

室内甲醛的分布特征与方差分析

黄合莹, 陈 昱, 张 林, 赵艳秋, 程 慧*

广西民族大学数学与物理学院, 广西 南宁

收稿日期: 2024年5月12日; 录用日期: 2024年6月5日; 发布日期: 2024年6月13日

摘 要

由于室内甲醛气体超标而引起的呼吸道疾病发病率逐年提高, 越来越关注室内甲醛质量。本文主要通过 Matlab 拟合出在密闭空间内, 时间和温度对甲醛浓度的影响的模型以及在自然通风的环境下, 室内甲醛的空间分布情况模型, 同时拟合甲醛浓度时序曲线, 对甲醛浓度进行预测以及方差分析。经过对室内甲醛的数据进行数值拟合和方差分析, 以此得出室内甲醛的特征并判断出适宜的居住情况, 帮助人们了解室内甲醛。

关键词

甲醛, 方差分析, 预测, 温度

Distribution Characteristics and Variance Analysis of Indoor Formaldehyde

Heying Huang, Yi Chen, Lin Zhang, Yanqiu Zhao, Hui Cheng*

School of Mathematics and Physics, Guangxi Minzu University, Nanning Guangxi

Received: May 12th, 2024; accepted: Jun. 5th, 2024; published: Jun. 13th, 2024

Abstract

As the incidence of respiratory diseases caused by excessive indoor formaldehyde gas increases year by year, more and more attention is paid to the quality of indoor formaldehyde. In this paper, the influence model of time and temperature on formaldehyde concentration in a confined space and the spatial distribution model of indoor formaldehyde in a naturally ventilated environment are mainly fitted by Matlab. Meanwhile, the time series curve of formaldehyde concentration is fitted, and the formaldehyde concentration is predicted and analyzed. Through numerical fitting and variance analysis of indoor formaldehyde data, the characteristics of indoor formaldehyde were obtained and

*通讯作者。

文章引用: 黄合莹, 陈昱, 张林, 赵艳秋, 程慧. 室内甲醛的分布特征与方差分析[J]. 应用数学进展, 2024, 13(5): 2589-2594. DOI: 10.12677/aam.2024.136247

suitable living conditions were determined to help people understand indoor formaldehyde.

Keywords

Formaldehyde, Variance Analysis, Prediction, Temperature

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

甲醛作为室内主要污染物之一，从最近几年的室内空气检测数据统计发现，甲醛污染的问题尤为突出，但人们常常忽略它，对甲醛的来源、危害，甲醛室内分布情况以及甲醛随时间、温度的变化情况都不大了解，对检测和解决室内甲醛污染物的方法仅仅局限于市面上出售的空气检测仪和空气净化器，而两者功能兼具的少之又少[1]-[6]。本文主要对室内甲醛数据进行数值分析，研究室内甲醛分布特征。

2. 甲醛浓度受时间、温度影响以及甲醛空间分布情况

甲醛已经被世界卫生组织确定为致癌和致畸形物质[1] [2]，在 I 类民用建筑工程中甲醛指标 $\leq 0.07 \text{ mg/m}^3$ ，在 II 类民用建筑工程中甲醛指标 $\leq 0.08 \text{ mg/m}^3$ [3]，而甲醛主要来源于木制类家具中的板式家具、粘胶剂、头发定型剂、洗发香波、沐浴露、墙纸、壁纸、窗帘、墙布、夹板及地板用 804 胶、化钎地毯、劣质万能胶、油漆、泡沫塑料、烟草、燃料燃烧等。

2.1. 温度对甲醛浓度的影响

本文涉及甲醛浓度受时间、温度影响及甲醛在室内的空间分布情况的相关数据源自于文献[4]关于室内空气甲醛污染调查及分析[4]以及文献[5]关于不同室内环境条件对甲醛浓度影响。如图 1 所示，随着温度的升高，甲醛浓度在不断的增加。由 Matlab 拟合温度受甲醛浓度影响的方程为 $f(x) = 3.129 e^{0.01187x}$ ，可预测出当温度高于 40°C 时，甲醛的浓度随着温度增大而增大，当温度低于 -30°C 时，甲醛的浓度随着

