

木质地板用地采暖方式

徐伟¹, 陶鑫¹, 吴智慧¹, 詹先旭², 方露¹, 张烁培¹, 杨勇²

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 德华兔宝宝装饰新材股份有限公司, 浙江德清 313200)

摘要: 作为一种节能又舒适的新型采暖方式, 地采暖在我国逐渐为大众熟知并接受, 且发热形式不断创新。在总结木地板适用采暖方式的基础上, 根据发热元件与木地板的结合方式, 分析各种方式的传热原理、结构, 并从技术开发、材料应用和标准制定三方面提出建议。

关键词: 采暖; 木地板; 辐射

中图分类号: TS61; TU225

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654 (2017) 03-0035-05

Floor Heating Systems for Wooden Floorings

XU Wei¹, TAO Xin¹, WU Zhi-hui¹, ZHAN Xian-xu², FANG Lu¹, ZHANG Shuo-pei¹, YANG Yong²

(1. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Dehua Tuobao New Decoration Material Co., Ltd., Deqing 313200, Zhejiang, China)

Abstract: As new energy-saving and comfortable heating systems have become more common, floor heating systems for wooden flooring has been increasing and is becoming widely used in residential houses in China. The authors summarized floor heating systems for wooden floorings and described heat transfer principles and various structures. They made suggestions for technology development, standard formulations and new material applications for reference to future research and development of floor heating systems for wooden floorings.

Key words: floor heating; wooden flooring; radiant

随着人们对冬季采暖功能性、舒适性需求的逐步提高, 近年来, 广泛流行于日韩、北欧等地的地采暖木地板, 因具有节省室内空间、不影响室内整体设计效果、节能高效等优势, 在我国的应用逐渐增多^[1]。

笔者通过梳理地采暖木地板的不同发热方式, 分析其原理及构造, 探讨木地板适用采暖方式的发展趋势及应用前景, 以期地为地采暖用木地板的开发与应用提供参考。

1 地采暖用木地板概述

地采暖用木地板是将发热元件(热水管道、发热电缆、电热膜以及碳素材料等)置于木地板下层或中间, 自下而上辐射热量, 将热量传递到整个室内空间, 达到采暖目的。这种自下而上、温度逐步递减的传热方式, 不仅符合中医“温足凉顶^[2]”的养生产理, 给人体以脚暖头凉的舒适感, 而且符合空气流动的一般规律, 使室内温度分布均匀^[3], 还具有分区加热、智能控制的优点。

由于地采暖的特殊性, 对铺地材料的要求十分严格。木地板因具有天然的色泽纹理、舒适的脚感、良好的保温调湿性能, 成为地采暖的首选铺地材料。地采暖专用木地板必须具备热传导性好、热稳定性

收稿日期: 2016-10-24; 修改日期: 2017-03-30

基金项目: 浙江省重点研发项目“功能型智能化家居产品关键技术的研发与产业化”(2016BSA520915); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

作者简介: 徐伟(1975—), 男, 南京林业大学副教授。

好、环保、抗变形等特点^[4]。

良好的热传导性是地采暖地板用材的首要条件,木材的导热系数一般在 $0.04 \sim 0.12 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,导热系数较低,不易散热也不易导热。

热稳定性要求地板表面温度能够在 30 min 内达到 $26 \sim 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,且温度不均匀度 $\leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,能够稳定、均匀地向室内传递热量。

环保性能要求地采暖用木地板生产全过程所用的胶黏剂、涂料等应达到国家强制标准,在高温条件下游离甲醛的释放量 $\leq 0.5 \text{ mg/L}$,符合 E_0 级标准。

抗变形性要求木地板必须长期在高温条件下无明显的收缩或膨胀现象,即不开裂、不变形,一般地板基材密度较高^[5]。

地采暖用木地板按材质,可分为四类,包括:强化木地板、实木地板、实木复合地板、竹地板。行业标准 LY/T 1700-2007《地采暖用木质地板》则依据品种将其分为三类,即:地采暖用浸渍纸层压木质地板、地采暖用实木复合地板和其他地采暖用木质地板。

2 木地板用采暖方式现状

依据发热元件与木地板的结合方式,市场上常用木地板采暖方式可分为两类:即热元件独立采暖和热元件内置集成采暖两种形式。

其中热元件独立采暖方式目前普遍应用,主要有:低温热水辐射、发热电缆辐射、电热膜辐射等方式。

发热元件内置的地板,市场上也称自发热地板,即将发热材料置于地板中层,其发热材料多为面状,以碳素材料为主,如长丝碳纤维、远红外碳纤维低温发热纸、碳晶远红外线薄膜、纳米碳墨等^[6],通电后,材料内部通过分子的运动产热,向上辐射热量,实现地板采暖。

