

某市轨道交通列车车厢可吸入颗粒物浓度调查

杨颖华, 王凯, 张霞, 张琳, 高剑晖, 苏瑾

上海市疾病预防控制中心, 上海 200336

摘要:

[背景] 地铁车厢相对密闭, 人流量大, 容易造成各种污染物累积而导致空气质量恶化, 进而影响人体健康。我国目前尚未制定相应的卫生标准。

[目的] 了解轨道交通列车车厢可吸入颗粒物 (PM₁₀) 的浓度现状, 为今后制定卫生管控措施以及制定标准限值提供建议。

[方法] 目前该市已投入运行的地铁线路共计 15 条, 按 20% 的比例, 选取 3 条客流较大、运行年限较久的地铁线路进行调查。于 2018 年 5—12 月期间, 分别在夏、秋、冬三个季节连续监测工作日早高峰 (2 h)、晚高峰 (2 h) 和平峰时段 (2 h) 列车车厢内 PM₁₀ 的浓度。在每列被监测的列车编组设置 3 个监测点, 分别位于列车的两端和中间车厢区域, 间距约为 60~80 m; 监测点同时设置于 3 个被选车厢的中心区域, 高度为 1.0~1.5 m。依据《公共场所卫生检验方法 第 2 部分: 化学污染物》标准要求, 使用粉尘直读检测仪以 1 次·min⁻¹ 的频率进行连续监测。

[结果] 本次所测线路的车厢 PM₁₀ 质量浓度 (后简称: 浓度) 范围为 0.018~0.868 mg·m⁻³, 中位数 (M) 和第 25、75 百分位数 (P₂₅, P₇₅) 为 0.100 (0.063, 0.135) mg·m⁻³; 车厢 PM₁₀ 浓度主要分布在 0.000~0.150 mg·m⁻³ 的区间内, 占全部测量数据的 84.0%。不同季节地铁车厢 PM₁₀ 浓度不同 (P<0.001): 冬季浓度最高, 其 M (P₂₅, P₇₅) 为 0.134 (0.111, 0.159) mg·m⁻³, 其次为秋季浓度 [0.101 (0.071, 0.128) mg·m⁻³], 夏季浓度最低 [0.060 (0.048, 0.079) mg·m⁻³]; 且冬季监测结果大于 0.150 mg·m⁻³ 的占 32.6%。不同运行时段地铁车厢 PM₁₀ 浓度不同 (P<0.001): 早高峰时段的浓度最高, 其 M (P₂₅, P₇₅) 为 0.109 (0.062, 0.154) mg·m⁻³, 其次为平峰时段浓度 [0.100 (0.061, 0.129) mg·m⁻³], 晚高峰时段浓度最低 [0.097 (0.064, 0.123) mg·m⁻³]。

[结论] 与其他城市比较, 本次所测地铁车厢内 PM₁₀ 的浓度处于中等水平。通过数据分析和文献资料比对, 建议将城市轨交列车车厢内 PM₁₀ 浓度卫生标准限值设为 ≤ 0.15 mg·m⁻³。同时, 建议列车设计时应提高新风量和净化能力, 以有效降低车厢内 PM₁₀ 的浓度。

关键词: 城市轨道交通; 列车车厢; PM₁₀; 政策建议

On-site levels of inhalable particulate matters in metro carriages in a metropolis YANG Ying-hua, WANG Kai, ZHANG Xia, ZHANG Lin, GAO Jian-hui, SU Jin (Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China)

Abstract:

[Background] The accumulation of various pollutants in confined and crowded metro carriages will deteriorate the air quality and affect passengers' health. Sanitary standards for metro carriages have not been established in China.

[Objective] The study is designed to investigate the concentration of inhalable particulate matters (PM₁₀) in metro carriages, and to provide evidence for proposing health control strategies and standards or limits for metro system.

[Methods] In this study, three metro lines with larger passenger flow and longer service years were selected from the 15 metro lines operating in the city by a 20% ratio. The concentration of PM₁₀ in metro carriages of the selected metro lines were continuously monitored during morning rush hours (2 h), evening rush hours (2 h), and non-rush hours (2 h) of working days in three seasons (summer, autumn, and winter) from May to December in 2018. The monitoring points were set at the center of a carriage in the middle and both ends of a train, the distance between two points was 60-80 m, and the height of monitoring points was 1.0-1.5 m from the floor. According to the *Examination methods for public places—Part 2: Chemical pollutants*, continuous

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19810

基金项目

上海市地方标准制定项目 (沪质技监标 [2018] 291 号)

作者简介

杨颖华 (1974—), 女, 博士, 副研究员; E-mail: 18616838682@163.com

通信作者

苏瑾, E-mail: sujin@scdc.sh.cn

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-11-26

录用日期 2020-02-11

文章编号 2095-9982(2020)06-0599-04

中图分类号 R128

文献标志码 A

引用

杨颖华, 王凯, 张霞, 等. 某市轨道交通列车车厢可吸入颗粒物浓度调查 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (6): 599-602.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19810

Funding

This study was funded.

