文章编号：1006-3617(2014)07-0534-03　　中图分类号：R122.2; U231+.4　　文献标志码：A

【调查研究】

上海两地铁车站空气中 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度分布特征

张霞[1]，金轶[2]，王晓保[3]，高剑晖[1]，孙晓冬[1]，吴世达[1]，卢伟[4]

摘要：［目的］了解上海轨道交通系统地下车站空气中可吸入颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）浓度及其分布特征，为相关标准制定和环境改善提供科学依据。［方法］以上海地铁某两个地下车站为研究现场，在 2013 年 3—5 月期间，每两周监测一个工作日，每日监测早、中、晚 3 个时段。监测地点包括隧道、站台、站厅和室外风井，监测指标为 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$。［结果］隧道和站台 PM_{10} 平均水平高于站厅和风井，差异别有统计学意义（$P<0.05$）；$PM_{2.5}$ 的浓度水平在不同监测地点比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。不同时间段站内二者水平不同：PM_{10} 在隧道和站台表现为早晚高于中午，站厅为早上高于中晚；$PM_{2.5}$ 在隧道和站厅与 PM_{10} 的变化趋势相同，在站台则表现为早、晚、中依次降低；差异均有统计学意义（$P<0.05$）。［结论］上海市地下车站环境空气中的可吸入颗粒物水平在不同的地点和时间段有明显变化，提示颗粒物是上海市轨道交通系统需要重视的卫生学问题。

关键词：地铁；空气质量；颗粒物；PM_{10}；$PM_{2.5}$；监测

Distributions of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Two Shanghai Metro Stations

ZHANG Xia[1], *JIN Yi*[2], *WANG Xiao-bao*[3], *GAO Jian-hui*[1], *SUN Xiao-dong*[1], *WU Shi-da*[1], *LU Wei*[4] (1.*Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention*, *Shanghai* 200336, *China*; 2.*Office of Exhibition and Education*, *Shanghai Science and Technology Museum*, *Shanghai* 200127, *China*; 3.*Shanghai Rail Transit Technology Research Center*, *Shanghai* 201103, *China*; 4.*Agency for Public Health Inspection*, *Shanghai Municipal Health Bureau*, *Shanghai* 200031, *China*). *Address correspondence to LU Wei*, *E-mail*: *luw@hs.sh.cn*

· *The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.*

Abstract: ［Objective］To investigate the concentrations and distributions of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Shanghai metro stations so as to provide scientific basis for environmental improvement and establishment of relevant hygiene standard. ［Methods］Two underground metro stations were selected for the study. The levels of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were measured on one workday in every two weeks from March to May, 2013. The measurement was conducted three times (morning, noon, and evening) a day. Sampling sites included tunnels, platforms, station halls, and outdoor air shafts. ［Results］The average levels of PM_{10} in the tunnels and platforms were significantly higher than those in the station halls and air shafts ($P<0.05$). The levels of $PM_{2.5}$ were even among different sites ($P>0.05$). The particulate matter levels varied in different measuring time points: the PM_{10} levels in the tunnels and platforms were significantly higher in morning and evening than in noon ($P<0.05$), and those in the station halls were significantly higher in morning than in noon and evening ($P<0.05$). The time variation of $PM_{2.5}$ was similar to PM_{10} in the tunnels and station halls, while in the platforms, the levels of $PM_{2.5}$ in morning, evening, and noon were in a decreasing manner ($P<0.05$). ［Conclusion］In the underground metro stations, the levels of particulate matter vary with time and location, indicating that the particulate matter pollution in Shanghai metro stations should be paid more attention to.

Key Words: metro; air quality; particulate matter; PM_{10}; $PM_{2.5}$; monitoring

近年来，随着城市化进程的加速，我国的轨道交通建设也进入快速发展期，凭借其运力大、速度快，时间准的优势，地铁正逐步成为大城市公共交通的主体。地铁车站也逐渐成为研究室内空气质量的一个独特而重要的公共场所。地铁车站尤其是地下车站，建筑结构相对封闭，人群密集且流动性大，导致形成自然通风不足、空气质量较差的状况，容易造成污染物的积聚。因此，研究地铁车站的空气质量及其影响因素，对于保护乘客及工作人员的健康具有重要的意义。地下车站具有多种影响健康的潜在风险因子，如颗粒物、噪声和微生物等[1]。本研究拟对上海两地铁车站空气中的颗粒物水平进行连续监测，初步获得地铁车站空气中可吸入颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）的分布特征，为深入研究地铁颗粒物的来源及影响因素提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究对象

