

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2020167

地采暖环境模拟舱的研制

时兰翠, 赵秀, 王宏棣, 孟祥鹏, 何林

(黑龙江省林科院木材科学研究所; 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: 为了准确地检测地采暖环境下木质地板的甲醛释放量, 研制一种模拟地采暖环境的模拟舱。主要介绍该地采暖环境模拟舱的结构组成和工作原理, 以及运行测试结果。结果表明, 该模拟舱的温度及相对湿度波动范围都在 1 m^3 气候箱法允许范围内, 地板上下表面存在温度梯度, 可模拟真实的地面辐射供暖情况。应用模拟舱对浸渍纸层压木质地板和多层实木复合地板的甲醛释放检测值, 高于常规 1 m^3 气候箱法检测值, 且低于气候箱整体加热方式下的检测值, 能更真实地反映地采暖用木质地板的甲醛释放情况。

关键词: 地面辐射供暖; 地采暖环境模拟舱; 甲醛释放量; 温度梯度; 1 m^3 气候箱法

中图分类号: TS67 文献标识码: B 文章编号: 2096-9694 (2021) 05-0072-05

Development of Radiant Heating Simulation Chamber

SHI Lan-cui, ZHAO Xiu, WANG Hong-di, MENG Xiang-peng, HE Lin

(Research Institute of Wood Science, Heilongjiang Academy of Forestry;

Key Laboratory of Lumber of State Forestry Administration, Harbin 150081, Heilongjiang, China)

Abstract: In order to accurately evaluate formaldehyde emission from wood-based flooring in ground heating system, a radiant heating simulation chamber was developed. This paper mainly introduced the structure and working concept of the device. Tests were performed in the radiant heating simulation chamber. The test results showed that the fluctuation range of temperature and relative humidity was within the allowable scale of the 1 m^3 climate chamber method. There was a temperature gradient on the upper and lower surfaces of floor heating, which was consistent with the actual radiant heating system. The application test results showed that the formaldehyde emission measured by the simulated chamber was higher than that measured by the conventional 1 m^3 climate chamber method, and lower than that measured by the climate chamber integral heating method, which presented truly formaldehyde emission of wood flooring used in ground heating system.

Key words: radiant heating system; radiant heating simulation chamber; formaldehyde emission; temperature gradient; 1 m^3 climate chamber method

收稿日期: 2020-11-18; 修改日期: 2021-05-26

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: 时兰翠 (1983—), 女, 副研究员。Email: shilancui@163.com

随着地面辐射采暖方式的日渐流行, 地采暖用木质地板渐受青睐。在健康环保绿色的消费理念下, 甲醛释放量仍然是地采暖用木质地板备受关注的主要质量指标之一。根据LY/T 1700—2018《地采暖用木质地板》, 地采暖用木质地板甲醛释

放量检测方法为 1 m^3 气候箱法^[1]。 1 m^3 气候箱法可检测常规温度状态下的甲醛释放量,模拟地采暖环境时采用整体加热的方式^[2-5],地板处于“恒温环境空气加热和均匀温度场”中,与室内地面辐射供暖的“地面热辐射加热和递减的温度梯度”实际情况不符^[6]。而根据热力学理论,温度梯度对气体扩散有着显著的影响^[7-8],从而影响地板的甲醛释放量。由此可知,常规 1 m^3 气候箱法地板甲醛释放检测结果不能真实地反映地面辐射采暖环境下木地板的甲醛释放情况。

鉴于此,针对地采暖用木地板的实际使用环境特点,基于现有 1 m^3 气候箱的标准要求,设计一种模拟地面辐射供暖环境的模拟舱。该设备内的地面辐射供暖装置模拟低温热水为热媒^[9]的辐射供暖方式,可自下而上对地板进行加热,设置水循环最高进水温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[9],且可通过设备内的制冷系统将地板上空气温度控制在温度 $23\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,在地板上下表面形成温度梯度,以更真实地模拟地面辐射供暖环境下地板的使用状态,更准确地检测地板的甲醛释放量,更好地指导企业控制地采暖用木地板甲醛释放限量,确保地板产品的使用环境安全。

1 地采暖环境模拟舱的结构与原理

地采暖环境模拟舱与普通 1 m^3 气候箱相比,其主要特点是集成了地面辐射供暖装置。根据 1 m^3 气候箱法检测要求,结合实际地采暖情况,参考LY/T 1612—2004《甲醛释放量检测用 1 m^3 气候箱》等相关标准,研制的地采暖环境模拟舱应满足以下条件:

