

上海市轨道交通系统车站空气质量状况调查

李丽, 钱春燕, 张海云, 高知义, 李朋昆, 蒋蓉芳, 赵金镬, 宋伟民*

摘要: [目的] 了解上海轨道交通系统车站空气质量现状及其影响因素, 为制定相关空气质量的卫生学标准提供科学依据。[方法] 分别选取上海市轨道交通有代表性的 6 个车站, 每个站台、站厅各取 4 个点进行监测。每天 3 个时段, 连续监测 3 d。在每个监测点监测温度、相对湿度、风速、噪声、可吸入颗粒物(PM_{10})、一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)、甲醛、总挥发性有机物(VOC)、空气细菌总数、真菌总数、溶血性链球菌等空气卫生学指标。[结果] 站台平均风速 $[(0.42 \pm 0.24) \text{ m/s}]$ 、 CO_2 浓度 $[(0.058 \pm 0.015) \%)$, 分别高于站厅风速 $[(0.30 \pm 0.13) \text{ m/s}]$ 、 CO_2 浓度 $[(0.055 \pm 0.011) \%)$, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。上午监测时段的相对湿度、细菌总数、真菌总数均高于中午和下午, 上午时段与下午时段的 PM_{10} 平均浓度高于中午时段, 且差异均有统计学意义($P < 0.05$)。甲醛及 VOC 浓度上午时段最高, 3 个时段依次降低。人均新风量与细菌总数、真菌总数、 CO_2 、 PM_{10} 浓度呈负相关关系。[结论] 客流量、新风量和车站已使用年数对轨道交通空气质量有一定影响。微生物污染、 CO_2 、 PM_{10} 含量是轨道交通系统需要重视的空气卫生学问题。

关键词: 轨道交通; 空气质量; 影响因素

Investigation on the Status of Air Quality in Shanghai Subway System Station LI Li, QIAN Chun-yan, ZHANG Hai-yun, GAO Zhi-yi, LI Peng-kun, JIANG Rong-fang, ZHAO Jin-zhuo, SONG Wei-min* (Key Laboratory of Public Health Safety, Ministry of Education, Department of Environmental Health, Fudan University, Shanghai 200032, China). *Address correspondence to SONG Wei-min; E-mail: wmsong@shmu.edu.cn

Abstract: [Objective] To investigate the status of air quality in Shanghai subway system station so as to provide scientific basis for the establishment of relevant hygiene standards. [Methods] Six representative metro stations were selected. Each subway station was monitored on 4 points at the platform and concourse respectively. The monitoring was conducted three times (morning, noon and evening) a day for 3 continuous days. The monitoring indices included air temperature, relative humidity, wind velocity, noise, respirable particulate matter (PM_{10}), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), formaldehyde, volatile organic compounds (VOC), the total colony forming units of bacteria and fungi. [Results] Average wind velocity $[(0.42 \pm 0.24) \text{ m/s}]$, the concentration of CO_2 $[(0.058 \pm 0.015) \%)$ at the platform was slightly higher than those at the concourse $[(0.30 \pm 0.13) \text{ m/s}]$, $[(0.055 \pm 0.011) \%)$, and significant difference was found between the two, $P < 0.05$. The relative humidity, total number of bacteria and fungi in the morning were higher than those at noon and evening respectively, and significant difference was found between these three groups ($P < 0.05$). The concentration of PM_{10} was significantly lower at noon than those in the morning and evening. The concentration of formaldehyde decreased gradually along with the time, as well as the concentration of VOC. There were negative correlation between the volume of air flow per capita and total number of colony forming units of bacteria, CO_2 , PM_{10} respectively. [Conclusion] The indoor air quality in the subway stations were impacted by fresh air supplement, passenger flow and the service life of the station. Microbial pollution, the concentration of CO_2 and PM_{10} should be stressed as more important indices for assessing the air quality.