2.1 热元件独立采暖

热元件独立采暖是将独立的发热元件(热水管、发热电缆、电热膜)置于地板之下,并加设保温层和发射膜(隔热层)。当热水管中不断通过循环的热水(或电缆、电热膜通电)时,产生的热量向上辐射,下层的保温隔热层防止热量向下流失,使得地板表面温度升高,实现室内供暖^[7]。

2.1.1 低温热水辐射采暖

低温热水辐射采暖,也称埋管式地板辐射采暖,是采用温度不高于 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水作为热媒,在置于地板以下的加热管内循环流动,向上辐射热量的一种采暖方式(图 1)^[8],热量传递主要依靠辐射作用(占 74%),其次是对流作用^[9]。

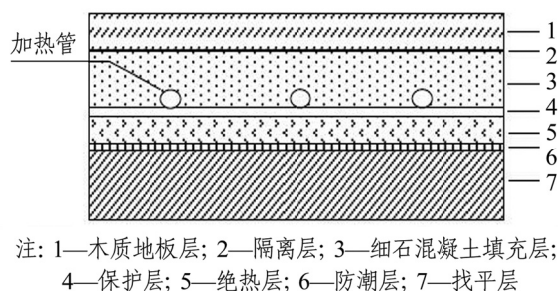


图 1 热元件独立的低温热水辐射地采暖结构

Fig.1 Structure of a hot water radiant floor heating system

其中隔离层、防潮层是潮湿房间必需的结构层;细石混凝土填充层放置加热管;保护层材料主要为铝箔;绝热层材料主要为泡沫塑料,以减少无效热耗;找平层材料主要为水泥砂浆。

低温热水辐射采暖的木地板主要采用湿式铺设,需要浇灌混凝土。湿式铺设工艺有着更为良好的蓄热能力,已使用多年,技术较为成熟。

随着社会科学技术的发展,还出现了干式铺设,与湿式铺设最大的区别是,以新型有槽口的供热板结构,取代传统的混凝土填充层。供热板厚度一般不超过 35 mm ,为提高传热性能,通常还需设置金属导热层。干式铺设施工作业更为方便,不破坏基层表面,且易于维修^[10]。

2.1.2 发热电缆辐射采暖

发热电缆辐射采暖,是以低温发热电缆为发热体,将电能转化成热能,通过地面,以辐射和对流的形式,向室内供暖^[11]。

发热电缆是由冷线、热线和冷热线接头组成,其中热线由发热导线、绝缘层、接地屏蔽层和外护套等部分组成。

发热导线多为合金电阻丝(如铜、镍、铬合金等)以及碳纤维材料;绝缘层材料常采用耐高温的交联聚乙烯;接地屏蔽层是指包裹在发热导线外并与发热导线绝缘的金属层,其材质可以是编织成网

或螺旋缠绕的金属丝，也可以是螺旋缠绕或沿发热电缆纵向围合的金属带；外护套是保护发热电缆内部不受外界环境影响（如腐蚀、受潮等）的电缆外围结构层，一般采用聚氯乙烯材料^[12]。

发热电缆辐射采暖木地板的铺设方式、基本构造，同低温热水管铺设方式相似，亦分为湿式和干式两种。目前许多企业加大对干式铺设方式的研发，开发出了很多新颖的供热板结构。这些新颖的地板结构，多结合铝合金材料，或开槽以放置发热电缆或管道，将传统的发热元件与地板结构合二为一，既方便铺设又节约成本。

2.1.3 电热膜辐射采暖

电热膜是由电绝缘材料和封装其内的发热电阻材料组成的平面型发热元件，分为高温与低温两种类型。在地采暖中，常采用低温电热膜^[13]。电热膜通电后，将电能转化成热能，向上辐射，实现采暖。

电热膜辐射采暖木地板的基本构造，自上而下分别是木质地板层、电热膜、反射层（铝箔）、保温层（聚苯板或XPS挤塑板）、隔离防潮层（潮湿地面需要此层结构）。电热膜不能直接用于地面辐射供热，需要外加PVC真空封套，以保证使用效果和寿命^[14]。

2.2 热元件内置集成采暖

热元件内置的集成采暖木地板，是将面状发热元件置于木地板面板与底板之间，形成相对集成的结构。内置的面状发热材料通电后，通过分子的运动产生热量向上辐射。结构如图2所示，除中间发热层为碳纤维材料外，上下两层均为木质材料。

