

屏蔽门对地铁站台颗粒物分布的影响研究

张敏,何红弟*

(上海海事大学物流研究中心,上海 201306)

摘要:通过2018年1月的污染天和非污染天在上海人民广场地铁站对装有屏蔽门系统的1号线站台和装有安全门系统的2号线站台上的颗粒物数量浓度进行监测并作对比研究,结果表明:污染天和非污染天,安装屏蔽门系统的站台颗粒物数量浓度相对于安全门系统分别降低2.08%~35.44%和5.69%~51.31%。屏蔽门站台的颗粒物浓度表现为后站台>前站台>中站台;安全门系统颗粒物浓度无规律。屏蔽门系统站台的颗粒物在人体内的沉积量要低于安全门系统,站台两端的颗粒物在人体内的沉积量高于站台中间。

关键词:颗粒物;地铁站台;屏蔽门;安全门;上海

中图分类号:X513;TU921

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)02-0032-05

Influence of Screen Door on the Distribution of Particulate Matter in Subway Station

ZHANG Min, HE Hong-di*

(Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The quantity concentration of particulate matter on the platform of subway line 1 with screen door system and line 2 with safety door system were monitored during polluted and non-polluted days in January 2018 at Shanghai People's Square subway station. The results showed that the quantity concentration of particulate on the platform with screen door system reduced by 2.08%~35.44% and 5.69%~51.31% than that with safety door system in polluted and non-polluted days, respectively. The concentration of particulate on the platform with screen door from high to low in order was: at the rear, in the front and in the middle of the platform. The particulate concentration with safety door system was irregular. The amount of particulate matter deposited in human body on the platform with screen door system was lower than that with safety door system. The amount of particulate matter deposited in human body at the ends of the platform were higher than that in the middle.

Key words: Particulate matter; Subway platform; Screen door; Safety door; Shanghai

根据2018年上半年统计,上海市地铁日均客流量高达1 164.9万人次。虽然大城市的轨道交通快速发展缓解了交通拥堵,增加了公众出行便利,但也因为地铁建筑结构的封闭性使其内部颗粒物不容易扩散^[1],且各种微生物常附着于颗粒物表面,长期积累容易滋生大量细菌^[2]。随着地铁在中国各大城市的普及和乘客数量的持续增加,地铁系统内部空气质量状况引起了人们的广泛关注^[3-7]。史俊祥等^[8]通过成分分析发现,地铁内的颗粒物多为带有棱角的铁颗粒。Karlsson等^[9]研究发现,地铁站颗粒的基因毒性大约是附近居住城

市街道颗粒的8倍,导致肺细胞氧化的可能性大约是其4倍。因此,监测了解地铁内颗粒物的污染状况很有必要。今于2018年1月对上海市黄浦区人民广场地铁站进行实测,旨在研究站台的颗粒物浓度分布和屏蔽门对颗粒物分布的影响,为人们的健康出行提供参考。

收稿日期:2019-01-22;修订日期:2020-02-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11672176)

作者简介:张敏(1993—),女,安徽池州人,硕士,主要从事绿色城市交通与绿色物流方面的研究工作。

*通信作者:何红弟 E-mail: 2232281865@qq.com

1 调查方法

1.1 调查地点和时间

调查地点选取位于上海市中心的人民广场地铁站。该地铁站是 1 号、2 号、8 号三线换乘枢纽,其客流一直保持高位,是上海轨道交通的主要中转站之一,具有代表性。该地铁站属于地下两层的岛式站台,站厅层位于地下一层,站台位于地下二层。

研究的门控系统是地铁 1 号线的屏蔽门系统和地铁 2 号线的安全门系统。屏蔽门系统采用相对封闭的门控系统,隧道与站台之间完全隔开,空气不能自由流通;而安全门系统不封闭,隧道与站台之间的空气可以相互自由流通,门的作用只起到安全和美观。

