

西安冬季高层公寓室内外颗粒物浓度水平与变化

董俊刚^{1,2,3}, 闫增峰^{1,2}, 曹军骥³

1. 西安建筑科技大学建筑学院, 西安 710055
2. 中省共建生态建筑环境实验室, 西安 710055
3. 中国科学院地球环境研究所气溶胶化学与物理重点实验室, 西安 710061

摘要 以西安市冬季某研究生高层公寓为监测对象, 通过 1 min 时间间隔同步监测, 研究了不同楼层室内外空气中颗粒物 PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀ 以及总悬浮颗粒物 TSP 的质量浓度、分布状况与变化特征。结果表明, 西安市冬季高层公寓存在严重的颗粒物污染, 室内粗颗粒物 PM₁₀ 质量浓度为 (65.5±20.0)~(142.0±16.9) μg/m³, 略低于室内空气质量标准, 但室内细颗粒物 PM_{2.5} 及超细颗粒物 PM₁ 分别为 (52.2±14.3)~(111.5±12.2) μg/m³ 和 (50.6±13.9)~(108.7±11.9) μg/m³, 其中 PM_{2.5} 质量浓度占总悬浮颗粒物 TSP 的 50% 以上; 室外以粗颗粒物 PM₁₀ 为主, 楼层高度与颗粒物质量浓度之间无显著关联。

关键词 颗粒物; 质量浓度; 室内空气质量; 高层公寓

中图分类号 TU111.19, X823

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.06.006

Levels and variations of indoor and outdoor particulate matter concentrations of a high-rise apartment in winter, Xi'an

DONG Jungang^{1,2,3}, YAN Zengfeng^{1,2}, CAO Junji³

1. College of Architecture, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China
2. Lab of Architectural Ecological Environment by Ministry and Province, Xi'an 710055, China
3. Key Lab of Aerosol Chemistry & Physics, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

Abstract Particulate matter (PM) is an important factor of atmospheric haze and indoor air pollutant which affects human health. This paper takes high-rise apartment in one university as an example to monitor the levels and variations of indoor and outdoor PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and TSP. The results show that there is high PM pollution both in indoor and outdoor air, with the concentration of PM₁₀ being (65.5±20.0)~(142.0±16.9) μg/m³, which is lower than the National Indoor Air Standard. However, indoor PM_{2.5} and PM₁ are (52.2±14.3)~(111.5±12.2) μg/m³ and (50.6±13.9)~(108.7±11.9) μg/m³, respectively, i.e., indoor PM_{2.5} is about 3~5 times higher than the USEPA standard. The dominant PM in indoor environment is fine particle while coarse particle in the outdoor air. The preliminary study shows the height has no direct relation with the PM pollution.

Keywords particulate matter; mass concentration; indoor air quality; high-rise apartment

空气中颗粒物(particulate matter, PM)是导致全球气候变化、区域能见度降低、城市雾霾^[1,2]以及人体健康损害^[3,4]等一系列重要影响的污染物,影响程度与其粒径大小以及化学特性

有直接关系。早期研究表明,人们在室内的时间长达 2/3~3/4,对于老人、儿童甚至超过 90%,因此长时间暴露于高浓度 PM 中,特别是暴露于粒径小于 2.5、1 μm 的细颗粒物中会造

收稿日期: 2015-02-09; 修回日期: 2015-02-28

基金项目: 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(SKLLQG1105); 西安建筑科技大学人才科技基金项目(RC0901)、基础研究基金项目(JC0901); 西部建筑科技国家重点实验室开放基金项目(01KF02)

作者简介: 董俊刚, 博士, 研究方向为建筑环境学, 电子信箱: Jungangdong@ieecas.cn

引用格式: 董俊刚, 闫增峰, 曹军骥. 西安冬季高层公寓室内外颗粒物浓度水平与变化[J]. 科技导报, 2015, 33(6): 42-45.

