<0.001
线路 (Line)						
1 号线 (Line 1)	19	135	105~191	58	18~143	<0.001
2 号线 (Line 2)	19	104	72~159	58	18~143	<0.001
4 号线 (Line 4)	19	128	98~161	42	14~130	<0.001
5 号线 (Line 5)	20	136	122~206	64	22~175	<0.001
6 号线 (Line 6)	20	152	128~200	57	16~147	<0.001
8 号线 (Line 8)	20	186	164~241	65	17~170	<0.001
9 号线 (Line 9)	19	114	81~179	50	14~130	<0.001
10 号线 (Line 10)	20	131	111~174	63	30~175	<0.001
13 号线 (Line 13)	21	66	28~177	66	23~150	<0.001
14 号线 (Line 14)	21	126	99~168	66	25~163	<0.001
总计 (Total)	198	133	100~183	61	19~143	<0.001

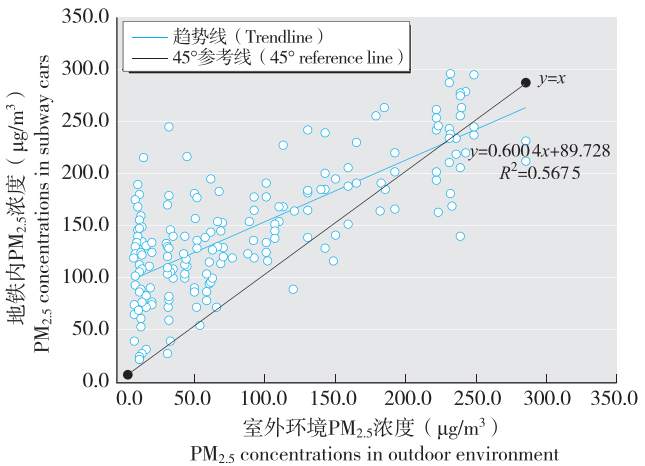


图1 2016年10月—2017年4月北京市地铁车厢内和室外环境PM_{2.5}浓度的关系

Figure 1 Correlation between PM_{2.5} concentrations in subway cars and outdoor environment in Beijing between October 2016 and April 2017

对各线路的分析显示，1号线、2号线、4号线、5号线、6号线、8号线、9号线、10号线、13号线和

14号线地铁车厢内PM_{2.5}浓度和室外环境PM_{2.5}浓度的Spearman相关系数分别为0.85、0.86、0.80、0.71、0.76、0.60、0.70、0.86、0.93、0.59, 均有统计学意义(均 $P<0.05$)。除13号线以外, 其他9条线路的拟合趋势线均与参考线相交, 不同线路的交点不完全相同, 而13号线地铁内PM_{2.5}浓度和室外浓度基本保持一致, 且地铁车厢内PM_{2.5}浓度略高于室外PM_{2.5}浓度。

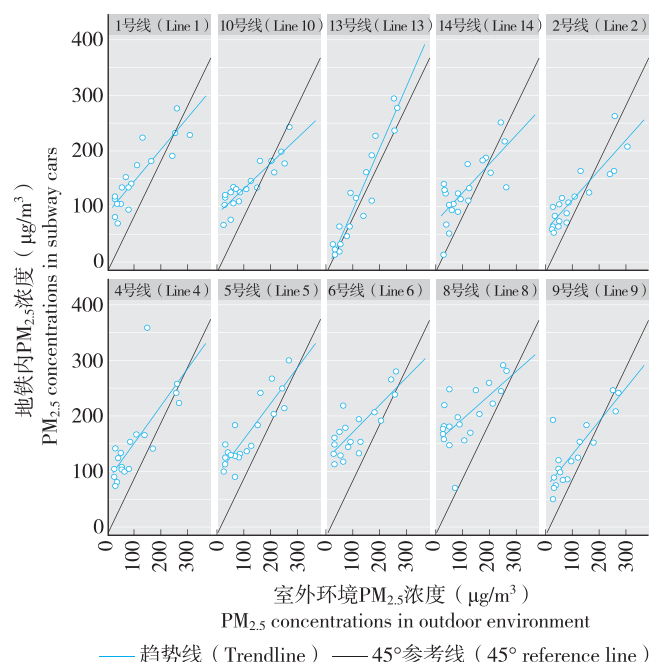


图2 2016年10月—2017年4月北京市各线路地铁车厢内和室外环境PM_{2.5}浓度的关系

Figure 2 Correlations between PM_{2.5} concentrations in subway cars and outdoor environment in different subway lines in Beijing between October 2016 and April 2017

