

木门甲醛释放量的无损检测方法

朱钦^{1,2}, 程丽美^{1,2△}, 唐强强^{1,2*}, 彭飞^{1,2}, 聂天驰³, 朱远鹏^{1,2}, 徐振军^{1,2}

(1. 江西省检验检测认证总院工业产品检验检测院, 南昌 330200; 2. 国家竹木产品质量检验检测中心, 南昌 330200;
3. 南昌建材大市场有限公司, 南昌 330000)

摘要:研究了可广泛普及的适用于木门甲醛释放量检测的无损检测方法。对比分析3种有害物质释放量无损检测方法测试过程及计算模型构建原理, 构建2种木门有害物质释放量无损检测方法计算模型——无损检测法(直测法)、无损检测法(换算法)。采用5 m³气候箱以中密度纤维板模拟木门承载率范围制备试样, 使用直测法、换算法2种模型进行甲醛释放量检测, 采用目前主流的木门甲醛释放量检测方法——1 m³气候箱法检测实际甲醛释放量, 对甲醛释放进行传质理论分析。结果表明: 换算法所测甲醛释放量与产品实际甲醛释放量会发生偏离, 产品实际甲醛释放量越大, 换算法检测结果偏离越大; 直测法与1 m³气候箱法检测条件等效, 使用直测法无损检测木门甲醛释放量真实、准确。相较于甲醛释放速率, 以舱内甲醛浓度作为甲醛释放量评价指标较合理。木门甲醛释放量无损检测应选用无损检测法(直测法), 即木门整体放入气候箱, 以试验承载率与标准承载率(1 m²/m³)的比值设定试验时的空气交换率进行试验, 所测舱内甲醛浓度即为木门甲醛释放量。无损检测法是对木门整体进行检测, 采用无损检测法检测20扇木门甲醛释放量, 部分检测数据与1 m³气候箱法检测数据有较大差异, 木门边部释放的甲醛不容忽视。

关键词: 木门; 无损检测方法; 有害物质释放量; 甲醛释放量; 计算模型

中图分类号: S781; TS67

文献标志码: A

文章编号: 2096-1359(2024)01-0053-08

Non-destructive testing methods for examination of formaldehyde emission from wooden doors

ZHU Qin^{1,2}, CHENG Limei^{1,2△}, TANG Qiangqiang^{1,2*}, PENG Fei^{1,2},
NIE Tianchi³, ZHU Yuanpeng^{1,2}, XU Zhenjun^{1,2}

(1. Institute of Inspection and Testing for Industrial Products of Jiangxi General Institute of Testing, Nanchang 330200, China;
2. National Center for Quality Inspection and Testing of Bamboo and Wood Products, Nanchang 330200, China;
3. Nanchang Building Materials Market Co. Ltd., Nanchang 330000, China)

Abstract: The widely applicable non-destructive testing (NDT) methods for detecting formaldehyde emission from wooden doors were studied. The testing process and calculation model construction principles of three non-destructive testing methods for harmful substance release were compared and analyzed, and two calculation models for non-destructive testing methods for detecting harmful substance release in wooden doors-NDT (direct measurement method) and NDT (conversion method) were developed. Medium density fiberboards were used to simulate the bearing capacity range of wooden doors to prepare samples for formaldehyde emission testing in a climate box with a size of 5 m³, and the direct measurement and conversion methods were used to detect formaldehyde emissions. The current mainstream method for detecting the formaldehyde emission from wooden doors, i.e., 1 m³ climate box method, was adopted for detecting actual formaldehyde emissions, and the mass transfer theory analysis was conducted on examining the formaldehyde release. The results showed that the data tested by conversion method would deviate from the actual formaldehyde emission of the product. The larger the actual formaldehyde emission of the product was, the greater the deviation of the conversion method detection results was. The direct measurement method is equivalent to the 1 m³ climate box method in the detection conditions, and the non-destructive testing of formaldehyde emission from wooden doors using the direct measurement method was true and accurate. Compared with the release rate of formaldehyde emission, it was more reasonable to use the concentration of formaldehyde emission in the cabin as an evaluation indi-

收稿日期: 2023-08-23

修回日期: 2023-09-26

基金项目: 江西省检验检测认证总院科研项目(ZYK202213)。

作者简介: 朱钦, 男, 高级工程师, 研究方向为竹木、轻工建材等产品的检验检测方法。程丽美为共同第一作者。通信作者: 唐强强, 男, 工程师。E-mail: tangqiangqiang58@163.com

cator for the release amount of formaldehyde. The non-destructive testing method (direct measurement method) is able to be used for the examination of formaldehyde emission from wooden doors, that is, the wooden door should be placed in a climate box as a whole, the ratio of the testing bearing capacity to standard bearing capacity ($1 \text{ m}^2/\text{m}^3$) should be set as the air exchange rate, and the concentration of formaldehyde in the measured cabin is the amount of formaldehyde released from the wooden door. In this study, the non-destructive testing method was used to test the entire wooden door, the formaldehyde emissions of 20 wooden doors were tested with the non-destructive testing method, and some of the testing data have significant differences with the testing data of the 1 m^3 climate box method, which showed that the formaldehyde released from the edges of wooden doors cannot be ignored. Using the NDT (direct measurement method) to detect the formaldehyde emission of wooden doors could not only improve the authenticity of the testing data, but also avoid the waste of a large number of wooden door products caused by destructive testing and save wood resources.