Correspondence to

SU Jin, E-mail: sujin@scdc.sh.cn

Competing interests None declared

Received 2019-11-26

Accepted 2020-02-11

To cite

YANG Ying-hua, WANG Kai, ZHANG Xia, et al. On-site levels of inhalable particulate matters in metro carriages in a metropolis [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(6): 599-602.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19810

monitoring was carried out with a direct-reading dust monitor that recorded once per minute.

[Results] The concentrations of PM₁₀ in the selected metro carriages ranged from 0.018-0.868 mg·m⁻³, and the median (P_{25} , P_{75}) concentration was 0.100 (0.063, 0.135) mg·m⁻³. The PM₁₀ concentrations were mainly distributed in the range of 0.000-0.150 mg·m⁻³, which accounted for 84.0% of the total results. In terms of seasonal variation, the concentrations of PM₁₀ were significantly different ($P < 0.001$): the winter concentration of PM₁₀ [M (P_{25} , P_{75})] was the highest [0.134 (0.111, 0.159) mg·m⁻³], followed by the concentration in autumn [0.101 (0.071, 0.128) mg·m⁻³], and that in summer [0.060 (0.048, 0.079) mg·m⁻³] was the lowest; more than 32.6% of the winter samples exceeded 0.150 mg·m⁻³. In terms of running hour variation, the concentrations of PM₁₀ were significantly different ($P < 0.001$); the concentration of PM₁₀ during morning rush hours [median (P_{25} , P_{75})] was the highest [0.109 (0.062, 0.154) mg·m⁻³], followed by the concentration in non-rush hours [0.100 (0.061, 0.129) mg·m⁻³], and that in evening rush hours [0.097 (0.064, 0.123) mg·m⁻³] was the lowest.

[Conclusion] Compared with other cities, the concentration of PM₁₀ in metro carriages in the selected city is at an average level. Through the analysis of measured data and comparison with previous studies and references, we propose the limit of PM₁₀ concentration in carriages of urban metro lines at ≤ 0.150 mg·m⁻³. At the same time, we recommend taking into considerations increasing new air volume and purification capacity during carriage design to reduce the concentration of PM₁₀ in carriages effectively.

Keywords: urban metro transit; metro carriage; PM₁₀; policy suggestion

轨道交通作为城市公共交通的重要组成部分,在缓解城市交通压力、拓展城市空间等方面发挥着至关重要的作用。我国城市轨交虽然起步较晚,但发展迅速。其中,上海的地铁里程数就已跃升成为世界第一,客流规模也位居全球第二。随着轨道交通的飞速发展,地铁环境的空气质量也越来越受到关注。可吸入颗粒物 (PM₁₀) 是列车车厢空气污染物的主要成分之一,也是判断轨道交通室内空气质量污染程度以及空调通风系统调节的关键参数之一^[1-2]。国内外对 PM₁₀ 的流行病学调查和人体临床观察研究已表明:PM₁₀ 可引起机体呼吸、循环、免疫和内分泌系统等广泛的损伤,对人群健康有明显的毒害作用^[3-5]。

与影剧院、商场等一般公共场所不同,城市轨道交通列车车厢环境空间相对封闭,自然通风不足,人群高度聚集且流动性大,室内污染物不易去除,极易引起相关疾病传播^[6]。但目前我国并未制定地铁车厢环境的卫生标准,对于地铁车厢环境 PM₁₀ 的研究也较少。因此,本次研究拟通过对轨道交通列车车厢 PM₁₀ 开展监测,掌握不同季节和不同运行时段下的浓度水平及变化规律,为轨道交通车厢环境 PM₁₀ 卫生管控以及制定地铁卫生标准限值提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 线路选择和布点

