

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2017.05.2016090801

李蒙蒙, 任绳凤, 常茹, 等. 板式家具甲醛浓度散发实测[J]. 环境化学, 2017, 36(5): 960-966.

LI Mengmeng, REN Shengfeng, CHANG Ru, et al. Experimental study on formaldehyde emission characteristics of panel furniture [J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(5): 960-966.

板式家具甲醛浓度散发实测*

李蒙蒙 任绳凤** 常茹 温静 李宪莉

(天津城建大学能源与安全工程学院, 天津, 300384)

摘 要 为了研究室内甲醛浓度散发规律, 对天津某住宅小区房间进行为期 40 d 甲醛浓度现场测试, 测试区域为餐桌、电视柜、沙发以及房间几何中心区域. 实测发现甲醛浓度由最高值 $0.46 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 开始降低后进入以 $0.19 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 平稳散发阶段, 31 d 后接近于直线状态, 是处理甲醛污染的最佳时机. 并且发现在沙发区域甲醛浓度值最高, 达到 $0.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 在房间几何中心甲醛浓度值最低为 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 在封闭条件下散发 1 个月后, 甲醛浓度 4 个区域均不能达到室内空气质量标准要求, 超标倍数达到了 1—4 倍, 沙发区域比其他 3 个区域甲醛浓度都高出 3 倍左右.

关键词 甲醛, 板式家具, 浓度散发, 实测研究.

Experimental study on formaldehyde emission characteristics of panel furniture

LI Mengmeng REN Shengfeng** CHANG Ru WEN Jing LI Xianli

(School of Energy and Safety, Tianjin Chengjian University, Tianjin, 300384, China)

Abstract: In order to study the distribution of indoor formaldehyde concentration, formaldehyde concentration field test was made in a residential house in Tianjin for a period of 40 days, and the test area included dining table, TV cabinet, sofa and room geometry center. It was found that the formaldehyde concentration decreased from $0.46 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ to $0.19 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ and stabilized after 31 d. This is the best time to deal with the pollution of formaldehyde. The highest concentration of formaldehyde was found in the sofa area, reaching $0.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, and the lowest concentration of formaldehyde was in the room geometry center ($0.01 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). After one month closure formaldehyde concentration did not meet the indoor air quality standard, exceeding the standard by 1—4 times. Formaldehyde concentration in the sofa area were about 3 times higher than the other three areas.

Keywords: formaldehyde, panel furniture, concentration emission, experimental study.

我国大多数住宅存在不同程度的空气污染, 其中甲醛污染最为严重^[1-2]. 甲醛是一种潜在的致癌物质, 会对人类体内系统和各个器官会产生巨大的伤害^[3]. 有关研究表明^[4], 人的甲醛嗅觉阈一般为 $0.06\text{—}0.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 当室内甲醛浓度为 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 可引起眼睛刺激流泪; 当浓度为 $0.588 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 引起头痛, 眼、呼吸道刺激; 当浓度达到 $30\text{—}100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 可引起人员的直接死亡. 由甲醛污染现状调查发现^[5] 室内的污染物在有限的空间中停留时间加大, 室内污染物不能有效散发到室外, 进而产生甲

2016 年 9 月 8 日收稿 (Received; September 8, 2016).

* 国家自然科学基金 (51506141) 资助.

Supported by the National Natural Science Foundation of China (51506141).

** 通讯联系人, Tel: 13652027511; E-mail: rengshengfeng@126.com

Corresponding Author, Tel: 13652027511; E-mail: rengshengfeng@126.com

醛叠加效应,造成室内甲醛污染日趋严重,目前板式家具甲醛污染已经成为全社会关注的焦点问题。

根据最近一项关于人体活动范围的调查^[6]发现,人们在室内度过的时间高达 88%,保持良好的室内空气质量尤为重要.为了有效控制甲醛污染,有必要对室内甲醛浓度散发规律进行分析研究.

2002 年,Sekine 等^[7]对东京刚竣工的住宅楼进行了室内甲醛检测,发现由于受到室内环境等多种复杂因素的影响使产生的甲醛发生叠加效应,形成了二次污染,长期处于室内较高浓度的状态下,会对人体产生极大的伤害.清华大学成通宝等^[8]通过已知甲醛浓度计算散发量.白雁斌^[9]通过自制的环境舱研究甲醛的散发.王健^[10]研究发现,通过升温、升湿等措施能有效的激发材料内游离的甲醛,加速其散发的进程.