Keywords: wooden door; non-destructive testing method; release of harmful substance; formaldehyde emission; calculation model

木门有害物质释放量主要包含甲醛释放量、挥发性有机化合物(VOC)释放量^[1]。参考 GB/T 17657—2022《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》及文献[2-5],目前国内外适用于木门产品甲醛释放量的检测方法有穿孔萃取法、干燥器法、 1 m^3 气候箱法、气体分析法、小室法、抽吸法、大气候箱法。除大气候箱法外,其余检测方法均需对木门产品进行裁切破坏,对木门产品和木材资源造成较大浪费;另外,裁切状态与木门实际使用状态不完全一致,未将产品整体考虑,部分木门边部与表面甲醛释放速率存在较大差异,因此,所测甲醛释放量与产品实际状态的符合性有待提高。而 JG/T 528—2017《建筑装饰装修材料挥发性有机物释放率测试方法——测试舱法》中整体测试木门所用气候箱法大于 30 m^3 ,其余大气候箱法有的要求气候箱体积不小于 22 m^3 ,有的要求不小于 12 m^3 ,设备占地面积大、成本高,难以广泛普及。

目前,适用于木门甲醛释放量的主流检测方法为 1 m^3 气候箱法,该法为有损检测法,笔者研究了一种可普及性强的木门甲醛释放量无损检测方法。参考 GB/T 35607—2017《绿色产品评价 家具》、QB/T 2280—2016《办公家具办公椅》等标准,检测甲醛释放量、挥发性有机化合物(VOC)释放量时,2种有害物质检测的试验条件、计算模型完全一致,仅采样方法和样品分析方法不同。因此,木门挥发性有机化合物(VOC)释放量无损检测可参考本研究的甲醛释放量无损检测试验条件及计算模型。因木门相关标准中甲醛释放量检测通常采用 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》4.60 中乙酰丙酮、乙酸铵分光光度法,本研究中木门甲醛释放量采用该法采样分析;

木门 VOC 可参考 LY/T 1923—2020《室内木质门》标准中 VOC 的采样分析方法。

1 有害物质释放量无损检测计算模型构建

1.1 挥发性物质散发机理

产品在气候箱中挥发性物质释放量的计算公式是基于理想状态的数学模型推导而来的。理想状态包括:空气是均匀地流经样品表面任何一处位置;单位时间进出舱内的气体流量绝对稳定;气候箱中气体交换为理想状态瞬间混匀;箱内气体与排出的气体中挥发性物质浓度始终一致。

材料在气候箱内挥发性物质散发示意图见图1。材料内外由多孔连通,挥发性物质在材料内自然扩散,可认为材料内部至材料与空气接触面之间无挥发性物质浓度差或气体分压差。材料表面的挥发性物质在浓度梯度的驱动下向空气中缓慢释放,材料表面单位时间单位面积释放的气相体积为气相传质系数,该系数只与材料组分和结构有关^[6-9]。气相传质系数影响挥发性物质散发速率,气相传质系数越大,散发速率越大;材料表面挥发性物质浓度和空气中挥发性物质浓度之差也影响挥发性物质散发速率,差值越大,散发速率越大。

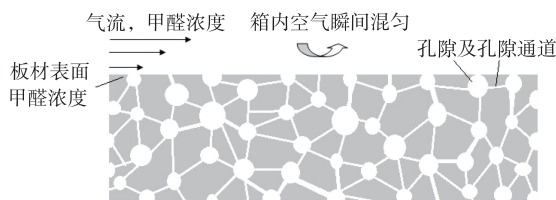


图1 材料在气候箱内挥发性物质散发示意图
Fig. 1 Schematic diagram of volatile substance emission from materials in a climate chamber

1.2 有害物质释放量无损检测计算模型

1.2.1 无损检测计算模型构建原理

使用气候箱法进行产品有害物质释放量无损

检测需考虑标准承载率、空气交换率及结果表示方式的设定,3 种主要的设定模式见表 1。

表 1 有害物质释放量无损检测方法

Table 1 Non-destructive testing methods for harmful substance release

序号	标准方法	试验过程	标准承载率	试验时的空气交换率	结果表示方式
1	GB/T 35607—2017 中的附录 B	产品预处理 120 h,整体放入气候箱 20 h 后采气	面积承载率 0.5 m ² /m ³	标准空气交换率 (1±0.05) h ⁻¹	测出舱内质量浓度与本底质量浓度之差为试验条件下舱内有害物质质量浓度(舱浓度) c_c ,通过样品暴露总面积 A 和单位时间进气流量 Q 计算释放速率 E , $E=c_c(Q/A)$,再通过标准承载率 L 与试验时的空气交换率 N 计算释放量 c , $c=E(L/N)$,单位 mg/m ³
2	GB/T 35607—2017 中的附录 D	产品预处理 120 h,整体放入气候箱 20 h 后采气	体积承载率 0.15	实际承载率与标准承载率的比值	测出舱内质量浓度与本底质量浓度之差即为释放量 c ,单位 mg/m ³
3	QB/T 2280—2016 中的 6.8	产品放入 1 m ³ 气候箱 24 h 后采气	无	标准空气交换率 1.0 h ⁻¹	样品总表面积与舱体积比为实际承载率 a ,通过试验条件下舱浓度 c_c 、试验时的空气交换率 N 计算释放量 E_F , $E_F=c_c(N/a)$,该结果实际为产品表面释放速率,单位 mg/(m ² ·h)

