

研究与开发

实木复合地板导热性能的检测 及建模方法

周玉成¹, 侯晓鹏², 韩宁², 张亚勇¹, 安源¹

(1. 中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091;

2. 北京林业大学工学院自动化系, 北京 100083)

摘要: 根据实木复合地板的特点, 提出一种导热性能检测装置。根据此检测装置测出的数据, 利用曲线拟合和广义神经网络(GRNN)2种方法建立起实木复合地板导热性能的数学模型, 并且达到理想的逼近精度。

关键词: 实木复合地板; 导热性能; 数学模型; 曲线拟合; 广义神经网络

中图分类号: TS61; TU759.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2007)04-0009-03

Testing and Modeling Methods for Parquet Heat Conduction Performance

ZHOU Yu-cheng¹, HOU Xiao-peng², HAN Ning², ZHANG Ya-yong¹, AN Yuan¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of

State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the characteristics of parquet, the authors of this article developed a new device for testing heat conduction performance for parquet. With the data obtained from the device, a mathematical model was set up by using curve fitting and generalized regression neural network (GRNN). Results found that the model reached a nearly perfect fit, thus making it an effective method for research and for testing heat conduction performance for parquet and other laminated biomass materials.

Key words: parquet; heat conduction; mathematics model; curve fitting; generalized regression neural network(GRNN)

近年来, 因地板采暖较其他传统采暖方式环保清洁、热效高、热力均匀、节省空间, 受到众多关注。地板采暖试验中证明, 实木复合地板具有热传导性能优良、储热与热辐射效果俱佳、地板表面温度分布比较均匀等优点, 因而成为优良的地热采暖材料^[1]。

针对其导热性能的检测方法以及数学模型的建立, 国内外研究人员已开展了多方位的研究, 如塑料、环氧树脂、玻璃等导热系数理论与实际的检测方法。

其原理是利用恒定电流通过附着在试件上表面(或下表面)的发热体, 使发热体释放恒定的热源, 同时在与发热体一定距离的试件上表面(或下表面)安放温度采集传感器, 接收试件的实时温度。

而多种材料复合或多种材料层积构成的生物质材料, 对其导热品质特性会产生不同程度的影响, 难以跟踪和预测^[2-3]。故上述方法在实木复合地板的导热性能实测中, 无法实现准确检测, 最明显的表现是试验没有重复性。

针对层积制成的多层实木复合地板的特点, 笔者提出用两腔恒温法进行地板导热性能分析, 并根据此检测方法所采集的数据, 建立起实木复合地板导热性能的数学模型。

收稿日期: 2007-01-09; 修改稿: 2007-06-20

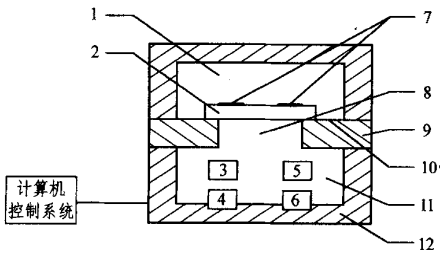
基金项目: 科技部农业科技成果转化项目(04EFN213700338); 科技部星火示范项目(2005EA169021); 科技部公益项目基金(2004DIB1J030); 北京林业大学研究生自选课题基金(05jj091)。

作者简介: 周玉成(1958—), 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士。

1 两腔恒温法导热性能分析

1.1 检测装置结构

根据模拟地板热传导过程的环境,设计了两腔恒温法地板导热性能检测装置,如图 1 所示。



1. 上腔; 2. 测试试件; 3. 下腔传感器; 4. 加热源; 5. 风扇;
6. 制冷源; 7. 传感器; 8. 测试平台; 9. 上下腔绝热层;
10. 试件与腔体绝热层; 11. 下腔; 12. 保温层

图 1 导热性能检测装置示意图

Fig. 1 A testing device for heat conduction performance

此装置主要由金属材料、绝热层及测试平台组成。下腔内装有 Pt 100 温度传感器、匀流调速风扇、加热源和制冷源,分别与计算机控制系统相连,负责下腔温度的数据采集,以及腔内空气流速的调整和腔内温度的实时控制。上、下腔之间测试平台中心位置,设有 90 mm×90 mm 的开口,使受测试件放入测试平台后,上下两腔形成封闭状态。在受测试件上表面的相应位置分别放有 2 个 Pt 100 温度传感器,并与计算机控制系统相连,负责接收受测试件表面的温度数据,分析并处理后,建立地板温度随时间变化的关系。