监测点 6 个,分别布设在 1 号线和 2 号线的前、中、后站台(见图 1);背景点 1 个,为了避免受到马路、住宅区等其他因素的干扰,选在人民广场公园里,其浓度作为室外颗粒物浓度的背景参照。6 个监测点都位于地铁站地下二层,1 号线选开往莘庄方向,2 号线选开往徐泾东方向,各测点均设在各路线距离屏蔽门/安全门 1 m 的位置,测点高度为 1.5 m^[10],对应于行人的呼吸区域。

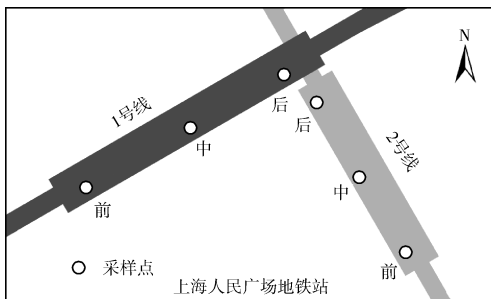


图 1 人民广场地铁站监测点分布

Fig. 1 Fixed sampling sites at People's Square metro station

监测时间为 2018 年 1 月 19 日(污染天)和 1 月 21 日(非污染天),8:00—10:30 和 16:00—18:30,每秒采集 1 组数据,每个监测点每次采集 10 min,每个点采集 2 400 组数据,7 个点共获 16 800 组数据。在监测过程中,列车均正常通行,时间段基本涵盖了早高峰和晚高峰。

1.2 采样仪器

检测仪器为美国 Fluke 985 型粒子计数器,该粒子计数器是一种利用光散射原理进行尘粒计数的仪器,有 6 个通道,能同时记录 6 种直径范围的颗粒物数量浓度,分别表示为 0.3 μm ~ 0.49 μm

($N_{0.3-0.49}$)、0.5 μm ~ 0.99 μm ($N_{0.5-0.99}$)、1.0 μm ~ 1.99 μm ($N_{1.0-1.99}$)、2.0 μm ~ 4.99 μm ($N_{2.0-4.99}$)、5.0 μm ~ 9.99 μm ($N_{5.0-9.99}$) 和 >10.0 μm ($N_{>10}$)。

1.3 颗粒物在人体内的沉积量估算

颗粒物数量浓度与质量浓度的转换公式为:

$$m_i = \rho \times v = \rho \times \left(\frac{4}{3} \times \pi \times \frac{d_i^3}{8} \right) \times N_i \times 10^{-3} \quad (1)$$

其中: ρ 为粒子的密度,取值为 1.65 g/cm³^[11-14]; π 值为 3.141 5; d_i 为粒子的近似直径; N_i 为相应的粒子个数,个/L。该算法是将颗粒物看作是一个球体,得到颗粒物的质量浓度 m_i , μg/m³。

由式(1)可以计算得出 PM₁、PM₂ 和 PM₁₀ 的质量浓度^[11]。

下面估算 PM₁、PM₂ 和 PM₁₀ 在儿童和成年人身体内(胸、气管、支气管、肺泡区域)的沉积剂量^[15] RDD。

$$RDD = V_T \times f \times DF_i \times PM_i \quad (2)$$

式中: V_T ^[16] 是潮气量(m³/次); f 是呼吸频率(次/min); DF_i 是沉积分数; PM_i 为颗粒物质量浓度。

2 结果与讨论

2.1 地铁站台颗粒物数量浓度分布特征

表 1 为人民广场地铁站台的不同粒径颗粒物数量浓度。由表 1 可知,随着颗粒物粒径增大,其数量浓度不断降低。对实测数据进行 F 检验双样本方差分析和 t 检验,结果表明站台不同位置、不同污染日的浓度具有统计学意义($p=0$)。

2.2 污染天和非污染天地铁站台颗粒物分析

图 2(a)~(f)分别为污染天与非污染天地铁站台 6 种粒径颗粒物数量浓度分布。由图 2 中的颗粒物数量浓度均值大小对比可以发现,污染天站台颗粒物浓度要高于非污染天,也与背景点颗粒物浓度的变化一致,由此说明,站台上的颗粒物浓度会随着外界颗粒物浓度同向变化。1 号线的颗粒物浓度四分位间距和上下边缘都小于 2 号线,由此说明屏蔽门的使用能够有效地降低站台上的颗粒物浓度^[17-18],并使其趋于稳定。