设定某一类产品检测方法时,对不同规格尺寸产品需统一量化方式,将检测结果转化为相同环境、承载率、空气交换率等试验条件下的数据,方能使每个产品之间的检测数据具有可比性。若有害物质释放量以舱浓度表示,国内外气候箱法检测室内家具、人造板产品有害物质的释放限量指标值均为标准承载率(由统计学数据或国内外共识确定产品在室内的承载率,人造板采用 1 m²/m³)、标准空气交换率(1 h⁻¹)条件下的舱浓度;若有害物质释放量以释放速率表示,则在一定范围内可忽略标准承载率的设定。表 1 中序号 1 的方法是通过测试试验条件下舱内有害物质浓度,换算得到标准承载率和标准空气交换率条件下的有害物质浓度,本研究称之为无损检测法(换算法)。

为使每个样品试验条件一致,对于不同承载率的样品,需设定相对应的空气交换率。单位时间进入气候箱的清洁空气量与试验承载率成正比例关系。表 1 中序号 2 的方法根据不同试验承载率设置不同空气交换率进行试验,本研究称之为无损检测法(直测法)。无损检测法(直测法)所测舱内有害物质浓度即为标准承载率和标准空气交换率条件下的有害物质浓度。木门产品外形类似于人造板,相较于体积,面积对有害物质释放量贡献更大,本研究将采用面积承载率进行表征。

表 1 中序号 3 的方法未设定标准承载率,采用释放速率作为有害物质释放量评判指标。该法与表 1 中序号 1 的方法相同,试验时的空气交换率固定为标准空气交换率,样品甲醛含量较低时,释放

速率随时间变化小。因此,该法忽略释放速率随时间的变化,采用样品释放 24 h 后的释放速率作为评判指标。

在气候箱温湿度相同的情况下,样品表面甲醛释放速率主要与人造板本身相关^[6,10]。若产品有害物质释放量较低,在一定范围内,产品表面和流经表面的空气中有害物质浓度差对释放速率影响较小,改变试验时的承载率,样品表面的有害物质释放速率可视为不变^[11-12]。因此,表 1 中序号 1 和序号 3 的方法均忽略承载率对释放速率的影响。

对 GB/T 35607—2017 中附录 B 公式推导可得:

$$c=c_c(Q/A)(L/N)=c_c(Q/V)(L/N)/(A/V)=c_c(L/a)$$

(1)

$$E=c_c(Q/A)=c_c(Q/V)/(A/V)=c_c(N/a)$$

(2)

式中: c 为标准条件下挥发性有害物质质量浓度,mg/m³; c_c 为试验条件下舱内挥发性有害物质质量浓度,mg/m³; Q 为单位时间进入气候箱的清洁空气量,m³/h; A 为被测样品暴露总面积,m²; L 为标准面积承载率,m²/m³; N 为试验时的空气交换率,h⁻¹,为气候箱设定值(1±0.05) h⁻¹的实际读数; V 为气候箱容积,m³; a 为试验面积承载率,m²/m³; E 为试验条件下挥发性有害物质释放速率,mg/(m²·h)。

不同规格尺寸试样无损检测时承载率不同,试验时要达到相同试验条件需调节设备进气流量,可参考表 1 中序号 2 的方法。若设备无法满足反复调节对精度的要求,可用换算法进行试验,空气交换率固定为标准空气交换率,通过实际承载率条件下的

有害物质浓度换算得到标准承载率条件下的有害物质浓度,可参考表1中序号1的方法;或参考表1中序号3的方法,以释放速率作为评价指标。

1.2.2 木门有害物质释放量无损检测方法模型构建

通过无损检测计算模型构建原理分析,制定了

适用于木门检测的2种无损检测方法模型。目前,木门有害物质释放量的主流检测方法为表2中序号1的方法,该法为有损检测方法;序号2和3的方法为本研究提出的2种木门有害物质释放量无损检测方法模型。

表2 3种检测方法试验过程及结果计算方式

Table 2 Test processes and results of calculation methods for three detection methods