至2018年,该市轨道交通已有15条线路投入运营。本研究按全部线路的20%比例,选择3条线路作为本次研究对象。3条线路均为日均客流量100万人次及以上,且线路运行时间较久;其中2条线路为A型车,1条为C型车。目前地铁列车编组多为6~8节,总长约为140~180 m,在每列被监测的列车编组设置

3个监测点,分别位于列车编组的两端和中间车厢,并设置于被选车厢的中心区域,相互间距约为60~80 m,监测点高度为1.0~1.5 m,并避开通风口和车厢门。每个监测点设置1台监测仪,在规定时段内连续监测PM₁₀浓度。因地上运行段受室外环境干扰大,故监测区间均为地铁地下运行区间段。

1.2 监测时间和仪器

每条监测线路分别于2018年夏、秋、冬3个季节选择一个工作日实施监测。监测时间为同一个工作日的早高峰(7:00—9:00)、晚高峰(17:00—19:00)和平峰时段(9:00—11:00或15:00—17:00之间任意2 h)共3个时段分别监测2 h,采用监测仪连续监测。连续监测时,不计列车换乘停留时间。监测采用朗亿LPM-1000型数字粉尘浓度测量仪,仪器分辨率为0.001 mg·m⁻³,测量精度 $\pm 5\%$,以1次·min⁻¹进行连续监测。粉尘浓度测量仪在使用前,于实验舱统一进行测量校准。现场测量前,根据仪器说明书要求,进行零点校正。

1.3 统计学方法

本研究采用SPSS 21.0统计软件进行数据统计与分析。数据采用中位数 M 和第25、75百分位数(P_{25} , P_{75})或计数(百分比)表述。采用Shapiro-Wilk检验法对数据的正态性进行检验;数据分布为非正态分布时,采用Kruskal-Wallis H 秩检验分析数据。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 地铁车厢PM₁₀浓度水平

2.1.1 不同线路的地铁车厢PM₁₀浓度水平 对3条地铁线路的监测数据分析结果显示:地铁车厢PM₁₀的质量浓度(后称:浓度)范围为0.018~0.868 mg·m⁻³,

$M(P_{25}, P_{75})$ 为 0.100 (0.063, 0.135) $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。见表 1。

表 1 不同线路车厢 PM_{10} 质量浓度 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
Table 1 Mass concentration of PM_{10} in carriages of different metro lines/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

线路名称	样本量 (n)	M	$P_{25}\sim P_{75}$	全距
1	3238	0.101	0.066~0.138	0.020~0.338
2	3237	0.114	0.067~0.142	0.021~0.868
3	3214	0.089	0.053~0.116	0.018~0.298
合计	9689	0.100	0.063~0.135	0.018~0.868

2.1.2 不同季节地铁车厢 PM_{10} 的浓度水平 夏、秋、冬季 3 条地铁线路车厢 PM_{10} 浓度均呈非正态分布, 对不同季节车厢 PM_{10} 浓度进行比较, 发现地铁车厢 PM_{10} 浓度冬季最高, 其次为秋季, 夏季最低, 三者之间差异具有统计学意义 ($P<0.001$)。见表 2。

2.1.3 不同运行时段 PM_{10} 浓度水平 3 条地铁线路不同运行时段车厢 PM_{10} 浓度均呈非正态分布。对不同时段 PM_{10} 浓度进行比较, 表明地铁车厢早高峰 PM_{10} 浓度最高, 平峰时浓度次之, 晚高峰浓度最低, 三者之间差异具有统计学意义 ($P<0.001$)。见表 2。

表 2 不同季节及运行时段地铁车厢 PM_{10} 质量浓度 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
Table 2 Mass concentration of PM_{10} in metro carriages in different seasons and operation periods/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

季节	样本量 (n)	M	$P_{25}\sim P_{75}$	全距	H	P
季节					3751.54	<0.001
夏季	3232	0.060	0.048~0.079	0.022~0.408		
秋季	3230	0.101*	0.071~0.128	0.018~0.868		
冬季	3227	0.134*#	0.111~0.159	0.055~0.338		
运行时段						
早高峰	3223	0.109	0.062~0.154	0.020~0.520	145.82	<0.001
平峰	3226	0.100 ^a	0.061~0.129	0.023~0.868		
晚高峰	3240	0.097 ^{ab}	0.064~0.123	0.018~0.408		

[注] * : 与夏季比较, $P<0.001$; # : 与秋季比较, $P<0.001$ 。a : 与早高峰比较, $P<0.001$; b : 与平峰比较, $P=0.016$ 。

