

# 某市轨道交通列车车厢 CO<sub>2</sub> 浓度调查及政策建议

杨颖华, 张琳, 张霞, 高剑晖, 侯雪波, 王凯, 苏瑾

上海市疾病预防控制中心, 上海 200336

## 摘要:

**[背景]** CO<sub>2</sub> 是轨道交通列车车厢气态污染物的主要成分, 车厢环境 CO<sub>2</sub> 浓度较高不仅影响乘车舒适性, 而且易造成乘客疲倦、头晕, 甚至呼吸困难。尤其随着轨道交通运营里程不断增加, 乘客在列车车厢内停留时间不断延长, 车厢内 CO<sub>2</sub> 水平更加值得关注。

**[目的]** 了解某市轨道交通列车车厢 CO<sub>2</sub> 浓度现状, 从而提出管控措施建议。

**[方法]** 于 2017 年 9—11 月, 选择某市日客流量达 50 万人次以上的 7 条轨道交通线路 (命名为 A~G 线) 开展列车车厢 CO<sub>2</sub> 浓度监测, 每条线路监测时段包括工作日高峰期 (7:00—9:30 或 17:00—19:00) 和工作日平峰期 (9:30—17:00)。每次监测时间为列车从起点至终点的实际单程运行时间, 于列车行驶进站、开启车门前读取各个监测点的 CO<sub>2</sub> 浓度指示值, 计算瞬时浓度和 1 h 均值浓度。与 GB 37488—2019《公共场所卫生指标及限值要求》CO<sub>2</sub> 瞬时浓度 (≤0.15%) 及中国香港《管理空调公共运输设施内空气质素专业守则——铁路》(简称为《专业守则》) CO<sub>2</sub> 1 h 均值浓度 (卓越级, ≤0.25%) 等限值进行比较, 分析原因并提出政策建议。

**[结果]** 监测的 7 条线路列车车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度中位数为 0.132%, 范围为 0.059%~0.295%; 1 h 均值浓度中位数为 0.152%, 范围为 0.088%~0.204%。符合 GB 37488—2019 要求的车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度监测值样品数占所有样品数的比例为 63.50%, 且所有 1 h 均值浓度监测值均达到《专业守则》卓越级的要求。除 A、B 线路高峰期 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 C 线路高峰期 1 h 均值浓度外, 各线路高峰期车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 1 h 均值浓度中位数均大于 0.15%; 除 F 线路车厢 CO<sub>2</sub> 的 1 h 均值浓度外, 高峰期各线路车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 1 h 均值浓度均高于平峰期 ( $P < 0.05$ )。高峰期车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度符合 GB 37488—2019 的样品数占比达 44.0%, 平峰期车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度符合该要求的样品数占比达 93.0%; 高峰期和平峰期 CO<sub>2</sub> 1 h 均值浓度均达到《专业守则》卓越级的要求。地下运行组车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度中位数 (0.135%) 高于地上运行组 (0.117%) ( $P < 0.05$ )。

**[结论]** 该市目前轨道交通列车车厢 CO<sub>2</sub> 浓度不完全满足 GB 37488—2019《公共场所卫生指标及限值要求》中对 CO<sub>2</sub> 浓度限值的要求, 均可达到《专业守则》卓越级要求。客流量和列车运行环境均影响该市轨道交通列车车厢 CO<sub>2</sub> 水平, 建议采取高峰期客流限制, 调整列车车厢和隧道环境通风能力, 增设在线监测及联动控制装置等 CO<sub>2</sub> 浓度管控措施。

**关键词:** 城市轨道交通; 列车车厢; CO<sub>2</sub> 浓度; 客流量; 运行环境类型

**Investigation on carbon dioxide levels in metro carriages in a city and relevant policy suggestions** YANG Ying-hua, ZHANG Lin, ZHANG Xia, GAO Jian-hui, HOU Xue-bo, WANG Kai, SU Jin (Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China)

## Abstract:

**[Background]** Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is a main component of gaseous pollutants in metro carriages. The high concentration of CO<sub>2</sub> in carriages not only affects comfortability, but also easily tends to cause fatigue, dizziness, and even breathing difficulties for passengers. With the continuous increase of metro operating mileage and the continuous extension of time passengers spend in carriages, the concentration of CO<sub>2</sub> in carriages deserves attention.