本研究选择上海某两个地铁车站为研究对象。两车站均为

DOI：10.13213/j.cnki.jeom.2014.0126

［基金项目］中美公共卫生人才培训项目-Fogarty 基金（编号：TW005741-07）

［作者简介］张霞（1976—），女，硕士，副主任医师；研究方向：建设项目卫生学评价；E-mail：xzhang_2@scdc.sh.cn

［通信作者］卢伟，E-mail：luw@hs.sh.cn

［作者单位］1.上海市疾病预防控制中心，上海 200336；2.上海科技馆展示教育处，上海 200127；3.上海轨道交通技术研究中心，上海 201103；4.上海市卫生局卫生监督所，上海 200031

地下站，所在地铁线路自2007年开始运行，且安装了屏蔽门系统，车站公共区地坪均采用花岗岩，内墙和天花板采用铝合金材质，空调系统设置粗效过滤器。两车站均位于道路交叉口附近，周围无工地。

1.2　研究时间

于2013年3—5月期间，地铁处于正常运营状态时，每2周对地铁车站空气中的PM_{10}和$PM_{2.5}$浓度进行一次监测。星期五为监测日，每一个监测日内又分3个时间段：早高峰为7:00—9:00；中午平峰为12:00—14:00；晚高峰为17:00—19:00。空调系统运行工况为通风运行。

1.3　采样仪器及方法

车站内、外环境中PM_{10}和$PM_{2.5}$浓度的测定使用美国TSI公司的Dust-Trak Aerosol Monitor（Model TSI-8533）仪器。站台和站厅的微小气候指标分别采用THG 312温湿度仪（美国欧西亚公司）和TSI 8345风速仪（美国TSI公司）进行监测。为减少数据偏差，每个采样点均平行监测2次，结果取平均值。测定时避开列车进出站的瞬间。

1.4　采样布点

根据车站的建筑结构特点，分别在站内（站台、站厅、隧道）和新风井处设监测点，避开人流通道和通风口，距离墙壁1 m。车站站厅层设2~3个点，每个站台设3个监测点，分别位于列车车头、车尾以及中部位置。隧道根据列车运行方向，分别在上下行的车头和车尾处的隧道口设点，站外对照设在两个站外新风井处。两车站共设22个监测点。

1.5　统计学分析

数据录入使用Excel 2007，使用SAS 9.2统计软件对数据进行单因素方差分析、相关性分析和Student-Newman-Keuls（SNK）检验。检验水准α=0.05。

2　结果

2.1　微小气候

上海轨道交通地下车站公共区夏季采用空调制冷，其他季节通风工况运行。本研究监测时间为春季，空调系统采用通风工况运行模式。由表1可见，站台与站厅的微小气候相对较为稳定。

表1　上海两地铁车站站台与站厅的微小气候监测结果（$\bar{x} \pm s$）

采样时间	站台（n=162）			站厅（n=90）		
	温度（℃）	相对湿度（%）	风速（m/s）	温度（℃）	相对湿度（%）	风速（m/s）
7:00—9:00	21.88 ± 2.83	55.93 ± 12.18	0.19 ± 0.09	20.86 ± 3.27	55.16 ± 11.72	0.20 ± 0.13
12:00—14:00	21.77 ± 2.65	48.49 ± 12.89	0.16 ± 0.08	21.34 ± 3.13	47.81 ± 13.14	0.19 ± 0.10
17:00—19:00	22.48 ± 2.79	48.82 ± 12.99	0.21 ± 0.09	21.65 ± 2.77	46.63 ± 12.12	0.22 ± 0.17

2.2　可吸入颗粒物

2.2.1　不同地点　本次监测地铁站内PM_{10}和$PM_{2.5}$浓度分别为34~428 μg/m³和21~145 μg/m³。PM_{10}在隧道、站台、站厅及新风井的测检浓度范围分别为70~345、37~428、34~342、43~284 μg/m³；$PM_{2.5}$相应浓度范围分别为24~140、22~145、21~135、14~162 μg/m³。经单因素方差分析，不同监测地点之间的PM_{10}平均水平差异有统计学意义（P<0.05），而在不同监测地点之间$PM_{2.5}$的平均水平差异则无统计学意义（P>0.05）。对PM_{10}进行SNK多重比较检验，发现隧道和站台的PM_{10}浓度水平高于站厅和站外风井，差异有统计学意义（P<0.05），见表2。