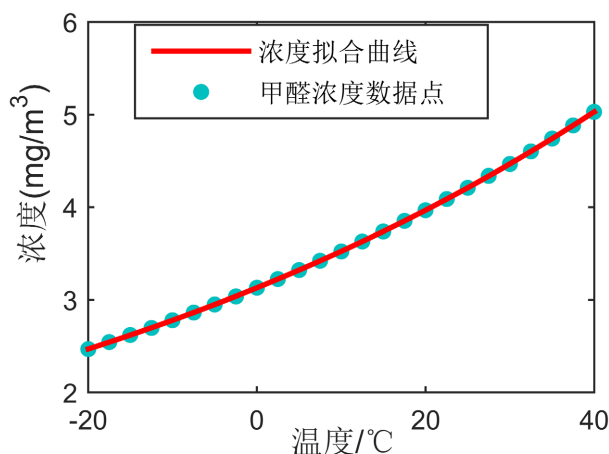


Figure 1. Effect of temperature on formaldehyde

图 1. 温度对甲醛浓度的影响

温度的减小而减小。由于释放出甲醛的反应是熵增吸热反应，随着温度逐渐升高，甲醛浓度增大，同时由于温度升高也会促使反应速度加快，进而使木地板、家具等物品释放甲醛的速率增大，所以甲醛具有温度越高挥发越快的特点。因此，在夏季应当加强对甲醛的防止措施，同时将室内温度控制在 18℃~22℃ 时，使得人体不仅在室内处于舒适状态，而且甲醛的挥发速率也较慢。

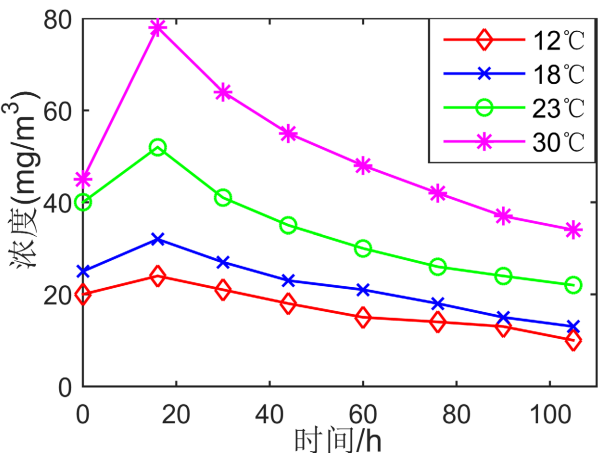


Figure 2. Effect of time and temperature on formaldehyde concentration in confined space
图 2. 密闭空间内时间和温度对甲醛浓度的影响

2.2. 密闭空间内时间和温度对甲醛浓度的影响

如图 2 所示，室内装修材料中若没有甲醛，在温度升高时室内初始甲醛浓度会随着温度的变化而不断挥发，浓度下降，但图中甲醛浓度在初始时间段呈现出上升趋势，则可猜测室内装修材料中含有甲醛。在密闭空间内，相同温度下，初始阶段，家具、装饰材料等随着时间变化不断释放甲醛，导致空间内甲醛浓度增加。一段时间后，甲醛释放速度变缓，且甲醛不断被挥发，使得室内甲醛浓度降低，所以浓度高到一定程度时，就不会继续升高，继而出现下降的现象。不同温度下，甲醛挥发速率不同，在 12℃~30℃ 之间，随着温度增加，装饰材料释放甲醛的速度增加，导致局部甲醛浓度增加迅速，所以温度越高，甲醛浓度在前期升高越快。在这 5 个温度随时间变化中，差异率较大的为 23℃，达到 60%。由图也预测出甲醛浓度最终下降至 0℃，因此，在密闭空间中，应控制温度在 23℃ 左右，使得甲醛含量随时间变化减少更快。