序号	方法名称	试验条件	试验过程	释放量	释放速率
1	1 m ³ 气候箱法	温度(23±0.5)℃;相对湿度(50±3)%;试验承载率 $a=(1±0.02)\text{ m}^2/\text{ m}^3$;试验时的空气交换率 $N=(1±0.05)\text{ h}^{-1}$;试件表面空气流速0.1~0.3 m/s;舱内外压差(10±5) Pa	截取暴露面积为1 m ² 的试件,四周封边后放入已达到试验条件的气候箱中,第2天开始采气,每天采气2次直至达到平衡	按 GB/T 17657—2013 中 4.60 的规定计算。计算结果为试验条件下舱内有害物质质量浓度 c_c ,单位 mg/m ³ ,标准条件下有害物质质量浓度 $c=c_c$ 。	$E=c_c(N/a)$, 单位 mg/(m ² ·h)
2	无损检测法(直测法)	温度(23±0.5)℃;相对湿度(50±3)%;试验承载率 a 为实测表面积与舱体积比值,单位为 m ² /m ³ ;试验时的空气交换率 N 为试验承载率 a 与标准承载率 $L(1\text{ m}^2/\text{ m}^3)$ 的比值,单位为 h ⁻¹ ;试件表面空气流速0.1~0.3 m/s;舱内外压差(10±5) Pa	按木门尺寸截取试样,四周封边后放入已达到试验条件的气候箱中,第2天开始采气,每天采气2次直至达到平衡	按 GB/T 17657—2013 中 4.60 的规定计算。计算结果为试验条件下舱内有害物质质量浓度 c_c ,单位 mg/m ³ ,标准条件下有害物质质量浓度 $c=c_c$ 。	$E=c_c(N/a)$, 单位 mg/(m ² ·h)
3	无损检测法(换算法)	温度(23±0.5)℃;相对湿度(50±3)%;试验承载率 a 为实测表面积与舱体积比值,单位 m ² /m ³ ;试验时的空气交换率 $N=(1±0.05)\text{ h}^{-1}$;试件表面空气流速0.1~0.3 m/s;舱内外压差(10±5) Pa	按木门尺寸截取试样,四周封边后放入已达到试验条件的气候箱中,第2天开始采气,每天采气2次直至达到平衡	按 GB/T 17657—2013 中 4.60 的规定计算。计算结果为试验条件下舱内有害物质质量浓度 c_c ,单位 mg/m ³ ;标准条件下有害物质质量浓度 $c=c_c\times L/a$,其中标准承载率 L 为1 m ² /m ³	$E=c_c(N/a)$, 单位 mg/(m ² ·h)

2 有害物质释放量无损检测方法试验分析

本研究使用5 m³气候箱,采用无损检测法(直测法)、无损检测法(换算法)对木门有害物质释放量进行无损检测;采用中密度纤维板模拟木门尺寸制成试验样品,以甲醛为检测物,对比2种方法检测数据与1 m³气候箱法检测数据的符合性,分析改变试验承载率和试验时的空气交换率对检测结果的影响。

2.1 无损检测方法试验分析

2.1.1 试验材料与设备

甲醛含量从低到高依次编号A、B、C、D、E、F的6种中密度纤维板共24张:外购定制,每种各4张为同一批次,尺寸均为2 440 mm×1 220 mm×18 mm。每种板材分别制备1份800 mm×625 mm、2份1 950 mm×1 000 mm、1份2 000 mm×700 mm试样,每个试样均从板材中心截取,试样四周封边。其中1份800 mm×625 mm用于1 m³气候箱法检测,试验承载率为1 m²/m³;2份1 950 mm×1 000 mm分别用于5 m³气候箱中试验承载率为0.78

m²/m³的无损检测法(直测法)和无损检测法(换算法);1份2 000 mm×700 mm用于5 m³气候箱承载率为0.56 m²/m³的无损检测(换算法)。每种方法均对同样的6种板材进行试验。

5 m³气候箱:箱内空气温度调节范围为15~40℃,相对湿度调节范围为30%~80%,空气交换率调节范围0~2.0 h⁻¹,试件表面空气流速0.1~0.3 m/s。

1 m³气候箱:箱内空气温度调节范围为15~40℃,相对湿度调节范围为40%~70%,空气交换率调节范围0.2~2.0 h⁻¹,试件表面空气流速0.1~0.3 m/s。

2.1.2 检测结果

按表2中的3种方法进行检测,采样方法、样品分析方法与GB/T 17657—2013中4.60的规定一致,平衡后取最后4次测试结果平均值作为检测结果。本研究中中密度纤维板在第15天前均已达到平衡,所有试件均采用第14、15天的数据计算检测结果。通过式(1)计算无损检测法(换算法)的甲醛释放量,通过式(2)计算所有方法检测的甲醛释放速率,检测结果如表3所示。

1 m³气候箱法检测结果为产品实际甲醛释放量,因其检测条件为标准承载率1 m²/m³、标准空

气交换率 1 h^{-1} ,其检测结果也可视为无损检测法(直测法)和无损检测法(换算法)在标准承载率 $1\text{ m}^2/\text{m}^3$ 、标准空气交换率为 1 h^{-1} 条件下的检测结果。

表 3 检测结果
Table 3 Test results

序号	检测方法	甲醛等级	试验承载率 $a/$ ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$)	试验时的空气 交换率 N/h^{-1}	标准承载率 $L/$ ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$)	试验条件下 甲醛释放量 $c_c/$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	甲醛释放量 $c/$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	甲醛释放速率 $E/$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)
1	1 m^3 气候箱法	A	1	1	1	0.015	0.015	0.015
2		B				0.032	0.032	0.032
3		C				0.063	0.063	0.063
4		D				0.125	0.125	0.125
5		E				0.247	0.247	0.247
6		F				0.512	0.512	0.512
7	无损检测法 (直测法)	A	0.78	$a/L=0.78$	1	0.015	0.015	0.015
8		B				0.032	0.032	0.032
9		C				0.063	0.063	0.063
10		D				0.125	0.125	0.125
11		E				0.246	0.246	0.246
12		F				0.513	0.513	0.513
13	无损检测法 (换算法)	A	0.78	1	1	0.012	0.015	0.015
14		B				0.025	0.032	0.032
15		C				0.050	0.064	0.064
16		D				0.100	0.128	0.128
17		E				0.203	0.261	0.261
18		F				0.447	0.573	0.573
19	无损检测法 (换算法)	A	0.56	1	1	0.008	0.015	0.015
20		B				0.018	0.033	0.033
21		C				0.037	0.065	0.065
22		D				0.074	0.132	0.132
23		E				0.154	0.276	0.276
24		F				0.364	0.650	0.650