2.2 问卷调查结果

2.2.1 基本情况 本次调查共回收有效问卷为618份。男、女分别有325人(52.6%)、293人(47.4%)。1号线、2号线、4号线、5号线、6号线、8号线、9号线、10号线、13号线和14号线分别调查66(10.7%)、64(10.4%)、58(9.4%)、61(9.9%)、65(10.5%)、64(10.4%)、62(10.0%)、55(8.9%)、67(10.8%)和56(9.1%)人。其他特征见表2。

2.2.2 对地铁空气污染严重程度的认知 618名调查对象中, 仅128人(20.7%)能正确认识到地铁内空气污染较室外更为严重, 不同性别、教育程度、月收入水平调查对象间认知情况的差异无统计学意义(均 $P>0.05$); 但不同年龄组调查对象间的认知情况差异有统计学意义($P=0.004$), 18~25岁组仅有

16.1%的调查对象能正确认识到地铁内空气污染更严重, 比例最低。见表2。

表2 北京市地铁通勤人员对地铁内和室外空气污染严重程度的认知情况[n(%)]

Table 2 Awareness of air pollution level in subway cars and outdoor environment among subway passengers in Beijing

变量 Variable	调查人数 <i>n</i>	对地铁内外空气污染严重程度的认知 Awareness of air pollution level			<i>P</i>
		地铁站内更严重 More polluted in subway cars	室外更严重 More polluted in outdoor environment	不确定 Don't know	
性别 Sex					0.464
男(Male)	325	67(20.6)	246(75.7)	12(3.7)	
女(Female)	293	61(20.8)	222(75.8)	10(3.4)	
教育程度 Educational level					0.820
高中及以下 High school and below	43	8(18.6)	34(79.1)	1(2.3)	
本科 Bachelor	435	89(20.5)	332(76.3)	14(3.2)	
硕士及以上 Master and above	140	31(22.1)	102(72.9)	7(5.0)	
年龄(岁) Age(Years)					0.004
18~	161	26(16.1)	134(83.2)	1(0.6)	
26~	438	98(22.4)	322(73.5)	18(4.1)	
46~	19	4(21.1)	12(63.2)	3(15.8)	
月收入(元) Monthly income(Yuan)					0.559
≤5000	113	21(18.6)	90(79.6)	2(1.8)	
5001~	335	73(21.8)	251(74.9)	11(3.3)	
10000~	170	34(20.0)	127(74.7)	9(5.3)	
合计 Total	618	128(20.7)	468(75.7)	22(3.6)	

2.2.3 对空气污染的防护情况 在618名调查对象中, 有449人(72.7%)会采用口罩进行空气污染防治。在这449人中, 在地铁内从不佩戴、偶尔佩戴、有雾霾时佩戴和总是佩戴口罩的分别有162人(36.1%)、162人(36.1%)、96人(21.4%)和29人(6.5%)。总体而言, 不同性别、年龄、教育程度、月收入水平的通勤人员间认知情况差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。对地铁内外空气污染的认知情况不同者佩戴口罩的频率存在差异($P=0.008$): 能正确认识到地铁内空气污染更严重的调查对象在地铁内从不佩戴口罩的比例(19/94, 20.2%)低于不能正确认知者(136/340, 40.0%)。见表3。

表3 采用口罩防护空气污染的北京市地铁通勤人员在地铁内佩戴口罩的情况 (n=449)