表2　上海两地铁车站不同地点PM_{10}和$PM_{2.5}$的监测结果（$\bar{x} \pm s$，μg/m³）

检测指标	隧道（n=72）	站台（n=162）	站厅（n=90）	新风井（n=72）	F	P
PM_{10}	196 ± 71*	197 ± 88*	143 ± 66#	131 ± 61#	19.65	<0.0001
$PM_{2.5}$	71 ± 29	67 ± 29	59 ± 28	64 ± 39	2.12	0.0971

［注］SNK检验多重比较，*：与#比较，P<0.05。

2.2.2　不同时间段　由表3可见，中午平峰时段的PM_{10}浓度水平在隧道和站台均低于早、晚高峰时段；在站厅，表现为早上高于中午和晚上，差异均有统计学意义（P<0.05）。$PM_{2.5}$的时间变化规律在隧道和站厅与PM_{10}相同；在站台则表现为早、晚、中依次降低，差异均有统计学意义（P<0.05）；在站外风井，无论是PM_{10}还是$PM_{2.5}$均未发现浓度水平随时间变化的趋势（P>0.05）。

2.2.3　$PM_{2.5}$与PM_{10}的比值及相关性分析　表4显示，车站内外部环境中，$PM_{2.5}$与PM_{10}的平均比值为0.41，比值最高的外部风井也仅为0.47。相关性分析发现，虽然不同场所的相关系数不同，总体上，$PM_{2.5}$与PM_{10}水平明显相关（P<0.05），相关系数最高的场所为外部风井。

表3　上海两地铁车站不同时间段PM_{10}和$PM_{2.5}$的监测结果（$\bar{x} \pm s$，μg/m³）

指标	场所	n	7:00—9:00	12:00—14:00	17:00—19:00	F	P
PM_{10}	隧道	72	222 ± 70	144 ± 45*	223 ± 64	13.34	<0.0001
	站台	162	229 ± 79	146 ± 64*	216 ± 95	16.80	<0.0001
	站厅	90	180 ± 76*	115 ± 46	136 ± 55	9.02	0.0003
	风井	72	149 ± 63	113 ± 56	132 ± 62	2.19	0.1191
$PM_{2.5}$	隧道	72	82 ± 26	56 ± 21*	74 ± 32	5.93	0.0042
	站台	162	80 ± 27#	53 ± 21#	68 ± 31#	13.94	<0.0001
	站厅	90	73 ± 29*	48 ± 20	56 ± 30	6.88	0.0017
	风井	72	76 ± 33	53 ± 35	64 ± 45	2.27	0.1111

［注］分别与其他两个时间段比较，*：P<0.05。三个时间段之间两两比较，#：P<0.05。

表4　上海两地铁车站$PM_{2.5}$与PM_{10}的比值及相关性

监测地点	n	$PM_{2.5}/PM_{10}$	r	P
隧道	72	0.38 ± 0.12	0.59	<0.0001
站台	162	0.37 ± 0.15	0.64	<0.0001
站厅	90	0.45 ± 0.19	0.67	<0.0001
风井	72	0.47 ± 0.13	0.90	<0.0001
总体	393	0.41 ± 0.16	0.65	<0.0001

3　讨论

地铁环境中的可吸入颗粒物有多种来源，其在浓度水平、时空分布、化学形态和组成等方面均与室外环境存在差异[2]。本研究采用多点、多次监测方案对上海地铁车站环境中的PM_{10}和$PM_{2.5}$进行了监测，所选用的便携式实时测量仪，更适合于

实时监测颗粒物水平在不同空间和时间的分布特点及其变化规律。

本次监测站内 PM_{10} 的浓度范围为 34~428 μg/m³，最高浓度超过 GB 9672—1996《公共交通等候室卫生标准》[3] 中 PM_{10} 的卫生限值（250 μg/m³）；参照 GB 3095—2012《环境空气质量标》[4] 中 $PM_{2.5}$ 日均浓度限值（75 μg/m³），本次监测站内 $PM_{2.5}$（21~145 μg/m³）的最高浓度也将近限值的二倍。监测地点的不同对 PM_{10} 的影响更为明显，总体上呈现站内高于站外的趋势，而站厅层由于靠近地面，通风条件相对较好，颗粒物水平更接近外部环境。虽然受各种内外部因素的影响，国内外各城市地下车站的可吸入颗粒物水平存在较大差异，但大多数研究结果均显示，地下车站内部环境的颗粒物浓度普遍高于车站周边的室外环境浓度[5-7]。