表 2 为污染天与非污染天颗粒物数量浓度均值及其差异百分比。从表 2 可以看出,在污染天,屏蔽门系统的站台颗粒物数量浓度相对于安全门系统分别降低 2.08% ~ 35.44%;在非污染天,屏

表 1 人民广场地铁站台的不同粒径颗粒物数量浓度

个/L

Table 1 Concentration of different grain diameter particulate on the platform of People's Square subway station counts/L

天气	监测点	$N_{0.3-0.49}$	$N_{0.5-0.99}$	$N_{1.0-1.99}$	$N_{2.0-4.99}$	$N_{5.0-9.99}$	$N_{>10}$	
污染天	1 号线	前站台	115 801	51 541	6 784	2 314	71	13.0
		中站台	112 445	50 343	5 423	1 544	41	7.3
		后站台	119 776	60 128	7 049	2 118	60	10.3
	2 号线	前站台	123 325	56 732	7 423	2 450	66	13.0
		中站台	129 100	50 605	6 395	2 121	74	20.0
		后站台	122 501	66 184	11 478	4 205	103	14.3
非污染天	1 号线	前站台	66 494	20 095	3 349	1 527	63	12.8
		中站台	66 876	13 483	1 813	767	35	8.4
		后站台	67 518	22 077	4 118	2 056	87	15.5
	2 号线	前站台	79 229	32 102	5 197	2 031	58	8.8
		中站台	75 398	28 758	4 692	1 873	64	16.4
		后站台	79 734	48 103	9 263	3 711	90	10.5

蔽门系统的站台颗粒物数量浓度相对于安全门系统分别降低 5.69% ~ 51.31%。由表 2 可知,对于粒径为 0.3 μm ~ 4.99 μm 的颗粒物而言,非污染天的差异百分比高于污染天,可知屏蔽门在非污染天的阻挡效果要比污染天明显;而对于粒径在 5.0 μm 以上的颗粒物出现相反的情况,为污染天的阻挡效果优于非污染天。因为颗粒物的粒径越小对人体的危害程度越大^[19],所以粒径为 0.3 μm ~ 4.99 μm 的颗粒物对人体的伤害程度高于 5.0 μm 以上的颗粒物,故对于全年有 88% 的天数为非污染天的上海而言,屏蔽门的使用效果会比安全门更好。

2.3 污染天早晚高峰地铁站台颗粒物分析

图 3(a)~(f) 分别为污染天早晚高峰地铁站台 6 种粒径颗粒物数量浓度分布。由图 3 可见,早高峰时地铁站台的颗粒物平均浓度高于晚高峰^[20],背景点浓度早晚高峰时差距不大,由此说明,站台的颗粒物浓度变化可能与客流量有关^[21]。早晨上班时间比较一致,而晚上下班时间会因各种原因推延,故晚高峰乘坐地铁的人数没有早高峰时集中,造成由人员流动因素而携带进地铁站台的颗粒物数量也相应低于早高峰。从 1 号线和 2 号线的颗粒物浓度四分差可以看出,屏蔽门的使用不仅可以有效地降低颗粒物在站台上的扩散,而且可以使站台上的颗粒物一直处于比较稳定的状态。

2.4 前、中、后站台颗粒物分析

由表 1 可以看出,1 号线站台的颗粒物浓度大多表现为后站台 > 前站台 > 中站台。这可能与站台内部的建筑结构有关,站台两端的死角较多,容易产生气场涡流使颗粒物在此集聚,而站台中间位置空间相对较大,有利于颗粒物向周围扩散,故站台两端的细颗粒物浓度水平高于中间位置^[22]。又