**[Objective]** This study investigates the concentration of CO<sub>2</sub> in metro carriages in a city and put forward corresponding control measures.

**[Methods]** From September to November 2017, the concentration of CO<sub>2</sub> were monitored in carriages of seven metro lines (A-G) with a daily passenger flow of more than 500 000 in the selected city in rush hours (7:00-9:30 or 17:00-19:00) and non-rush hours (9:30-17:00) of working days. Each monitoring sample set covered an actual continuous one-way end-to-end running

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19764

## 基金项目

上海市制修订地方标准项目 (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 2019-11-08

录用日期 2020-04-19

文章编号 2095-9982(2020)08-0792-05

中图分类号 R128

文献标志码 A

## ► 引用

杨颖华, 张琳, 张霞, 等. 某市轨道交通列车车厢 CO<sub>2</sub> 浓度调查及政策建议 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (8): 792-796.

## ► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19764

## Funding

This study was funded.

## Correspondence to

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

Competing interests None declared

Received 2019-11-08

Accepted 2020-04-19

## ► To cite

YANG Ying-hua, ZHANG Lin, ZHANG Xia, et al. Investigation on carbon dioxide levels in metro carriages in a city and relevant policy suggestions[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(8): 792-796.

## ► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19764

time of a sampled train. Each CO<sub>2</sub> concentration at monitoring sites was recorded before carriage door open after arriving at a stop. The instantaneous concentration and hourly average concentration of CO<sub>2</sub> were calculated and compared with the national standard *Hygienic indicators and limits for public places* (GB 37488—2019) (CO<sub>2</sub> instantaneous concentration,  $\leq 0.15\%$ ) and Hong Kong's *Practice Note for Managing Air Quality in Air-conditioned Public Transport Facilities—Railways* (*Practice Note*, thereafter; CO<sub>2</sub> hourly average concentration level 1,  $\leq 0.25\%$ ), and then the sources of differences were analyzed and relevant policy suggestions were proposed.

**[Results]** The median of CO<sub>2</sub> instantaneous concentration in carriages of selected seven metro lines was 0.132%, and the range was 0.059%–0.295%; the median of CO<sub>2</sub> hourly average concentration was 0.152%, and the range was 0.088%–0.204%. More than half (63.50%) of the samples met the requirements for CO<sub>2</sub> instantaneous concentration stipulated by GB 37488—2019, and all samples met the requirement for CO<sub>2</sub> hourly average concentration level 1 specified by *Practice Note*. Except the instantaneous concentrations of CO<sub>2</sub> in rush hours of line A and line B and the hourly average concentration of CO<sub>2</sub> in rush hours of line C, the medians of instantaneous concentration and hourly average concentration of CO<sub>2</sub> in rush hours of each line were greater than 0.15%. Except the CO<sub>2</sub> hourly average concentration of line F, the CO<sub>2</sub> instantaneous concentration and hourly average concentration in rush hours of each line were higher than those in non-rush hours ( $P < 0.05$ ). In rush hours, 44.0% of the samples met the requirements for CO<sub>2</sub> instantaneous concentration by GB 37488—2019; in non-rush hours, 93.0% of the samples met the requirements. In rush and non-rush hours, all samples met the requirements for CO<sub>2</sub> hourly average concentration level 1 by *Practice Note*. The median of CO<sub>2</sub> instantaneous concentration in carriages running underground (0.135%) was higher than that in carriages running on the ground (0.117%) ( $P < 0.05$ ).

