

# 人造板厚度激光非接触测量研究

祖汉松,张厚江\*,贺昌勇,周卢婧

(北京林业大学 工学院,北京 100083)

**摘要:**厚度是人造板重要参数之一,随着人造板工业的高速发展,对人造板厚度的测量精度和检测方法也提出了更高的要求。采用上下2台激光传感器对人造板厚度进行了静态和动态非接触测量试验研究,提出了上下2激光传感器间距的标定方法,认为人造板厚度激光非接触测量是完全可行的。在被测板材静止状态下,激光检测厚度与板材厚度实际值之间误差非常小;在板材移动状态下,可以实时得到板材激光检测厚度值。

**关键词:**人造板厚度;标定;静态测量;动态测量

**中图分类号:**TS653

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2015)02-0221-06

Non-contact Measurement of Wood-based Panel Thickness by Laser

ZU Han-song, ZHANG Hou-jiang\*, HE Chang-yong, ZHOU Lu-jing

(School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Thickness is one of the most important parameters of wood-based panels. With the rapid development of wood-based panel industry, higher requirements are needed for the measurement precision and detection methods. In this paper, two laser sensors (up and down the panel) were adopted to carry out dynamic and static non-contact thickness measurement. The calibration method for the distance of two lasers was proposed. It was proved that when the panel was static, minor errors of the measurement was observed with actual values of thickness, with the mobile state of the panel, real-time measurement could be achieved, indicating that non-contact measurement of wood-based panel thickness was completely feasible.

**Key words:** wood-based panel thickness; calibration; static measurement; dynamic measurement

近年来由于人造板工业的高速发展,木质人造板采用废弃的木结构材料再加工而成,并作为一种可循环利用的资源<sup>[1]</sup>。人们对人造板厚度的精度控制越来越严格,人造板厚度尺寸的精度与产品的质量有着直接的关系,并与人造板生产企业的经济效益紧密相连<sup>[2]</sup>。人造板在静态下通常用游标卡尺或千分尺等工具测量其厚度<sup>[3]</sup>。生产线上人造板厚度的在线连续测量通常是通过滚轮接触式测量人造板的厚度,如20世纪80年代中期,德国的GreCon公司的TMC型厚度测量系统<sup>[4]</sup>,这种方法虽然在当时使板材质量得到提高,但不足之处是测量精度较

低,并随着测量时滚轮的磨损,测量误差逐渐增大,不能满足现代生产需求<sup>[5]</sup>。加拿大的Pelican公司采用 $\gamma$ 射线对工厂生产出的定向结构刨花板(OSB)的厚度进行非接触测量,由于射线对身体有一定辐射,不利于在国内人造板厂进行推广<sup>[6]</sup>。近年来激光技术及其传感器发展很快,激光的直射与漫反射测距原理<sup>[7]</sup>逐渐被用来非接触式测距,精度高、方便、效果好,被大量应用于金属板材及表面不能接触或不准接触的热轧钢板厚度的在线测量<sup>[8]</sup>。但到目前为止,利用激光对人造板厚度非接触测量的研究,很少见到报道。试图通过激光测距技术,利用激光

收稿日期:2014-07-14 修回日期:2014-08-29

基金项目:林业公益性行业科研专项(201304512)。

作者简介:祖汉松,男,硕士研究生,研究方向:无损检测。E-mail: zuhansong@foxmail.com

\*通信作者:张厚江,教授,博士生导师,研究方向:无损检测技术。E-mail: hjzhang6@bjfu.edu.cn

位移传感器,非接触式检测人造板厚度,包括人造板静止状态下的静态检测和人造板移动中的动态检测。以期为人造板厚度的检测,提供一种新的思路和方法。

1 厚度激光非接触检测原理

1.1 检测原理

人造板厚度检测原理如图 1 所示。待测人造板的上下分别固定放置 2 台激光传感器;2 台激光传感器的激光发射线要重合,且垂直待测人造板表面。上、下 2 台激光传感器可分别对待测人造板上、下表面与自身间的间距  $x_1$ 、 $x_2$  进行测量。假设 2 台传感器间已固定好的间距为  $L$ ,则被测板厚度为<sup>[9]</sup>:

$$AB=L-x_1-x_2 \tag{1}$$

式中: $L$  为上下 2 个激光传感器激光头间的距离, $x_1$  为上激光传感器与待板材上表面间的距离, $x_2$  为下激光传感器与待测板材下表面间的距离。

