

上海市典型综合型地下空间空气污染特征分析

徐毓泽,张丽,李碧霞,刘海超,董耀华,董丽华

(上海海事大学海洋材料科学与工程研究院,上海 201306)

摘要:对上海市某综合型城市地下空间空气进行采样、监测,得到CO₂、TVOC、甲醛、微生物、PM₁₀、PM_{2.5}等6类污染物的特征分布,基于国内外不同的空气质量标准作分析比较。结果表明,该典型综合型地下空间的空气污染情况较普遍,其中甲醛、TVOC污染较为突出,平均浓度超标倍数分别为1.056倍、3.755倍;共发现9种潜在致病菌属,占总数的0.893%。地下空间污染物的累积与内部建筑的设计、装修、功能属性、空调系统等众多因素有关。

关键词: 污染物;污染特征;城市地下生活空间;室内空气;上海

中图分类号:X508

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)01-0060-04

Study on Air Pollution Characteristics of Typical Comprehensive Underground Space in Shanghai

XU Yu-ze, ZHANG Li, LI Bi-xia, LIU Hai-chao, DONG Yao-hua, DONG Li-hua

(Institute of Marine Materials Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The distribution of six types of pollutants including CO₂, TVOC, HCHO, microbes, PM₁₀, PM_{2.5} were studied by collecting and monitoring the air in a comprehensive underground space in Shanghai. Compared with domestic and foreign air quality standards, the air quality in this comprehensive underground space was generally polluted, HCHO and TVOC pollution were severe, the exceeding rate of the average concentration were 1.056, 3.755, respectively. Nine potential pathogenic bacteria genera were identified, accounting for 0.893% of the total. The accumulation of pollutants in the underground space was affected by architectural design, decoration, functional properties and air conditioning system inside the building.

Key words: Pollutants; Pollution characteristics; Urban underground living space; Indoor air; Shanghai

城市地下空间因其建筑结构相对封闭、污染源较多且地处繁华地区^[1-2],故内部积累了大量污染物及有害物,如二氧化碳、总挥发性有机化合物(TVOC)、甲醛(TVOC主要代表物)、微生物、可吸入颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})等,且地下空间人员密度较大,会有大量的热量和湿量散发,导致地下空间空气环境恶化,对人群的安全与健康造成一定威胁,致使人们对地下空间多有负面评价,直接影响地下空间经济效益。我国多个城市、地区多种地下空间污染物测定结果表明,针对单一种类、中小型综合地下空间污染分布现状、特征、成因已有一定结论^[1]。然而,针对污染源种类多,环境更为复杂的面积超过100万m²的大型综合型地下空间污染特征研究较少。

今对已建成的上海市某典型综合型地下空间空气环境进行CO₂、TVOC、甲醛、微生物、PM₁₀、PM_{2.5}等6类污染物监测,对比国内外标准,总结污染物来源与特点,明确其空气环境现状,为之后制定相关标准及研发相应处理装置提供理论帮助。

1 调研方法及内容

1.1 调研地点

调研地点为上海市某典型综合型地下空间,其

收稿日期:2018-11-12;修订日期:2019-11-13

基金项目:上海市科技创新行动计划基金资助项目(16DZ1200304)

作者简介:徐毓泽(1992—),男,山西临汾人,博士生,研究方向为环境净化高级氧化技术。

综合地下商场、地下车库、地铁站、地下走廊、地下能源中心、市政综合管沟、建设设备用房为一体,四周由各种娱乐中心、会议中心、展览中心围绕,是集零售、餐饮、娱乐、休闲、文化、展示于一体的全天候、一站式消费服务的商业综合体,是上海市极具代表性的综合型地下空间。根据前期调研情况,选取该地下空间综合体商业核心区域商业走廊(以下简称地下商业线)、地下车库、设备机房进行调研监测。地下商业线与地铁站平顺衔接,交通状况良好,人流量大,周边设置有数量较多的地下空间各类建设设备用房,可用于扩大数据覆盖面积,降低误差。地下车库部分与其平行。

1.2 调研标准及方法

我国现今还没有针对地下生活空间空气环境状况监测或验收的规范,考虑监测地点是地下空间,兼具商业民用建筑及人防作用,故监测方法及监测点布置参照《人防工程平时使用环境卫生要求》(GB/T 17216—2012)^[3]《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2013)^[4]。

调研时间为 2017 年 7 月 10 日—7 月 25 日,历时两周,共两轮。地下商业线、车库分别设立监测点 78 个,主要沿人行通道、车行通道进行布点;各类设备机房分别选取 3~5 个,不同设备房按面积增减监测点。采样点高度选取人的呼吸范围内(离地面 1.5 m),同时监测点选取应避开通风道和通风口。