成一系列的呼吸系统疾病^[5],如肺炎、气管炎、肺结核等,甚至诱发癌症,对人类健康构成了严重威胁,成为人类生存环境中不容忽视的隐形杀手。

建筑是人居环境的重要场所,同时也是人类健康的重要庇护所,随着中国快速城市化发展及人民生活水平提高,城市人居环境也正发生着变化,社会各界不仅关心广大居民的住房问题,同时也更加关注现有住房的室内环境问题。

本文以西安市冬季某高校研究生高层公寓为监测对象^[6],研究冬季高层楼房室内外空气中颗粒物PM以及总悬浮

颗粒物TSP的质量浓度水平、分布状况与变化特征。

1 研究方法

1.1 监测地点与时间

某校研究生高层公寓位于校北院东北角,北邻友谊东路,南邻建设路,西邻雁塔路,南接太乙路,建成于2009年3月,主体高度99.2 m,建筑面积42343 m²,混凝土剪力墙结构,地下1层,地上27层,单层设研究生公寓28间,每间容纳4人,面积约36.3 m²。监测点位的相关信息如表1所示。

表1 监测点位概况

Table 1 General description of monitoring location

监测点	日期	楼层	房间号	地面高度/m	人数	朝向	通风状况
A ₁	2011-01-11	1层	0111	1.5	3	北向	自然通风
A ₂	2011-01-12	6层	0620	16.5	4	北向	自然通风
A ₃	2011-01-15	16层	1619	46.5	4	南向	自然通风
A ₄	2011-01-17	21层	2112	61.5	4	南向	自然通风
A ₅	2011-01-19	27层	2724	79.5	3	南向	自然通风

注:监测点A₅为16 h监测数据,其余监测点均为24 h监测数据;所有房间均禁止吸烟。

1.2 监测方法

室内外颗粒物监测采用TSI DUSTTRAK™ DRX 8533 (TSI Co, MN, USA)粉尘颗粒物监测仪(符合ISO 12103-A1),使用前经滤膜称重法比对校准。监测地点由低层至高层设置了5个监测点A1~A5(表1),以每1 min时间间隔依次同步监测记录不同楼层室内外PM₁、PM_{2.5}、RESP(欧洲可吸入颗粒物标准)、PM₁₀及TSP的质量浓度。室内仪器放置在公寓房间对角线中心,距离地面1.5 m处。室外仪器放置在窗外阳台,距外墙距离0.5 m处,尽可能避免干扰。数据采集后带回实验室,使用配套数据软件TrakPro Version 4.2进行数据处理。

2 分析与讨论

2.1 室内外颗粒物质量浓度水平

室内外空气中颗粒物质量浓度是评价室内空气品质与城市大气环境的重要参量,颗粒物质量浓度的高低决定了其

污染程度。

各监测点室内外空气中颗粒物PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀以及总悬浮颗粒物TSP的质量浓度(均值±标准偏差)如表2所示。各监测点室内外空气中颗粒物质量浓度水平如图1所示。

由表2和图1可见,西安市冬季高层建筑室内、室外均存在颗粒物污染,且颗粒物质量浓度水平较高。室外大气中可吸入颗粒物PM₁₀日均值远高于国家环境空气一级标准(50 μg/m³),接近或超过二级标准(150 μg/m³,《GB 3095—2012环境空气质量标准》),需要加强冬季城市环境大气粉尘颗粒物的控制。

对于室内颗粒物而言,尤其是可吸入颗粒物PM₁₀、可入肺颗粒物PM_{2.5}以及危害更大、危险性更高(表面活性更高)的超细颗粒物PM₁,三者在不同房间室内空气中的质量浓度分别可达(65.5±20.0)~(142.0±16.9)、(52.2±14.3)~(111.5±12.2)和(50.6±13.9)~(108.7±11.9) μg/m³,表明存在高PM暴露风