**[Conclusion]** At present, the concentration of CO<sub>2</sub> in carriages in the selected city does not fully meet the requirements of GB 37488—2019, but fully meet the requirements of *Practice Note* level 1. Both passenger flow and metro running environment affect the concentrations of CO<sub>2</sub> in carriages; therefore, it is suggested to take such CO<sub>2</sub> concentration control measures as peak passenger flow restriction, adjustment of ventilation capacity of carriages and tunnels, and installation of online monitoring and linkage control devices.

**Keywords:** metro; carriage; concentration of CO<sub>2</sub>; passenger flow; metro running environment type

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重要作用。随着轨道交通的客流量和运行里程数的不断增加,列车车厢内空气质量越来越受到关注。CO<sub>2</sub>是列车车厢气态污染物的主要成分,是判断轨道交通室内空气污染程度和通风系统效果的关键参数<sup>[1-3]</sup>。

我国已制定了专门或者通用的轨道交通列车车厢CO<sub>2</sub>浓度标准。我国香港2003年颁布实施*Practice Note for Managing Air Quality in Air-conditioned Public Transport Facilities—Railways*(简称为《专业守则》)<sup>[4]</sup>,对轨道交通列车车厢CO<sub>2</sub>的1h均值浓度设置卓越级(0.25%)和良好级(0.35%)两级限值。我国内地目前日常监管按照GB 37488—2019《公共场所卫生指标及限值要求》<sup>[5]</sup>执行,其中CO<sub>2</sub>浓度标准为瞬时浓度 $\leq 0.15\%$ 。但是,城市轨道交通列车车厢与办公室、商场、传统交通工具(如火车、飞机)等一般公共场所不同,其环境空间相对局限,运行期间门窗封闭,自然通风不足,且高峰时期人员承载密度远大于传统交通工具,导致轨道交通实际运行过程中车厢内易出现CO<sub>2</sub>超标情况。

本调查选择网络规模较大、客流量较大的某市轨道交通作为研究对象,监测其列车车厢CO<sub>2</sub>水平,掌握不同时段(高峰期和平峰期)和运行环境(地上和地下)的CO<sub>2</sub>浓度变化规律,分析达标情况,并提出有针对性的管控措施建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 线路选择和布点

截至开展监测前,该市共开通运营14条城市轨道交通线路。监测线路数量按已开通运营线路数量的50%计算,最终选择7条线路(A~G)开展监测。线路选择原则为日客流量为50万人次以上的较大流量线路。各条线路选择不少于两节且客流量较大的车厢开展监测,每节车厢设置3个检测点,位置选择车厢两端和中间位置。检测点距离地面高度1~1.5m,且避开通风口、通风道等。

### 1.2 监测时间

于2017年9—11月开展列车车厢CO<sub>2</sub>浓度监测。每条线路选择连续2~3个工作日开展高峰期(7:00—9:30或17:00—19:00)监测,1~2个工作日开展平峰期(9:30—17:00)监测。每次监测覆盖列车从起点至终点的单向全程运行时间,并于列车进站、开启车门前读取检测点的指示值。

### 1.3 检测方法和仪器

检测方法和仪器选择依据GB/T 18204.2—2014《公共场所卫生检验方法 第2部分:化学污染物》<sup>[6]</sup>的技术要求进行。检测仪器采用GXH-3010E型便携式红外线CO<sub>2</sub>检测仪(北京市华云分析仪器研究所有限公司,中国),分辨率为0.001%。检测前使用高纯氮气和CO<sub>2</sub>标准气体校准仪器的零点和终点,校准重复2~3次,待仪器处在正常工作状态后开始检测。

## 1.4 浓度计算方法

将与 GB 37488—2019 和《专业守则》相比较, 本研究同时测定 CO<sub>2</sub> 的瞬时浓度和 1h 均值浓度。

瞬时浓度计算方法: 某线路列车行驶进站、开门前所有检测点瞬时指示值的算术平均值。每获取 1 个瞬时浓度值即记录为 1 个瞬时浓度的样本数据。

1h 均值浓度计算方法: 1 个瞬时浓度值与其后 1h 内所有瞬时浓度值累加后计算算术平均值。每获取 1 个 1h 均值浓度值即记录为 1h 均值浓度的样本数据。