Key Words: rail transit; air quality; influencing factors

为缓解城市交通压力, 国内许多大城市已开始大规模发展地铁, 地铁与未来城市生活越来越密切。截至 2010 年 4 月, 上海市已拥有总长约 420 km、11 条线路, 282 座车站、最高日客流 568 万人次的巨大轨道交通网络系统, 成为中国首个地铁运营里程超过 400 km 的城市, 这一地铁网络规模, 已让上海市足

以比肩伦敦、纽约、东京、莫斯科等世界级“地铁大城”。轨道交通系统以其便捷、快速、运量大等特点, 已经成为上海市民出行的主要交通方式。同时, 由于地铁车站空间相对密闭、人员密集、空气流通性较差等环境特点, 使其空气质量状况及影响因素越来越受到人们关注^[1]。本次调查旨在了解上海市轨道交通系统车站空气质量状况, 分析其影响因素, 为制定相关卫生学标准提供科学依据。

[基金项目] 上海市自然科学基金 (编号: 09ZR1402400)

[作者简介] 李丽 (1985—), 女, 硕士生; 研究方向: 环境空气卫生;

E-mail: lilyterrific@gmail.com

[*通信作者] 宋伟民教授, E-mail: wmsong@shmu.edu.cn

[作者单位] 复旦大学公共卫生学院环境卫生教研室, 公共卫生安全教育部重点实验室, 上海 200032

1 材料与方法

1.1 监测布点

按照客流量大小、运行方式及已使用年数等不同特征, 选

择上海市轨道交通系统中 A、B、C、D、E、F 6 个代表性站点, 分别对其站台、站厅进行监测。站台区域为乘客排队等候列车处, 通常位于地下二层或三层; 站厅区域为乘客刷卡进站区, 一般位于地下一层。其中 A、C 两站客流量相对较大, 已使用年数也最多。B、E 两站运行方式为轻轨, 未安装屏蔽门, 站台空气直接与室外大气相通; 其余四站(A、C、D、F)均为地下站点。各监测点监测时轨道交通均处于正常运营状态, 且不影响乘客活动。根据《公共场所卫生监测技术规范》(GB/T 17220—1998)^[2]的要求, 采用平行布点法, 按照每个车站站台、站厅面积分别布点, 避开人流通风道、空调风口、门窗等, 并距离墙壁 1 m 左右。采样高度为人群呼吸带范围(距地面 1.2~1.5 m)。所选站台、站厅的面积均大于 200 m², 每一站台或站厅各设 4 个监测点。其中, A 站包括 3 个含站台、站厅的换乘大厅和 1 个不含站台的换乘区, 共设 28 个监测点; 其余各站均设 8 个监测点。每项污染物指标平行监测 3 次, 连续 3 个工作日, 每日 3 个时段, 结果取平均值。

1.2 监测时间

所选 6 个车站, 于 2009 年 5 月中旬连续监测 3 个工作日, 每日监测 3 个时段, 包括早晚高峰时段, 分别为 7:00—9:00, 11:00—13:00, 17:00—19:00。

1.3 监测指标及仪器

选择微小气候(包括温度、相对湿度、平均风速)、新风量和空气污染物指标[包括一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、可吸入颗粒物(PM₁₀)、细菌总数、溶血性链球菌、真菌总数、甲醛、总挥发性有机物(VOC)和噪声]等 13 项指标作为地铁车站空气质量状况的评价指标。参考标准为《公共交通等候室卫生标准》(GB 9672—1996)^[3]。VOC 参考《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)^[4]。真菌浓度暂无相应标准。

CO₂、CO、温度、相对湿度 4 个指标, 采用 TSI-7545 型便携式直读仪(美国 TSI 公司)进行监测, 最低分辨率分别为 1 ppm(本研究中 ppm 表示 10⁶ 体积的空气中所含监测指标的体积数, 全文同)、0.1 ppm、0.1℃和 0.1%。PM₁₀ 采用 TSI-AM-510 型个体粉尘仪(美国 TSI 公司)进行监测, 最低分辨率为 0.001 mg/m³。空气甲醛采用 htv-4 型甲醛分析仪(英国 PPM 公司), 分辨率为

