

木质集成家居室内空气甲醛浓度控制研究进展

伍艳梅, 唐召群, 王 瑞

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 分析了木质集成家居室内空气甲醛浓度的影响因素, 及室内装饰材料承载率对室内空气甲醛浓度的影响, 重点介绍了室内空气甲醛浓度研究进展, 提出在家居设计阶段控制室内空气甲醛浓度的建议。

关键词: 木质集成家居; 甲醛浓度; 室内空气; 承载率; 控制方法

中图分类号: TS664; TS67 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 06-0029-04

Research Progress in Indoor Formaldehyde Concentration Control for House Interior Decoration with Prefabricated Wood-based Components

WU Yan-mei, TANG Zhao-qun, WANG Rui

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Factors affecting indoor formaldehyde concentrations were analyzed and the methods of controlling the concentration among relevant standards in Japan, Europe and China were compared. Special consideration based on loading rate was given to predicting the concentrations in house interior decoration with prefabricated wood-based components. It was hoped the research progress could provide a reference to improvement of controlling indoor formaldehyde concentrations in China.

Key words: house interior decoration with prefabricated wood-based components; formaldehyde concentration; indoor air; loading rate; control method

近年来, 我国木质集成家居市场蓬勃发展, 衣柜、橱柜、地板、木质室内门、墙板和木线条等, 均是木质集成家居部品的主要组成, 而这些材料的80%以上采用浸渍胶膜纸饰面人造板(简称饰面板)制造。饰面板制造需要使用醛类树脂, 在使用过程中, 树脂内部游离甲醛缓慢释放, 除此之外, 树脂也会因外界因素产生水解、老化而缓慢释放游离甲醛。对于有限的室内空间, 即使所用饰面板的甲醛释放量均达标合格, 但是单位空间承载的饰面板

表面积(承载率)过大时, 其积蓄效应仍可导致室内空气中甲醛浓度超标。

为了提升产品的使用安全性, 世界主要国家及国际标准化组织相继颁布了空气质量甲醛浓度限量标准, 学者们也纷纷建立人造板甲醛释放量与其影响因素之间的预测模型。但各标准间的测试条件(如密闭时间)不一致, 以及模型的适用范围受材料种类、环境条件所限, 尚不能直接运用于木质集成家居室内空气质量的预测。因此, 分析室内空气甲醛浓度的影响因素及规律, 建立各类材料承载率与室内空气甲醛平衡浓度的关系, 探究基于承载率的室内空气甲醛浓度预测及控制方法, 从事后补救前移到从装修设计环节加以控制, 对我国集成家居标准体系的完善和提供标准制修订依据, 具有重要意义。

收稿日期: 2018-11-11; 修改日期: 2019-10-15

基金项目: 国家重点研发计划课题“新型与特种木材深加工共性技术标准研究”(2016YFF0201903)

作者简介: 伍艳梅(1983—), 女, 工程师。Email: wuyanmeisky@163.com。

责任作者: 唐召群, 男, 高级工程师。Email: tzq@rzbzj.org。

1 影响室内空气甲醛浓度的因素

自1982年以来,世界主要国家先后颁布了室内空气中甲醛浓度的限量值标准。2010年世界卫生组织(WHO)提出,室内空气中甲醛浓度的安全标准为 0.10 mg/m^3 ^[1],超量会损害人体健康。

我国目前涉及室内空气质量控制标准有两个:GB 50325-2010(2013版)《民用建筑工程室内环境污染控制规范》和GB/T 18883-2002《室内空气质量》。前者规定了I类建筑(如住宅)的甲醛浓度限值是 0.08 mg/m^3 ;II类建筑(如办公大楼)限值是 0.10 mg/m^3 ,其验收对象通常是未放入木质集成家居部品的民用建筑工程用房^[2]。要求采样前关闭门窗1 h,采样时间20 min。而后者适用于已放入木质集成家居部品的住宅和办公室,要求采样前关闭门窗12 h,采样至少45 min(1 h平均浓度采样时间),甲醛浓度限值是 0.10 mg/m^3 。相比之下,GB/T 18883-2002的密闭时间、采样时间及标准限值更为严格。

除测试方法、室内装饰装修材料本身质量等因素外,环境温/湿度、空气交换率和材料的承载率均是影响室内甲醛浓度的重要因素。目前国内外研究多围绕温、湿度和空气交换率展开,而承载率的影响鲜见报道。

1.1 温度和湿度

大量研究证实,环境温、湿度升高均会加快板材中游离甲醛的释放速率。当环境湿度 $<50\%$,湿度增加,甲醛释放速率仅小幅上升;但湿度 $>50\%$ 后,甲醛释放速率则随湿度的增加而明显加大。有研究显示,相对湿度从 50% 增加到 85% ,小气候箱中稳态甲醛浓度增加了 $1.8\sim 3.5$ 倍^[3]。