## 1.5 统计学分析

采用 Excel 2010 软件进行数据录入和描述性分析, 采用 SPSS 21.0 进行数据统计分析。经 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验, 数据为非正态分布, 采用  $M (P_{25}, P_{75})$  表示, 各线路高峰期和平峰期 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度差异、各线路高峰期和平峰期 CO<sub>2</sub> 的 1h 均值浓度差异、地上运行与地下运行环境车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度差异均采用 Mann-Whitney  $U$  检验进行比较。检验水准  $\alpha=0.05$ , 双侧检验。

## 2 结果

### 2.1 车厢 CO<sub>2</sub> 浓度

**2.1.1 车厢 CO<sub>2</sub> 浓度** 监测的 7 条线路车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度中位数为 0.132%, 范围为 0.059%~0.295%; 1h 均值浓度中位数为 0.152%, 范围为 0.088%~0.204%, 见表 1。

**2.1.2 不同标准下车厢 CO<sub>2</sub> 浓度达标情况** 监测的 7 条线路车厢 CO<sub>2</sub> 浓度符合 GB 37488—2019 要求 (瞬时浓度  $\leq 0.15\%$ ) 的样品数占所有监测样品数的比例为 63.50%, 且所有 1h 均值浓度监测值均达到《专业守则》卓越级要求 (1h 均值浓度  $\leq 0.25\%$ ), 详见表 2。

表 1 各线路车厢 CO<sub>2</sub> 浓度

Table 1 CO<sub>2</sub> concentrations in carriages of each metro line  
单位 (Unit): %

线路	瞬时浓度						1h 均值浓度					
	<i>n</i>	Min	<i>P</i> <sub>25</sub>	<i>M</i>	<i>P</i> <sub>75</sub>	Max	<i>n</i>	Min	<i>P</i> <sub>25</sub>	<i>M</i>	<i>P</i> <sub>75</sub>	Max
A	112	0.068	0.104	0.134	0.169	0.269	24	0.126	0.133	0.143	0.171	0.180
B	120	0.076	0.104	0.122	0.141	0.251	44	0.109	0.118	0.132	0.164	0.189
C	81	0.067	0.110	0.139	0.163	0.234	12	0.129	0.130	0.149	0.152	0.153
D	90	0.073	0.116	0.135	0.194	0.295	21	0.115	0.122	0.182	0.190	0.193
E	104	0.059	0.089	0.132	0.190	0.270	28	0.106	0.111	0.152	0.199	0.204
F	112	0.074	0.124	0.151	0.171	0.210	8	0.115	0.124	0.155	0.165	0.167
G	96	0.059	0.084	0.111	0.169	0.203	21	0.088	0.090	0.155	0.159	0.163
总计	715	0.059	0.104	0.132	0.167	0.295	158	0.088	0.122	0.152	0.178	0.204

表 2 不同标准下车厢 CO<sub>2</sub> 浓度达标率

Table 2 Qualified rates of CO<sub>2</sub> concentrations in carriages of each metro line by different standards

线路	GB 37488—2019《公共场所卫生指标及限值要求》 <sup>a</sup>			《专业守则》卓越级 <sup>b</sup>		
	监测次数	达标次数	达标率/%	监测次数	达标次数	达标率/%
A	112	69	61.61	24	24	100
B	120	101	84.20	44	44	100
C	81	45	55.60	12	12	100
D	90	56	62.20	21	21	100
E	104	68	65.40	28	28	100
F	112	55	49.10	8	8	100
G	96	60	62.50	21	21	100
合计	715	454	63.50	158	158	100