表2 室内外颗粒物质量浓度

Table 2 Mass concentrations of indoor and outdoor PM at different locations

监测点	室内(均值±标准偏差)/(μg·m ⁻³)				室外(均值±标准偏差)/(μg·m ⁻³)			
	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP
A ₁	72.9±19.6	74.6±19.6	90.7±19.1	140.3±43.4	90.3±12.7	92.3±13.0	139.8±24.5	280.8±69.8
A ₂	66.6±10.5	68.1±10.7	79.6±10.9	110.8±36.0	111.3±31.5	113.7±32.2	140.2±37.4	183.4±44.6
A ₃	108.7±11.9	111.5±12.2	142.0±16.9	288.0±75.3	151.6±28.9	154.8±29.6	202.5±41.4	290.8±74.0
A ₄	67.5±25.7	72.9±26.5	135.7±61.3	306.8±125.1	89.0±19.9	94.1±20.7	222.9±57.9	487.7±165.0
A ₅	50.6±13.9	52.2±14.3	65.5±20.0	178.3±128.0	100.8±48.5	103.6±49.1	180.3±59.2	318.3±84.7

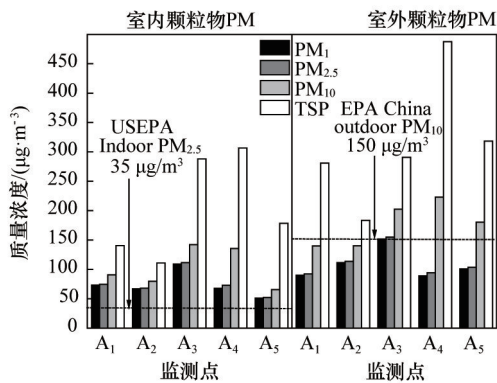


图1 室内外颗粒物质量浓度水平

Fig. 1 Mass concentration levels of indoor and outdoor PM

险。以《GB 18883—2002室内空气质量标准》可吸入颗粒物PM₁₀作为参考指标衡量,尽管部分房间日均值并未超越150 µg/m³的标准限值,但对于粒径较小、健康危害更大的细颗粒物PM_{2.5},发现几乎所有房间PM_{2.5}质量浓度都超过USEPA(美国环保局)推荐的65 µg/m³(24小时均值,1998年)、35 µg/m³(24小时均值,2006年)及年均值15 µg/m³的标准^[7],其中A₃监测点室内PM_{2.5}质量浓度超美国环保局EPA新标准3~5倍。超细颗粒物PM₁的大量存在,也进一步证实室内颗粒物污染风险的存在,并一定程度上暗示二次污染物发生的可能,这将加重室内空气质量的恶化,严重威胁人体健康^[8]。

室内空气中的颗粒物PM质量浓度总体低于室外^[9],多数为室外PM质量浓度的1/2。其中,粗颗粒物部分(空气动力学直径大于2.5 µm)表现得更为明显,但细颗粒物PM_{2.5}和超细颗粒物PM₁部分表现的不显著,可能是建筑的围护结构使室内空气流速减慢,大颗粒物在室内沉降,使室内空气中的PM质量浓度降低,细颗粒由于难以通过物理过程清除而能长时间悬浮于空气中。

2.2 室内外PM_{2.5}/TSP质量百分比

各监测点室内外空气中PM_{2.5}质量分数如图2所示。PM_{2.5}质量分数为PM_{2.5}在总悬浮颗粒物TSP中的比重,由图2可知,各监测点室内PM_{2.5}质量分数都明显高于室外,其中A₁、A₂、

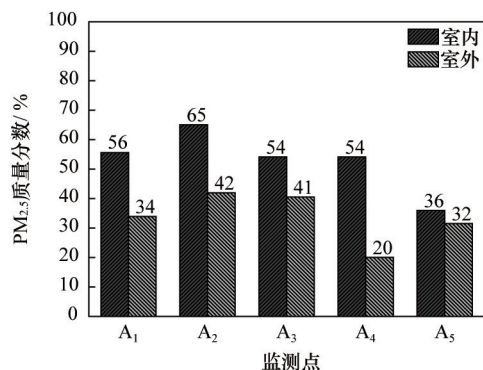


图2 室内外PM_{2.5}质量分数

Fig. 2 Percentage of PM_{2.5}/TSP

A₃、A₄监测点的室内PM_{2.5}质量分数均超过50%,表明室内总悬浮颗粒物TSP中近1/2是粒径在2.5 µm以下的细颗粒物,因此室内以细颗粒物和超细颗粒物为主要污染因素。室外的情况恰好相反,粒径细小的颗粒物仅占总悬浮颗粒物TSP的30%~40%,表明室外主要污染是大于2.5 µm以上的粗颗粒物,甚至一部分是来自于大于10 µm的矿物气溶胶。