相比湿度,环境温度影响更大,夏季室内平均甲醛浓度值是冬季的3倍^[4]。在 $<30\text{ }^\circ\text{C}$ 时,温度每升高 $1\text{ }^\circ\text{C}$,甲醛浓度变化率大约提升 0.002 mg/m^3 ;而温度在 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 时,室内甲醛浓度是 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 时的2倍,且甲醛释放浓度达到平衡的时间也大大缩短^[5-7]。对于接近热源的地采暖复合木质地板,甲醛释放量随着温度的升高可成倍甚至成指数关系地快速增加。地采暖强化木地板在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时的甲醛释放量,相对 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的增幅达 $4\sim 30$ 倍^[8-11]。

1.2 空气交换率

空气交换率是影响空气质量的非常重要因素,

提高空气交换率可有效降低和控制室内甲醛浓度^[12]。研究表明,经过7天通风后,饰面板的甲醛释放量可下降 63% ^[13]。但随着人们关注节能,要求建筑物气密性提升,室内环境和节能成为矛盾。建议室内空气交换率较合理的区间应为 $0.5\sim 1.0$ 次/h^[14]。

1.3 板材放置时间和居室封闭时间

延长饰面板的室内放置时间,其甲醛释放量亦呈现下降的趋势。GB 50325-2010(2013版)规定,民用建筑工程及室内装修工程的室内环境质量,应在完工至少7天后、工程交付使用前进行验收^[2]。统计分析显示,完工5个月后,室内甲醛浓度可低于 0.1 mg/m^3 ;7个月后可降至 0.08 mg/m^3 以下^[4]。

但随着居室封闭时间的延长,室内的甲醛浓度也会呈升高趋势。尤其是在封闭 $1\sim 8\text{ h}$ 之间,甲醛浓度递增较快,而 8 h 以后明显减缓;封闭 12 h 的室内甲醛浓度是封闭 1 h 时浓度的 $3\sim 4$ 倍,而封闭 12 h 后浓度变化趋稳^[15],与密封 24 h 的差别仅为 5% (温、湿度条件相近的情况下)。

1.4 承载率

室内人造板材料的承载率,对室内甲醛浓度的影响不容忽视。调查发现,放置了家具的空间内,甲醛浓度明显高于未放置家具时^[16]。据2009—2014年室内装饰装修情况的统计,卧室内板材的承载率通常在 $1.2\sim 2.0\text{ m}^2/\text{m}^3$ 之间^[14]。研究还发现,在 $10\sim 50\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,气候箱内板材的承载率低于 $1\text{ m}^2/\text{m}^3$ 范围内,甲醛平衡浓度随承载率的增大而迅速升高,但当装载比达到 $1\text{ m}^2/\text{m}^3$ 之后,甲醛平衡浓度便不再大幅度变化^[15]。

2 室内空气甲醛浓度预测模型与控制方法

目前,室内空气甲醛浓度问题的研究,多是在选定的标准条件下对人造板进行表征。主要预测室内人造板的暴露面积、温/湿度、空气交换率等因素变化下的甲醛释放性能。然后采用回归分析各因子影响下的人造板在室内的甲醛释放过程。

2.1 预测模型

1) 小气候箱模型

早在1975年,有学者研究了温/湿度、空气交换率对气候箱中刨花板甲醛浓度的影响。随着空气交换率的增加,甲醛浓度发生双曲线降低,而甲醛平

衡浓度与温/湿度均成正比^[17]。在此基础上建立了已知温度、空气湿度、空气交换率和刨花板承载率条件下,室内甲醛平衡浓度的方程1。

$$C_{ss} = \frac{(RT+S)(aH+b)}{1+(\frac{nc}{L})} \quad (1)$$

式中: C_{ss} —甲醛平衡浓度; T —温度, °C; H —湿度, g/kg; L —承载率, m^2/m^3 ; n —空气交换率, h^{-1} ; a , b , c , S , R —刨花板类型和饰面常数, 通过试验获得数据。

但简单通过式1不能反映所有类型饰面板甲醛平衡浓度。

2) 大气候箱模型

另有学者通过建立小气候箱中各类刨花板甲醛释放率与甲醛浓度之间的关系, 对式1进行升级^[18], 得到式2, 用于预估大型试验室内空气交换率和承载率对刨花板甲醛释放量的影响^[1]。

$$\frac{1}{C_{ss}} = \frac{1}{C_{eq}} + \frac{1}{C_{eq}K} \frac{n}{L} \quad (2)$$

式中: C_{eq} —室内空气交换率 n 为 $0 h^{-1}$ 时的甲醛浓度; K —甲醛传递系数, 刨花板 K 值 $0.40 \sim 1.58 m/h$ 之间。