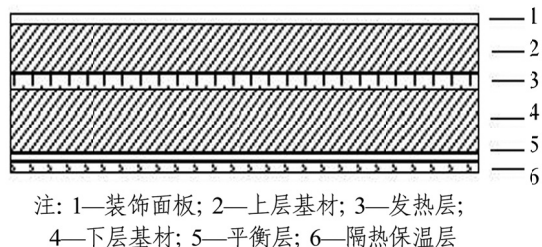


图2 热元件内置的采暖木地板结构

Fig.2 Structure of a floor heating system with built-in heating elements

地采暖木地板的装饰面板种类对其导热性能有明显影响。装饰面板密度越大，导热性能越好，传热越快，热量损失越少^[15]。

发热芯层主要为面状碳素材料，分为碳纤维材料或纳米碳墨材料，厚度一般只有3 μm左右，柔韧性优于传统的电热丝，可任意折叠、切割，只传热，不导电^[16]。

碳纤维材料形式多样，有碳纤维纸、碳纤维毡、碳纤维布及碳纤维发热线等。已有企业对碳纤维材料在自发热地板中的应用利弊进行了分析，推荐使用安全系数高的碳晶板材料，但现阶段成本较高^[17]；通过在小径级杉木内置碳纤维发热线制备的地热地板，其性能满足LY/T 1700-2007《地采暖用木质地板》的要求，经30 min左右达到平衡温度，其表面温度最终可达30~35℃，且分布均匀^[18]；将碳纤维纸与绝缘材料（溴化环氧树脂玻璃布）、电极层压成面状电热板，进行热电性能测试，发现其具有较好的热循环稳定性，长期通电情况下室温电阻保持稳定，温度梯度在垂直与平面方向都很小，波动范围在±1℃，热舒适性好^[19]。

目前市场上对于内部发热采暖木地板尚无准确的定义，根据其工作原理，笔者将其称为热元件内置集成采暖木地板，与常用地采暖用木地板的区别在于，其发热系统存在于地板内部，而非独立的发热单元，其热量传递距离缩短，具有升温快、热转换率高、自成单元检修难度低、易于智能控制等优点^[20]，因而成为诸多厂家与科研机构研究开发的热点产品。

3 木地板采暖方式的应用前景与建议

3.1 前景

据统计，我国有2/3的人口居住在采暖区^[21]。传统的暖气片、空调等采暖方式存在能耗大、占据空间等问题，不符合低碳经济的发展理念，因而地暖供热逐渐主导了供热市场^[22]，并已被国家建设部列为重点推广项目^[23]。

木地板具有节能、环保以及能够调节室内温湿度的特性，将成为地采暖的最佳铺地材料。

我国地采暖木地板行业起步晚、发展缓慢，与传统采暖方式相比，地采暖的市场占有率远低于其他发达国家。在国家积极倡导节能减排，建设资源节约型、环境友好型社会的政策促进下，地采暖木地板的发展空间广阔。

3.2 建议

地采暖用木地板已逐渐受到消费者的青睐,市场规模不断壮大,但也面临着技术、标准、售后等问题。针对这些问题提出建议如下。

3.2.1 技术开发

木地板作为室内装饰装修的重要组成部分,国内对于地采暖用木地板的技术开发从未停止。如为了提高木地板的热稳定性和抗变形能力,开发高温热处理、乙酰化处理等改性技术,还有的企业对木地板的锁扣结构进行改进创新。

地采暖用木地板与智能化相结合是当前技术开发的热点,主要表现为智能温控技术。智能温控器是整个地采暖系统的核心。有研究对碳纤维电采暖系统智能温控器进行了优化设计,在硬件设计上增加了电源供电电路,以便关机时彻底断电,实现节能;软件设计上,采用中位值和防脉冲干扰值滤波法相结合以及线性补偿法,有效地保证测温精度^[24]。通过优化设计,使得温控器的测温精度、稳定性和节能效果都有了显著提高。

3.2.2 材料应用

1) 相变储能材料。

木地板的现有采暖方式,无论是低温热水辐射、发热电缆辐射还是内部芯层(碳纤维)自发热,都是当有取暖需求时才启动的,能耗仍相对较大。目前已有学者开始将相变储能材料与发热材料相结合,研制蓄热地板,即利用夜间低谷电蓄能,来满足日间采暖需求,既可以有效降低能耗,又利于调节电网峰谷差^[25]。

2) 碳元素材料。

碳元素材料的研究以及与木材相结合发热材料的开发,将是未来研究重点。

国内有的企业采用非金属碳元素材料,通过纳米化工艺融入木材的纤维组织,使木材内部成为一个均匀的电阻网络,碳晶分子在电能的驱动下做布朗运动,产生热量自动发热,均匀加热木地板;也有企业通过将石墨烯与地板内发热体混合应用,达到节能的目的^[26]。