2.2 地铁车厢 PM_{10} 浓度分布

对车厢环境 PM_{10} 浓度的测量结果以 $0.050\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 为跨度进行分布统计, 发现 PM_{10} 浓度分布在 $>0.050\sim 0.100\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 范围最多, 占全部监测结果的 35.6%; 其次分布在 $>0.100\sim 0.150\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 浓度范围的数值, 占全部监测结果的 33.7%; 84.0% 的监测数据分布在 $0.000\sim 0.150\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的浓度区间。见表 3。

进一步分析不同季节车厢 PM_{10} 的浓度分布数据, 结果表明 3 个季节 PM_{10} 浓度分布有所不同, 冬季 PM_{10} 浓度大于 $0.150\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的数据占比为 32.6%, 夏、秋季仅占 3.6% 和 12.0%。见表 3。

表 3 不同季节地铁车厢 PM_{10} 质量浓度区间分布

Table 3 Distribution of PM_{10} concentration in metro carriages in different seasons

PM_{10} 浓度区间 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	样本量 (n)	构成比 / %	夏季		秋季		冬季	
			样本量 (n)	构成比 / %	样本量 (n)	构成比 / %	样本量 (n)	构成比 / %
0.000~0.050	1427	14.7	989	30.5	438	13.5	0	0.0
>0.050~0.100	3446	35.6	1781	55.0	1173	36.2	492	15.3
>0.100~0.150	3268	33.7	354	10.9	1242	38.3	1672	52.1
>0.150~0.200	1228	12.7	73	2.3	259	8.0	896	27.9
>0.200	320	3.3	43	1.3	128	4.0	149	4.7
合计	9689	100.0	3240	100.0	3240	100.0	3209	100.0

3 讨论

本次地铁车厢实测 PM_{10} 的中位数浓度为 $0.100\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。纵观世界各国主要城市的地铁列车环境 PM_{10} 浓度, 该浓度水平与捷克布拉格 ($0.114\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 2006 年)^[7] 和韩国首尔 ($0.145\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 2008 年)^[8] 地铁车厢测得的浓度较为接近, 但比我国台北 ($0.041\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 2008 年)^[9]、美国洛杉矶 ($0.32\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 2011 年)^[10] 地铁车厢的浓度水平高, 比我国北京 ($0.325\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 2007 年)^[11] 车厢的浓度水平低, 基本处于中等程度。

目前建立列车车厢 PM_{10} 卫生标准值的国家和地区比较少, 如中国台湾地区 2011 年颁布的《室内空气质量标准》中所制定的 PM_{10} 日均浓度标准限值为 $0.075\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 包括了地铁车站和车厢的环境^[12]。韩国制定的地铁环境 PM_{10} 浓度标准限值为 $0.150\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 但是该限值只适用于地铁车站区域, 不包括车厢环境^[13]。另外, 世界卫生组织制定的室内 PM_{10} 日均浓度标准限值为 $0.050\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 加拿大、新加坡和中国等均为 $0.150\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 但这些标准主要适用于办公楼宇和普通室内环境, 未注明是否适用于地铁环境^[14-17]。如果直接参考中国台湾地区的卫生限值, 则本次监测的结果约有近 50% 不达标。另外, 目前在运列车全部采用粗效过滤网, 现有的通风净化条件也无法有效提高过滤效果。本次车厢所测 PM_{10} 的浓度分布情况与韩国车站的标准较为接近。结合车厢现有通风设备、技术和 PM_{10} 的浓度特征, 建议卫生参考限值设为 $0.15\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

此外, 本次研究还发现, 冬季车厢 PM_{10} 的浓度高于其他季节, 这可能与冬季车厢空调通风系统运行的方式有关。当环境温度 $<13^\circ\text{C}$ 时, 车厢主要采取空调加热模式, 而自动关闭新风系统。若参照 $0.15\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的限值要求, 冬季车厢所测的浓度中位数接近该值的 90%, 人群潜在暴露风险可能增加。此外, 运行时段早高峰 PM_{10} 浓度最高, 这可能与人员流动和密度以及地下隧道环境干扰有关。根据该市地铁客流数据显示, 通常工作日早高峰的客流拥挤程度明显高于其他