- 1) 容积 $(1.0\pm 0.02)\text{ m}^3$;
- 2) 温度可调范围 $15\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 3) 加热板温度可调范围 $15\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 4) 相对湿度可调范围 $30\%\sim 70\%$,精度 $\pm 3\%$;
- 5) 空气流速可调范围 $0.1\sim 0.3\text{ m/s}$,精度 $\pm 0.05\text{ m/s}$;
- 6) 空气交换率可调范围 $0.5\sim 1.5\text{ 次/h}$;
- 7) 在试验过程中,工作仓内地面辐射供暖装置各连接处无漏水漏气,舱内无冷凝现象。

1.1 地采暖环境模拟舱整体结构

地采暖环境模拟舱通过控制舱内的温度、湿度、风速、相对压力、换气率及地面采暖温度,用来模拟地板在地采暖环境下甲醛的释放状态。地采暖环境模拟舱的整体结构如图1所示,由保温外壳、空气套、工作仓、地面辐射供暖装置(位于工作仓内)及设备仓组成,其中设备仓配置了监控装置、温度控制装置、湿度控制装置、空气交换系统及电路器件等设备。

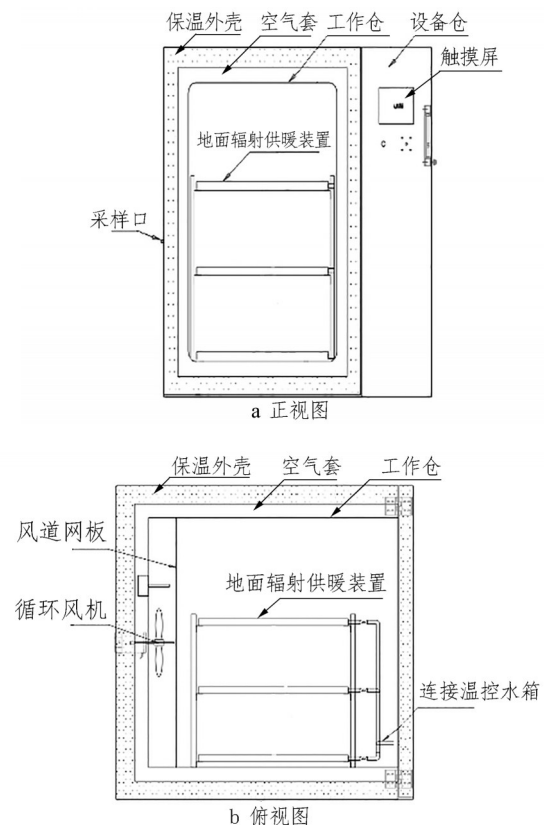


图1 地采暖环境模拟舱结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of radiant heating simulation chamber

1.2 地采暖环境模拟舱温湿度控制原理

模拟舱通过控制水温来间接控制加热板温度,温控水箱内的水通过循环泵在地面辐射供暖装置内部不断循环,通过温度传感器的反馈发出指令,使温控水箱内的加热装置开始或停止工作,以保证加热板温度始终保持设定值。舱内温度控制采用恒温水浴方式,同时通过制冷系统维持舱内空气温度在 $23\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,在试件上下表面形成温度梯度,模拟地面辐射供暖真实状况。

模拟舱内湿度控制采取干气、湿气比例控制法,气泵输送来的空气经过净化系统后,控制程序根据工作仓内湿度信号的反馈来调节空气流经加湿、除湿装置的比例,经由流量计送入比例阀,按比例通过加湿和除湿装置三通阀,进而控制舱内湿度。

2 地采暖环境模拟舱研制

2.1 地采暖环境模拟舱整体结构

箱体结构及材料参照LY/T 1612—2004《甲醛释放量检测用1 m³气候箱》,保温外壳由高强度碳钢焊接成型,外观尺寸为1 420 mm×1 225 mm×1 620 mm(宽×深×高),为防止舱内能量流失和湿气冷凝,内部填充聚氨酯等隔热材料;工作仓由惰性且内壁光滑镜面不锈钢制成,用膨体聚四氟乙烯等洁净材料密封,是地采暖环境模拟舱的主体部分,工作仓尺寸为850 mm×1 080 mm×1 100 mm(宽×深×高)。