现将该地下商业线按照实际建筑地理分布情况从左至右依次分为 7 个区域监测(见图 1),监测区域均与外界大气连接,故可视各监测区域之间相互独立。根据现场情况选取与行人游客接近、相对长时间处于常开状态、人流较大的设备用房。

监测于每日的早(7:00)、中(12:00)、晚(17:00)开始,分别监测 2 h~3 h(该地下空间营业时间为 10:00—22:00,日均客流量约 7~10 万人次,数据由该地下空间工作人员提供),监测区域温度为(24±1)℃,湿度为(75±5)%,测量时间间隔为 3 min,在不同监测点位上进行移动等时采样,每天总采样时间为 8 h~9 h。共得到数据 2 649 个,整理、提取数据,以图表形式分别给出 CO₂、甲醛、TVOC、微生物、PM₁₀、PM_{2.5} 监测结果。

1.3 监测仪器

TVOC 监测选取美国华瑞 PGM-7340VOC 型检测仪;甲醛监测选取英国 PPM 公司 Formaldemeter 400 型手持式甲醛检测仪;微生物定量选取

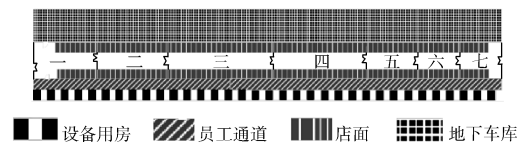


图 1 地下商业线平面示意

Fig. 1 Underground commercial plan

FKC-1 型浮游空气尘菌采样器;微生物定性选取 KC-6120 型综合大气采样器采样、Illumina PE250/300 型高通量测序平台进行多样性测序;颗粒物监测选取 PC-3A 型便携式激光可吸入粉尘连续测试仪;CO₂ 监测选取湖南日科手持泵吸式气体检测仪。

2 结果与讨论

2.1 污染物分布结果

将监测数据以“均值”连线的方式给出各污染物浓度于各监测区域随时间变化图,以“均值±误差”的形式给出各污染物浓度于各监测区域误差条形图,并对比国内外标准^[3,5-7],地下商业线 CO₂ 体积分数随时间变化,地下商业线甲醛质量浓度随时间变化,地下商业线 TVOC 质量浓度随时间变化,地下商业线微生物质量浓度误差条形图,地下商业线 CO₂ 体积分数误差条形图,地下商业线甲醛质量浓度误差条形图,地下商业线 TVOC 质量浓度误差条形图,地下商业线 PM_{2.5}、PM₁₀ 质量浓度误差条形图分别见图 2(a)~(h) 和表 1。

2.2 地下空间空气污染特征分析

2.2.1 地下商业线

调研结果显示,CO₂ 的体积分数在国家标准线及中国香港地区卓越标准线附近,在极个别个人流高峰期及人群聚集地有超标现象;在餐饮区域周围有所上升;在车库与商场连接处有微弱提升。据现场调研及分析,CO₂ 的来源为代谢过程、燃烧装置(餐饮)、车库流入。

甲醛是 TVOC 的主要代表物,如图 2(b) 和图 2(f) 所示,第三区域完全超标,除第二区域,其他区域最大值均超中国国家标准;对比中国香港地区卓越标准,近乎全面超标。

据现场调研,该地下空间装修店面较多,处于第三区域的店面商品多含甲醛,且靠近设备房周边监测点甲醛含量明显上升。故甲醛主要来源于各种建筑材料、设备房流入及各种商品。TVOC 浓度