由表 3 中的结果可知:无损检测法(直测法)与 1 m^3 气候箱法的检测结果基本吻合,甲醛释放量较大时数据偏差主要为误差导致;无损检测法(换算法)与 1 m^3 气候箱法检测结果相比,甲醛释放量低于 $0.063\text{ mg}/\text{m}^3$ 时偏差较小,甲醛释放量越大偏差越大;当产品实际甲醛释放量达到 $0.512\text{ mg}/\text{m}^3$ 时,无损检测法(换算法)检测结果偏差最大达到 $0.138\text{ mg}/\text{m}^3$ 。对比承载率分别为 $0.56, 0.78, 1\text{ m}^2/\text{m}^3$ 时的无损检测法(换算法)检测结果,可知换算法甲醛释放量检测结果随试验承载率变化的整体趋势为:随试验承载率增大,换算法甲醛释放量检测结果减小。原因为承载率增大,舱内空气甲醛浓度增大,与板面甲醛浓度差减小,甲醛释放速率减小,因此通过实测空气中甲醛浓度换算得到的标准状态结果较真实值减小。试验承载率与标准承载率相差越大,无损检测法(换算法)检测结果与真实值差值越大,如图 2 所示。

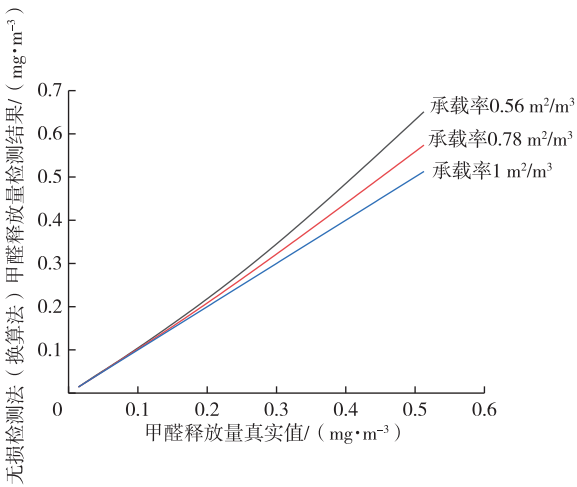


图 2 无损检测法(换算法)甲醛释放量检测结果与
甲醛释放量真实值的关系
Fig. 2 The relationships between the results of non-destructive testing (conversion method) for formaldehyde emission and the true values of formaldehyde emission
甲醛释放速率检测结果表明,当试验时空气交

换率一定时,甲醛释放速率随试验承载率增大而减小,证明舱内甲醛浓度对样品甲醛释放有阻碍作用,当样品甲醛释放量较大时,阻碍作用愈加明显。

2.1.3 传质理论分析

由 ASTM D6007-2002“Standard test method for determining formaldehyde concentrations in air from wood products using a small-scale chamber”标准及文献[6]中的传质理论可知:

$$c_c = \frac{K \cdot a}{N + K \cdot a} \cdot c^*$$

(3)

式中: K 为气相传质系数, m/h ; c^* 为试样表面甲醛释放量, mg/m^3 。

1) 当试验时的空气交换率 $N = a/L$ 时, $c_c = \frac{K \cdot a}{a/L + K \cdot a} \cdot c^* = \frac{K \cdot L}{1 + K \cdot L} \cdot c^*$, 该结果等于试验承载率为 L 、试验时的空气交换率 $N = 1 h^{-1}$ 时的结果, 理论上证明表 2 中无损检测法(直测法)与 $1 m^3$ 气候箱法试验结果一致。

2) 当 $N = 1 h^{-1}$ 时, $c_c = \frac{K \cdot a}{1 + K \cdot a} \cdot c^*$, 无损检测法(换算法)甲醛释放量 $c = c_c \cdot \frac{L}{a} = \frac{K \cdot a}{1 + K \cdot a} \cdot c^* \cdot \frac{L}{a} = \frac{K \cdot L}{1 + K \cdot a} \cdot c^*$, 而 $1 m^3$ 气候箱法 $c = c_c = \frac{K \cdot L}{1 + K \cdot L} \cdot c^*$, 因此试验承载率相差越大, 无损检测法(换算法)与 $1 m^3$ 气候箱法甲醛释放量相差越大。当试验承载率 a 大于标准承载率 L 时, 无损检测法(换算法)检测结果小于 $1 m^3$ 气候箱法; 当试验承载率 a 小于标准承载率 L 时, 无损检测法(换算法)检测结果大于 $1 m^3$ 气候箱法。检测结果差值随试验承载率差值增大而增大, 随产品气相传质系数增大而增大, 随产品表面甲醛浓度增大而增大。