鉴于目前对甲醛空间内的变化规律研究较少,要想有效地治理甲醛污染就必须掌握甲醛浓度散发的变化规律.因此,本文对天津某住宅小区房间内甲醛浓度进行实测,分析了甲醛浓度散发规律,为有效控制甲醛污染提供了基础与建议.

1 实验部分(Experimental section)

1.1 测试时间与测点布置

2015 年 9 月 1 日至 10 月 10 日在天津某住宅小区房间进行甲醛浓度测试,测试时间分布在 10:00—16:00 时间范围内,测试前房间对外门窗关闭 12 h,封闭过程及测试过程中不开换气扇,测试前后禁止吸烟,不能堆放残余的涂料、油漆、板材等,以免影响测试结果.除了实验以外的时间使房间处于常置状态,以满足实际的要求.只有在每次进行实验之前,确保将该房间封闭 12 h,以便甲醛浓度达到相对平衡.测试期间室外温度为 17—26 ℃,相对湿度为 45%,其楼型均为“两梯三户”(两侧全通透、中间全阳),全阳户型通风是最不利的,对甲醛浓度散发也是最不利的.测试以最不利的全阳处户型为建筑模型,研究家具甲醛浓度散发规律.

该小区此户型建筑面积为 92 m²,室内实际面积 73.6 m²,有客厅和餐厅、主卧、次卧、厨房、卫生间等 5 个房间,客厅设有两个窗口,总长为 11.9 m,总宽为 9.1 m,高为 3 m.由于客厅板式家具用量明显比卧室多,所以测试选定的区域是板式家具用量较大且使用频率相对较高的客厅,客厅家具包括:电视柜 1 组,材料为中纤板;沙发 1 套,材料为中纤板骨架;茶几 1 只,材料为中纤板;衣架 1 个,材料为木骨架;餐桌 1 张,材料为中纤板;餐椅 4 把,材料为中纤板;鞋柜 1 个,材料为中纤板.客厅地面采用防滑地砖.

根据《室内空气质量标准 GB/T 1883—2014》规定^[11]的采样点的数量和位置要求,按照对角线和梅花形布点方法均匀分布 3 个测点,避开通风道和通风口,距离墙壁大于 0.5 m,如图 1 所示.

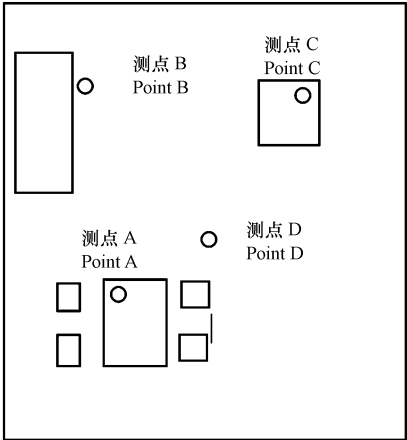


图 1 测点布置图

Fig.1 Location of measuring points

A 点位于餐桌区域内,B 点位于电视柜区域内,C 点位于沙发区域内,三个检测点的布点高度,与人的呼吸高度一致,且参照人体工程学的人体参数(人群的高低以及在房间站立、坐或卧)分别定为 0.5 m、

1.0 m 和 1.5 m 高度处,分别命名为 $A_{0.5}$ 、 $A_{1.0}$ 、 $A_{1.5}$ 、 $B_{0.5}$ 、 $B_{1.0}$ 、 $B_{1.5}$ 和 $C_{0.5}$ 、 $C_{1.0}$ 、 $C_{1.5}$,但为了更好地反映甲醛散发浓度水平特别是人活动主要区域的浓度分布情况,故在房间的几何中心增加一个检测点 D,分别命名为 $D_{0.5}$ 、 $D_{1.0}$ 、 $D_{1.5}$ 。