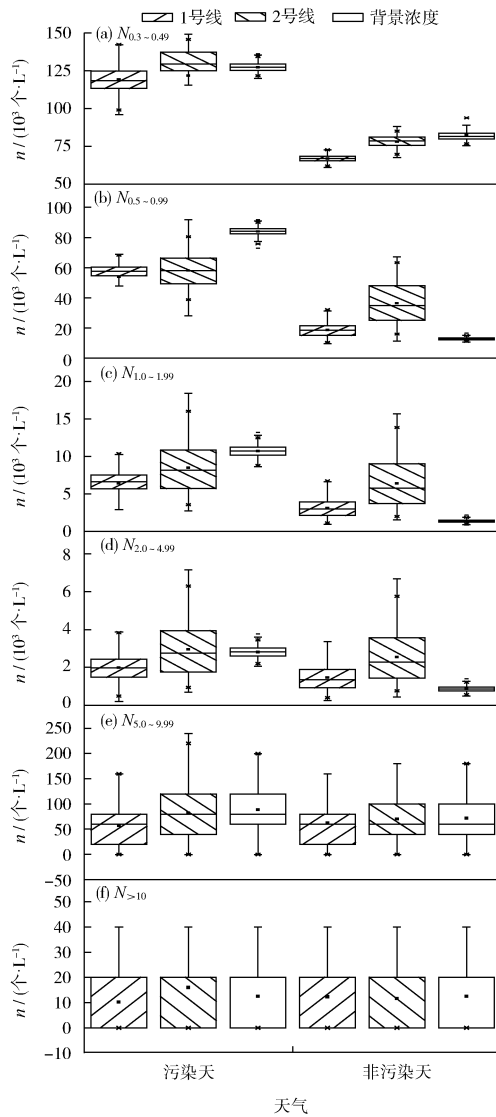


图 2 污染天与非污染天地铁站台 6 种粒径颗粒物数量浓度分布

Fig. 2 Concentration distribution of six kinds of particulate matter on the platform in polluted and non-polluted days

表 2 污染天与非污染天颗粒物数量浓度均值及其差异百分比

Table 2 Percentage difference of mean concentration of particulate matter on polluted and non-polluted days

天气	项目	$N_{0.3-0.49}$	$N_{0.5-0.99}$	$N_{1.0-1.99}$	$N_{2.0-4.99}$	$N_{5.0-9.99}$	$N_{>10}$
污染天	1 号线/(个·L ⁻¹)	119 323	54 006	6 416	1 993	57	10.2
	2 号线/(个·L ⁻¹)	121 854	58 087	8 510	2 961	82	15.8
	差异百分比/%	2.08	7.03	24.61	32.69	30.49	35.44
非污染天	1 号线/(个·L ⁻¹)	66 984	18 631	3 113	1 461	62	11.6
	2 号线/(个·L ⁻¹)	78 204	36 369	6 393	2 542	70	12.3
	差异百分比/%	14.35	48.78	51.31	42.53	11.43	5.69