[注] a: CO<sub>2</sub> 浓度限值标准为瞬时浓度  $\leq 0.15\%$ 。b: CO<sub>2</sub> 浓度限值标准为 1h 均值浓度  $\leq 0.25\%$ 。

### 2.2 不同监测时段车厢 CO<sub>2</sub> 浓度

**2.2.1 高峰期和平峰期车厢 CO<sub>2</sub> 浓度水平** 除 A、B 线路高峰期 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 C 线路高峰期 1h 均值浓度外, 各线路高峰期车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 1h 均值浓度中位数均大于 0.15%, 见表 3。除 F 线路车厢 1h 均值浓度外, 高峰期各线路车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 1h 均值浓度均高于平峰期 ( $P < 0.05$ )。

表 3 不同采样时段的车厢 CO<sub>2</sub> 浓度

Table 3 CO<sub>2</sub> concentrations in carriages of each metro line in different sampling time  
单位 (Unit): %

线路	瞬时浓度						1h 均值浓度					
	高峰期 ( <i>n</i> =430)			平峰期 ( <i>n</i> =285)			高峰期 ( <i>n</i> =90)			平峰期 ( <i>n</i> =68)		
	<i>P</i> <sub>25</sub>	<i>M</i>	<i>P</i> <sub>75</sub>									
A	0.102	0.150	0.205	0.104	0.130*	0.153	0.142	0.167	0.178	0.132	0.137*	0.144
B	0.109	0.135	0.162	0.101	0.117*	0.127	0.135	0.155	0.185	0.113	0.120*	0.130
C	0.108	0.156	0.169	0.112	0.133*	0.139	0.149	0.150	0.152	0.129	0.130*	0.130
D	0.125	0.169	0.225	0.097	0.120*	0.128	0.182	0.188	0.190	0.118	0.121*	0.122
E	0.133	0.188	0.228	0.081	0.108*	0.132	0.190	0.199	0.202	0.110	0.111*	0.120
F	0.136	0.161	0.175	0.098	0.122*	0.128	0.150	0.160	0.167	0.115	0.116	0.116
G	0.102	0.156	0.177	0.071	0.086*	0.098	0.150	0.152	0.162	0.089	0.089*	0.090

[注] \*: 与高峰期相比,  $P < 0.05$ 。高峰期: 7:00—9:30 或 17:00—19:00; 平峰期: 9:30—17:00。

**2.2.2 高峰期和平峰期车厢 CO<sub>2</sub> 浓度达标情况** 高峰期车厢 CO<sub>2</sub> 浓度符合 GB 37488—2019《公共场所卫生指标及限值要求》(瞬时值≤0.15%) 的样品比例达 44.0%，平峰期车厢 CO<sub>2</sub> 浓度符合该要求的样品比例达 93.0%，且高峰期和平峰期车厢 CO<sub>2</sub> 1h 均值浓度均达到《专业守则》卓越级要求 (≤0.25%)，见表 4。

**表 4 不同标准下高峰期和平峰期车厢 CO<sub>2</sub> 浓度达标率**  
Table 4 Qualified rates of CO<sub>2</sub> concentrations in carriages in rush hours and non-rush hours by different standards

分组	GB 37488—2019《公共场所卫生指标及限值要求》 <sup>a</sup>			《专业守则》卓越级 <sup>b</sup>		
	监测次数	达标次数	达标率/%	监测次数	达标次数	达标率/%
高峰期	430	189	44.0	90	90	100
平峰期	285	265	93.0	68	68	100
合计	715	454	63.5	158	158	100

[注] a : CO<sub>2</sub> 浓度限值标准为瞬时浓度≤0.15%。b : CO<sub>2</sub> 浓度限值标准为 1h 均值浓度≤0.25%。

### 2.3 不同运行环境的车厢 CO<sub>2</sub> 浓度

将监测数据按照采样时不同列车运行环境分为地下运行组和地上运行组，两组车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度见表 5。地下运行组车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度中位数 (0.135%) 高于地上运行组 (0.117%) ( $P < 0.05$ )。