2.3 室外颗粒物垂直空间变化

一直以来有关楼层高度与灰霾层(颗粒物污染层)的关系有较多说法,主要的有两种观点,一是认为楼层高度与颗粒物污染并不存在直接关系,而与气象及天气条件有关^[10-12];二是认为楼层高度与颗粒物污染之间存在某种关系^[13,14],例如有人认为随着高度的增加,灰霾层多出现在建筑物的中部,也就是所谓的“中间灰霾层”说法。本次实验是在不同楼层高度进行监测,也尝试分析不同高度楼层的颗粒物污染状况。

不同楼层高度室外的颗粒物质量浓度如图3所示。可以看出,随着楼层高度增加,室外空气中总悬浮颗粒物TSP呈现先减少后增加然后又减少的趋势。这种状况可能与近地面污染源较多,而高层室外空气动力学条件充足有关。仔细对比发现,不同楼层高度室外空气中颗粒物PM₁₀、PM_{2.5}及PM₁没有显著变化,表明在空气混合均匀的条件下,并不存在所谓的“中间灰霾层”,局地的气象条件应该是最主要的原因。

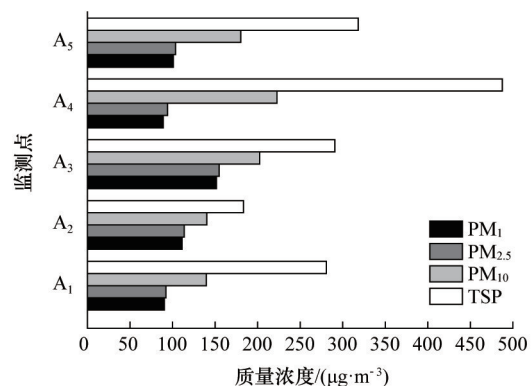


图3 不同楼层室外颗粒物质量浓度

Fig. 3 Particles concentration at different height

3 结论

西安市冬季高层公寓室内、室外空气中均存在颗粒物PM污染,且PM质量浓度水平较高,超过推荐标准。高层公寓室外空气中主要是粗颗粒物污染,而在室内主要是细颗粒物污染,且多数粒径在2.5 µm和1 µm以下,其对人体健康造成的影响更值得进一步关注。

高层公寓室内空气中的细颗粒物PM_{2.5}为主导地位,其质量浓度占总悬浮颗粒物TSP的50%以上,而室外空气中的细颗粒物仅占30%左右。另外,楼层高度与空气中颗粒物PM质量浓度不存在明显关系。

参考文献(References)