3) 甲醛释放速率 $E = c_c \cdot \frac{N}{a} = \frac{K \cdot a}{N + K \cdot a} \cdot c^* \cdot \frac{N}{a} = \frac{K}{1 + K \cdot a/N} \cdot c^*$, 表明甲醛释放速率随试验承载率增大而减小, 随试验时的空气交换率增大而增大, 随气相传质系数增大而增大, 随产品表面甲醛浓度增

大而增大。

木门表面可采用的饰面种类繁多^[13-15], 木门气相传质系数根据门表面材质不同而不同。相对于中密度纤维板, 木门气相传质系数、表面甲醛浓度极大减小, 因此大部分木门采用无损检测法(换算法)检测甲醛释放量与无损检测法(直测法)检测结果相差不大^[11-12]。考虑对该类产品的全面覆盖及检测结果精确性, 选用无损检测法(直测法)更适合木门产品无损检测有害物质释放量。有害物质释放速率随试验承载率变化而变化, 试验承载率越大, 有害物质浓度越高, 释放速率越小, 因此木门有害物质释放量评价指标采用有害物质浓度较有害物质释放速率更为合理。

2.2 木门无损检测试验

采用无损检测法(直测法)对木门甲醛释放量进行无损检测。将木门整体放入 $5 m^3$ 气候箱进行试验, 样品不封边, 木门四边计算表面积; 测试结果平衡后立即取出并按 LY/T 1923—2020 锯切 $1 m^2$ 封边, 采用 $1 m^3$ 气候箱法继续进行测试。

2 种方法检测 20 扇木门甲醛释放量数据差异如图 3 所示。第 1 至第 15 扇为市场购买的木门, 部分市场购买的门上挺和下挺未采用封边工艺, 通气孔或纤维板面板锯切面暴露在外; 第 16 至第 20 扇为定制木门, 定制木门上下挺封边材料与门板表面材料一致。20 扇木门具体信息如表 4 所示。

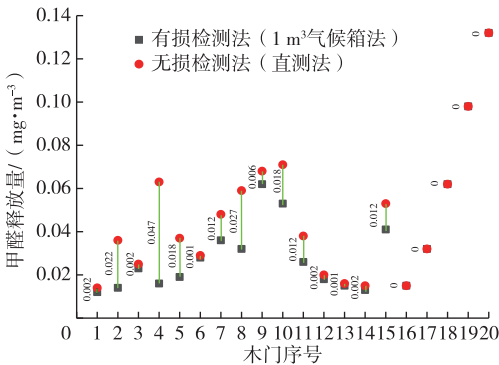


图 3 有损检测和无损检测木门甲醛释放量

Fig. 3 Destructive and non-destructive testing of formaldehyde release from wooden doors

表 4 试验用木门详情

Table 4 Details of wooden doors for testing

序号	名称	饰面材料	黏合材料	木门结构	尺寸/mm	上下挺	备注
1	实木门	油漆	—	原木指接、木销、胶接	2 100×850×48	封边	
2	木质复合门	饰面纸	—	锯材骨架、密度板填充	2 095×745×48	未封边	
3	实木门	饰面纸	—	胶合板	2 010×812×48	封边	
4	实木复合门	装饰单板油漆	—	锯材骨架、密度板填充	2 095×800×42	未封边	
5	实木复合门	装饰单板油漆	—	锯材骨架、密度板填充	2 005×800×45	封边, 有外露孔	

表4(续)							
序号	名称	饰面材料	黏合材料	木门结构	尺寸/mm	上下梃	备注
6	实木复合门	装饰单板油漆	—	锯材骨架、密度板填充	2 010×800×42	封边	市场 采购
7	木质复合门	饰面纸	—	锯材骨架、密度板、蜂窝纸填充	2 015×805×40	封边,有外露孔	
8	实木复合门	装饰单板油漆	—	锯材骨架、密度板填充	2 020×802×42	未封边	
9	木质复合门	饰面纸	—	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	封边,有外露孔	
10	木质复合门	饰面纸	—	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	未封边	
11	实木复合门	装饰单板油漆	—	锯材骨架、密度板填充	1 995×780×42	封边,有外露孔	向企业 定制
12	实木门	饰面纸	—	胶合板	2 050×800×43	封边	
13	实木门	饰面纸	—	胶合板	2 100×805×45	封边	
14	实木门	油漆	—	胶合板	2 200×800×43	封边	
15	木质复合门	饰面纸	—	锯材骨架、密度板填充	2 015×800×45	封边,有外露孔	
16	木质复合门	木门企业订购饰面纸 1	木门企业订购白乳胶 1	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	木门企业订购饰面纸 1 全封边	
17	木质复合门	木门企业订购饰面纸 2	木门企业订购白乳胶 2	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	木门企业订购饰面纸 2 全封边	
18	木质复合门	木门企业订购饰面纸 3	木门企业订购白乳胶 3	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	木门企业订购饰面纸 3 全封边	
19	木质复合门	木门企业订购饰面纸 4	木门企业订购白乳胶 4	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	木门企业订购饰面纸 4 全封边	
20	木质复合门	木门企业订购饰面纸 5	木门企业订购白乳胶 5	锯材骨架、密度板填充	2 000×800×42	木门企业订购饰面纸 5 全封边	