这就是人造板厚度激光非接触检测原理。

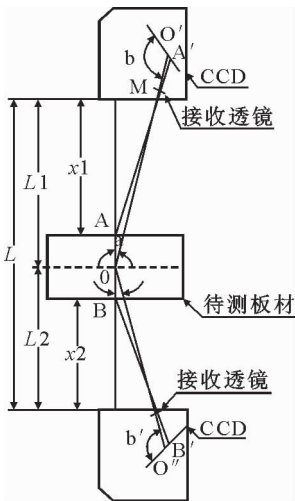


图 1 人造板测厚示意图

Fig. 1 Wood-based panel thickness measurement

1.2 2 传感器间距 L 标定

激光传感器在检测人造板厚度时最重要的一个环节就是对测试系统进行标定<sup>[10]</sup>,即校准 2 台传感器间的距离。本测量系统的标定是通过试验的方法,将已知厚度尺寸的标准块,放到试验测量平台,通过上下 2 激光传感器输出的距离值和标准块的厚度对 2 台激光传感器的间距值进行标定试验,标定原理如图 2 所示。则上、下 2 台激光传感器的距离值:

$$L=D_1+D+D_2 \tag{2}$$

式中: $D_1$  为上激光传感器的测量距离值, $D_1$  为下激光传感器的距离测量值, $D$  为标准块厚度。

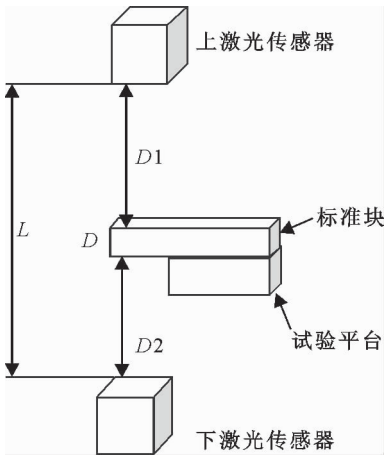


图 2 标定原理

Fig. 2 The principle diagram of the calibration

2 材料与方法

2.1 试验材料

选取市场上常见的刨花板、胶合板、中密度板为检测对象,共计 6 种不同厚度的人造板。名义厚度为 4、8、12 mm 和 20 mm 的中密度板试件各 1 件,名义厚度为 5 mm 的胶合板试件 1 件,名义厚度为 25 mm 的刨花板试件 1 件。需要说明的是,这里的“名义厚度”是市场上的标称厚度尺寸,与这些人造板实际厚度间有偏差。实际厚度以用千分尺检测到的厚度为准。

2.2 试验装置

试验装置组成如图 3 所示。2 个激光传感器分别固定于被测人造板的上下两侧,分别为上激光传感器和下激光传感器。2 台激光传感器型号相同,均为日本松下产,技术参数如表 1 所示。2 台传感器传感信号分别被放大器放大后,经 USB6009 数据采集卡被采集进入计算机。计算机中装有自己利用虚拟仪器 Labview 语言编写的信号采集和处理程序<sup>[11]</sup>,被采入进微机的信号被程序处理、分析,最后输出被测人造板的厚度值。图 4 为试验装置照片。

2.3 数据信号处理

采用的是数字滤波的方式来对采集的随机干扰信号进行处理。采用数字滤波的方法<sup>[12]</sup>能够防止随机干扰脉冲信号对检测结果造成影响,最大限度还原采集信号的真实值。常见的数字滤波法<sup>[13]</sup>包括算数平均滤波、加权平均滤波、中值平均滤波、加权递推平均等。本试验程序对采集信号的处理采用算数平均法,即对同一采样点进行  $N$  次采样,以算数平均值作为采样的有效值。本试验设置的采样点数为 1 000。