Table 3 Subway passengers who use masks to protect from air pollution in Beijing

变量 Variable	调查人数 n	乘坐地铁时佩戴口罩的频率(n, %) Using masks in subway cars				P
		从不佩戴 Never	偶尔佩戴 Occasionally	有雾霾时佩戴 In haze days	总是佩戴 Always	
性别(Sex)						0.240
男(Male)	203	77(37.9)	79(38.9)	37(18.2)	10(4.9)	
女(Female)	246	85(34.6)	83(33.7)	59(24.0)	19(7.7)	
年龄(岁)(Age, years)						0.927
18~	124	45(36.3)	42(33.9)	29(23.4)	8(6.5)	
26~	311	110(35.4)	116(37.3)	64(20.6)	21(6.8)	
46~	14	7(50.0)	4(28.6)	3(21.4)	0(0.0)	
教育程度(Educational level)						0.068
高中及以下(High school and below)	28	16(57.1)	9(32.1)	1(3.6)	2(7.1)	
本科(Bachelor)	313	111(35.5)	107(34.2)	74(23.6)	21(6.7)	
硕士及以上(Master and above)	108	35(32.4)	46(42.6)	21(19.4)	6(5.6)	
月收入(元)(Monthly income, yuan)						0.126
≤5000	82	41(50.0)	22(26.8)	15(18.3)	4(4.9)	
5001~	249	87(34.9)	90(36.1)	55(22.1)	17(6.8)	
10000~	118	34(28.8)	50(42.4)	26(22.0)	8(6.8)	
地铁空气污染认知情况(Awareness of air pollution in subway cars)						0.008
地铁内更严重(More polluted in subways cars)	94	19(20.2)	41(43.6)	29(30.9)	5(5.3)	
室外更严重(More polluted in outdoor environment)	340	136(40.0)	117(34.4)	64(18.8)	23(6.8)	
不确定(Don't know)	15	7(46.7)	4(26.7)	3(20.0)	1(6.7)	
合计(Total)	449	162(36.1)	162(36.1)	96(21.4)	29(6.5)	

[注] 本表只包括平时采取口罩进行空气污染防治的调查对象, 未纳入不用口罩进行防护的调查对象。

[Note] This table only includes those who normally use masks for air pollution protection, and those who do not use masks for protection are not included in this table.

3 讨论

本调查发现北京市晚高峰时段地铁车厢内的PM_{2.5}浓度中位数为133 μg/m³, 已达到GB 3095—2012《环境空气质量标准》中规定的轻度污染标准(101~150 μg/m³), 并明显高于同时间段室外环境大气PM_{2.5}浓度(61 μg/m³), 这与在天津地铁系统所做的研究^[13]一致。尽管结果显示当PM_{2.5}浓度超过224.5 μg/m³时, 地铁内PM_{2.5}浓度开始低于室外环境, 但是此时地铁内外PM_{2.5}浓度均已达到重度污染标准(201~300 μg/m³), 需要采取防护措施, 探讨地铁内外差异已经意义不大。值得一提的是, 本研究结果显示, 在同时间段室外PM_{2.5}浓度接近0 μg/m³的情况下, 地铁车厢内的PM_{2.5}平均浓度仍接近100 μg/m³, 这提示无论室外环境PM_{2.5}浓度如何, 在晚高峰时间段均有必要进行空气污染防治。

关于地铁车厢内PM_{2.5}浓度高于室外的原因, 有文献推测, 人呼吸时呼出二氧化碳, 并产生一些细微颗粒物; 同时人身上会携带一些尘埃, 在拥挤时相互摩擦, 就会导致二次扬尘; 加上地下通风不良, 导致地铁内PM_{2.5}浓度升高^[4]。

尽管实际测量结果显示, 晚高峰时地铁内PM_{2.5}浓度比室外高得多, 然而通勤人员的认知和相应的防护行为却不容乐观。本研究中仅有20.7%调查对象能正确认识到地铁内PM_{2.5}污染比室外更严重, 在日常生活中会佩戴口罩进行空气污染防治的调查对象中, 仅21.4%会在雾霾天时在地铁内佩戴口罩。然而值得庆幸的是, 本研究还发现, 对地铁内空气污染的正确认知能明显提高通勤族在地铁内的口罩佩戴频率, 这与既往调查发现对空气污染危害的认知情况与根据PM_{2.5}浓度决定晨练行为有关的结果一致^[14], 均说明对空气污染的认知会影响对空气污染的防护行为。这提示, 通过加大宣传, 普及相关知识, 可有效提高地铁通勤人员对地铁空气污染的正确认知, 或许可以有效改善当前状况。

本研究有以下优势: ①本研究实地测量了10条北京市地铁线路的PM_{2.5}浓度, 且每次调查各线路都是在同一时段测量, 因此各线路具有可比性。②本调查的样本量较大, 虽然不是完全随机抽样, 但是由于地铁通勤族的流动性和晚高峰时高度拥挤等特点, 完

全随机调查很难实现。本次调查纳入的对象均匀分布在10条客运量占北京市总地铁客运量87%的线路上,每条线路上的调查对象也均为随机选取,因此调查的北京市地铁通勤人员有一定的代表性。③本研究采用访谈式调查,由调查员填写答案,且每周审核问卷的有效性,对于关键题目答案缺漏或者有逻辑错误都会剔除,因此数据质量可靠。