0.01 ppm。VOC 采用 ppbRAE Plus VOC 分析仪(美国华瑞集团), 监测范围为 1 ppb~2000 ppm。为方便与标准比较, 将监测值单位换算为与标准参考值单位相一致。公式为: 质量浓度(mg/m³)=M/22.4×ppm 值×[273/(273+T)]×(Ba/101 325)。式中, M 为气体相对分子量, T 为气体温度, Ba 为气压。VOC 质量浓度以地下场所中含量最高的乙苯的相对分子量进行换算。CO₂ 浓度(%)=ppm 值×10⁻⁶×100。微生物指标采用暴皿法监测, 每个监测点平行监测 3 次, 每次暴皿 5 min(培养皿直径 9 cm), 细菌菌落和溶血性链球菌分别选用普通营养琼脂培养基和血琼脂培养基, 样品于 37℃培养 24 h 后进行菌落计数。真菌选用沙氏琼脂培养基培养, 样品于 28℃、相对湿度为 85% 的真菌培养箱中培养 3~5 d, 并记录菌落总数。平均风速采用 KA22 型热式风速仪(日本加野公司)进行监测, 范围 0~4.99 m/s, 分辨率为 0.01 m/s。噪声采用 HS-5633 型数字声级计进行监测, 范围 40~130 dB(A)。新风量按照《公共场所集中空调通风系统卫生规范》^[5]附录 B 中的风速计法, 在通风系统处于正常运行或规定的工况条件下, 通过测量新风管某一断面的面积及该断面的平均风速, 计算出该断面的新风量。如果一套系统有多个新风管, 每个新风管均要测定风量, 全部新风管风量之和即为该套系统的总新风量(m³/h), 根据系统服务区域内的人数, 便可得出人均新风量结果[m³/(人·h)]。

1.4 统计学分析

数据采用 Excel 2003 录入, 使用 SPSS 11.5 统计软件对数据进行 *t* 检验、单因素方差分析、Person 相关分析, 两两比较采用 Students-Newman-Keuls 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 各指标监测结果

6 个地铁车站相对湿度、温度、细菌总数、真菌总数、CO、CO₂、VOC、甲醛、PM₁₀、噪声等监测指标的监测均值符合相关卫生标准的要求, 仅有 B、E 两站的风速监测均值未达到卫生标准要求, 超标率分别为 37.5%、50.0%; A、E 两站噪声超标率分别为 7.1%、4.2%。见表 1。

表 1 6 个车站空气质量监测结果($\bar{x} \pm s$)

Table 1 The results of air quality in the six stations

监测指标(Monitored indices)	A 站(n=756)	B 站(n=216)	C 站(n=216)	D 站(n=216)	E 站(n=216)	F 站(n=216)	参考标准(Reference)
相对湿度(Relative humidity, %)	56.14 ± 4.71	58.29 ± 1.87	55.60 ± 3.09	55.36 ± 1.66	56.91 ± 5.19	54.05 ± 3.78	40~80
温度(Temperature, ℃)	25.00 ± 1.00	24.10 ± 0.70	26.30 ± 0.50	25.6 ± 0.50	24.20 ± 1.20	25.90 ± 0.40	24~28
风速(Wind velocity, m/s)	0.29 ± 0.12	0.51 ± 0.32	0.29 ± 0.09	0.37 ± 0.16	0.55 ± 0.26	0.29 ± 0.07	≤ 0.5
细菌总数(个/皿)(Bacterial, colony/plate)	28.10 ± 15.10	16.70 ± 10.30	20.90 ± 11.80	19.10 ± 12.00	22.60 ± 11.40	17.80 ± 17.00	≤ 75
真菌总数(个/皿)(Fungi, colony/plate)	7.80 ± 5.70	16.80 ± 6.10	21.70 ± 7.80	14.10 ± 7.10	28.30 ± 8.70	10.80 ± 3.30	—
噪声[Noise, dB(A)]	61.00 ± 5.20	58.25 ± 3.70	59.70 ± 2.80	55.10 ± 2.00	62.40 ± 3.00	59.40 ± 4.70	≤ 70
CO(mg/m ³)	0.68 ± 0.26	0.54 ± 0.17	1.18 ± 0.46	0.68 ± 0.23	0.59 ± 0.18	0.92 ± 0.46	≤ 10
CO ₂ (%)	0.047 ± 0.004	0.047 ± 0.005	0.061 ± 0.080	0.053 ± 0.004	0.045 ± 0.003	0.049 ± 0.002	≤ 0.15
VOC(mg/m ³)	0.048 ± 0.010	0.031 ± 0.009	0.065 ± 0.020	0.045 ± 0.018	0.032 ± 0.010	0.039 ± 0.012	≤ 0.6
甲醛(Formaldehyde, mg/m ³)	0.010 ± 0.005	0.003 ± 0.004	0.008 ± 0.004	0.007 ± 0.004	0.004 ± 0.003	0.004 ± 0.003	≤ 0.12
PM ₁₀ (mg/m ³)	0.09 ± 0.03	0.11 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.03	≤ 0.25