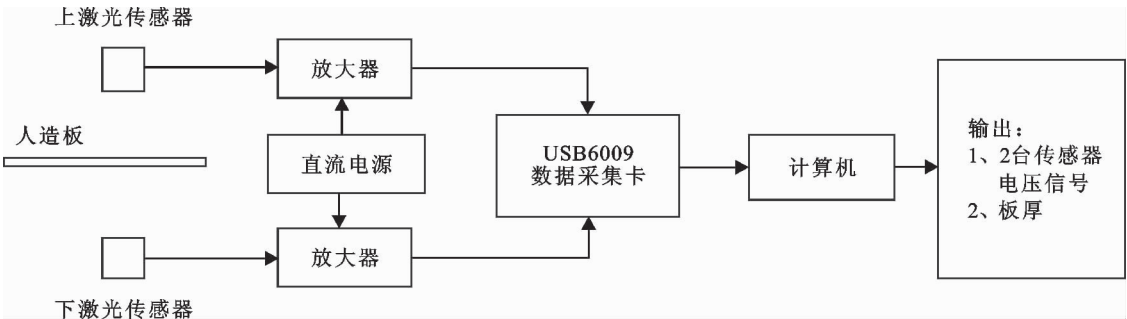


图 3 试验装置组成框图

Fig. 3 Test unit composition block diagram

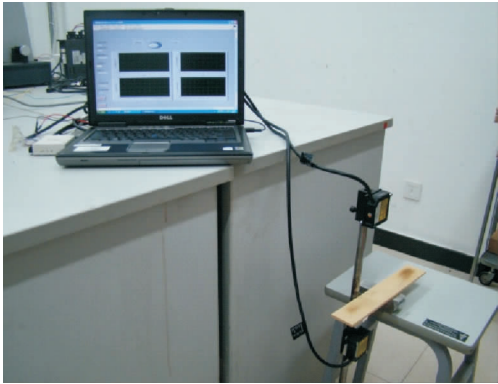


图 4 试验装置

Fig. 4 Test equipment Pictures

表 1 激光传感器规格参数

Table 1 Laser sensors specifications

型号	HL-G112-A-C5
检测中心距	120 mm
检测范围	60 mm
分辨率	8 $\mu$ m
光束直径	11.5 mm

2.4 试验步骤

- 1) 在每块人造板试件上选取 5 个待测位置,每个位置面积与千分尺测头面积相同,并用铅笔标记。用千分尺分别对每个待测位置进行厚度测量,并记录。该测量值作为该试件在该位置的实际值。
- 2) 静态测量:将每块试件静置于试验装置的检测位置,激光点对准待测位置区域内的 3 个不同点,进行 3 次测量,其平均值作为该待测位置的测量厚度。
- 3) 动态测量:将每块试件置于试验装置的检测位置,模拟实际人造板水平搬运移动,即将试件水平移动的同时做小幅上下振动,观察厚度测量值及 2 台传感器输出信号曲线。
- 4) 数据分析处理。

3 结果与分析

3.1 2 台传感器间距标定

表 2 列出了 6 种不同厚度标准块放置在 2 台传感器之间时,对 2 台传感器之间间距标定的结果。从表 2 可以看到,不同标准块尺寸对标定的间距影响非常小,最大差值为 0.005 mm。这个差值说明任一厚度的标准块,只要该标准块的 2 个表面处于传感器的有效测量范围内,都可以标定出足够准确的 2 台传感器间距。

表 2 不同尺寸量块标定 2 台传感器间距结果

Table 2 Two sensor spacing block gauge calibration results with different dimensions mm

序号	量块尺寸	传感器间距
1	3.68	205.779
2	4.95	205.780
3	7.97	205.778
4	12.14	205.783
5	19.87	205.778
6	25.01	205.784

3.2 板材厚度静态检测结果

表 3 中的厚度偏差指测量厚度与实际值之差的绝对值。试验中每块人造板试件检测了 5 个位置厚度,6 块试件共检测了 30 个位置厚度,发现厚度偏差最大值为 0.104 mm,最小值为 0.004 mm;相对误差的最大值为 2.77%。