1.2 样气采集

甲醛测量采用美国 Intersca 公司生产 4160 甲醛检测仪器来测试板式家具甲醛散发的浓度(ppm),该测试仪器经过校准,符合测试要求。

采样 20 min,滴入 8—10 滴甲醛显色剂,拧紧盖后,静置 15 min 或者摇晃 5 min,将充分混合的甲醛试剂瓶插入甲醛分析仪主机上的甲醛检测孔处,检测甲醛浓度.采样时,采样人员尽量减少走动,避免对采样造成影响,采样时家具保持正常使用状态。

1.3 数据处理

由于采样气体进入传感器后,液晶显示屏幕上显示的结果是以 ppm 为单位的,为了便于进行分析,检测结果用下列公式将由 ppm 转化为 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 为单位的数值。

$$C=K\times\text{ppm}\tag{1}$$

$$K=\frac{M}{22.4}\times\frac{273}{273+t}\times\frac{B_0}{101325}\tag{2}$$

式中, C 为甲醛浓度($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$); M 为甲醛(HCHO)的分子量,取 30; t 为环境温度,25 $^{\circ}\text{C}$; B_0 为为当地大气压,天津秋季为 101000 P_a 。

2 结果与讨论(Results and discussion)

2.1 甲醛平均浓度散发规律及分析

在封闭状态下由甲醛浓度检测结果进行数据计算分析,得出甲醛散发的平均浓度.其中甲醛散发的最高平均浓度为 $0.46\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,变化转折点是在 20 d 和 31 d 处,20 d 之前甲醛浓度一直呈现下降趋势,且这种下降趋势均匀变化近似指数变化(波动范围较小).由图 2 曲线拟合图得其散发规律曲线拟合方程为 $y=0.438e^{-0.024x}$,相关系数为 $R^2=0.964$;20—30 d 之间稳定在一个较平稳状态;31 d 之后近似于常值 $0.19\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 稳定散发,在半衰期 31 d 后浓度下降一半,甲醛降低较为明显但仍处于超标状态,建议住户 2 到 3 个月后再入住,应在此阶段采取有效措施,加速甲醛向外界的散发,改善室内环境,降低甲醛污染对人体的伤害。

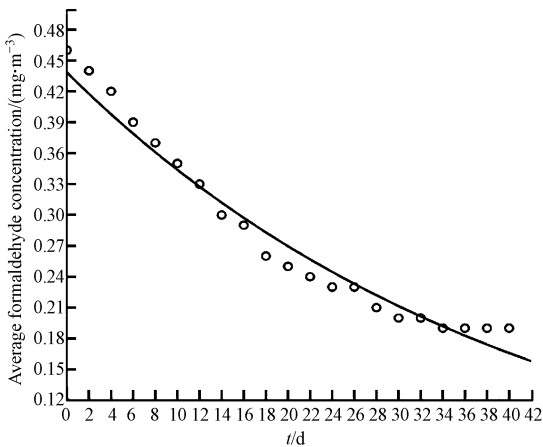


图 2 甲醛平均浓度曲线拟合图

Fig.2 Fitting curve of the average concentration of formaldehyde

随着实测天数的增加气温的降低,甲醛浓度逐渐减小,主要原因是温度降低,家具内甲醛分子热运动减小,使得动能减小,甲醛分子向表面散发的速度减慢;脲醛树脂分解甲醛的速度随着温度减低,分解能力减小;并且还能改变板材内孔径结构特性,使得甲醛散发通道阻塞,造成甲醛浓度降低,在 31 d 之

后以常值 $0.19\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 稳定散发.

2.2 采样高度对甲醛浓度及散发规律影响

由图 3 的 4 个测点在 3 个典型平面内的甲醛散发浓度曲线可知,A、B、C、D 分别由高度 0.5 m 平面到高度 1.0 m,再到高度 1.5 m 平面甲醛浓度呈现明显的降低状态,几乎能下降一倍之多,可见甲醛总是由浓度高的地方向浓度低的地方扩散.在同一时间点同一点不同高度的甲醛浓度 $0.5\text{ m}>1.0\text{ m}>1.5\text{ m}$,高度越低,湿度越大^[12],而甲醛易溶于水,就会导致空气侧吸附甲醛分子,更有利于板材内甲醛向外散发,无疑给板式家具潜在甲醛的释放提供了一个适宜的环境.另外,甲醛在散发过程中传质阻力取决于板材的干燥层,湿度增加会对其及其中孔隙结构吸湿膨胀,导致孔径结构改变,有利于甲醛散发.