Table 1. Variance analysis of formaldehyde indoor temperature
表 1. 甲醛室内温度的方差分析

方差来源	自由度	平方和	均方	F 比	P 值
因素(室内温度)	3	5286	1762.1	18.43	8.47×10^{-7}
残差	28	2678	95.6		

根据图 2 的数据，针对温度因素的方差分析(如表 1 所示)，可知 P 值为 8.47×10^{-7} (P 值远远小于 0.05)，同样说明室内温度对甲醛有显著差异。

2.3. 室内甲醛空间分布情况

根据 2016~2019 年(0~60 月)室内甲醛空间分布情况(如图 3 所示)，各空间甲醛浓度均超出 I 类民用建

筑工程中甲醛指标。在整个室内都处于自然通风状态下,由于甲醛不断挥发,甲醛在室内各分布情况随时间的推移整体上是呈下降趋势。在受到室内温度、室内相对湿度、单位空间甲醛散发材料表面积、装修程度、室内空气流通量、装修完成时间等影响下,套房内的空气甲醛浓度普遍呈如下规律:厨房 > 书房 > 卫生间 > 主卧 > 客厅,这种规律与厨房、书房、卫生间、主卧的面积通常较小,室内书橱、柜橱

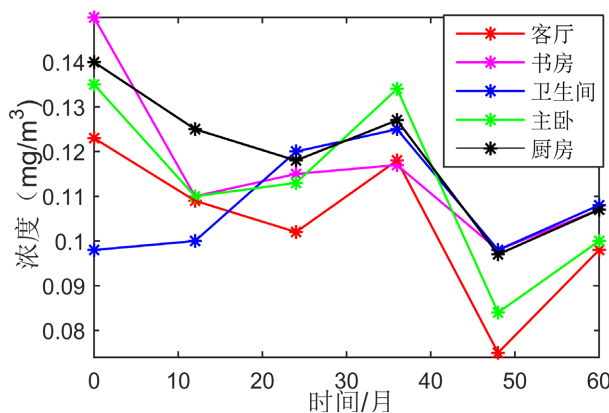
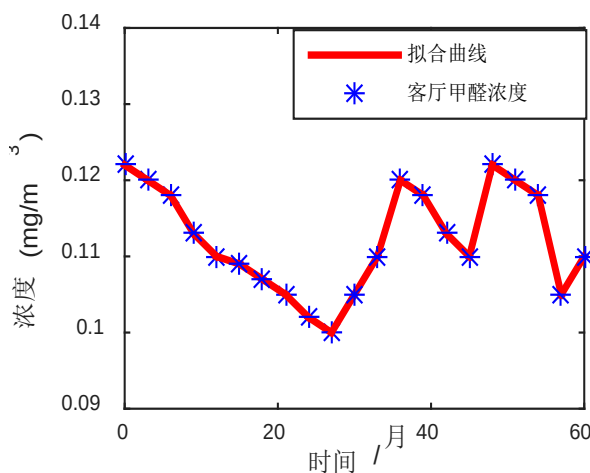
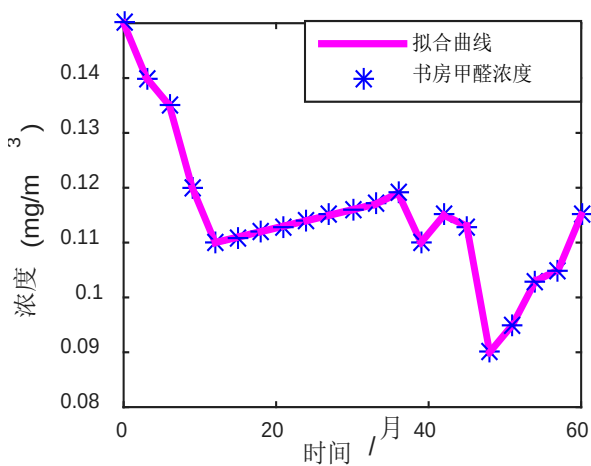