从图 5 发现两者间线性相关性非常好,决定系数达到了 1。说明利用激光测量人造板厚度是可行的。

通过图 6 中数据点可以看到,板材厚度与厚度测量偏差之间没有明显的相关关系,厚度偏差呈随机分布,不会因实测厚度的增加呈现明显的递增或递减。说明测量绝对误差与板材厚度无关。

图 7 为测量相对误差与板材厚度间的关系。这里的测量相对误差是指测量绝对误差除以被测板材的厚度的实际值。可以看到,板材厚度越大,相对测

量误差越小。也就是说,厚度越大的人造板,用激光测量厚度的结果相对越准确。

表 3 人造板厚度实际值与激光测量值对比

Table 3 Comparison of the laser measurements of wood-based panels thickness with the actual value

板材种类	实际值 /mm	测量厚度 /mm	厚度偏差 /mm	相对误差 /%	板材种类	实际值 /mm	测量厚度 /mm	厚度偏差 /mm	相对误差 /%
MDF	3.751	3.835	0.084	2.240	MDF	12.174	12.179	0.005	0.038
MDF	3.763	3.867	0.104	2.770	MDF	12.150	12.173	0.023	0.191
MDF	3.812	3.900	0.088	2.320	MDF	12.214	12.256	0.042	0.345
MDF	3.824	3.867	0.043	1.136	MDF	12.212	12.276	0.064	0.522
MDF	3.813	3.869	0.056	1.467	MDF	12.134	12.049	0.085	0.699
PW	4.975	4.986	0.011	0.222	MDF	19.978	19.955	0.023	0.115
PW	5.015	5.011	0.004	0.076	MDF	19.980	19.897	0.083	0.416
PW	4.957	4.995	0.038	0.768	MDF	19.920	19.883	0.037	0.184
PW	5.142	5.037	0.105	2.038	MDF	19.910	19.927	0.017	0.086
PW	5.015	5.071	0.056	1.109	MDF	19.892	19.885	0.007	0.035
MDF	8.112	8.134	0.022	0.268	PB	25.061	25.022	0.039	0.155
MDF	8.144	8.162	0.018	0.218	PB	25.052	25.043	0.009	0.037
MDF	8.134	8.138	0.004	0.043	PB	24.954	24.856	0.098	0.393
MDF	8.122	8.139	0.017	0.213	PB	25.055	25.036	0.019	0.076
MDF	8.162	8.108	0.054	0.656	PB	25.033	24.996	0.037	0.149

注:MDF 代表中密度板、PB 代表刨花板、PW 代表胶合板。

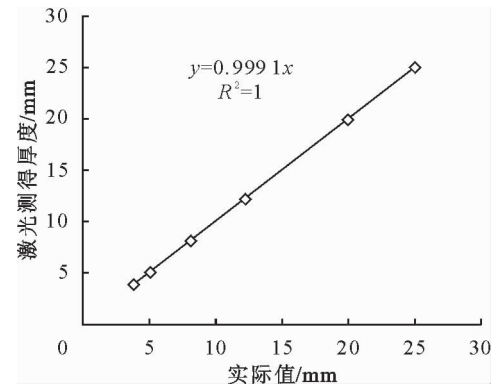


图 5 板材厚度激光测得值与实际值间的关系

Fig. 5 Relationship between measured value and the actual value

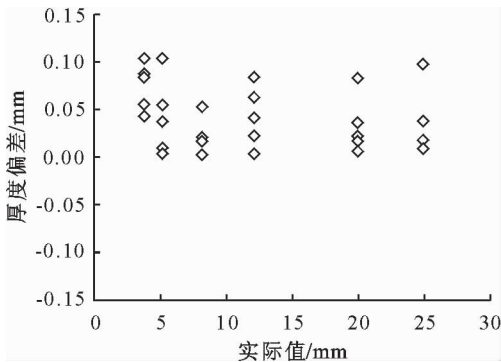


图 6 厚度偏差与板材厚度之间的关系

Fig. 6 Relationship between the panel thickness deviation and the actual value

表 4 是利用置信水平对激光静态测量人造板的厚度偏差分析结果,处理数据利用公式(1)<sup>[14]</sup>分析得出在激光测量人造板厚度的最小和最大厚度偏差。从表 4 可以得到,激光测量厚度偏差在置信水平为 95%置信区间上、下限值,在一定程度上提高