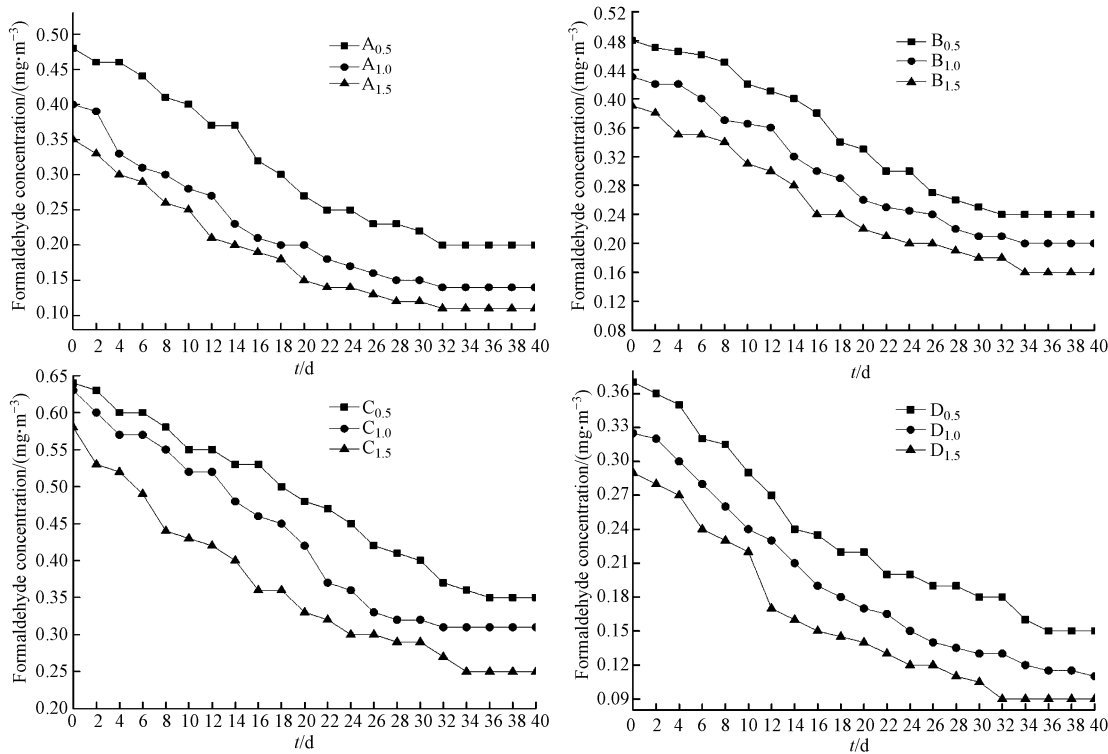


图 3 测点甲醛浓度散发曲线图

Fig.3 A measuring point formaldehyde concentration distribution curve

本次曲线拟合高度 1.0 m 处的甲醛浓度散发规律,由图 4 看出其散发规律曲线拟合方程均以 $y = A_0e^{-B_0x}$ 呈指数衰减散发,拟合相关系数均在 90% 以上.拟合曲线方程及参数见表 1,其中 A、B、D 测点区域在最初的散发浓度不同,但是在后期散发中变化规律相似,都以 $y = A_0e^{-0.025x}$ 公式散发,其中 A_0 值分别为 0.368、0.437、0.306.而 C 测点区域以 $y = A_0e^{-0.017x}$ 散发,相关系数 97.4%, A_0 值为 0.604.由此可得,各点甲醛浓度散发快慢顺序为 $C > B > A > D$.