3.2.3 标准制定

目前我国地采暖用木质地板的标准尚未完善,仅有 LY/T 1700-2007《地采暖用木质地板》、WB/T

1037-2008《地面辐射供暖木质地板铺设技术和验收规范》、JG/T 286-2010《低温辐射电热膜》、JGJ 142-2012《辐射供暖供冷技术规程》等行业标准。

特别是内置热元件的集成地采暖用木地板,逐渐被消费者接受,有着巨大的市场潜力与前景,应积极制定相应国家标准,规定该类产品的安全性、稳定性、节能性、环保性等性能要求,以保障产品质量。建议结合 GB/T 7827-2008《红外辐射加热器试验方法》,对产品的安全性、稳定性、节能性指标进行测试。

其中安全性测试建议采用绝缘电阻测试仪,对样品表面、底部进行测试,确保不漏电。

稳定性能测试建议采用手持红外测温仪对样品表面、底部取点每隔 15 min 进行温度测试,确保温度变化幅度维持在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

节能性能通过电热转化率测试,确保维持在 98%~99%。

环保性能主要对加热高温环境下木地板的甲醛释放量进行测试。地采暖环境下温度较高,木地板中的甲醛会加速释放^[27-28]。有研究发现,在 20°C 时甲醛释放量符合 GB 18580-2001 中 E₁ 级要求的木地板,随着环境温度的升高,其甲醛释放量呈高速增长^[29]。因此,地采暖用木地板甲醛释放量的测试应在一定温度条件下进行,建议在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 温度环境下取样,然后按照 GB 18580-2001 规定,采用气候箱法测试。

4 结语

随着消费者对节能环保、舒适安全的采暖要求提高,采用木质地板进行地面采暖必将成为首选采暖方式。企业、政府、科研单位应密切合作,始终贯彻“以人为本”的理念,让地板采暖行业朝着更加健康、积极、科学的方向发展,创造出更安全、舒适的产品,满足消费者的需求。

参考文献:

- [1] 王俊,陈庆庆,李金玉,等. 面板及地板结构对实木复合地板翘曲与开裂的影响[J]. 林业科技开发, 2015, 29 (4): 82-86.
- [2] 刘凯,张伟. 浅谈地热采暖系统施工技术及成品保护[J]. 建筑工程技术与设计, 2015 (33): 213.
- [3] 汤隽东,李勇. 低温热水地面辐射采暖在建筑上的应用[J]. 黑龙江

- 科技信息, 2003 (1): 344.
- [4] 盖志科. 低温热水地板辐射供暖的优点及施工要点[J]. 山西建筑, 2001, 27 (4): 129-130.
- [5] 国家林业局知识产权研究中心. 木地板锁扣技术与地采暖用木地板技术专利分析报告 2014[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015: 72-73.
- [6] 李祯. 基于碳素材料的自发热木质复合材料的电热性能研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015: 4.
- [7] 苏久强. 地热地板低温辐射采暖的施工工艺[J]. 煤炭技术, 2006, 25 (8): 100.
- [8] 刘春泽, 聂立武, 韩古月. 地板采暖工程用砖的研制及应用[J]. 辽宁建材, 2010 (7): 35-37.
- [9] H Khorasanizadeh, GA Sheikhzadeh, AA Azemati, et al. Numerical study of air flow and heat transfer in a two-dimensional enclosure with floor heating[J]. Energy & Buildings, 2014, 78 (78): 98-104.
- [10] 王波, 王友志. 低温热水地板辐射供暖方式简析[J]. 中国住宅设施, 2014 (1): 78-80.
- [11] 冀东光. 发热电缆地板辐射供暖系统的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14 (5): 272-273.
- [12] 张洋. 发热电缆在采暖系统中的应用[J]. 电器工业, 2010 (3): 54-55.
- [13] 刘春生. 电热膜的应用[J]. 家用电器, 2001 (11): 22.
- [14] 严丹. 碳纤维电热膜地板采暖初探[J]. 供热制冷, 2006 (3): 23-25.
- [15] 陈庆庆, 王俊, 吉富堂, 等. 装饰面板及地板结构对实木复合地板导热性能的影响[J]. 森林工程, 2015 (2): 84-87.
- [16] 李祯. 基于碳素材料的自发热木质复合材料的电热性能研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015: 3.
- [17] 高建忠. 电采暖地板发展现状与趋势[J]. 国际木业, 2015 (8): 4-5.
- [18] 阎泽利, 赵晓旭, 李哲瑞, 等. 小径级杉木制备内置碳纤维电热线地热地板[J]. 木材工业, 2015, 29 (4): 9-13.
- [19] 赵登科. 碳纤维电热地板热工性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [20] 王艳伟, 吴忠其, 孙伟圣, 等. 碳纤维电加热地板研究进展与展望[J]. 中国人造板, 2016 (1): 5-8.
- [21] 江涛, 张双保. 浅谈低温热水地板采暖的特点及应用前景[J]. 山东林业科技, 2009 (2): 86-87.
- [22] 王凯乐. 地暖供热的发展空间和作用[J]. 林业科技情报, 2013, 45 (3): 42-43.
- [23] 建设部. 建设事业“十一五”重点推广技术领域[Z], 2006.
- [24] 陈晖, 王姝歆. 碳纤维电地暖系统智能温控器的优化设计[J]. 测控技术, 2016, 35 (5): 149-152.
- [25] 张婧芃. 浅析定形相变储能材料在蓄热地板中的应用[J]. 城市建筑, 2012 (17): 228, 236.
- [26] 高建忠. 远红外线发热地板发展与未来[C]//全国红外加热暨红外医学发展研讨会论文及论文摘要集, 2015.
- [27] 叶红, 代平国, 任彦回. 地暖环境条件下木地板甲醛释放量测定及收集装置[J]. 福建分析测试, 2012 (6): 55-57.
- [28] J Seo, J Jeon, JH Lee, et al. Thermal performance analysis according to wood flooring structure for energy conservation in radiant floor heating systems[J]. Energy & Buildings, 2011, 43 (8): 2039-2042.
- [29] 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 (9): 49-51.

