

地采暖用木质地板基于甲醛释放的承载量 计算方法解析

赵秀, 王宏棣, 贾潇然, 时兰翠

(黑龙江省林业科学研究院木材科学研究所; 国家林业和草原局制材研究重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150081)

摘要:根据地采暖用木质地板甲醛释放量及室内空气中甲醛浓度限量, 提出地采暖用木质地板承载量的计算方法, 介绍该方法的推导过程, 并对计算公式进行验证。建立地板产品标准和室内空气质量标准的对应关系, 为建立基于甲醛释放限量的地采暖用木质地板承载量规范奠定理论基础。

关键词:地采暖用木质地板; 甲醛释放限量; 空气中甲醛浓度限量; 地板承载量

中图分类号: S781; TS67; TU767.4 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2020) 06-0044-04

Bearing Capacity Calculation Method Based on Formaldehyde Emission from Wooden Flooring Used in Ground Heating Systems

ZHAO Xiu, WANG Hong-di, JIA Xiao-ran, SHI Lan-cui

(Research Institute of Wood Science, Heilongjiang Academy of Forestry; Key Laboratory of Lumber of State Forestry Administration, Harbin 150081, Heilongjiang, China)

Abstract: A method of calculating bearing capacity of wooden flooring used in ground heating systems was constructed based on the formaldehyde emission limit from wooden flooring and the formaldehyde concentration limit of indoor air. The principles of the calculation method were introduced and the function was verified by experimental research. The corresponding relation between the flooring product standard and indoor air quality standard was established. This study built a theoretical foundation for formulating an standard of bearing capacity specification of wooden flooring used in ground heating systems.

Key words: wooden flooring used in ground heating systems; formaldehyde emission limit; formaldehyde concentration limit of the indoor air; flooring bearing capacity

国家标准 GB 18580—2017《室内装饰装修材料人造板及其制品中甲醛释放限量》规定了人造板及

其制品的甲醛释放限量^[1], GB 50325—2020《民用建筑工程室内环境污染控制规范》规定了室内空气中甲醛浓度限量^[2], 但是室内环境中使用多少面积的地板或其他人造板制品才能满足室内空气质量, 尚未有相关标准给出明确指导意见。为了建立两项标准之间地板甲醛释放限量和室内空气中甲醛浓度限量的对应关系, 笔者提出了基于地采暖用木质地板甲醛释放量及室内空气中甲醛浓度限量, 计算地采暖用木质地板承载量即铺装面积的方法, 旨在为指导

收稿日期: 2020-07-28; 修改日期: 2020-08-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题“木质家居材料健康安全性能检测与评价技术研究”(2016YFD0600706); 2020年黑龙江省科研业务费项目“大型地热环境模拟舱内地板甲醛释放规律的研究”(CZKYF2020C005)。

作者简介: 赵秀(1980—), 女, 副研究员。Email: zhaoxiu1980@163.com

通讯作者: 王宏棣, 男, 研究员。Email: whongdi803@163.com

消费者合理铺装地板，营造健康室内环境提供公益性支持。

1 地采暖用木质地板承载量的计算方法推导

在 GB/T 33043—2016《人造板甲醛释放量测定大气候箱法》中采用了释放率（emission rate，ER）指标作为产品检测指标之一，表征的是人造板产品在单位时间内单位面积的甲醛释放量。

$$ER = C_S \times N / L \quad (1)$$

式中：ER—释放率， $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ； C_S —气候箱中空气甲醛浓度达到稳定状态时甲醛的浓度， mg/m^3 ； N —每小时空气置换率，次/h； L —承载率，试件表面暴露总面积与气候箱容积之比， m^2/m^3 。

式1中的 C_S 即 GB 17657—2013 中 1 m^3 气候箱法检测得到的甲醛释放量，由此可计算地板的甲醛释放率，即每小时内每平方米面积释放的甲醛量。再根据在一定室内空间内实际铺装的地板面积及空间体积，就能计算出该空间的甲醛浓度。GB 50325—2020 规定了室内环境污染物甲醛浓度限量 C_∞ （I、II类民用建筑工程不同）^[3]，按此要求，地采暖用木质地板在室内空间1小时内释放的甲醛量与室内容积的比值，即地板在室内空间内释放的甲醛浓度，不应大于 GB 50325—2020 中甲醛浓度限量 C_∞ ，两者关系可用式2表示。依据式2，可推导出以地采暖用木质地板承载量为因变量的函数式3。

$$\frac{ER \times D \times 1 \text{ h}}{V_E} \leq C_\infty \quad (2)$$

$$D \leq \frac{C_\infty \times V_E}{ER \times 1 \text{ h}} \quad (3)$$

式中： D —地采暖用木质地板承载量， m^2 ； V_E —地采暖地板铺装面积所占有的室内容积， m^3 ； C_∞ —GB 50325—2020 室内空气中甲醛浓度限量， mg/m^3 。