了激光测量人造板厚度的准确度。

$$u=\bar{x}\pm\frac{S}{\sqrt{n}}t_a(n-1)$$

(3)

式中: $u$  为单侧置信区间上下端点, $\bar{x}$  为厚度偏差平均值, $S$  为样本标准差, $n$  为测量样本总数, $t_a$  为  $t$  分布下显著水平系数, $a$  为显著水平。

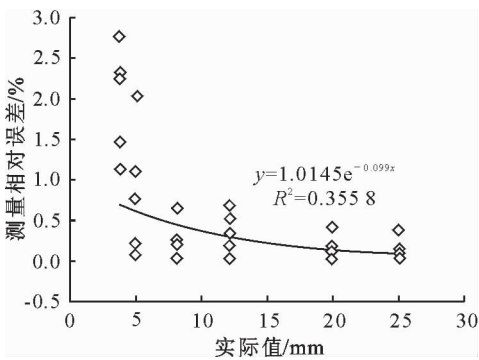


图 7 测量相对误差与板材厚度间的关系

Fig. 7 Relative error of measurement and the relationship between the actual values

3.3 不同种类人造板检测结果

激光传感器通过三角法原理检测距离,即通过激光头发射出的激光照射到被测物体表面,漫反射光线通过透镜成像于光敏元件,通过相似三角形原理检测距离和位移。当被测表面特性发生变化时,颜色、材料、粗糙度等因素发生变化时,漫反射信号发生变化,造成透镜成像的光斑像质发生变化,从而影响测量精度的变化<sup>[15]</sup>。中密度板、刨花板、胶合板是采用不同原材料和加工工艺生产出的人造板,板材表面颜色、粗糙度略有不同,那么激光传感器对 3 种人造板厚度的检测精度是否有明显不同。



表 4 置信水平为 95%激光测量人造板厚度偏差

Table 4 Laser measurement of wood-based panel thickness deviation on 95% confidence level						
样本数/n	厚度偏差 均值/mm	标准差 /S	显著水平 /α	显著水平 系数( $t_{\alpha}$ )	单侧置信区间 下限的厚度偏差/mm	单侧置信区间 上限的厚度偏差/mm
30	0.043	0.032	0.05	1.645	0.033	0.053

将表 3 所测量的 3 种人造板的厚度偏差,包括最小偏差、最大偏差、平均偏差,进行对比(图 8)。可以看出,3 种人造板的 3 种厚度偏差有所不同,其中最小偏差相差 0.005 mm,最大偏差相差 0.008 mm,平均偏差相差 0.004,均处于板材厚度的 1/1 000 等级。说明在采用激光测量这 3 种不同种类人造板厚度时,板材的表面颜色、粗糙度、加工原材料等因素对测量精度有一定影响影响,但影响非常微小。

3.4 板材厚度动态检测结果

板材水平移动过程中,2 台传感器都会实时检测板材表面与自己间的距离,最终通过检测信号处理得到板材的厚度。由于板材在运动过程中必然会导致板材的上下振动从而引起激光传感器的在板材