表 1 各拟合曲线方程及相关参数

Table 1 Fitting equation and related parameters

测点 Measuring point	系数 A_0 Coefficient A_0	常数 B_0 Constant B_0	方程 Equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient R^2
A _{1.0}	0.368	-0.025	$y = 0.368e^{-0.025x}$	0.935
B _{1.0}	0.437	-0.025	$y = 0.437e^{-0.025x}$	0.967
C _{1.0}	0.604	-0.017	$y = 0.604e^{-0.017x}$	0.974
D _{1.0}	0.306	-0.025	$y = 0.306e^{-0.025x}$	0.956

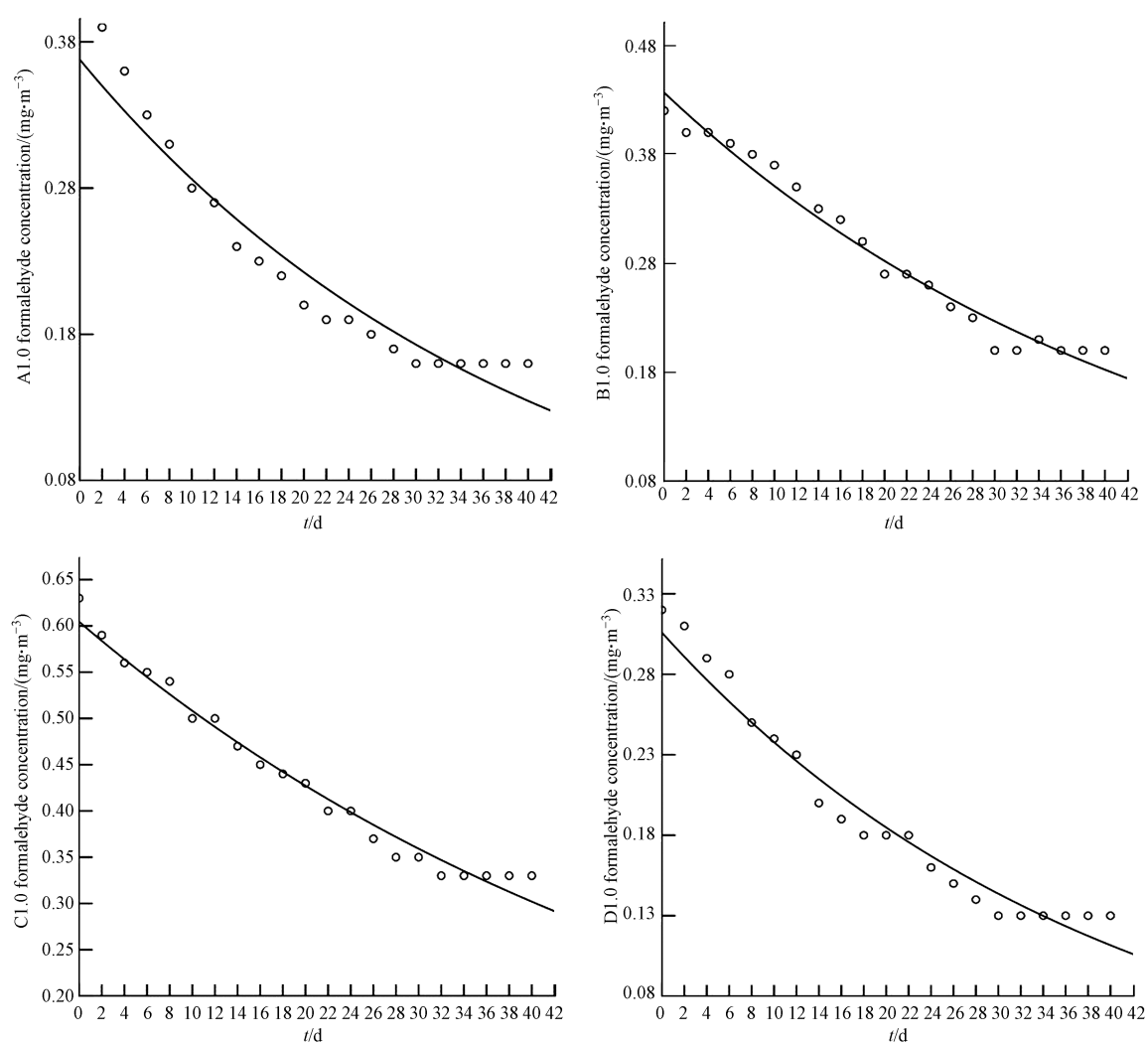


图 4 1.0 m 处各测点散发规律拟合曲线

Fig.4 Fitting curves of distribution law of every measuring point in 1.0 m

2.3 不同家具类型对甲醛浓度及散发规律对比分析影响

由图 5 可知,甲醛浓度最后趋于某一常值稳定散发,在 C 测点甲醛浓度值最高,达到 $0.33\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,在测点 D 甲醛浓度值最低为 $0.09\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.