由于 C_∞ 为 GB 50325—2020 中规定的甲醛浓度限量是已知的， V_E 是空间体积可通过计算得到；ER是通过检测计算得到的，涉及在气候箱内检测甲醛释放达到稳定时的浓度 C_S ，检测 C_S 时的温度、相对湿度、换气率等参数，可以根据实际室内环境条件来设置。因此，根据式3，可从理论上计算出满足 GB 50325—2020 中甲醛浓度限量的地板最大铺装面积，即地板承载量。

2 地采暖用木质地板承载量的计算方法应用

以地采暖用浸渍纸层压木质地板（强化木地板）和多层实木复合地板为例，说明根据地板的甲醛释放量来计算承载量的过程。首先根据地采暖环境模拟舱法检测两种地板的甲醛释放量，代入式1计算甲醛释放率；然后将甲醛释放率代入式3，设置地板铺装的空间体积，计算两种地板的承载量。

2.1 地板甲醛释放率的检测

2.1.1 试验材料与装置

浸渍纸层压木质地板和多层实木复合地板均外购，尺寸分别为：1 215 mm×199 mm×11.3 mm、2 100 mm×189 mm×17.8 mm。按照 GB 17657—2013 气候箱法中甲醛质量浓度定量方法乙酰丙酮法测定其甲醛释放量，结果精确至 $0.001 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。采用自主设计的地采暖环境模拟舱^[4]，在常规 1 m^3 气候箱内安置单独的加热装置，加热装置即视为地采暖设施，地板平铺在加热装置上，加热装置温度即地采暖温度，气候箱内空气温度仍保持在 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

2.1.2 检测方法

参照 GB 18580—2017 及 GB/T 17657—2013^[5]，首先去掉地板的榫和槽，根据地采暖装置加热板的尺寸、承载率及地板实际规格，将地板裁成总面积为 0.6 、 0.8 、 1.0 m^2 的试件，平衡处理15天。平衡处理后，用铝箔胶带封闭地板侧边及背面，并在1h内放入气候箱，平铺在加热板上，地热温度根据地热真实情况选取 30 、 35 、 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 。参考 GB/T 17657—2013 中 1 m^3 气候箱法测试条件相对湿度 50% 、承载率1，设置本试验参数：相对湿度 35% 、 50% 、 65% ；承载率 0.6 、 0.8 、 1.0 。

地采暖环境模拟舱内空气换气率 $(1.0 \pm 0.05) \text{ h}^{-1}$ ，试件表面空气流速 $0.1 \sim 0.3 \text{ m/s}$ 。采样方法与 GB/T 17657—2013 中 4.60 一致，取最后4次检测结果的平均值作为 C_S 。地采暖用木质地板试件的甲醛释放量通常在第8天达到稳定状态，地板甲醛释放量随释放时间增加而减少，本试验均以第5~8天的四次测试结果平均值作为稳定状态下舱内甲醛浓度 C_S 。

2.2 地板甲醛释放率的计算

根据地采暖环境模拟舱法检测的地板甲醛释放量 C_S 及换气率 N （设置为1和承载率 L ，按公式1计算得到甲醛释放率ER，结果列于表1和表2。

表1 浸渍纸层压木质地板甲醛释放率
Tab.1 Formaldehyde emission rate of laminate flooring

承载率	温度/ ℃	湿度/ %	Cs/ (mg·m ⁻³)	ER/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	承载率	温度/ ℃	湿度/ %	Cs/ (mg·m ⁻³)	ER/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	承载率	温度/ ℃	湿度/ %	Cs/ (mg·m ⁻³)	ER/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)
0.6	30	35	0.011	0.018	0.8	30	35	0.015	0.019	1.0	30	35	0.018	0.018
		50	0.013	0.022			50	0.016	0.020			50	0.020	0.020
		65	0.015	0.025			65	0.019	0.024			65	0.023	0.023
0.6	35	35	0.013	0.022	0.8	35	35	0.017	0.021	1.0	35	35	0.021	0.021
		50	0.015	0.025			50	0.019	0.024			50	0.023	0.023
		65	0.017	0.028			65	0.022	0.028			65	0.026	0.026
0.6	40	35	0.015	0.025	0.8	40	35	0.020	0.025	1.0	40	35	0.025	0.025
		50	0.017	0.028			50	0.023	0.029			50	0.029	0.029
		65	0.020	0.033			65	0.025	0.031			65	0.031	0.031