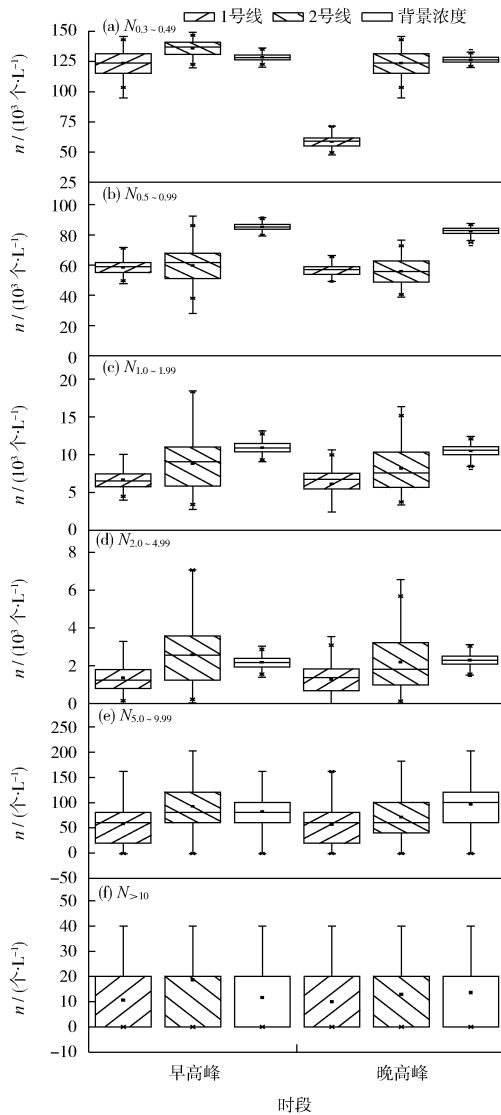


图 3 污染天早晚高峰地铁站台路况 6 种粒径颗粒物数量浓度分布

Fig. 3 Particle concentration distribution of six kinds of particulate matter on the platform at morning and evening rush hours in polluted days

由于列车运动而产生的活塞风使隧道内的颗粒物因惯性作用向前运动,当颗粒物运动到站台时,因

列车停靠站台阻挡了颗粒物继续向前运动,从而导致后站台的颗粒物浓度高于前站台。而 2 号线站台的颗粒物浓度表现得不稳定,这可能是由于安全门系统站台与隧道之间没有屏蔽门的阻挡,两边空气可以自由地相互流通,造成站台上颗粒物的来源复杂,从而导致颗粒物浓度表现得不规律。

2.5 站台 RDD 分析

人们长期暴露在颗粒物中将会引起各种疾病^[23],下面对地铁站台的颗粒物在人体内的沉积量作分析。根据计算得出地铁站台的 PM₁、PM₂、PM₁₀在儿童和成人中的 RDD 值,分别见图 4(a)(b)(c)。由图 4 可见,在 2 号线站台所吸入的颗粒物在人体的沉积剂量远远高于安装了屏蔽门的

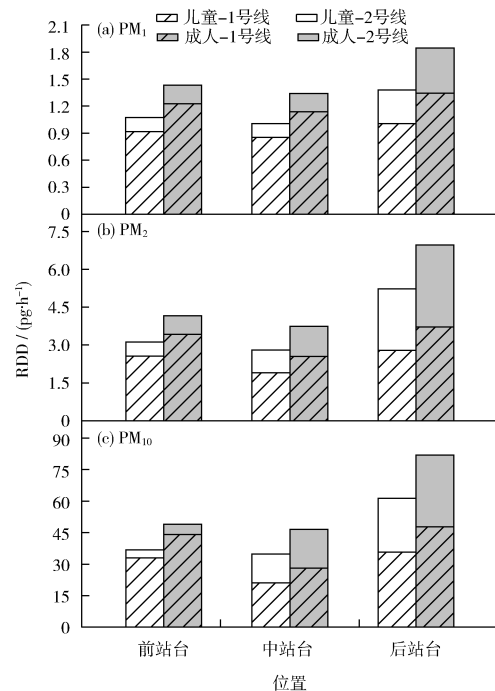


图 4 地铁站台的 PM₁、PM₂、PM₁₀在儿童和成人中的 RDD 值

Fig. 4 RDD of PM₁, PM₂, PM₁₀ in the body of children and adults on the subway platform

1号线。说明屏蔽门的使用不仅可以有效降低颗粒物在站台上的扩散,还可以减少颗粒物对行人身体的伤害。对于站台不同位置,站台中间的RDD低于站台两端,最高为站台后端。由于成年人的呼吸空气体积和呼吸频率要高于儿童,所以成年人的颗粒物在体内的沉积剂量也要高于儿童。因此,在客流量较少时可以选择在站台中间候车,并且相关部门也应该在站台的两端设置更多的通风系统来快速流通站台的空气,以减少地铁环境颗粒物对人们身体造成的伤害。

3 结论

(1) 污染天地铁站台颗粒物浓度要高于非污染天,这说明地铁室内颗粒物的浓度与室外空气污染密切相关。

(2) 在污染天和非污染天,安装屏蔽门系统的站台颗粒物数量浓度相对于安全门系统分别降低2.08%~35.44%和5.69%~51.31%,说明屏蔽门能更有效地降低站台上颗粒物的扩散,且屏蔽门隔离颗粒物的效果在非污染天更加明显。