本研究存在以下不足之处:首先,由于时间和经费限制,本研究只选取了晚高峰测量,没有在其他时间进行测量,也没有对站厅和站台的颗粒物浓度进行测量,不能全面地反映何时何地需要进行防护。其次,本研究在测量地铁内部的PM_{2.5}浓度时,没有同时在室外用同样的仪器进行测量,因此没有地铁内外数据可比的直接证据。AirBeam测量PM_{2.5}的方法为光散射法^[15],文献^[16]显示,光散射法和中国环境保护部空气质量监测站点采用β射线法所得的PM_{2.5}测量结果的相关系数为0.956,总体上光散射法的测量结果比β射线法的结果低5~10 μg/m³。而本研究发现地铁车厢内PM_{2.5}浓度更高,说明地铁车厢内外浓度的实际差异应该更大。最后,限于人力物力,本研究仅测量了对健康影响较大、污染较严重的PM_{2.5},其余地铁车厢内有代表性的污染物包括二氧化碳、挥发性有机物和一氧化碳等^[4]仍需要进一步的研究,以便对地铁内的空气污染状况进行综合评价。

根据本研究,北京市地铁车厢内PM_{2.5}在晚高峰时污染状况严重,对地铁通勤人员的危害不可忽视。有灵活工作时间的通勤人员可以选择错峰出行,或者在地铁内通过戴口罩来进行空气污染防护。同时,地铁公司也应该完善地铁内的新风系统,以减少PM_{2.5}以及其他污染物,从而更好地保护地铁通勤人员的健康。

(志谢:项目得到阿拉善SEE“卫蓝侠”资金支持,在此表示感谢!感谢磐石环境与能源研究所提供的工作支持,感谢参与本次调查的北京大学公共卫生学院的调查员们)

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通2016年度统计和分析报告[EB/OL].[2017-12-17]. <http://www.cameo.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=18&id=1625>.
- [2] 北京交通发展研究院. 2016年北京交通发展年报[EB/OL].[2017-06-20]. <http://www.bjtrc.org.cn/JGJS.aspx?id=5.2&Menu=GZCG>.
- [3] 武在天. 地铁车厢内空气品质的现状调查与分析[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2016.
- [4] 张海云, 李丽, 蒋蓉芳, 等. 上海市地铁车站空气污染监测分析[J]. 环境与职业医学, 2011, 28(9): 564-566, 570.
- [5] 刘冰玉. 地铁车厢环境空气质量研究[D]. 北京: 北京市市政工程研究院, 2016.
- [6] POPE III CA, BURNETT RT, THUN MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. JAMA, 2002, 287(9): 1132-1141.
- [7] PETERS A, DOCKERY DW, MULLER JE, et al. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction[J]. Circulation, 2001, 103(23): 2810-2815.
- [8] PEKKANEN J, PETERS A, HOEK G, et al. Particulate air pollution and risk of ST-segment depression during repeated submaximal exercise tests among subjects with coronary heart disease; the exposure and risk assessment for fine and ultrafine particles in Ambient Air (ULTRA) study[J]. Circulation, 2002, 106(8): 933-938.
- [9] 杨伟超. 运营地铁内污染物浓度的计算方法及应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [10] 庄晓芸. 上海地铁车厢空气环境实测调查与数值研究[D]. 上海: 东华大学, 2012.
- [11] 杨伟超, 彭立敏, 艾小冬. 地铁内空气品质的动态变化特性分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2009, 6(6): 54-58.
- [12] 李丽. 上海市轨道交通系统空气质量调查及其影响因素研究[D]. 上海: 复旦大学, 2011.
- [13] WANG BQ, LIU JF, REN ZH, et al. Concentrations, properties, and health risk of PM_{2.5} in the Tianjin City subway system[J]. Environ Sci Pollut Res, 2016, 23(22): 22647-22657.
- [14] 黄永, 刘勋, 施国庆, 等. 北京市公园晨练人群对空气细颗粒物(PM_{2.5})健康危害的认知状况调查[J]. 中华疾病控制杂志, 2014, 18(6): 541-544.
- [15] MICHAEL H, BESSER A. AirBeam technical specifications, operation & performance[EB/OL].[2017-12-17]. <http://www.takingspace.org/airbeam-technical-specifications-operation-performance/>.
- [16] 徐璐. 光散射法和β射线法监测PM_{2.5}和PM₁₀的对比研究[J]. 环境与发展, 2017, 29(6): 97-99, 102.

(收稿日期: 2017-11-01; 录用日期: 2018-02-06)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 汪源)