表2 多层实木复合地板甲醛释放率
Tab.2 Formaldehyde emission rate of multi-layer engineered wood flooring

承载率	温度/ ℃	湿度/ %	Cs/ (mg·m ⁻³)	ER/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	承载率	温度/ ℃	湿度/ %	Cs/ (mg·m ⁻³)	ER/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	承载率	温度/ ℃	湿度/ %	Cs/ (mg·m ⁻³)	ER/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)
0.6	30	35	0.010	0.017	0.8	30	35	0.013	0.016	1.0	30	35	0.016	0.016
		50	0.012	0.020			50	0.015	0.019			50	0.019	0.019
		65	0.013	0.022			65	0.017	0.021			65	0.020	0.020
0.6	35	35	0.012	0.020	0.8	35	35	0.015	0.019	1.0	35	35	0.018	0.018
		50	0.013	0.022			50	0.017	0.021			50	0.021	0.021
		65	0.015	0.025			65	0.020	0.025			65	0.023	0.023
0.6	40	35	0.014	0.023	0.8	40	35	0.018	0.023	1.0	40	35	0.022	0.022
		50	0.016	0.027			50	0.021	0.026			50	0.025	0.025
		65	0.018	0.030			65	0.024	0.030			65	0.027	0.027

从表1和表2中可以看出,两种地板在相同温度、湿度下,承载率0.6、0.8和1.0时的甲醛释放率相差很小。对相同温度、相对湿度下不同承载率的甲醛释放率进行方差分析,分析不同承载率下的地板甲醛释放率差异是否显著,结果见表3。

表3 甲醛释放率的方差分析结果
Tab.3 Analysis of variance of formaldehyde emission rate

环境参数	浸渍纸层压木质地板			多层实木复合地板		
	F	P-value	Fcrit	F	P-value	Fcrit
30℃(35%、50%、65%)	0.16	0.859	5.14	0.26	0.783	5.14
35℃(35%、50%、65%)	0.23	0.802	5.14	0.29	0.760	5.14
40℃(35%、50%、65%)	0.01	0.991	5.14	0.33	0.729	5.14
35%(30、35、40℃)	0.01	0.990	5.14	0.10	0.880	5.14
50%(30、35、40℃)	0.05	0.955	5.14	0.12	0.887	5.14
65%(30、35、40℃)	0.20	0.824	5.14	0.29	0.756	5.14

$F < F_{crit}$, P -value均大于0.05,表明三个承载率下,两种地采暖用木质地板的甲醛释放率在相同的环境内没有显著差异,也就是说地采暖用木质地板的甲醛释放率不会因承载率变化而发生改变。表1和表2中两种地板不同承载率的甲醛释放率差异来自试验误差。

2.3 地板承载量的计算

GB 50325—2020规定民用建筑室内环境污染物浓度限量,Ⅰ类民用建筑工程 $\leq 0.07 \text{ mg/m}^3$,Ⅱ类民用建筑工程 $\leq 0.08 \text{ mg/m}^3$ 。

依据GB 50325—2020,以Ⅰ类民用建筑工程为例,代入 0.07 mg/m^3 ; V_E 地板铺装的室内空间,假设房间面积 10 m^2 ,则室内空间为 28 m^3 。再由表1和表2中ER值,最终计算得到两种地板的承载量 D ,结果列于表4。

表4 浸渍纸层压木质地板和多层实木复合地板承载量

Tab.4 Bearing capacity of laminate flooring and multi-layer engineered wood flooring

地板种类	温度/ ℃	湿度/ %	D/ m ²	温度/ ℃	湿度/ %	D/ m ²	温度/ ℃	湿度/ %	D/ m ²
浸渍纸层压 木质地板		35	107		35	92		35	78
	30	50	94	35	50	81	40	50	68
		65	81		65	71		65	61
多层实木 复合地板		35	120		35	103		35	86
	30	50	101	35	50	92	40	50	75
		65	93		65	80		65	67