上的入射光斑上下振动,从而造成上下激光传感器的测量距离值发生变化<sup>[16]</sup>。

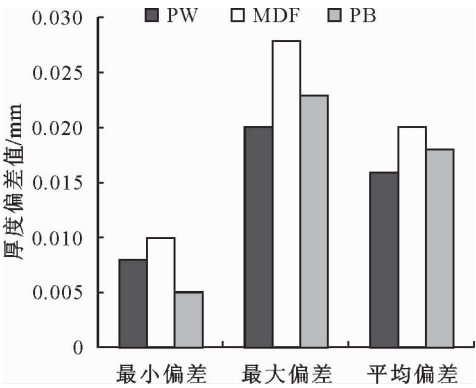


图 8 不同种类人造板厚度偏差对比

Fig. 8 Different kinds of wood-based panel thickness deviation comparison

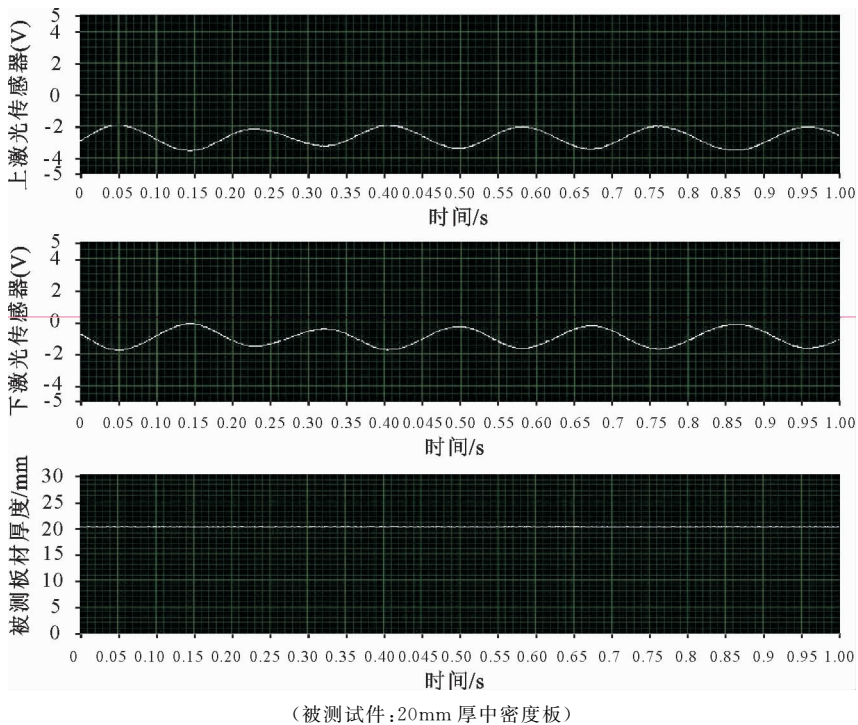


图 9 板材移动过程中 2 台传感器动态信号和板厚值信号

Fig. 9 The two sensor signal dynamic signal and the thickness value of sheet movement( Tested piece:20 mm thick MDF)

图 9 为被测板材移动过程中,2 台传感器输出的动态电压信号和实时计算得到的板材厚度。可以看到,上下 2 台传感器因板材的水平移动附带的垂直移动,输出信号出现波动,且波动方向相反,但最下面计算得到的板材厚度值是实时保持恒定的。由于传感器输出电压与其距测量对象间距离间都各自为线性关系,所以上传感器距离板材上表面距离的减

小,会有下传感器距离板材下表面距离的增加,在电压值方面得到补充,最终使计算得到的板材厚度不受板材上下位置变动的影响。图 9 的测量对象为 20 mm 厚中密度板,其他试件的检测结果都呈现与此相同的现象。也就是说,板材水平移动过程中利用激光传感器对其厚度进行实时检测是可行的。

需要指出的是,这种情况下的检测,2 台传感器

扫描必须设置为同步,即 2 台传感器的激光脉冲必须同时刻(同相位)发向被测物体,否则就会因扫描不同步出现测量厚度误差,具体表现为图 9 中最下面一个显示测量厚度的线出现波动,而非一条水平直线。

## 4 结 论

本研究采用上下 2 台激光传感器对人造板厚度进行了静态和动态非接触测量试验,提出了上下 2 台激光传感器间距的标定方法,认为人造板厚度激光非接触测量是完全可行的。