在对 20 扇木门的试验过程中发现,木门甲醛释放量通常在前 6 天达到平衡,定制的 5 个甲醛含量等级的木门产品无损检测甲醛释放量随时间变化趋势见图 4(定制的 5 扇木门无损测试 10 天后裁切进行有损测试)。图 3 中第 1~15 扇木门无损检测法(直测法)数据为第 5~6 天所测 4 次数据的平均值,第 16~20 扇木门无损检测法(直测法)数据为第 9~10 天所测 4 次数据的平均值;1 m³气候箱法继续检测第 3 天达到平衡,图 3 中 1 m³气候箱法数据为第 2~3 天所测 4 次数据的平均值。

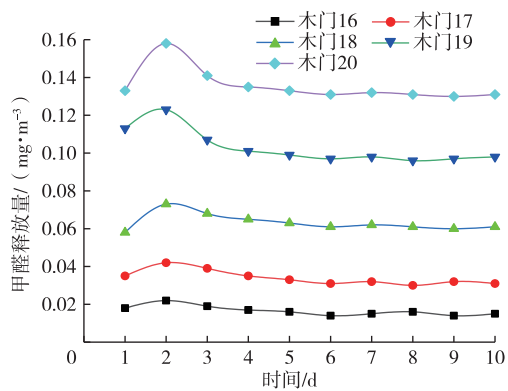


图 4 无损检测木门甲醛释放量随时间变化趋势
Fig. 4 Trends of formaldehyde release from wooden doors during non-destructive testing over time

图 3 显示,无损检测法(直测法)所测数据相较于 1 m³气候箱法所测数据整体呈增大趋势,2 种方法检测木门甲醛释放量差值最大达到 0.047 mg/m³。主要原因是门上下梃未封边,无损检测法

检测到的甲醛释放量包含门梃边部的甲醛释放量,而 1 m³气候箱法无法检出未封边门梃释放的甲醛,用于 1 m³气候箱法检测的试样取样部位不同对检测数据也存在影响,因此采用无损检测方法检测数据较真实准确。市场购买的 2 种木门下梃边部局部示意图见图 5。

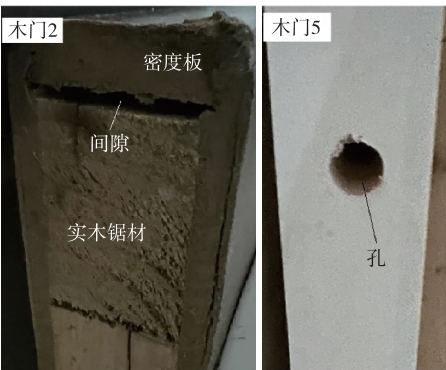


图 5 木门下梃边部局部示意图
Fig. 5 Partial diagram of the edge of the wooden door's lower stile

3 结 论

通过采用 1 m³气候箱法、无损检测法(直测法)、无损检测法(换算法)研究产品甲醛释放量检测的准确性,结果表明:无损检测法(直测法)与 1 m³气候箱法等效;无损检测法(换算法)与 1 m³气候箱法检测结果会发生偏离。在本研究试验条件下,中密度纤维板甲醛释放量低于 0.063 mg/m³时偏离较小,产品甲醛释放量越大,无损检测法(换

算法)所测结果偏离越大。

试验承载率与标准承载率差值越大,无损检测法(换算法)检测结果与真实值相差越大。当试验承载率大于标准承载率时,无损检测法(换算法)检测结果小于真实值;当试验承载率小于标准承载率时,无损检测法(换算法)检测结果大于真实值。无损检测法(换算法)检测结果与真实值差值随产品气相传质系数增大而增大,随产品表面甲醛浓度增大而增大。

相较于无损检测法(换算法),无损检测法(直测法)检测木门甲醛释放量检验数据更真实、准确,与真实值无偏离。木门甲醛释放量无损检测应采用无损检测法(直测法),即木门整体放入气候箱,以试验承载率与标准承载率($1\text{ m}^2/\text{m}^3$)的比值设定试验时的空气交换率进行试验,所测舱内甲醛浓度即为木门甲醛释放量。

气候箱内甲醛浓度对样品表面甲醛释放具有阻碍作用,甲醛释放速率随试验承载率增大而减小,随试验时的空气交换率增大而增大,随气相传质系数增大而增大,随产品表面甲醛浓度增大而增大。相较于释放速率,木门甲醛释放量以舱内甲醛浓度作为评价指标较合理。

无损检测法检测数据与木门实际状态符合性较好,部分木门产品的无损检测甲醛释放量数据与 1 m^3 气候箱法检测数据有较大差异,木门边部释放的甲醛不容忽视。

参考文献(References):