2.2 站台、站厅监测结果的比较

站台风速、CO₂ 的监测均值高于站厅, 差异有统计学意

义($P<0.05$), 其余指标差异均未见统计学意义($P>0.05$), 见表 2。

表 2 地铁站台、站厅空气质量监测结果($\bar{x} \pm s$)
Table 2 The results of air quality in platform and lobbies

监测指标 (Monitored indices)	站台 (Platforms) (n=864)	站厅 (Obbies) (n=972)	t	P
风速 (Wind velocity, m/s)	0.42 ± 0.24	0.30 ± 0.13	4.197	<0.05
相对湿度 (Relative humidity, %)	57.33 ± 3.35	58.88 ± 4.38	-1.347	>0.05
温度 (Temperature, ℃)	25.30 ± 1.00	25.20 ± 1.00	0.231	>0.05
细菌总数 (个/皿) Bacteria (colony/plate)	24.00 ± 14.00	22.20 ± 14.80	0.851	>0.05
真菌总数 (个/皿) Fungi (colony/plate)	15.20 ± 9.70	13.80 ± 9.20	1.12	>0.05
噪声 [Noise, dB (A)]	60.18 ± 4.50	59.76 ± 3.10	0.472	>0.05
CO (mg/m ³)	0.62 ± 0.26	0.65 ± 0.26	-0.492	>0.05
CO ₂ (%)	0.058 ± 0.015	0.055 ± 0.011	2.744	<0.05
VOC (mg/m ³)	0.052 ± 0.018	0.050 ± 0.017	1.079	>0.05
甲醛 (Formaldehyde, mg/m ³)	0.007 ± 0.005	0.007 ± 0.005	1.111	>0.05
PM ₁₀ (mg/m ³)	0.117 ± 0.054	0.108 ± 0.052	0.453	>0.05

2.3 不同时段监测结果的比较

经单因素方差分析及 S-N-K 检验, 上午时段的相对湿度、细菌总数、真菌总数监测均值高于中午、下午时段, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。中午时段的 PM₁₀ 监测均值低于上午、下午时段。上午时段的温度监测均值低于中午、下午时段, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。甲醛、VOC 浓度 3 个时段的监测均值依次降低, 两两比较差异均有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 3。

表 3 不同时段车站空气质量监测结果($\bar{x} \pm s$)