1.2 测试步骤

- 市售 3 层 9 mm 厚实木复合地板作为测试试件,试件编号分别为 516、517、667、B,每组取 2 个测试样本,试件尺寸为 100 mm×100 mm×9 mm;试件含水率控制在 13%~15%。
- 试件放置在测试平台上,试件的下表面与腔体绝热层接触,使上下两腔形成密闭隔离。
- 设定测定的基准温度为 20℃,加热恒定温度为 70℃。
- 当受测试件的上表面到达设定的基准温度时,开始测试。采用 PID 控制温度,下腔升温至 70℃,并保持恒定。当试件上下表面的温度出现恒定的差值时(记为 Δt),测试结束。
- 用曲线拟合及广义回归神经网络模型给出导热性能函数。

2 导热性能建模及结果

2.1 最小二乘建模结果

2.1.1 拟合曲线表达式选择 根据实测过程所得到的历史数据,绘制成历史曲线,作为选择拟合曲线的具体表达式的依据^[4],拟采用的曲线表达式为:

$$y=a+b\ln(x)$$

式中: x —测试时间, s; y —实木复合地板表面温度,℃; a 、 b —系数。只要求出 a 、 b 值,就可以得到 4 种实木复合地板表面温度随时间变化关系:

- 试件编号 516, $y=-27.702+8.839\ln(x)$;
试件编号 517, $y=-26.262+8.715\ln(x)$;
试件编号 667, $y=-25.961+8.412\ln(x)$;
试件编号 B, $y=-26.402+8.792\ln(x)$

2.1.2 曲线拟合性能检验

1) 通过仿真和目标向量作一元线性回归,在曲线拟合输出和目标值之间作线性回归,计算曲线拟合结果和目标值之间的相关系数,及平均相对误差(见表 1)。

表 1 曲线拟合结果分析
Tab. 1 Results of curve fitting analysis

试件编号	相对误差/%	相关系数
516	2.6	0.986
517	2.7	0.985
667	2.9	0.983
B	2.6	0.986

2) 拟合曲线是否能较准确地体现出原始曲线的变化趋势(见图 2)。

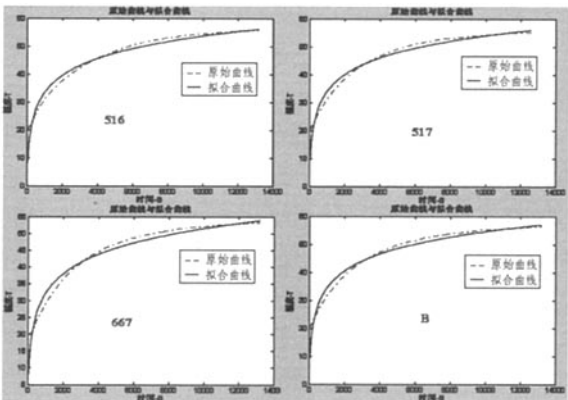


图 2 原始曲线与拟合曲线

Fig. 2 Original curves vs. fitting curves

通过表 1 和图 2 可以看出,对 4 种实木复合地板导热性能的曲线拟合,其建模结果的相对误差都控制在 3%以内,而相关系数则达到了 0.98 以上,拟合后

的曲线能够比较准确地还原出原始曲线。

2.2 广义回归神经网络 (GRNN) 结构与建模

2.2.1 结构 由图 3 可见,GRNN 是一个两层神经网络。第一层为径向基神经层,其输入为 n^1 ,输出为 a^1 。第二层为网络线性层,其输入为 n^2 ,输出为 a^2 。 R 为输入向量的元素个数, S 为输出向量的元素个数, Q 为第一层、第二层的神经元数目和输入/目标对数目。 a_i^1 是第 i 个高斯函数输出, $IW_{1,1}$ 是径向基层的权值, $LW_{2,1}$ 是输出层的权值^[5]。在导热性能建模过程中根据具体问题,该神经网络模块的输入输出维数,为 1 维输入($R=1$)和 1 维输出($S=1$)。