时段^[18]。有研究指出,客运量对车厢内颗粒物浓度影响较大,早高峰客流量增加,室内颗粒物浓度增加,并存在超标情况;而在午间时段,客流量较少,颗粒物浓度则低于室内环境标准^[19-20]。另外,地铁隧道内金属摩擦所产生的颗粒物同样也会影响车厢环境^[21-22]。3个不同运行时段的浓度差异很小,这可能是由于地铁车站列车一直处于运行状态,导致地下空间环境的气流一直处于流动状态,也会引起PM₁₀长时间悬浮于空气中。

因此,建议车厢采取必要的空气净化措施。根据本课题组同期调查,目前投入使用的A型、C型车厢的新风量分别为4000~3200 m³和2100 m³,按人均所需新风量(20~30 m³·h⁻¹)估算,为严重不足状态。同时,我国投运车辆均采用粗效过滤网(G3-G4级),其过滤效果较差。建议今后在列车设计-生产环节应充分考虑列车新风量和过滤净化能力这两个重要指标。通过提高车厢新风量和过滤净化能力,有效改善车厢的卫生环境。

由于本研究采用横断面研究,对污染物来源分析和污染源潜在危害分析不够全面,且受监测环境条件所限,也未开展客流和通风设备等对颗粒物浓度影响等的相关分析,今后我们将进一步深入开展客流数量变化和换气效率对颗粒物浓度影响的研究。

参考文献

- [1] 丁力行, 黄华军, 曾宪均. 地铁车内空气参数指标分析[J]. 城市轨道交通研究, 2003, 6(3): 61-64.
- [2] 陈远翔, 修光利, 杨军, 等. 城市轨道交通地下车站环境健康风险因子及相关标准的研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(12): 1139-1148.
- [3] 赵彬, 陈玖玖, 李先庭, 等. 室内颗粒物的来源、健康效应及分布运动研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2005, 22(1): 65-68.
- [4] 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): 24-26, 29.
- [5] 周中平, 赵寿堂, 朱立, 等. 室内污染检测与控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 391.
- [6] 王凯. 地铁空调不同净化处理方式对送风中污染物的影响[J]. 上海预防医学, 2018, 30(6): 539-543.
- [7] BRANIŠ M. The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(2): 348-356.
- [8] PARK DU, HA K C. Characteristics of PM₁₀, PM_{2.5}, CO₂ and CO monitored in interiors and platforms of subway train in Seoul, Korea[J]. Environment International, 2008, 34(5): 629-634.
- [9] CHENG YH, LIN YL, LIU CC. Levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in taipei rapid transit system[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(31): 7242-7249.
- [10] KAM W, CHEUNG K, DAHER N, et al. Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(8): 1506-1516.
- [11] LI TT, BAI YH, LIU ZR, et al. In-train air quality assessment of the railway transit system in Beijing: a note[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2007, 12(1): 64-67.
- [12] 室内空气品质标准草案[EB/OL]. (2012-11-23) [2019-11-01]. <http://www.docin.com/p-615388610.html>
- [13] 실내공기질 관리법 시행규칙[EB/OL]. (2016-12-23) [2019-11-01]. <http://www.law.go.kr/>.
- [14] WHO Working Group. Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide[R]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2003.
- [15] 香港特别行政区政府室内空气质素管理小组. 办公室及公众场所室内空气质素管理指引[R]. 香港: 香港特别行政区政府, 2003.
- [16] Institute of Environment Epidemiology. Guidelines for good indoor air quality in office premises[R]. Singapore: Ministry of the Environment, 1996.
- [17] Health Canada. Indoor air quality in office buildings: a technical guide[R]. Ottawa: Minister of National Health and Welfare, 1995.
- [18] 黄洁, 王姣娥, 靳海涛, 等. 北京市地铁客流的时空分布格局及特征——基于智能交通卡数据[J]. 地理科学进展, 2018, 37(3): 397-406.
- [19] 卓思华, 王立鑫, 庞雪莹. 北京地铁车厢内PM_{2.5}和PM₁₀污染特征研究[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(9): 1044-1048, 1073.
- [20] BONG CK, KIM YG, SONG KY, et al. Study on air quality characteristics of subway stations using sensor module[J]. International Journal of Environmental Science and Development, 2013, 4(2): 225-229.
- [21] QIAO T, XIU GL, ZHENG Y, et al. Preliminary investigation of PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and its metal elemental composition in tunnels at a subway station in Shanghai, China[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2015, 41: 136-146.
- [22] 俞爱青, 宋洁, 孙中兴, 等. 上海地铁1号线车厢内空气质量卫生学调查[J]. 上海预防医学, 2012, 24(7): 382-384.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 丁瑾瑜)