监测指标 Monitored indices	7:00-9:00 (n=612)	11:00-13:00 (n=612)	17:00-19:00 (n=612)	P
风速 (Wind velocity, m/s)	0.34 ± 0.18	0.35 ± 0.23	0.18 ± 0.22	>0.05
相对湿度 Relative humidity (%)	57.55 ± 3.28*	56.21 ± 3.55	56.03 ± 5.49	<0.05
温度 (Temperature, ℃)	24.80 ± 1.20*	25.30 ± 0.90	25.30 ± 1.20	<0.05
细菌总数 (个/皿) Bacteria (colony/plate)	29.40 ± 16.00*	18.80 ± 13.20	20.80 ± 11.20	<0.05
真菌总数 (个/皿) Fungi (colony/plate)	17.60 ± 10.60*	12.00 ± 8.30	12.40 ± 8.20	<0.05
噪声 [Noise, dB (A)]	60.48 ± 5.20	58.68 ± 4.50	59.55 ± 4.60	<0.05
CO ₂ (%)	0.057 ± 0.015	0.054 ± 0.009	0.058 ± 0.014	>0.05
CO (mg/m ³)	0.078 ± 0.300	0.072 ± 0.360	0.072 ± 0.430	>0.05
甲醛 (Formaldehyde, mg/m ³)	0.011 ± 0.005*	0.006 ± 0.003*	0.005 ± 0.004	<0.05
VOC (mg/m ³)	0.052 ± 0.012*	0.044 ± 0.011*	0.036 ± 0.012	<0.05
PM ₁₀ (mg/m ³)	0.223 ± 0.040	0.120 ± 0.050*	0.210 ± 0.050	<0.05

[注]*: 与其他两个时段相比 (Compared with the other periods), $P<0.05$ 。

2.4 地下车站与轻轨地面站空气质量监测结果比较

经统计学分析, 地下车站的温度、VOC 浓度明显高于地面车站, 而风速明显低于地面车站, 见表 4。

2.5 人均新风量与各空气质量指标之间相关性分析

A 站包括了 1 号线、2 号线、8 号线三条轨道交通运输线路的换乘大厅, 分别表示为 A1、A2、A8。B 站和 E 站均为地面站, 大厅与室外相通, 无新风系统, 因此这两个站并未有新风量数据。对各站人均新风量与各空气质量指标作 Pearson 相关分析, 人均新风量与细菌总量、真菌总数、CO₂ 和 PM₁₀ 均呈负相关关系, 见表 5。

表 4 地下车站与轻轨地面站空气质量监测结果($\bar{x} \pm s$)

监测指标 Monitored indices	地下站 (n=1404) Underground	地面站 (n=432) Ground	t	P
温度 (Temperature, ℃)	25.75 ± 0.50	24.15 ± 0.07	4.253	0.013
相对湿度 (Relative humidity, %)	55.00 ± 0.81	58.00 ± 1.41	-2.309	0.082
风速 (Wind velocity, m/s)	0.31 ± 0.04	0.53 ± 0.02	-6.789	0.002
细菌总数 (个/皿) Bacteria (colony/plate)	22.60 ± 3.80	16.90 ± 0.30	1.978	0.119
真菌总数 (个/皿) Fungi (colony/plate)	22.40 ± 7.90	16.10 ± 4.70	-1.281	0.270
噪声 [Noise, dB (A)]	58.80 ± 2.50	60.30 ± 2.90	-0.662	0.544
CO (%)	0.86 ± 0.23	0.56 ± 0.04	1.671	0.170
CO ₂ (mg/m ³)	0.053 ± 0.006	0.048 ± 0.001	0.961	0.391
VOC (mg/m ³)	0.055 ± 0.010	0.031 ± 0.001	3.141	0.035
甲醛 (Formaldehyde, mg/m ³)	0.007 ± 0.002	0.004 ± 0.000	1.974	0.120
PM ₁₀ (mg/m ³)	0.160 ± 0.040	0.110 ± 0.007	1.320	0.257

表 5 Pearson 相关性分析

Table 5 Pearson correlation analysis

监测指标 Monitored indices	站点 (Stations)						r*	P
	A1	A2	A8	C	D	F		
客流量 (人次/日) Passengerflow (Person-time/day)	51 996	36 398	15 598	65 938	14 560	13 541	—	—
人均新风量 Air change flow per capita [m ³ /(h·人)]	7.70	34.80	16.60	16.70	12.30	30.50	—	—
细菌总数 (个/皿) Bacteria (colony/plate)	32	17	23	20	19	16	-0.979	0.001
真菌总数 (个/皿) Fungi (colony/plate)	31	11	26	22	24	14	-0.992	0.000
PM ₁₀ (mg/m ³)	0.19	0.05	0.14	0.12	0.15	0.10	-0.950	0.004
CO ₂ (%)	0.077	0.05	0.061	0.056	0.063	0.049	-0.889	0.018