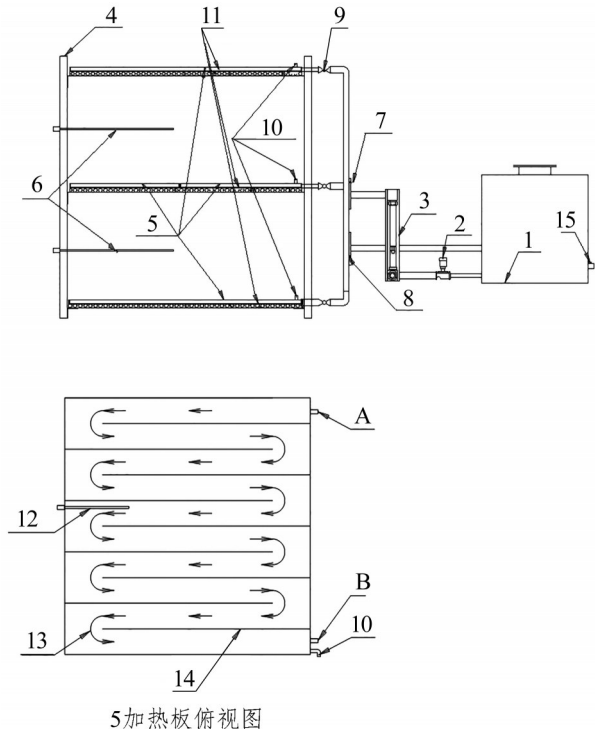
空气交换系统包含净化系统和循环系统,其中净化系统通过精密粒子过滤组件(聚四氟乙烯)及吸附性过滤组件(与甲醛高效反应之化学物质)的多重净化,确保舱内甲醛的背景浓度不超过0.006 mg/m³;循环系统通过循环风机和风道网板,加强舱内气体的充分均匀混合并使其循环流动,同时保证通过检测样品表面的空气流速符合要求。

工作仓内的温度、相对湿度、空气交换率、空气流速、加热板温度、加热板层间温度等参数实时显示在触摸屏界面上,同时可通过触摸屏对参数进行控制,参数实时数据可记录,并可通过RS232或USB外接接口导出。

2.2 地面辐射供暖装置

地面辐射供暖装置采取三层结构,完全模拟低温热水为热媒的地面辐射供暖形式,其主体采用304钢板焊接而成,加热板为中空形式,采用水作为热媒,通过加热水来加热地板向外辐射热量,水箱内的水通过循环泵在加热板与水箱之间循环,同时通过进水分配器、回水分配器、放气阀、温度传感器等辅助设备,实现装置整体加热的均匀性和可靠性,以真实地模拟地面辐射供暖环境下地板的使用状态。该装置占据工作仓内的体积约

15 L,如图2所示,主要由加热板温控水箱、循环泵、流量计、加热板支架、隔热底座、加热板及温度传感器等组成。



1 加热板温控水箱;2 循环泵;3 流量计;4 加热板支架;
5 加热板;6、12 温度传感器;7 进水分配器;8 回水分配器;
9 进水阀;10 放气阀;11 隔热底座;13 循环水;
14 隔板;15 加热装置;A 进水口;B 回水口。

图2 地面辐射供暖装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of radiant heating system

1) 加热板温控水箱

加热板温控水箱是地面辐射供暖系统的热源,位于设备仓内,由304不锈钢钢板焊接而成,采用下部加热的方式,箱体底部有加热管,外面覆有橡塑棉,起到保温的作用,防止水的热量散失,顶部设置有加水口。为保证地面辐射供暖装置各部件的使用寿命及稳定性,水箱内所添加的水为蒸馏水或去离子水。

2) 循环泵及流量计

循环泵及流量计均位于设备仓内,循环泵使加热板温控水箱内的水在地面辐射供暖装置内循环;流量计位于循环泵和进水阀之间的进水管上,用来控制水流速度,降低进水口与出水口的水温差异,保证加热板温度的均匀性。

3) 进水分配器、回水分配器、进水阀及放气阀

进水阀、进水分配器及回水分配器一起用于控制三层加热板的进水与回水，如只需要使用部分加热板，可将不用的加热板进水阀关闭，以减少箱内热负荷。当加热板内有气体阻断水路，导致加热板温度不均或异常时，可打开加热板放气阀放出气体。加热板进水口与进水分配器、加热板回水口与回水分配器之间，采用经净化处理的硅胶软管连接。