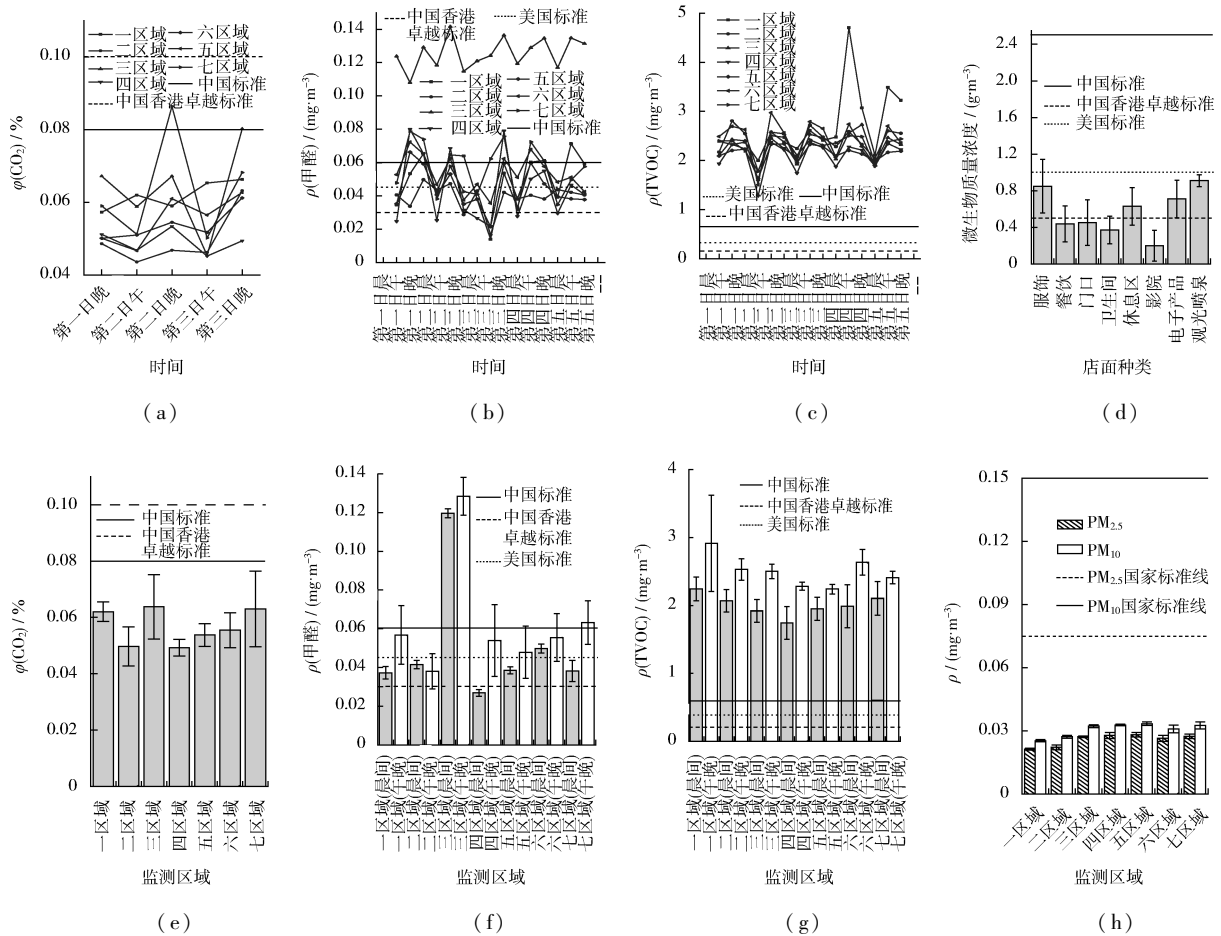


图 2 地下商业线污染物测定结果

Fig. 2 Measurement results of pollutants in underground industrial line

表 1 地下车库及各类设备房各种污染物测定均值

Table 1 Pollutant concentration of underground garage and equipment room

污染物	车库 7 大区域							设备房					室外
	一区域	二区域	三区域	四区域	五区域	六区域	七区域	空调机房	油水分离房	污水处理房	员工休息室	员工通道	
甲醛	0.099	0.098	0.096	0.093	0.086	0.093	0.079	0.116	0.227	0.200	0.058	0.080	0
CO ₂ ^①	0.117	0.118	0.119	0.124	0.121	0.116	0.108	0.058	0.068	0.063	0.051	0.042	0.032
TVOC	3.47	4.27	4.01	4.39	4.03	4.08	3.78	2.67	3.50	6.42	2.44	1.89	0.05
PM ₁₀	0.174	0.164	0.121	0.112	0.151	0.162	0.130	0.033	0.117	0.137	0.138	0.047	0.041

①体积分数, %。

与人流量呈正相关,在非营业时间普遍超标,人流较大的日间及晚间 TVOC(最大值)、TVOC(平均值)超标 2~6 倍。TVOC 多数为从材料中释放出来,包括苯、甲苯、对二甲苯、间二甲苯、邻二甲苯、乙苯等,无论合成的还是天然的有机化合物的排放物都是在室温下以气体的形式从材料和产品中释放,其来源包括家具、油漆、填料、木制品等。

监测所得微生物浓度对比我国标准,均未发现

超标情况,对比美国 ASHRAE 标准、中国香港地区卓越标准,存在部分监测点超标情况,部分人流较大时刻超出 2 倍以上。一般室内气源性微生物或生物性物质包括病毒、细菌、真菌等。其中最常见的是细菌,致病性细菌包括大肠杆菌、溶血链球菌、沙门氏菌、假单胞杆菌、军团菌及结核菌等。根据实地调研,该地下商场在夏季炎热时会开启制冷空调系统,多有市民来乘凉,交叉呼吸会增大感染率。