[注]*: 即各站人均新风量与相应各指标之间的相关系数 (The coefficient between the fresh air per capita and corresponding indices)。

3 讨论

轨道交通系统作为相对密闭的特殊环境, 自然通风不足, 通过空调系统调节温、湿度, 不利于空气污染物的稀释; 同时, 又因缺乏日光照射, 人员密集、流动性大等, 更易引起疾病传播。轨道交通系统目前已成为上海市民必不可少的交通方式, 经过多年的发展, 一些车站目前的客流量已经超过建造地铁车站当初的预计客流量, 而车站的空气中某些指标如 CO₂、细菌总数、真菌总数、PM₁₀ 等很容易受到人员活动的影响。地铁站内的 CO₂、CO 主要来源于人的呼吸、香烟烟雾、室外大气污染物等; PM₁₀ 主要来源于人的活动、列车运行扬尘、空调系统、室外颗粒物; 甲醛主要来源于各种装饰使用的黏合剂、隔热材料、清洁剂和通风系统带入的含有该污染的室外大气; 细菌主要来源于人们呼吸、咳嗽形成的飞沫以及通过身体携带进入室内, 通风管道的细菌在大量繁殖后也可经送风进入室内^[1]。

本次调查结果表明, 被监测的 6 个车站微小气候相对较为稳定。CO、CO₂、PM₁₀ 均达到国家卫生标准的要求, 说明按目前的客流量和通风系统能够基本保证良好的空气质量。本次研究结果显示, C 站 CO、CO₂、VOC、PM₁₀ 等指标均略高于其他各站, 可能与此站使用年限长、客流量大、新风量不足等有

关。A、C 两站甲醛浓度均高于其他各站,分别为 0.010 mg/m^3 、 0.008 mg/m^3 。E 站真菌总数及噪声普遍高于其他各站,原因可能是此站为轻轨站,加之刚好处在公路高架桥下面,受室外环境影响较大。在本次监测中,A 站站台空气中 PM_{10} 的浓度范围为 $(0.027 \sim 0.251) \text{ mg/m}^3$,最高浓度超出我国室内空气质量标准中 PM_{10} 的卫生限值 (0.25 mg/m^3);也高于首尔市地铁车站 PM_{10} 最高浓度 (0.207 mg/m^3),而韩国室内空气质量标准中 PM_{10} 的限值为 0.150 mg/m^3 ^[6]。本次监测中,CO 浓度范围为 $(1.76 \sim 15.84) \text{ mg/m}^3$,与 GÓMEZ-PERALES 等^[7]对墨西哥城地铁车站 CO 监测结果相近 ($1.76 \sim 14.08) \text{ mg/m}^3$ 。各站 VOC 监测均值较低,可能是因为地铁车站不容易受外界其他交通工具尾气排放的影响^[8]。由表 2 可知,站台风速高于站厅,主要是受列车驶入、驶出车站产生的活塞风的影响。站台室内 CO_2 浓度高于站厅内浓度,原因是乘客在站台候车、滞留时间较长,且站台往往在地下二层或三层,通风不足,空气中积累的 CO_2 气体得不到很好的扩散稀释。站台室内噪声监测均值高于站厅,主要受到列车行驶、列车车轮与轨道摩擦产生的声音、乘客活动等影响。站台室内 PM_{10} 浓度略高,可能受人流活动和列车行驶产生的地面扬尘及由地面空气通过风井带入隧道内的颗粒物影响。目前所测车站中除两个地面站外均安装了屏蔽门系统,对于缓解列车噪声影响及稳定微小气候都有良好效果^[9]。本研究发现,甲醛、VOC 浓度上午时段高于中午、下午时段,可能是车站夜间关闭,没有足够的通风,不利于甲醛、VOC 等挥发性气体挥发,随着车站一天运营通风,浓度逐渐下降。 PM_{10} 平均值在客流高峰时段相对较高,分别为 (0.223 ± 0.040) 、 $(0.210 \pm 0.050) \text{ mg/m}^3$,明显高于香港地铁车站相应时段 PM_{10} 的平均浓度 (0.044 mg/m^3) ^[10]。 PM_{10} 的监测均值上午时段和下午时段高于中午时段,正好与早晚客流高峰相对应。空气中细菌总数、真菌总数受环境温湿度、人员流动等影响较大,但目前尚未出台真菌总数的卫生标准^[11],这也是以后研究的一个方向。作为空气污染指示菌的溶血性链球菌,其检出率与室内人群密度、空气污染程度及细菌总数有关。监测空气微生物通常用空气中的细菌总数和溶血性链球菌来表征清洁度和潜在的致病性。在公共场所中由于溶血性链球菌存在的数量较少,因此不易检出^[12]。本次调查中未检出溶血性链球菌。在国家标准中采用的是撞击法,规定室内最高容许限值 $\leq 36 \text{ cfu/m}^3$ ^[13],而本次研究采用暴露皿法,结果也可能会受到方法上的影响。本研究显示各站人均新风量与细菌总数、真菌总数、 PM_{10} 及 CO_2 均呈负相关关系。《地铁设计规范》(GB 50157—2003)中对设有空调系统的地铁车站通风系统新风量规定为:每个乘客每小时需供应的新鲜空气量不应少于 12.6 m^3 ^[14],本次调查中 A1 站和 D 站,未达到此要求,分别为 $7.7 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 、 $12.3 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$,也可能是致使这两个车站 CO_2 、 PM_{10} 等指标高于其它车站的重要原因之一。