不同时间段的监测结果表明，可吸入颗粒物水平受时段影响显著，在隧道和站台表现为早、晚高，中午低；站厅则是早高峰更为明显。高峰时段可吸入颗粒物水平升高与列车通行频率以及客流量增大相互对应，这与李丽等[8]对上海地铁空气质量状况调查中关于 PM_{10} 的研究结果一致，JOHANSSON 等[7]对斯德哥尔摩地铁的研究也发现工作日的可吸入颗粒物水平显著高于周末。

本研究中，$PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占的比例平均为 41%，略低于斯德哥尔摩地铁的 55%[7]，更低于首尔地铁的 83.5%[9]，同时也低于 YE 等[10]对上海地铁 1、2 号线站台检测所得的 76%。相关性分析发现，$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 水平明显相关，但在不同地点，其变化趋势并非始终一致。$PM_{2.5}/PM_{10}$ 值在本次监测周期内反映为 PM_{10} 中粗颗粒物含量相对较高，另外，地铁车站内人员活动和列车运行可能对粗颗粒物贡献更大，这需要收集多个季节的数据并结合其化学组成做进一步研究。

本研究以上海两个地铁车站为现场，对其内外部环境中的可吸入颗粒物水平进行了连续监测，获得了车站空气中可吸入颗粒物水平的分布特点及变化规律的初步数据，但据文献报道上海地铁车站 PM_{10} 的水平在冬季明显高于其他季节[11]，本研究目前仅采集了春季数据，且监测对象仅有两个车站，使所得结果有一定局限性，今后将综合考虑建造年代、客流量、通风模式、运行方式等因素，扩大监测对象、开展连续监测。

（志谢：本文为上海现场流行病学二期培训时完成，得到康来仪教授、庄宇老师以及多位导师的指导和帮助，特此志谢。）

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献：

[1] 杨远翔，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.

[2] KAM W，NING Z，SHAFER M M，et al. Chemical characterization and redox potential of coarse and fine particulate matter（PM）in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro[J]. Environ Sci Technol，2011，45(16)：6769-6776.

[3] 国家技术监督局，中华人民共和国卫生部. GB 9672—1996 公共交通等候室卫生标准[S].北京：中国标准出版社，1996.

[4] 环境保护部，国家质量监督检验检疫总局. GB 3095—2012 环境空气质量标准[S].北京：中国环境科学出版社，2012.

[5] KIM K Y，KIM Y S，ROH Y M，et al. Spatial distribution of particulate matter（PM_{10} and $PM_{2.5}$）in Seoul Metropolitan Subway stations[J]. J Hazard Mater，2008，154(1/3)：440-443.

[6] RAUT J C，ChAZETTE P，FORTAIN A. Link between aerosol optical，microphysical and chemical measurements in an underground railway station in Paris[J]. Atmos Environ，2009，43：860-868.

[7] JOHANSSON C，JOHANSSON P A. Particulate matter in the underground of Stockholm[J]. Atmos Environ，2003，37：3-9.

[8] 李丽，钱春燕，张海云，等.上海市轨道交通系统车站空气质量状况调查[J].环境与职业医学，2011，28(5)：277-280.

[9] PARK D U，HA K C. Characteristics of PM_{10}，$PM_{2.5}$，CO_2 and CO monitored in interiors and platforms of subway train in Seoul，Korea[J]. Environ Int，2008，4(5)：629-634.

[10] YE X，LIAN Z，JIANG C，et al. Investigation of indoor environmental quality in Shanghai metro stations，China[J]. Environ Monit Asses，2010，167(1/2/3/4)：643-651.

[11] 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)：564-570.

（**收稿日期**：2013-11-18）

（英文编辑：汪源；编辑：洪琪；校对：王晓宇）

【精彩预告】

上海市杨浦区社区卫生服务中心门诊老年伤害患者特征分析

付强强，李丽，吕元，黄惠敏，张亚英，夏颖

为探讨上海市杨浦区 60 岁及以上老年人伤害发生情况，为制定相关干预措施提供科学依据，研究人员于 2011 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日进行调查，选择上海市杨浦区 11 家社区卫生服务中心门诊中首诊伤害病例（年龄≥60 岁，且为本区户籍人口者）作为研究对象，对该人群伤害的发生特征及结局特征进行描述性分析。结果共报告老年伤害病例 3 940 例，男女比例为 1∶1.7。伤害发生的首要原因为老年人跌倒/坠落（66.83%），发生的地点前 3 位分别是住所（69.59%）、街道和公路（12.11%）及住宅小区的公共区域（12.03%），发生人数最多的三个月份为 8、9、10 月。本研究说明杨浦区老年人伤害发生的主要原因是跌倒/坠落，应对此采取综合干预措施，有效减少老年人伤害的发生。

此文将于近期刊出，敬请关注！