**表 5 不同运行环境的车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度**  
Table 5 CO<sub>2</sub> instantaneous concentrations in carriages of each metro line in different running environment 单位 (Unit) : %

线路	地下运行组 (n=542)			地上运行组 (n=173)		
	P <sub>25</sub>	M	P <sub>75</sub>	P <sub>25</sub>	M	P <sub>75</sub>
A	0.133	0.155	0.182	0.085	0.100	0.124
B	0.107	0.124	0.144	0.095	0.101	0.188
C	—	—	—	0.110	0.139	0.163
D	0.118	0.135	0.208	0.099	0.125	0.159
E	0.097	0.133	0.192	0.085	0.102	0.158
F	0.124	0.151	0.171	—	—	—
G	0.084	0.111	0.169	—	—	—
总计	0.109	0.135	0.171	0.095	0.117*	0.156

[注] \* : 与地下运行组相比,  $P < 0.05$ 。— : 该线路无此类运行环境。

## 3 讨论

我国国家市场监督管理总局于 2019 年发布了 GB 37488—2019 限值要求<sup>[5]</sup>，公共交通工具室内 CO<sub>2</sub> 浓度要求瞬时浓度不大于 0.15%；2003 年颁布实施的中国香港《专业守则》规定地铁列车车厢 CO<sub>2</sub> 的 1h 均值浓度分别为 0.25% (卓越级) 和 0.35% (良好级)<sup>[4]</sup>。对比上述两个标准，本次调查的 7 条轨道交通线路列车

车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度监测数据中符合 GB 37488—2019 要求的样品数占比达 63.50%，其中 56.0% 的高峰期瞬时监测数据未达到该标准要求。1h 均值浓度均可达到《专业守则》的卓越级要求 (1h 均值浓度不大于 0.25%)。刘冰玉<sup>[7]</sup>、黄锦叙<sup>[8]</sup> 和 Zheng 等<sup>[9]</sup> 分别对北京、广州和香港地铁列车车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度开展监测，结果与本研究类似。综上所述，该市轨道交通列车车厢 CO<sub>2</sub> 浓度可达到《专业守则》的卓越级要求，但尚未在全运行时段达到 GB 37488—2019 要求，该市在轨道交通车厢 CO<sub>2</sub> 浓度水平的控制上应进一步采取措施。

从高峰期和平峰期对比来看，本次调查中大部分车厢高峰期 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度和 1h 均值浓度明显高于平峰期 ( $P < 0.05$ )。其原因是轨道交通列车车厢中 CO<sub>2</sub> 主要来自乘客呼吸<sup>[2, 7]</sup>，运行高峰期时，列车车厢客流量较大，CO<sub>2</sub> 发生量较平峰期高。Li 等<sup>[10]</sup> 对北京地铁 13 号线进行环境监测，发现 CO<sub>2</sub> 浓度在客流高峰期高于非高峰期，且 CO<sub>2</sub> 浓度与客流量呈正相关关系。Zheng 等<sup>[9]</sup> 通过对中国香港地铁环境监测发现，CO<sub>2</sub> 浓度水平和客流量呈正相关，相关系数高达 0.834。这个结果和 Cheng 等<sup>[11]</sup> 在中国台北的研究结果相类似。目前城市轨道交通作为该市上班族出行的重要交通工具，高峰期客流量集中在 7:00—9:30 和 17:00—19:00，导致这两个时间段的客流量较平峰期大，造成了列车车厢内高峰期 CO<sub>2</sub> 水平飙升，这与前述高峰期和平峰期的监测结果是一致的。因此有效识别高峰期并做好客流量控制是控制车厢内 CO<sub>2</sub> 浓度的重要措施。