而《室内空气质量标准 GB/T 1883—2014》中规定的甲醛的标准浓度限值为 $0.08\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,4 个区域在封闭条件下散发一个月后均不能达到室内空气质量标准要求,超标倍数达到了 1—4 倍,测点 A、B、C、D 区域在 0.5 m、1.0 m、1.5 m 平面内甲醛散超标倍数依次递减,其中在 0.5 m(人体坐姿区域)平面内甲醛超标倍数最大,究其原因此区域是家具甲醛集中散发的区域,封闭条件下甲醛浓度不能及时扩散;1.5 m 平面内甲醛浓度超标数最小,是由于上部空间较大,甲醛浓度较低,存在浓度差利于甲醛浓度扩散,且离散发源稍远些.与国家室内空气质量标准作 t 检验比较, $t=12.528,P<0.05$,差异有统计学意义,而这四个区域也是在客厅内人员活动最频繁的范围,尤其 C 测点沙发区域比其他三个区域甲醛浓度都高出 3 倍左右,因为此区域内污染源聚集并且有障碍物阻挡甲醛向外扩散,使得在某些地方形成漩涡,而不能尽快将甲醛均匀消散,造成甲醛浓度超标.

2.4 同期国内外各地室内甲醛实测数据对比情况

通过表 2 与近几年国内外甲醛实测数据进行对比发现,国内其他各地相比测试数据相差不大,上海测试浓度较高,本次测试数据与南宁、长春、杭州相比稍高,说明我国虽然实施了技术法规来控制室内甲醛污染,但情况仍不容乐观.与国外测试数据相比,国内甲醛浓度远高于瑞典,说明我国装饰装修材料环保方面较发达国家仍存在很大差距,污染源释放甲醛含量较大,要想迎头赶上还需付出艰苦努力.