用于标定 2 台激光传感器间距的标准块的厚度,不影响标定结果。在被测板材静止状态下,激光检测厚度与板材厚度实际值之间有非常强的相关关系,决定系数几乎达到了 1;激光检测厚度绝对误差几乎与被测板材厚度无关,而相对误差随被测板材厚度的增加而减少。并利用统计学置信区间原理对激光测量厚度偏差进行分析,增加测量可靠度。在板材移动状态下,可以实时得到板材激光检测厚度值,前提是 2 台传感器扫描必须设置为同步。

## 参考文献:

[1] 王珊珊,孙芳利,段新芳,等. 废弃木质材料的循环利用技术及我国未来的研究重点[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2): 183-185.  
WANG S S,SUN F L,DUAN X F,*et al*.,Utilization and prospect of recycled wood materials[J]. Journal of Northwest Forestry University,2005,20(2):183-185. (in Chinese)

[2] 葛娇,花军,刘亚秋. 在线接触式人造板厚度检测系统的设计[J]. 木材工业, 2013 (1):13-16.  
GE J,HUA J,LIU Y Q. Design of an online contact thickness detection system for wood-based panel[J]. China Wood Industry, 2013 (1):13-16. (in Chinese)

[3] GB/T19367-2009 人造板的尺寸测定[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[4] 王刚,李东生,王伟,等. 人造板厚度自动检测技术的发展[J]. 林业机械与木工设备,1999(4):4-6.

[5] 王伟. 人造板厚度在线监测系统的研究 [D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2001.

[6] 卫宏,郭晓磊,曹平祥. 人造板连续平压机板坯厚度在线监测

技术的现状与研究[J]. 中国人造板, 2011 (8):19-23.

[7] 赵树军. 激光技术在线板材厚度测量中的应用[J]. 内蒙古科技与经济, 2004(20):97-98.

[8] 许文斌. JLD 型激光林火定位仪的研究[J]. 西北林学院学报, 1992, 7(1):73-78.  
XU W X. Research on model JLD laser forest fire finder[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1992, 7(1):73-78. (in Chinese)

[9] 王军红,江虹,毛久兵. 一种提高激光三角法薄板在线厚度测量精度的方法[J]. 河南大学学报:自然科学版, 2012, 41(6): 567-571.  
WANG J H, JIANG H, Mao J B. A method for improving the n-line thickness measurement precision of sheet-board in laser triangulation method[J]. Journal of Henan University: Nat. Sci. , 2012, 41(6):567-571. (in Chinese)

[10] 吴剑锋,王文,陈子辰. 激光三角法测量误差分析与精度提高研究[J]. 机电工程, 2003, 20(5):89-91.  
WU J F, WANG W, CHEN Z C. Study on the analysis for error in triangular laser measurement and the method of improving accuracy[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine , 2003, 20(5):89-91. (in Chinese)

[11] 于晓薇. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器研究及其在板材厚度监测中的应用[D]. 杭州:浙江大学, 2004.

[12] 张玉珊,崔金玲. 数据采集系统中的数字滤波方法研究[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2007, 15(3):23-25.  
ZHANG Y S, CUI J L. Study of digital filter measures in the data collects system[J]. Journal of Henan Mechanical and Electrical Engineering College, 2007, 15 (3) :23-25. (in Chinese)

[13] 葛娇. 人造板厚度在线检测控制系统的设计研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2013.

[14] 潘鸿,张小宇,吴勇民. 应用统计学[M]. 北京:人民邮电出版社,2011

[15] 周坤. 激光三角法测量中被测物体表面特性对测量精度影响的分析[J]. 光学与光电技术, 2009, 7(2):70-73.  
ZHOU K. Analysis for the effect of measured surface character to the measuring accuracy of the laser triangulation method measurement[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2009, 7(2):70-73. (in Chinese)

[16] 戴立铭,江潼君. 冷轧板材厚度在线测量的研究[J]. 东南大学学报:自然科学版, 1995, 25(2):84-89.  
DAI L M, JIANG T J. On-line measurement of thickness of the cold-reduced plate[J]. Journal of Southeast University: Nat. Sci. , 1995, 25(2):84-89. (in Chinese)