4) 加热板

共有四块加热板，置于隔热底座上，由304不锈钢板焊接而成，为中空结构。上层和下层加热板尺寸为650 mm×650 mm×10 mm，中间层为两块独立的加热板，尺寸为650 mm×325 mm×10 mm，内部用钢板隔出S型水道，周边配置进水口A、出水口B及放气阀，如图2所示。加热板靠近隔热底座的一侧内部设置有阻热层，用以阻止加热板中循环水的热能从下底面散失。各加热板内安装温度传感器（图2中12），并有单独进水阀控制进水，可以满足不同承载率铺装要求的同时减少热负荷，实现节能的效果。

5) 加热板支架及隔热底座

加热板支架由304不锈钢板焊接而成，用以支撑加热板、进水分配器、回水分配器及水路管线，并设置有隔热底座。隔热底座采用不锈钢中空底座，内部填充膨体聚四氟乙烯隔热垫，实现隔热的同时不会产生任何污染，保证测试数据的精准性。

6) 温度传感器

每块加热板内安装一个温度传感器（图2中12），监控加热板内热水的实时温度，选择中间层两个加热板任一内部传感器的温度作为控制加热系统的温度，传感器感应温度反馈到控制系统，决定加热板温控水箱内的加热装置是否启动，因此在地面辐射供暖装置运转情况下，该加热板进水阀必须处于打开状态，否则加热板温控水箱的加热装置会持续加热。同时，加热板上方150 mm处也安装温度传感器（图2中6），以监测地板上方的空气温度，同箱体正后方风扇之上的温度传感器一起，控制整个箱内温度保持在 $23\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 地采暖环境模拟舱运行测试

3.1 温湿度检测

专业计量检测机构对研制的地采暖环境模拟舱的温度和湿度进行了检测，依据JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度校准规范》，测试点位置分布在工作仓内上、中、下层的三个测试面上。中层通过工作仓几何中心，上层、下层与工作仓顶面、底面距离为仓内高度的1/5。测试点共九个，上、下层各四个，中层一个，如图3所示（温度：A、B、C……；湿度：甲，乙，丙）。检测结果见表1，其中测量不确定度 U 取包含因子 $k=2$ 。

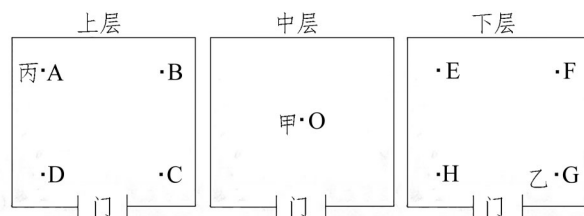


图3 温湿度测试点分布示意图

Fig.3 Distribution diagram of test points for temperature and humidity

表1 模拟舱温湿度检测数据/结果

Tab.1 Test data of temperature and humidity inside the radiant heating simulation chamber

参数	空气温度/ $^{\circ}\text{C}$	地热温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿度/%
偏差/不确定度 U	$-0.5/0.3$	$-0.5/0.3$	$-0.9/1.9$
波动度/不确定度 U	$\pm 0.2/0.3$	$\pm 0.2/0.3$	$\pm 0.2/1.9$
均匀度/不确定度 U	$0.6/0.3$	$0.5/0.3$	$0.5/1.9$

地采暖环境模拟舱安装成功后按说明书的操作说明进行了调试，按照 1 m^3 气候箱法设置参数，参考JGJ 142—2016《辐射供暖供冷技术规程》中建议辐射供暖供水温度（ $35\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），设置加热板温度为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，首次开启设备约3 h后，箱内的温度、相对湿度、加热板温度达到设定值并保持稳定。稳定后继续运行2 h，整个过程中，地面辐射供暖装置各连接处气密性良好，无漏水漏气现象，舱内各参数均达到设计要求。

3.2 应用测试

为进一步检验地采暖环境模拟舱的性能，对地采暖环境模拟舱进行了承载率为1的应用测试。测试环境温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，试样选择浸渍纸层压木质地板和多层实木复合地板。试样平衡封边后平

铺于加热板上,开启地采暖环境模拟舱,设定温度23℃、相对湿度50%、空气流速为0.3 m/s,空气置换率1次/h;同时启动地面辐射供暖装置,设定加热板温度35℃,设备稳定后,检测地板上表面温度分别为25.6℃(浸渍纸层压木质地板)、25.4℃(多层实木复合地板),表明地板上下表面形成了温度梯度。在此条件下测出的甲醛释放量分别为0.023、0.021 mg/m³。