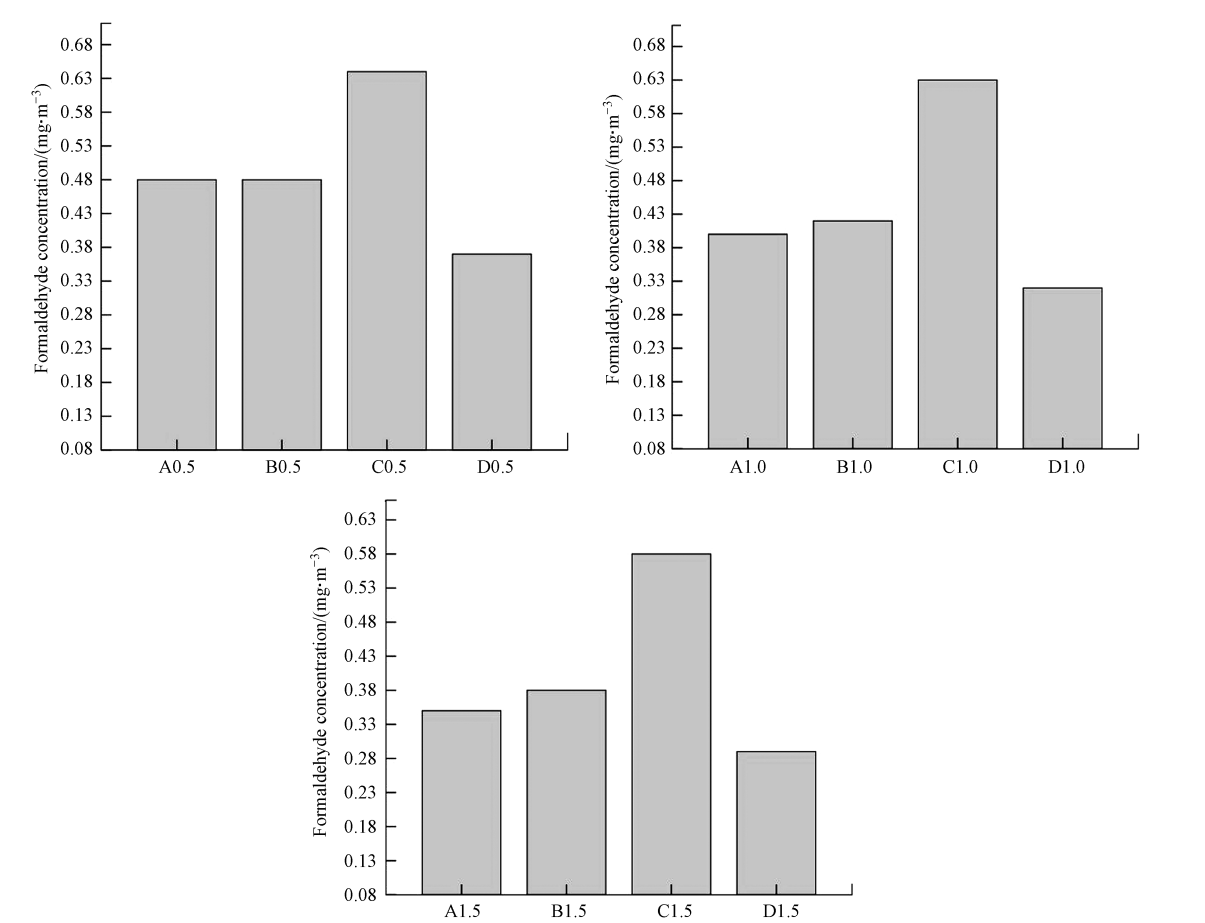


图 5 甲醛浓度散发柱状图

Fig.5 Formaldehyde concentration distribution histogram

表 2 部分测试地区甲醛浓度

Table 2 Formaldehyde concentrations in some test regions

测试时间 Test time	数据来源 Data sources	浓度范围 Concentration range/(mg·m ⁻³)	平均浓度 Average concentration/(mg·m ⁻³)
2014	南宁 ^[13]	0.01—0.08	0.11
2013	长春 ^[14]	0.02—0.43	0.09
2013	上海 ^[15]	0.001—1.700	0.43
2011	杭州 ^[16]	0.005—0.776	0.11
2013	瑞典 ^[17]	—	0.021

3 结论 (Conclusion)

- (1)通过进行为期 40 d 的甲醛浓度连续测试得到,浓度由最高值 0.46 mg·m⁻³开始降低后进入以 0.19 mg·m⁻³平稳散发阶段,31 d 后接近于直线状态,是处理甲醛污染的最佳时机.
- (2)餐桌、电视柜、沙发等区域的甲醛浓度超标,超标倍数达到了 1—4 倍,并且沙发相较于餐桌、电视柜等区域甲醛浓度高出 3 倍左右,沙发附近污染源聚集且有障碍物阻挡甲醛向外扩散,必须采取有效措施尽快将甲醛均匀消散.
- (3)测点 A、B、C、D 区域在 0.5 m、1.0 m、1.5 m 平面内甲醛散超标倍数依次递减,在 0.5 m 平面内甲醛超标最大,1.5 m 平面内超标倍数最小.
- (4)室内各测试区域甲醛浓度散发快慢的顺序依次为:沙发、电视柜、餐桌.

(5)在摆放室内家具时要考虑到充分利用空间,不要把家具集中摆放,防止存在局部积聚形成漩涡的现象,阻碍甲醛向外界的散发。

参考文献 (Reference)