本研究中 1h 均值浓度为连续监测 1h 内所有瞬时浓度值的算术平均值。本研究开展的监测是在列车正常运行状态下进行的，即列车动态运行过程中因建筑结构设置差异，车厢有时为地上运行，有时为地下运行，大部分线路不满足地上或地下连续运行时间达到 1h。另外，对于 C、F、G 三条线路为全地上或全地下运行，单条线路无法同时计算地上运行组和地下运行组的 1h 均值浓度。故本研究中仅计算不同运行环境中的车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度。

本研究发现列车的运行环境影响车厢 CO<sub>2</sub> 浓度水平，数据显示地下运行组车厢 CO<sub>2</sub> 瞬时浓度高于地上运行组 ( $P < 0.05$ )。尚闽等<sup>[12]</sup> 在基于室内 CO<sub>2</sub> 浓度标准值的临界新风量研究中发现，室内的 CO<sub>2</sub> 浓度与室外 CO<sub>2</sub> 浓度呈正相关，与新风量呈负相关。地下运行组和地上运行组的车厢 CO<sub>2</sub> 浓度差异可能有两方面

原因,一方面是列车在地下运行时车厢获得的新风来源于隧道环境,同时车厢内污浊空气也排放入隧道环境,如隧道环境本身通风不足,空气质量往往会劣于室外大气;另一方面,隧道环境空间狭小且相对封闭,列车在隧道内运行中产生负压,使得新风进入列车比较困难。因此,本次调查的7条轨道交通线路在地下运行时其隧道环境通风能力和列车通风能力应加以改善。

根据上述分析,提出如下建议,一是在限制列车客流量方面采取措施,如客流高峰期采取进站人员限流,调配增加列车班次等;二是在列车运行的地下隧道段采取措施,如加强隧道环境主动通风能力,增大列车在隧道运行期间的通风能力;三是从列车车辆制造方、运营方入手,更新空气质量监测和调节技术能力,普及CO<sub>2</sub>浓度变化在线监测系统,结合大数据、云计算等方式实现全运行时段、全运行环境的空气质量精细控制。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 刘建国, 刘洋. 室内空气中CO<sub>2</sub>的评价作用与评价标准 [J]. 环境与健康杂志, 2005, 22 (4) : 303-305.
- [3] 陶红歌. 地铁车厢送风系统性能优化及车厢内CO<sub>2</sub>扩散规律研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [4] Practice Note for Managing Air Quality in Air-conditioned Public Transport Facilities [A/OL]. [2019-11-08]. [https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/resources\\_pub/publications/files/pn03\\_2.pdf](https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/resources_pub/publications/files/pn03_2.pdf).
- [5] 公共场所卫生指标及限值要求: GB 37488—2019 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [6] 公共场所卫生检验方法 第2部分: 化学污染物: GB/T 18204.2—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [7] 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.
- [8] 黄锦叙, 张建鹏, 潘尚霞, 等. 客流量和室外环境对地铁空气质量的影响 [J]. 环境卫生学杂志, 2015, 5 (3) : 252-256.
- [9] ZHENG HL, DENG WJ, CHENG Y, et al. Characteristics of PM<sub>2.5</sub>, CO<sub>2</sub> and particle-number concentration in mass transit railway carriages in Hong Kong [J]. Environ Geochem Health, 2017, 39 (4) : 739-750.
- [10] LI TT, BAI YH, LIU ZR, et al. Air quality in passenger cars of the ground railway transit system in Beijing, China [J]. Sci Total Environ, 2006, 367 (1) : 89-95.
- [11] CHENG YH, YAN JW. Comparisons of particulate matter, CO, and CO<sub>2</sub> levels in underground and ground-level stations in the Taipei mass rapid transit system [J]. Atmos Environ, 2011, 45 (28) : 4882-4891.
- [12] 尚闽, 况彩菱, 肖大乔, 等. 基于室内CO<sub>2</sub>浓度标准值的临界新风量研究 [J]. 环境与健康杂志, 2016, 33 (7) : 617-621.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)