- [1] Cao J J, Lee S C, Ho K F, et al. Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(11): 1451-1460.
- [2] Cao J J, Lee S C, Ho K F, et al. Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(27): 4447-4456.
- [3] Baek S O, Kim Y S, Perry R. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas: Indoor/outdoor relationships[J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(4): 529-544.
- [4] Apte M G, Fisk W J, Daisey J M. Associations between indoor (CO₂) concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings: An analysis of the 1994-1996 base study data (LBNL 44385)[J]. Indoor Air, 2000, 10(4): 246-257.
- [5] Batterman S, Du L, Mentz G, et al. Particulate matter concentrations in residences: An intervention study evaluating stand-alone filters and air conditioners[J]. Indoor Air, 2012, 22(3): 235-252.
- [6] Colbeck I, Nasir Z A, Ali Z. Characteristics of indoor/outdoor particulate pollution in urban and rural residential environment of Pakistan[J]. Indoor Air, 2010, 20(1): 40-51.
- [7] Cattaneo A, Peruzzo C, Garramone G, et al. Airborne particulate matter and gaseous air pollutants in residential structures in Lodi province, Italy[J]. Indoor Air, 2011, 21(6): 489-500.
- [8] 董俊刚, 闫增峰, 保彦晴, 等. 基于建成环境主观评价分析研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2011, 43(5): 694-699.
- [9] Morawska L, Afshari A, Bae G N, et al. Indoor aerosols: From personal exposure to risk assessment[J]. Indoor Air, 2013, 23(6): 462-487.
- [10] Lee S C, Lam S, Fai H K. Characterization of VOCs, ozone, and PM₁₀ emissions from office equipment in an environmental chamber[J]. Building and Environment, 2001, 36(7): 837-842.
- [11] Cao J J, Lee S C, Chow J C, et al. Indoor/outdoor relationships for PM_{2.5} and associated carbonaceous pollutants at residential homes in Hong Kong-case study[J]. Indoor Air, 2005, 15(3): 197-204.
- [12] Zaatari M, Siegel J. Particle characterization in retail environments: Concentrations, sources, and removal mechanisms[J]. Indoor Air, 2014, 24(4): 350-361.
- [13] Siddiqui A R, Lee K, Bennett D, et al. Indoor carbon monoxide and PM_{2.5} concentrations by cooking fuels in Pakistan[J]. Indoor Air, 2009, 19(1): 75-82.
- [14] 白志鹏, 贾纯荣, 王宗爽, 等. 人体对室内外空气污染物的暴露量与潜在剂量的关系[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(6): 425-428.
- Bai Zhipeng, Jia Chunrong, Wang Zongshuang, et al. Relationship of exposure and potential dose of human exposed to indoor and outdoor air pollutants[J]. Journal of Environment and Health, 2002, 19(6): 425-428.

(责任编辑 韩星明)

·学术动态·



科协界建议“提高科学素质 筑牢创新驱动发展基础”

2015年3月9日,全国政协常委、中国科协副主席秦大河在全国政协十二届三次会议第二次全体会议上代表科协界作大会发言指出,科学素质是决定全民的思维方式和行为方式、实现美好生活的前提,更是实施创新驱动发展战略的基础。在科技日新月异的今天,科技已经深刻地影响到社会的方方面面,公民科学素质已经成为国家综合实力的重要组成部分,成为先进生产力的核心要素之一,成为影响到社会稳定、国计民生、生活品质的直接因素。建议:

1) 将公民科学素质建设纳入国家有关规划。将中国公民具备基本科学素质的比例到2020年超过10%的指标纳入“十三五”国家国民经济和社会发展的总体规划,颁布《全民科学素质行动计划纲要实施方案(2016—2020年)》,将全民科学素质纲要实施工作情况和公民科学素质建设目标的完成情况纳入对有关部门和地方政府的业绩考核中。

2) 将公民科学素质建设纳入国家全民教育体系,推动重点人群科学素质提升。加大面向青少年的科普力度,加大义务教育阶段科学教育的比重,把科学素质测试列入入学和选拔人才的考核内容。将科学素质相关内容列入领导干部和公务员的招录和培训中,并着重提高领导干部的科学发展思想和科学决策能力。进一步创新农村及边远地区的科普方式,加大资源倾斜,切实加强农村留守人群及边远地区群众的科学素质建设,实现科普公平普惠。

3) 加大投入,完善机制,增强科普的保障能力。继续加大对科普专项经费的财政投入。加强科普信息化建设,充分运用先进技术,丰富科普内容,创新表达形式,通过多种网络便捷传播,满足公众的个性化需求。特别是在农村、少数民族地区、社区等方面加大投入,推动建立稳定增长的科普财政投入机制;在国家重大科技计划项目中增加科普任务,明确规定要有一定比例的经费用于科普;引导和鼓励社会资金投入科普事业,形成多元化的科普投入机制。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/16269666.html>。