- [1] 周霁阳,沈振兴,党文鹏,等. 西安市办公和家庭室内空气污染状况分析[J]. 环境化学,2015,34(9):1642-1648.
ZHOU J Y, SHEN Z X, DANG W P, et al. Analysis of indoor air pollution in office and family in Xi'an[J]. Environment Chemistry, 2015, 34(9):1642-1648 (in Chinese).
- [2] 刘俊玲,孙芳,胡迅,等. 武汉市新装修住宅和非住宅建筑物室内空气污染现状调查[J]. 应用预防医学,2014,20(2):83-84.
LIU J L, SUN F, HU X, et al. Investigation on indoor air pollution in newly decorated residential and non residential buildings in Wuhan City [J]. Applied Preventive Medicine, 2014, 20(2):83-84 (in Chinese).
- [3] 刁奇志,董林玲,王廷玲,等. 新装修房屋室内空气污染与居民病态建筑综合征相关性的研究[J]. 环境与健康杂志,2011,28(12):1091-1093.
DIAO Q Z, DONG L L, WANG Y L, et al. Study on the relationship between indoor air pollution in newly decorated houses and the sick building syndrome[J]. Journal of environment and health, 2011, 28(12):1091-1093 (in Chinese).
- [4] 朱迪迪,戴海夏,钱华. 我国室内空气污染现状调研与分析[J]. 上海环境科学,2010,29(4):174-180.
ZHU D D, DAI H X, QIAN H. Investigation and Analysis on the present situation of indoor air pollution in China [J]. Shanghai Environmental Science, 2010, 29(4):174-180 (in Chinese).
- [5] KLEPEIS N E, NELSON W C, OTT W R, et al. The national human activity pattern survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants[J]. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2001, 11(3):231-252.
- [6] LEECH J A, NELSON W C, BUMETT R T, et al. It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns [J]. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2002, 12(6):427-432.
- [7] SEKINE Y, IWATA T, OKAGAKI D. Measurements of indoor concentrations of aldehydes, VOCs and fungi in newly built apartment houses in Tokyo[J]. Proceedings: Healthy Buildings, 2003:148-153.
- [8] 成通宝,徐瑛,江忆,等. 建筑装饰材料挥发性有机物的散发模型[J]. 暖通空调,2003,33(4):19-22.
CHENG T B, XU Y, JIANG Y, et al. Emission model of volatile organic compounds in building decoration materials[J]. HV&AC, 2003, 33(4):19-22 (in Chinese).
- [9] 白雁斌,刘兴荣. 模拟仓内温度对甲醛扩散的影响[J]. 中国公共卫生,2003,19(5):577-578.
BAI Y B, LIU X R. Effect of temperature on the diffusion of formaldehyde in simulated barn[J]. Chinese Public Health, 2003, 19(5):577-578 (in Chinese).
- [10] 王健. 住宅装修导致室内甲醛污染的控制研究[D]. 重庆:重庆大学,2005.
WANG J. Study on the control of indoor formaldehyde pollution caused by residential decoration[D]. Chongqing: Chongqing University, 2005 (in Chinese).
- [11] GB/T 18883—2014, 室内空气质量[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
GB/T 18883—2014, Indoor Air Quality[S]. Beijing: China Standard Press, 2014 (in Chinese).
- [12] 李志生,郭初. 温湿度对典型家具材料甲醛散发的影响研究[J]. 广东工业大学学报,2015,32(2):132-136.
LI Z S, GUO C. Effect of temperature and humidity on the formaldehyde emission of typical furniture materials[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2015, 32(2):132-136 (in Chinese).
- [13] 黄宁,田艳,黄良美,等. 南宁市住宅区室内空气甲醛污染及其影响因素[J]. 城市环境与城市生态,2015,28(6):10-13.
HUANG N, TIAN Y, HUANG L M, et al. Indoor air formaldehyde pollution and its influencing factors in the residential area of Nanning City [J]. Urban Environment and Urban ecology, 2015, 28(6):10-13 (in Chinese).
- [14] 苏海涛,长春市居民住宅空气中甲醛和苯污染现状调查与分析[D]. 吉林:吉林大学,2013.
SU H T. Investigation and Analysis on the pollution of formaldehyde and benzene in the air of residents in Changchun City[D]. Jilin: Jilin University, 2013 (in Chinese).
- [15] 刘建磊,杭州市室内典型 VOCs 浓度水平的影响因素研究[D]. 浙江:浙江大学,2011.
LIU J L, Study on the influencing factors of typical indoor VOCs concentration in Hangzhou City[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2011 (in Chinese).
- [16] 刘雅琪,李振海. 城市住宅室内化学污染情况调查与分析[J]. 建筑节能,2013,41(1):33-37.
LIU Y Q, LI Z H. Investigation and analysis of indoor chemical pollution in urban residence[J]. Building Energy Conservation, 2013, 41(1):33-37 (in Chinese).
- [17] LANGER S, BEKO G. Indoor air quality in the swedish housing stock and its dependence on building characteristics[J]. Building and Environment, 2013, 69:44-54.