为了比较不同方法的检测结果,在没有地面辐射供暖装置情况下,采用常规1 m³气候箱法,保持相对湿度、空气流速及空气置换率参数不变,测试上述两种试样的甲醛释放量,结果列于表2。

表2 模拟舱和常规1 m³气候箱检测木地板的甲醛释放量

Tab.2 Formaldehyde emissions from wood flooring in the radiant heating simulation chamber and 1m³ climate chamber

方法	空气温度/ ℃	加热板 温度/℃	甲醛释放量/(mg·m ⁻³)	
			浸渍纸层压 木质地板	多层实木 复合地板
地采暖环境模拟舱	23	35	0.023	0.021
常规1 m ³ 气候箱法	23	-	0.011	0.010
气候箱整体加热法	35	-	0.042	0.040

由表2结果可知,采用常规1 m³气候箱法检测出的地板试样甲醛释放量,均低于地采暖环境模拟舱检测值,如此会低估甲醛释放的危害;而气候箱整体加热法的测试值,又高于地采暖环境模拟舱检测值,无疑将放大甲醛危害。因此,地采暖环境模拟舱的研制具有现实意义。

4 结语

地采暖环境模拟舱以地面辐射供暖装置为核心装置,各连接处气密性良好,箱内无液态水,不会对甲醛检测结果产生影响;温度和湿度的精度及波动范围均达到JJF 1101—2019要求,加热板温度及三层加热板的层间温度波动范围和精度均在设计范围内,且可在地板上下表面形成温度梯度,能模拟地面辐射供暖时木质地板的使用

环境。应用试验结果表明,地采暖环境模拟舱对浸渍纸层压木质地板和多层实木复合地板的甲醛释放检测值,均高于常规1 m³气候箱法检测值,且低于气候箱整体加热方式下的检测值,因此能更真实地反映地采暖用木质地板的甲醛释放情况。

因为地面辐射供暖装置的可调控式设计,加热面积可在0.2~1.2 m²之间调节,检测不同承载率的地采暖用木质地板甲醛释放量;承载率较低时,关闭不用的加热板进水阀,可减少地采暖环境模拟舱中的热负荷;或关闭该装置的加热功能,地采暖环境模拟舱即可用作普通的1 m³气候箱,检测其他人造板产品的甲醛释放量,实现功能的最大化,符合国家倡导的节能环保及高效利用的政策和发展趋势。今后对地采暖环境模拟舱进一步优化,还可用于地板及其他人造板产品在地采暖环境下挥发性有机物释放的研究。

参考文献:

- [1] GB/T 17657—2013,人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S].
- [2] 王敬贤.环境因素对人造板释放影响的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2011:24-36.
- [3] 龙玲,李光荣,周玉成.大气候室测定家具中甲醛及其他VOC的释放量[J].木材工业,2011,25(1):12-15.
LONG L, LI G R, ZHOU Y C. Formaldehyde and other volatile organic compound emissions from furniture in a full-scale chamber[J]. China Wood Industry, 2011, 25(1): 12-15.
- [4] 张侃,王志.基于气候箱法的实木复合地板甲醛释放规律研究[J].安防科技,2011(9):48-50,53.
- [5] 曹连英.人造板TVOC释放多相传质模型及释放特性参数研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [6] 王宏棣,赵秀,刘一楠,贾潇然.地采暖用木质地板甲醛释放量检测方法探讨[J].木材工业,2018,32(3):25-28.
WANG H D, ZHAO X, LIU Y N, JIA X R. Test methods of formaldehyde emissions from wood-based flooring products used in ground heating system[J]. China Wood Industry, 2018, 32(3): 25-28.
- [7] ZHANG Y P, LUO X X, WANG X K, et al. Influence of temperature on formaldehyde emission parameter of dry building materials[J]. Atmospheric Environment, 2007,41(15):3203-3216.
- [8] 武淑琴,王仪明,柴承文,等.基于温度梯度的印刷机邻域VOCs的监测方法[J].包装工程,2017,38(1):81-86.
WU S Q, WANG Y M, CHAI C W, et al. Method to monitor the VOCs around the printing press based on the temperature gradient[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 81-86.
- [9] JGJ 142—2012,辐射供暖供冷技术规程[S].

(本文编校 向琴)