(责任编辑 向 琴)

(上接第13页)

3 结论

1) 三种规格材齿板节点的破坏形式类似, 在荷载垂直于木材纹理时, 兴安落叶松齿板节点易发生木材撕裂破坏, 从而导致节点极限承载力及延性较低, 在实际应用中应予以避免。

2) 在四种节点构型中, 两种国产落叶松齿板节点的极限承载力均高于进口云杉规格材。

3) 在荷载平行于木纹方向时, 兴安落叶松节点延性最高, 进口云杉节点延性最低; 在荷载垂直于木纹方向时, 日本落叶松齿板节点延性最高, 兴安落叶松节点延性最低。三种规格材在顺纹方向的齿板节点延性, 均大于横纹方向。

4) 国产落叶松在齿板节点中具有较好的拉伸性能, 但本文仅局限于齿板节点, 尚未考虑整体木桁架的承载性能, 今后有待进一步研究其在轻型木桁架中的整体承载性能, 为国产结构材的开发应用, 提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 王滋, 王丽, 张赛男, 等. 轻型木桁架的研究现状和发展趋势[J]. 林产工业, 2016, 43 (2): 1-7.
- [2] 贺绍均, 杨保锦, 闫薇, 等. 轻型木结构齿板压入试验及影响因子研究[J]. 木材加工机械, 2016, 27 (1): 43-47.
- [3] 姜福来, 于辉. 落叶松木材利用途径的探讨[J]. 林业科技, 2000, 25 (2): 53-56.
- [4] 徐守乐. 落叶松的开发及应用[J]. 中国林业产业, 2004 (2): 57-58.
- [5] 周贤武, 张俊珍, 周海宾, 等. 树龄对日本落叶松木材物理力学性质的影响[J]. 林业科技开发, 2014, 28 (4): 54-57.
- [6] 王丽, 王滋, 丁青峰, 等. 三种国产齿板的节点拉伸性能分析[J]. 木材工业, 2016, 30 (5): 5-8, 16.
- [7] 席佳, 赵荣军, 费本华, 等. 兴安落叶松规格材齿板连接节点的拉伸性能[J]. 木材工业, 2009, 23 (5): 1-4.
- [8] 杨阳, 谢宝元, 费本华, 等. 三种木材齿板连接力学性能对比实验研究[J]. 木材加工机械, 2013, 24 (3): 17-21.
- [9] 席佳. 兴安落叶松规格材与齿板接合节点拉伸性能研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [10] 陈佛喜, 李爽, 王焕, 等. 轻型木桁架齿板的承载性能分析[J]. 木材工业, 2009, 23 (6): 14-17.
- [11] 何桂荣, 何敏娟, 倪俊, 等. 国产正交主轴齿板连接节点各项承载力性能研究[J]. 力学季刊, 2010, 31 (2): 282-287.

(责任编辑 向 琴)