利用 $24 m^3$ 大型气候室, 学者们研究了环境条件变化下的甲醛释放量和刨花板暴露面积, 并开发了数学模型 Berge 方程 (式3)。基于测定标准状态下的甲醛浓度, 及计算任何环境条件下的室内甲醛浓度^[19-20]。

Berge 方程是假定刨花板甲醛释放量随着空气相对湿度的增加而线性增加, 并假设在没有空气交换及没有室内空气浓度梯度的系统中, 温度和相对湿度对甲醛平衡浓度的影响。

$$C_x = C(1 + A_B(H - H_0))e^{-R_B(1/T - 1/T_0)} \quad (3)$$

式中: C_x —室内甲醛平衡浓度, ppm; C —选定标准条件下 (RH 60%、22 °C) 封闭系统中的甲醛平衡浓度, ppm; T —实际温度, K; T_0 —在标准条件下的温度, K; H —实际相对湿度, %; H_0 —标准条件下的相对湿度, %; R_B —温度系数 (实验得出刨花板最佳值: 9 799 K); A_B —湿度系数 (刨花板最佳值: 0.0175%)。

在各种环境条件下, Berge 模型是一种较好的甲醛浓度预测方式, 但其数学关系具有模型特征, 无法直接用于刨花板以外的其他板种预测, 且仅能预

测 $13 \sim 30$ °C 区间内的变化值, 应用范围有限^[21]。

此外, 上述3个方程未考虑材料老化以及饰面板结构均质与否的影响^[22-24], 故尚不能适用于不同类型板材的室内甲醛浓度预测。

2.2 室内空气甲醛浓度控制方法

2.2.1 国外

1) 日本 日本建筑基准法实施令^[25]明确限制了室内各甲醛释放量等级人造板的使用面积, 规定: 对甲醛释放量平均值 $\leq 1.5 mg/L$ 、最大值 $\leq 2.1 mg/L$ 的板材, 其暴露面积总量, 不得超过地面面积和墙面面积之和的 30%; 对平均值 $\leq 0.5 mg/L$, 最大值 $\leq 0.7 mg/L$ 的板材, 则暴露面积不得超过地面面积的 2 倍。但该方法设定的甲醛限量等级范围较宽, 不适用于对个体甲醛释放等级饰面板的承载率进行预估。

2) 欧洲 普遍采用欧洲标准房间参数 (Standard Reference Room), 预测材料的实际使用效果。

3) 国际标准 根据 ISO 16000-9: 2006 “Indoor air — Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing — Emission test chamber method” 第13章推导, 得到式4, 主要用于确定特定暴露面积饰面板 VOC 的释放率, 并可用于计算室内 VOC 浓度。该方法也适用于确定甲醛释放率, 并运用 ISO 16000-3: 2001 “Indoor air - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method” 甲醛释放率的测量程序进行评估。

$$q_A = (C_x \times N \times V) / S \quad (4)$$

式中: q_A —材料的甲醛释放速率, $mg/(m^2 \cdot h)$; C_x —标准状态下环境舱内甲醛浓度, mg/m^3 ; N —环境舱空气交换率, h^{-1} ; S —饰面板暴露表面积, m^2 ; V —环境舱体积, m^3 。

2.2.2 国内

我国主要通过室内空气甲醛浓度增量值倒推出承载率。2018 年新出台的 T/310101002-C011-2018 《全屋定制木 (制) 家具》^[26]提出, 根据材料的甲醛释放速率来描述室内甲醛浓度增量的计算模型, 见式5。通过设定增量值, 达到控制材料使用面积的目的。

$$\Delta C = (q_A \times S) / (V \times 0.68) \quad (5)$$

式中: ΔC —室内甲醛浓度模拟增量值, mg/m^3 ; 0.68—

室内空气模型的空气交换率, h^{-1} 。

也有学者尝试运用式4, 将人造板甲醛释放速率折算成欧洲标准房间法, 预测室内空气甲醛浓度^[27]。

3 建议

结合我国实际装修和相关标准规定, 建立木质集成家居室内甲醛浓度控制方法, 需考虑如下因素:

1) 建筑工程本身甲醛浓度的影响

拟定室内留给木质集成家居部品使用材料甲醛浓度增量值为 ΔC , 可用式6描述:

$$\Delta C = C_s - C_0 \quad (6)$$

式中: C_s —木质集成家居室内甲醛浓度设计目标, 以 GB/T 18883-2002 的限量值 0.10 mg/m^3 作为最大值; C_0 —建筑工程完成 7 天后, 未放入集成家居部品前的室内甲醛浓度实测值, mg/m^3 。