总体而言,上海市轨道交通空气卫生状况良好,除少数卫生指标监测均值未达到卫生标准外,其余监测指标基本符合卫生标准的要求。但本次监测所参考的卫生标准是否适合轨道交通环境还有待商榷,尽快建立适合轨道交通环境的空气卫生学标准,指导轨道交通建设及运营管理,已迫在眉睫。

参考文献:

- [1] 吴辉,余淑苑,王秀英,等.深圳地铁站空气质量状况分析[J].中国卫生工程学,2008,7(4):206-208.
- [2] 中华人民共和国卫生部.GB/T 17220—1998 公共场所卫生监测技术规范[S].北京:中国标准出版社,1998.
- [3] 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,2005.
- [4] 中华人民共和国卫生部.GB/T 18883—2002 室内空气质量标准[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [5] 中华人民共和国卫生部.公共场所集中空调通风系统卫生规范[R].北京:中国标准出版社,2006.
- [6] PARK DU, HA K C. Characteristics of PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO_2 and CO monitored in interiors and platforms of subway train in Seoul, Korea [J]. Environ Int, 2008, 34(5): 629-634.
- [7] GÓMEZ-PERALES JE, COLVILLE RN, FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ A A, et al. Bus, minibus, metro inter-comparison of commuters' exposure to air pollution in Mexico City [J]. Atmos Environ, 2007, 41(4): 890-901.
- [8] CHAN LY, LAU WL, WANG XM, et al. Preliminary measurements of aromatic VOCs in public transportation modes in Guangzhou, China [J]. Environ Int, 2003, 29(4): 429-435.
- [9] 李涛,张建鹏,陈炳耀,等.广州市轨道交通卫生状况[J].华南预防医学,2006,32(5):54-55.
- [10] CHAN LY, LAU WL, LEE SC, et al. Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong [J]. Atmos Environ, 2002, 36(21): 63-373.
- [11] 阚海东.空气中的真菌毒素[J].国外医学:卫生学分册,1999,26(6):357-360.
- [12] 张松乐.近地面大气微生物本底调查研究进展[J].中国微生态学杂志,1996,8(5):40-44.
- [13] 中华人民共和国卫生部.GB/T 18203—2000 室内空气中溶血性链球菌卫生标准[S].北京:中国标准出版社,2001.
- [14] 刘承东.关于地铁设计规范中空调新风量取值问题的探讨[C]//中国制冷学会 2009 年学术年会论文集.天津:中国制冷学会,2009.

(收稿日期:2010-11-02)

(英文编审:薛寿征;编辑:郭薇薇;校对:洪琪)