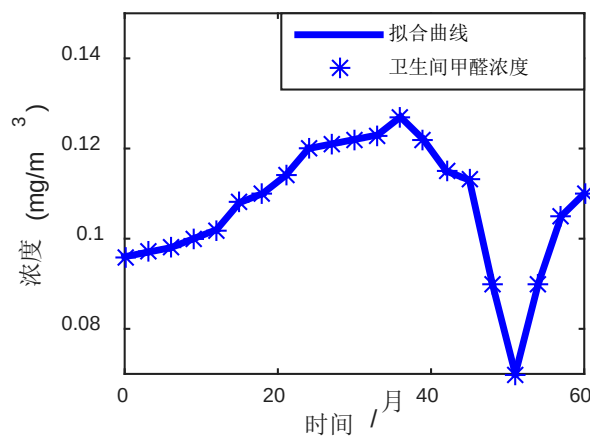
Figure 3. Indoor formaldehyde spatial distribution
图 3. 室内甲醛空间分布情况



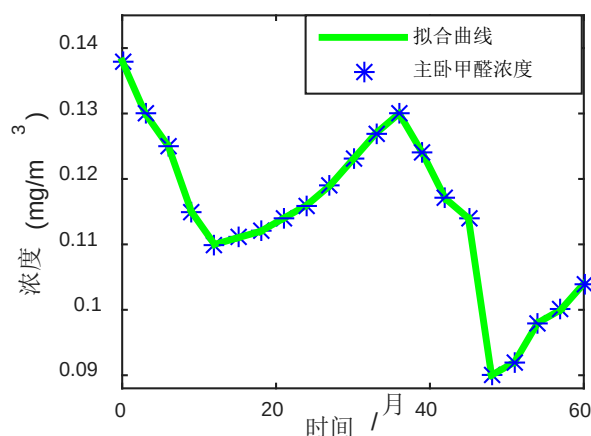
(a) 客厅内甲醛浓度的时序图



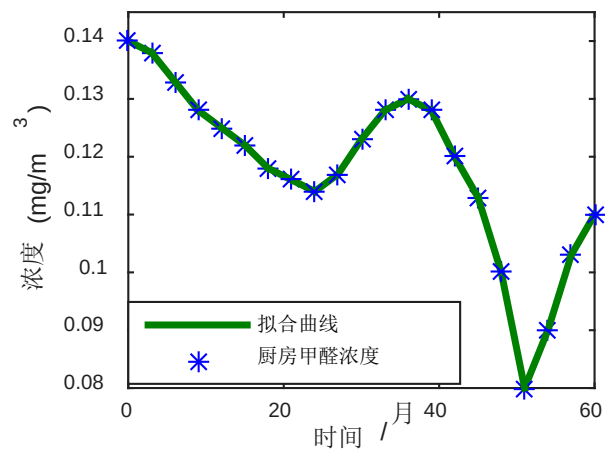
(b) 书房内甲醛浓度的时序图



(c) 卫生间内甲醛浓度的时序图



(d) 主卧内甲醛浓度的时序图



(e) 厨房内甲醛浓度随时间变化预测图

Figure 4. Time evolution trend of indoor formaldehyde
图 4. 室内甲醛关于时间演化趋势

Table 2. Variance analysis of formaldehyde indoor space
表 2. 甲醛室内空间的方差分析

方差来源	自由度	平方和	均方	F 比	P 值
因素(室内空间)	3	0.000377	0.0001258	0.809	0.493
残差	79	0.012289	0.0001556		