2) 材料种类、温湿度和空气交换率的影响

若木质集成家居部品使用单一材料, 可根据式4推导出式7, 即满足木质集成家居室内甲醛浓度设计目标的前提下, 室内可用饰面板最大暴露面积 S 。

$$S = (\Delta C \times N \times V) / q_A \quad (7)$$

在夏季, 材料的 q_A 值建议选取 28°C 、RH 50%^[25] 下的实测值; 地采暖地板的 q_A 值, 则应选取更为严格环境条件下的实测值。

按照最新版 JGJ 134-2010《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》的规定, 夏、冬季室内热环境设计中, 空气交换率应符合 1.0 次/h ^[28], 同时考虑空气交换率对于室内甲醛浓度的影响, 建议式7中空气交换率 N 取 1.0 次/h , V 为房间实际体积, m^3 。

若木质集成家居部品由多种材料组成时, 可依据式8计算室内可使用的第 n 种材料最大暴露面积, 并控制每种材料的实际暴露面积 $\leq S_n$ 即可。

$$S_1/S_{10} + S_2/S_{20} + \dots + S_n/S_{n0} = 1 \quad (8)$$

式中: S_n —第 n 种材料的最大暴露面积, S_{n0} —只用这种材料时的最大暴露面积, 由式7计算得出。

4 结语

室内甲醛浓度影响因素复杂性, 制约了木质集成家居室内空气质量预估, 影响家居设计环节中材料承载率的有效控制, 目前尚未形成适用于我国集成家居室内空气质量的控制方法。

今后有待从控制材料承载率入手, 根据产品使用环境, 选择温、湿度参数, 同时规避建筑本身甲醛释放源的影响, 建立室内甲醛浓度预估公式, 为木质集成家居室内空气质量控制提供参考。高温、高湿叠加作用、板材叠加等对于室内空气甲醛浓度的综合影响, 也有待深入研究和实验验证。建议尽早出台相关标准, 以指导我国集成家居室内空气质量浓度的精准预测。

参考文献:

- [1] Salthammer T, Mentese S, Marutzky R. Formaldehyde in the indoor environment [J]. Chem. Rev. 2010, 110: 2536–2572.
- [2] GB 50325-2010, 民用建筑工程室内环境污染控制规范 (2013 版) [S].
- [3] Parthasarathy S, Maddalena RL, Russell ML, et al. Effect of temperature and humidity on formaldehyde emissions in temporary housing units[J]. J. Air Waste Manag. Assoc, 2011, 61(6): 689-695.
- [4] 梁宝生. 我国甲醛室内空气质量标准建议值的探讨[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(12): 193-194.
- [5] 吕庆奎, 满杰, 陆希峰, 等. 室内环境污染物质、甲醛、氨、苯、TVOC 检测过程中的质量控制[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018(3): 46-47.
- [6] Kim S, Kim HJ. Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperature in under heating system; ONDOL[J]. Indoor Air, 2005, 15(5): 317-325.
- [7] 王恩东. 新装修室内甲醛含量释放速率研究[J]. 科学咨询(科技·管理), 2017(10): 46.
- [8] 李腊梅, 谢桂军, 李兴伟. 不同温度条件下浸渍纸层压木质地板的甲醛释放量研究[J]. 林业与环境科学, 2017(6): 15-19.
- [9] LI L M, XIE G J, LI X W. Study on formaldehyde emission of laminate flooring under different temperature conditions[J]. Forestry and Environmental Science, 2017(6): 15-19.
- [10] Wiglusz R, Sitko E, Nikel G, et al. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds (VOC) from laminate flooring: case study[J]. Building and Environment, 2002, 37(1): 41-44.
- [11] 王武康, 陈曦曦, 王国琴, 等. 地暖环境下地板甲醛释放特征研究[J]. 林产工业, 2016, 43(9): 49-51.
- [12] WANG W K, CHEN X X, WANG G Q, et al. Characteristics of formaldehyde releasing from floor in heating environment[J]. China Forest Products Industry, 2016, 43(9): 49-51.
- [13] 叶春香, 崔启鹏, 吴玉琪, 等. 地采暖用实木复合地板甲醛释放变化规律[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(2): 31-33.
- [14] YE C X, CUI Q P, WU Y Q, et al. Formaldehyde release regularities in variation of engineered wood flooring for ground with heating system[J]. Forestry and Environmental Science, 2016, 32(2): 31-33.
- [15] Gilbert NL, Guay M, Gauvin D, et al. Air change rate and concentration of formaldehyde in residential indoor air[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42: 2424–2428.
- [16] 吴志均, 林锐航, 许文成. 使用环境对板式家具甲醛释放量的影响[J]. 广东化工, 2014, 41(2): 82-83.

(下转第37页)

- (责任编辑 向琴)

(上接第 32 页)

- (责任编辑 姜 征)