表4结果表明随着温度、相对湿度的升高,地板承载量呈下降趋势,即随着甲醛释放量的增加,地板承载量减小。在低温低湿的情况下(30℃、35%),浸渍纸层压木质地板和多层实木复合地板的最大承载量分别为107和120 m²,在10 m²的室内空间内能铺装这么大面积的地板,远超地面面积,表明单纯从使用木地板的角度考虑是安全的。但本文仅计算了地板甲醛释放的承载量情况,在室内空间里还有很多装饰装修材料也会释放甲醛,如涂料、窗帘、纺织品、地毯,以及衣柜、橱柜等其他家具产品,所有材料甲醛释放表面积加起来可能远不止100多 m²,量的累加极有可能是导致室内环境污染浓度超标的原因。

两种地采暖用木质地板甲醛释放量检测结果只适用于本批次产品,并不能说明产品种类对甲醛释放量的影响,不同产品结构、生产工艺都会影响地板甲醛释放量,进而计算得到的承载量亦不同。

(上接第43页)

- [38] 周乾. 故宫太和殿某正身顺梁榫卯节点加固分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2016, 36(1): 92-98.
ZHOU Q. Strengthening analysis of tenon-mortise joint of a face beam in Taihe Palace in the Forbidden City [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2016, 36(1): 92-98.
- [39] 郇君虹, 马东辉, 郭小东, 等. 扁钢加固半榫、透榫及燕尾榫抗震性能试验研究[J]. 北京工业大学学报, 2019, 45(8): 763-771.
HUAN J H, MA D H, GUO X D, et al. Experimental study of aseismic behaviors of flexural tenon joint, through Tenon joint and dovetail joint reinforced with flat steel devices[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2019, 45(8): 763-771.
- [40] GAO L, ZHAN X, LU Y, et al. pH-dependent structure and wettability of TiO₂-based wood surface[J]. Materials Letters, 2015, 142: 217-220.
- [41] GAO L, LU Y, CAO J, et al. Reversible photocontrol of wood-surface wettability between superhydrophilicity and superhydrophobicity based on a TiO₂ film[J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2015,

3 结论

1) 以浸渍纸层压木质地板、多层实木复合地板为例,推导了地采暖用木质地板的承载量计算方法及过程。计算地板的承载量,必须要在与使用环境一致的条件检测地板的甲醛释放量,或者已明晰甲醛释放量在不同温、湿度下的换算关系。

2) 室内空间地板的承载率对其甲醛释放率影响不显著,进而对最终计算得到的地板承载量影响不显著,所以在检测地板甲醛释放量时,承载率可根据不同标准的要求设置。

3) 由于室内空间还有涂料、纺织品等其他材料释放污染物,考虑基于甲醛释放的承载量时,不能单一考虑某一种材料,而是综合考虑室内所有释放甲醛的材料,才能保证室内环境污染浓度符合GB 50325—2020的要求。建议尽快制定装饰装修材料承载量相关标准,为消费者合理使用材料、保证室内家居安全提供依据。

参考文献:

- [1] GB 18580—2017, 室内装饰装修材料人造板及其制品中甲醛释放限量[S].
- [2] GB 50325—2020, 民用建筑工程室内环境污染控制规范[S].
- [3] GB/T 33043—2016, 人造板甲醛释放量测定大气候箱法[S].
- [4] 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.
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.
- [5] GB/T 17657—2013, 人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S].

(本文编校 向 琴)

- 35: 365-373.
- [42] GAO L, LU Y, ZHAN X, et al. A robust, anti-acid, and high-temperature-humidity-resistant superhydrophobic surface of wood based on a modified TiO₂ film by fluoroalkyl silane[J]. Surface & Coatings Technology, 2015, 262: 33-39.
- [43] YIN J, YUAN T, LU Y, et al. Effect of compression combined with steam treatment on the porosity, chemical composition and cellulose crystalline structure of wood cell walls[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 155: 163-172.
- [44] 赵鹏, 林佳. 从天坛到养心殿: 研究性保护工程的轮回[J]. 建筑学报, 2018(10): 18-24.
ZHAO P, LIN J. From the altar of Heaven to Hall of Mental Cultivation (Yangxin Palace): The cycle of research-oriented preservation projects[J]. Architectural Journal, 2018 (10): 18-24.

(本文编校 向 琴)