等家具较多，且通风不足，而客厅空间大，空气较为流通的状况有关。可以发现只有卫生间的甲醛浓度随时间的推移呈增长趋势，是因为卫生间内部环境较为封闭，流通性较差，温度也较其它地方偏低，甲醛挥发较慢，且卫生间内部比较潮湿，甲醛易溶解于水中，使得甲醛的释放量要较其他地方略高。又因为 2018 年和 2020 年是高温年份，因此甲醛在这两年期间释放量较高，呈增长趋势。

2019~2021 年(33~60 月)的室内甲醛空间分布的预测情况(如图 4(a)~(e))与原来(如图 3)进行对比，判断出在客厅、厨房、书房、主卧这 4 处位置甲醛含量随时间推移大致呈下降趋势，而卫生间所含甲醛含量较初始增多。综上，日常生活中要加强对厨房、书房以及卫生间中甲醛的防控，尤其注意卫生间。

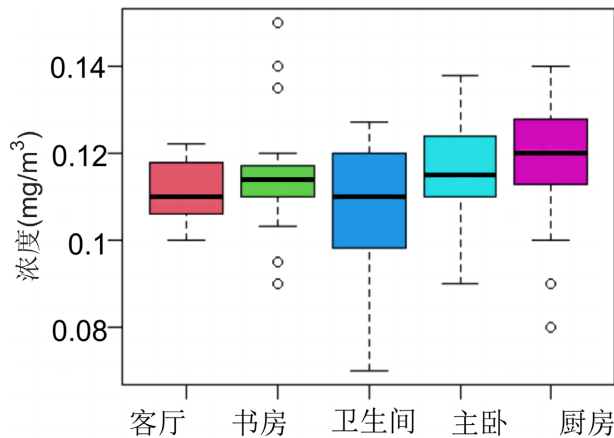


Figure 5. Formaldehyde boxplots for indoor space
图 5. 室内空间甲醛箱线图

根据图 4 的客厅、书房、主卧、厨房数据,我们得到这四个空间内的箱线图(如图 5 所示),可知这四个空间内的甲醛浓度的中位数在 0.11 至 0.12 之间。并利用上述四个空间数据(剔除异常值),针对空间分布因素的方差分析(如表 2 所示),可知室内残差的平方和与均方值分别为 0.012289, 0.0001556, 且 P 值为 0.493 (P 值远远大于 0.05), 说明室内甲醛的空间分布无显著差异。

3. 总结

室内甲醛一般受室内温度、室内相对湿度、单位空间甲醛散发材料表面积、装修程度、室内空气流通量等因素影响比较大,在无空气净化剂或甲醛清除剂的条件下,本文研究时间和温度对室内甲醛浓度的影响以及甲醛在室内的空间分布情况。利用经典时间序列理论对甲醛浓度进行预测以及方差分析,帮助人们提高人居环境,了解甲醛扩散特征。

基金项目

广西自然科学基金(AD21159013, 2021GXNSFAA220033)和大学生创新创业训练计划项目(S202210608121)。

参考文献

- [1] 江浩芝, 赵婉君. 室内甲醛的危害及其污染现状[J]. 广东化工, 2016, 43(11): 189, 201.
- [2] 袁爽登, 周艺, 陈久存. 室内甲醛来源及其防治措施[J]. 广州化工, 2018, 46(16): 45-48.
- [3] 王芄远, 贾云飞. 降低室内污染共享清新空气——GB 50325-2020《民用建筑工程室内环境污染控制标准》解读[J]. 工程质量, 2021, 39(3): 1-5.
- [4] 齐悦, 张慧, 孙凯. 牡丹江市室内空气甲醛污染调查及分析温度对甲醛浓度的影响[J]. 中国市场, 2017(13): 320, 335.
- [5] 杨莉芬, 张敏. 不同室内环境条件对甲醛浓度影响的研究[J]. 产业与科技论坛, 2013(8): 115-116.
- [6] 李小英, 刘兵兵, 刘国义. 空气净化剂产品甲醛净化效果的研究[J]. 低碳世界, 2020, 10(5): 9, 11.