- [1] 康家宁, 张金萍, 平宗选, 等. 公共场所室内甲醛、PM_{2.5}和苯系物污染水平测评[J]. 建筑科学, 2020, 36(4): 90-98. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2020.04.14.
- [2] KANG J N, ZHANG J P, PING Z X, et al. Assessment on indoor pollution level of formaldehyde, PM_{2.5} and BTEX in public places[J]. Building Science, 2020, 36(4): 90-98.
- [3] 顾浩飞, 刘闯, 章雅玲, 等. 人造板甲醛释放量不同检测方法之间的相关性分析[J]. 木材工业, 2013, 27(2): 33-37. DOI: 10.19455/j.mcgy.2013.02.010.
- [4] GU H F, LIU M, ZHANG Y L, et al. Correlation between domestic and foreign formaldehyde emission test methods for wood-based panels[J]. China Wood Industry, 2013, 27(2): 33-37.
- [5] 沈隽, 蒋利群. 人造板 VOCs 释放研究进展[J]. 林业工程学报, 2018, 3(6): 1-10. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.2018.06.001.
- [6] SHEN J, JIANG L Q. A review of research on VOCs release from wood-based panels[J]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 3(6): 1-10.
- [7] 陈军, 孙榕泽, 卢志强. 人造板甲醛检测方法标准对比分析[J]. 建筑科学, 2021, 37(4): 162-167. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2021.04.22.
- [8] CHEN J, SUN R Z, LU Z Q. Comparison of formaldehyde test standards for wood-based panels[J]. Building Science, 2021, 37(4): 162-167.
- [9] 尹梦婷, 李伯涛, 吕斌, 等. 干燥器法检测人造板甲醛释放量的主要影响因素及不确定度[J]. 林业科学, 2020, 56(11): 159-167. DOI: 10.11707/j.1001-7488.20201117.
- [10] YIN M T, LI B T, LÜ B, et al. Influencing factors and uncertainty of formaldehyde emission in wood-based panels by desiccator method[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2020, 56(11): 159-167.
- [11] 郑阳丽, 海凌超, 廖桂福. 人造板甲醛释放量检测标准中气候箱法的数学模型探讨[J]. 中国人造板, 2010, 17(3): 28-32. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5064.2010.03.012.
- [12] ZHENG Y L, HAI L C, LIAO G F. Mathematical model discussion on chamber test method using in formaldehyde emission test standards of wood-based panels[J]. China Wood-Based Panels, 2010, 17(3): 28-32.
- [13] 朱黎明, 邹献武, 吕斌, 等. 人造板甲醛检测方法的相关性研究[J]. 木材工业, 2020, 34(5): 34-39. DOI: 10.19455/j.mcgy.20200508.
- [14] ZHU L M, ZOU X W, LYU B, et al. Study on correlation of formaldehyde detection methods for wood-based panels[J]. China Wood Industry, 2020, 34(5): 34-39.
- [15] 秦香, 刘玉, 许艺馨, 等. 微囊型甲醛捕捉剂对薄木饰面人造板甲醛释放量的影响[J]. 林业工程学报, 2020, 5(1): 81-87. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.201903018.
- [16] QIN X, LIU Y, XU Y X, et al. Effect of microencapsulation of formaldehyde capture agents on formaldehyde emission from veneered panels[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(1): 81-87.
- [17] 古鸣, 吴静霞, 龚青, 等. 木家具中挥发性有机物现场快速检测方法研究[J]. 林产工业, 2019, 46(7): 30-34. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.201907007.
- [18] GU M, WU J X, GONG Q, et al. Study on rapid detection of volatile organic compounds from wooden furniture[J]. China Forest Products Industry, 2019, 46(7): 30-34.
- [19] 卢志刚, 王启繁, 夏可瑜, 等. 模拟室内环境释放舱设备的研制与开发[J]. 林业工程学报, 2020, 5(3): 130-137. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.201906041.
- [20] LU Z G, WANG Q F, XIA K Y, et al. Development of a simulated indoor environment release cabin equipment[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(3): 130-137.
- [21] 赵秀, 王宏棣, 贾潇然, 等. 地采暖用木质地板基于甲醛释放的承载力计算方法解析[J]. 木材工业, 2020, 34(6): 44-47. DOI: 10.19455/j.mcgy.20200610.
- [22] ZHAO X, WANG H D, JIA X R, et al. Bearing capacity calculation method based on formaldehyde emission from wooden flooring used in ground heating systems[J]. China Wood Industry, 2020, 34(6): 44-47.
- [23] 赵秀, 王宏棣. 地采暖用木质地板甲醛释放量检测方法的对比[J]. 木材工业, 2020, 34(2): 14-18. DOI: 10.19455/j.mcgy.20200204.
- [24] ZHAO X, WANG H D. Comparison of testing methods for formaldehyde emissions from laminated wood flooring used in ground heating system[J]. China Wood Industry, 2020, 34(2): 14-18.
- [25] 周橙旻, 吕一心, 李臻瑜, 等. 木门表面材质的感性意象量化研究与分析[J]. 林业工程学报, 2021, 6(6): 184-189. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202104017.
- [26] ZHOU C M, LYU Y X, LI Z Y, et al. Quantitative analysis of perceptual images of wooden door surface materials[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(6): 184-189.
- [27] 邓超, 梁雨晴, 菅昊, 等. 无醛阻燃人造板的研究现状及发展趋势[J]. 林产工业, 2023, 60(6): 6-13. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.202306002.
- [28] DENG C, LIANG Y Q, JIAN H, et al. Research status and development trend of formaldehyde-free flame retardant wood-based panels[J]. China Forest Products Industry, 2023, 60(6): 6-13.
- [29] 李荣荣, 贺楚君, 陈莹静, 等. 木质材料激光表面处理研究进展[J]. 林业工程学报, 2021, 6(2): 31-39. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202004002.
- [30] LI R R, HE C J, CHEN Y J, et al. Research progress on laser surface treatment of wood materials[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(2): 31-39.

(责任编辑 莫弦丰)