(3) 行人在安装屏蔽门系统的站台上所吸入的颗粒物在人体内的沉积量要低于安全门系统,站台两端的颗粒物在人体内的沉积量高于站台中间。

[参考文献]

- [1] 王宁,宁森,史宇,等. “十三五”开展细颗粒物个人暴露研究的重要意义[J]. 环境与可持续发展,2017,42(1):161-163.
- [2] 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.
- [3] 邓鹏,黄嘉敏,黄志标,等. 重庆市轨道交通车站空气质量调查及影响因素分析[J]. 城市轨道交通研究,2015,18(9):82-84.
- [4] 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.
- [5] QIAO T, XIU G L, ZHENG Y, et al. Preliminary investigation of PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} 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.
- [6] 王大春,陈璞珑,黄图南,等. 宜兴市细颗粒物化学特征和来源解析[J]. 环境监测管理与技术,2018,30(2):11-15.
- [7] 郭春梅,赵珊珊,赵一铭,等. 我国居住建筑室内 $PM_{2.5}$ 研究现状及进展[J]. 环境监测管理与技术,2018,30(4):12-17.
- [8] 史俊祥,毛意中,黄珊,等. 地铁颗粒物特征分析及磁性过滤控制[J]. 环境工程学报,2018,12(9):2585-2593.
- [9] KARLSSON H L, NILSSON L, MÖLLER L. Subway particles are more genotoxic than street particles and induce oxidative stress in cultured human lung cells[J]. Chemical Research in Toxicology, 2005, 18(1):19-23.
- [10] WANG J J, ZHAO L J, ZHU D L, et al. Characteristics of particulate matter (PM) concentrations influenced by piston wind and train door opening in the Shanghai subway system[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2016, 47:77-88.
- [11] TITTARELLI A, BORGINI A, BERTOLDI M, et al. Estimation of particle mass concentration in ambient air using a particle counter[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(36):8543-8548.
- [12] WEIJERS E P, KHLYSTOV A Y, KOS G P A, et al. Variability of particulate matter concentrations along roads and motorways determined by a moving measurement unit[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(19):2993-3002.
- [13] TUCH TH, MIRME A, TAMM E, et al. Comparison of two particle-size spectrometers for ambient aerosol measurements[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(1):139-149.
- [14] TUCH TH, BRAND P, WICHMANN H E, et al. Variation of particle number and mass concentration in various size ranges of ambient aerosols in Eastern Germany[J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(24):4193-4197.
- [15] KUMAR P, GOEL A. Concentration dynamics of coarse and fine particulate matter at and around signalised traffic intersections[J]. Environmental Science: Processes and Impacts, 2016, 18(9):1220-1235.
- [16] SÁNCHEZ-SOBERÓN F, MARI M, KUMAR V, et al. An approach to assess the particulate matter exposure for the population living around a cement plant: modelling indoor air and particle deposition in the respiratory tract[J]. Environmental Research, 2015, 143:10-18.
- [17] 夏莉萍,储强,王轶洲,等. 上海市黄浦区地铁车站空气中 $PM_{2.5}$ 质量浓度现状调查[J]. 环境与职业医学,2016,33(9):889-891.
- [18] 严国庆,赵敬德,施振扬,等. 上海人民广场站站台空气颗粒物浓度的实测分析[J]. 环境工程, 2014, 32(S1):541-543,579.
- [19] OBERDÖRSTER G, OBERDÖRSTER E, OBERDÖRSTER J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles[J]. Environmental Health Perspectives, 2005, 113(7):823-839.
- [20] 吴颖娣,梁珍,沈恒根,等. 上海某地铁站台空气颗粒物粒径分布[J]. 东华大学学报(自然科学版),2018,44(5):811-820.
- [21] 卓思华,王立鑫,庞雪莹. 北京地铁车厢内 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染特征研究[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(9):1044-1048,1073.
- [22] 刘宁. 地铁制动过程产生的重金属颗粒物分布规律研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2018.
- [23] 常利. 地铁站内细颗粒物空间分布规律的实测研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2018.