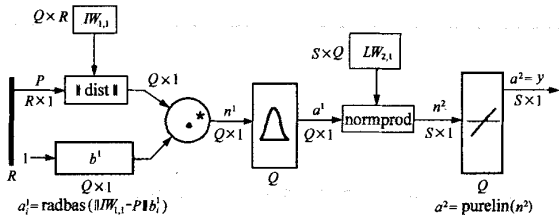


图 3 广义回归神经网络结构图
Fig. 3 Structure of a generalized regression neural network (GRNN)

在 GRNN 建模过程中,涉及到许多的矩阵运算,而 Matlab 作为一种数学运算工具,提供了强大的矩阵处理功能,并且神经网络工具箱可提供广义神经网络模型设置和实施的平台^[6],笔者以 Matlab 作为基本的运算工具和仿真平台。

2.2.2 建模结果分析 将 4 种实木复合地板的导热性能进行 GRNN 建模。同时对网络的拟合能力进行检验,主要包括:

1) 通过仿真网络,并还原网络输出,然后对还原后的网络输出和目标向量作一元线性回归,来检验网络训练的性能。在网络响应和目标值之间作线性回归来计算网络响应和目标值之间的相关系数;计算拟合结果和目标值之间的平均相对误差(见表 2)。

表 2 GRNN 结果分析
Tab. 2 Analysis results on GRNN

试件编号	相对误差/%	相关系数
516	0.44	0.999
517	0.47	0.999
667	0.48	0.999
B	0.48	0.999

2) 拟合曲线是否能较准确地体现出原曲线的变化趋势(见图 4)。

通过表 2 和图 4 可以看出,上述 4 种实木复合地

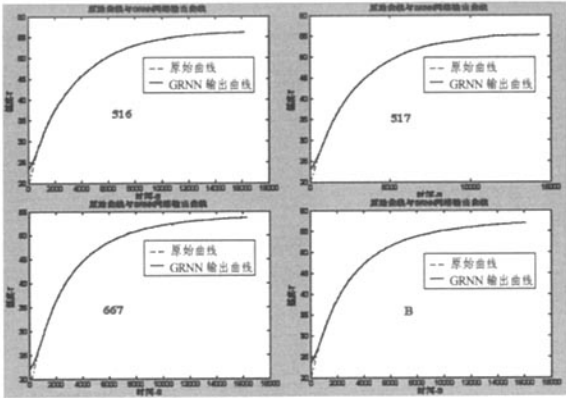


图 4 原始曲线与 GRNN 拟合曲线
Fig. 4 Original curves vs. GRNN fitting curves

板,其导热性能的广义回归神经网络建模结果的相对误差都控制在 0.5% 以内,而相关系数则达到了 0.99 以上,拟合后的曲线几乎能够完全还原出原始曲线。

3 结语

根据实木复合地板的特殊性,以模拟地板热传导过程中所需要的环境,开发出一种新的检测分析装置,利用试验数据,采用曲线拟合和 GRNN,建立起实木复合地板导热性能的数学模型,并以相关系数和相对误差为评价指标,对建模结果进行分析。2 种方法建立起的实木复合地板导热性能的数学模型,达到理想的逼近精度。该检测分析装置的研发成功及实木复合地板导热性能数学模型的建立,将为实木复合地板以及其他由多种材料复合或层积构成的生物质材料导热性能的检测及导热性能数学模型的建立,提供一种有效的研究方法和检测装置。

参考文献:

[1] 何毅,熊国兵,叶小青,等. 多层复合实木地板的热传导性能和尺寸稳定性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(4): 43-46.
[2] 周玉成,程放,李晓群. 非线性系统鲁棒渐近跟踪[J]. 木材工业, 2003,17(5):11-13.
[3] 周玉成,程放,肖天际,等. 一类含不确定因素的非线性系统鲁棒跟踪[J]. 林业科学,2003,39(2):130-136.
[4] 何汉林,魏汝祥,李卫军. 数值分析[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1999.
[5] 江泽慧,姜笑梅,周玉成,等. 杉木微观结构与其品质特性关系模型的一类神经网络建模方法[J]. 林业科学,2005,41(4):133-139.
[6] 闻新,周露,李翔,等. MATLAB 神经网络仿真与应用[M]. 北京:科学出版社,2003.

(责任编辑 鲍加芬)