选取人流量较大点采集微生物气溶胶进行多样性分析(样本送往上海美吉生物医药科技有限公司检测)。调研共获得395个潜在病原体序列,占总序列44 227的0.893%,以及嗜水气单胞菌等9种潜在致病性菌。地下空间微生物环境较为复杂,存在较大的病原性微生物污染爆发的隐患。室内悬浮颗粒物主要来源分为室内和室外,其中室外为主要来源,占比达54%~90%^[8]。根据上述调研结果,地下商业走廊较为封闭,其悬浮颗粒物主要源于地下车库、设备用房、人体带入、室外流入4种,相对地上空间,来源较广、更复杂。由图2(h)可知,地下商业线PM_{2.5}、PM₁₀并未超标,而空气中微生物主要以附着在颗粒物表面的形式存在,故悬浮颗粒物带来的威胁是多样的。

2.2.2 地下车库

由图2和表1可知,地下车库CO₂、甲醛、TVOC最高值、均值、最低值均超标,部分超标5倍以上。根据实地调研,车库未开通通风设备,建筑设计不利于自然通风,导致污染物积累。汽车尾气通常含有大量有毒成分,除CO₂、甲醛、TVOC之外还有CO、NO_x、SO_x、烟尘微粒等。这些有毒成分对人体有很大伤害,尤其是呼吸系统、免疫功能、生殖功能^[9]。从现场调研情况来看,虽然有一定的机械通风设备,但出于节省资金的考虑,存在排风量严重不足的问题,因而很难达到较高的处理效率,且仅为稀释室内污染物单纯地增加新风量会导致能耗增加,经济性变差。从实际情况来看,机械通风设备治标不治本,无法根除污染物。

2.2.3 建设设备用房

建设设备用房是该地下商业综合体工作人员的工作地点。选取部分污染较为严重的污水处理房、油水分离房、空调机房等,对其空气进行监测,为改善工作环境进行前期调研。由图2和表1可知,在机房、泵房内部TVOC、甲醛、颗粒物浓度均超标,环境较为恶劣。同时从建筑构造来看,机房、泵房与商业线平行布置,相距约20 m~30 m,易造成交叉污染。

3 结语

以测试数据及相关文献为基础,对上海市典型综合型地下空间空气污染特征的研究结果表明:研究区域的典型综合型地下空间具有代表性的区域,

如地下商业线、车库、设备用房,其区域内均出现一定程度的甲醛、TVOC、CO₂、微生物、颗粒物等污染,其中甲醛、TVOC的污染问题较突出,平均浓度超标倍数分别为1.056倍、3.755倍,TVOC污染程度呈现与人流量正相关的特性,且在设备用房等地下通道内污染浓度剧增;共发现9种潜在致病菌属,占总数的0.893%,存在全区域污染,存在一定的病原性微生物污染爆发隐患。

我国现有标准相对世界各国针对室内主要污染物空气质量制定的标准仍较为宽松。若对照中国香港地区、美国等技术先进地区和国家的标准,上述研究得到的污染物浓度超标现象则更为突出。依据我国目前的工业技术水平,地下空间空气质量的相关现有标准亟待更新升级。大型综合地下空间内部环境复杂,污染物的累积与内部建筑的设计、装修、功能属性、空调系统等众多因素有关,且各类不同功能地下空间相互交错,极易造成交叉污染,故迫切需要研究有效的控制措施以应对大型综合地下空间的空气安全保障问题。

[参考文献]

- [1] 韩宗伟,王嘉,邵晓亮,等.城市典型地下空间的空气污染特征及其净化对策[J].暖通空调,2009,39(11):21-30.
- [2] 胡迪琴,魏鸿辉,黎映雯,等.广州市典型地下空间空气质量调查初探[J].广州环境科学,2013(1):5-8.
- [3] 国家人民防空办公室,中华人民共和国卫生部. GB/T 17216—2012 人防工程平时使用环境卫生要求[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50325—2013 民用建筑工程室内环境污染控制规范[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [5] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard - 62.1 - 2016 [EB/OL]. [2018-11-12]. https://www.techstreet.com/ashrae/standards/ashrae-arabic-standard-62-1-2016?gateway_code=ashrae&product_id=2016128.
- [6] 中国香港特别行政区政府室内空气质素管理小组. 办公室及公共场所室内空气质素检定计划指南[EB/OL]. [2019-02-13]. <https://www.iaq.gov.hk/sc/iaq-certification-scheme.aspx>.
- [7] 卫生部卫生法制与监督司. GB/T 18883—2002 室内空气质量标准实施指南[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [8] 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].环境监测管理和技术,2018,30(4):12-17.
- [9] 程义斌,金银龙,刘迎春.汽车尾气对人体健康的危害[J].卫生研究,2003(5):504-507.