

DOI:10.12171/j.1000-1522.20240241

基于计算机视觉在线监测定向刨花板断面密度 梯度 (VDP)

周继鹏 李万兆 洪吾俊 洪萍萍 梅长彤

(南京林业大学材料科学与工程学院, 江苏南京 210037)

摘要:【目的】断面密度梯度(VDP)是影响定向刨花板物理力学性能的重要因素, 以往的研究大部分采用模拟预测等间接方式获取 VDP。为了快速、准确、直接获取热压过程中定向刨花板的 VDP, 将计算机视觉技术应用于 VDP 的在线监测。【方法】利用计算机视觉技术处理热压过程中采集的照片, 快速、准确地识别、标记刨花, 计算瞬时压缩比例和密度, 实现 VDP 的在线监测。在实验室制备陡峭型和平坦型两种 VDP 的定向刨花板。在热压过程中, 采用 VDP 在线监测方法跟踪记录标记刨花位置, 并计算压缩比例和区域密度; 使用热敏电阻同步记录板坯表芯层温度, 断面密度扫描仪计算区域密度。将实际结果与监测结果对比, 以验证该技术的可靠性。【结果】(1)该监测方法具有快速、准确、数据完整的特点; (2)板坯瞬时平均压缩比例与标记刨花的瞬时平均压缩比例的相关系数均值大于 0.990, 区域密度的监测值和实际值的相关系数大于 0.840, 说明 VDP 在线监测方法能够准确获得瞬时压缩比例和区域密度; (3)该监测方法能够直观反映热压过程中 VDP 的形成过程, 为解译 VDP 的形成原理提供新的技术手段。【结论】本研究基于计算机视觉技术开发了一种快速、准确监测定向刨花板 VDP 的方法。计算机视觉的应用可以为人造板的生产优化提供新的技术选择。

关键词: 计算机视觉; 图像识别; 监测; 密度; 热压; 定向刨花板; 断面密度梯度(VDP)

中图分类号: TU366.4; TP752 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2024)12-0151-07

引文格式: 周继鹏, 李万兆, 洪吾俊, 等. 基于计算机视觉在线监测定向刨花板断面密度梯度(VDP)[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(12): 151-157. Zhou Jipeng, Li Wanzhao, Hong Wujun, et al. Monitoring vertical density profile (VDP) of oriented strand board by computer vision[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(12): 151-157.

Monitoring vertical density profile (VDP) of oriented strand board by computer vision

Zhou Jipeng Li Wanzhao Hong Wujun Hong Pingping Mei Changtong

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: [Objective] The vertical density profile (VDP) is an important factor affecting the physical and mechanical properties of oriented strand board (OSB). Previous studies have mostly used indirect methods such as simulation prediction to obtain VDP. To quickly, accurately, directly obtain the VDP of OSB during the hot-pressing process, computer vision technology was applied in online monitoring of VDP. [Method] Computer vision techniques were used to handle photographs collected during the hot-pressing process, so as to quickly and accurately identify and mark wood flakes, calculate the instantaneous compression ratio and density, and achieve online monitoring of VDP. Two types of OSB, with conventional and uniform VDP, were prepared in the laboratory. During hot-pressing process, the online technology for monitoring VDP was used to track and record the positions of marked strands, and calculate the compression

收稿日期: 2024-07-31 修回日期: 2024-11-20

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD2200602)。

第一作者: 周继鹏。主要研究方向: 木基复合材料。Email: 1552779943@qq.com 地址: 210037 江苏省南京市玄武区龙蟠路 159 号南京林业大学材料科学与工程学院。

责任作者: 李万兆, 副教授。主要研究方向: 木基复合材料。Email: lwz@njfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

ratios and partial density. Thermistors were used to synchronously record the temperatures of surface and core layers of the board. Cross-sectional density scanner was used to calculate partial density. The accuracy of this technology was verified by comparing the actual results with monitoring results. [Result] (1) This technology was characterized by its speed, accuracy and completeness of data. (2) The mean correlation coefficient between instantaneous average compression ratio of the board and that of the marked strands was greater than 0.990. The correlation coefficient between the monitoring values and actual values of partial density was greater than 0.840. So the online technology for monitoring VDP can accurately obtain the instantaneous compression ratio and partial density of board. (3) The online technology can directly reflect the formation process of VDP during the hot-pressing process, providing a new method for interpreting the formation principles of VDP. [Conclusion] A technology for online monitoring VDP of OSB in real-time based on computer vision has been developed. The application of computer vision can provide a new technical choice for optimizing the production of wood-based panels.

Key words: computer vision; image recognition; monitoring; density; hot pressing; oriented strand board (OSB); vertical density profile (VDP)

定向刨花板(oriented strand board, OSB)是一种由刨花经过施胶定向铺装并热压形成预定厚度的人造板,其在装饰、家具和建筑领域广泛应用。影响 OSB 物理力学性质的主要因素包括树种、刨花形态^[1]、刨花铺装角度^[2]、胶黏剂类型、热压工艺参数、板坯含水率^[3]、断面密度梯度(vertical density profile, VDP)^[4]和板坯结构。在热压过程中,板坯内部受热压压力和时间影响,通过水分传热传质影响内部温度梯度,并伴随着木质单元的结构变化形成 VDP。生产中, VDP 也是 OSB 品质评估和质量控制的重要依据。研究表明,刨花形状尺寸、木质单元含水率^[5]、目标密度与厚度^[6]、压机闭合时间、热压温度和热压压力^[7]是影响人造板 VDP 的重要因素。深入理解 VDP 的形成过程可以为优化 OSB 加工工艺,研究 OSB 构性关系提供理论依据,而实现这一目标的关键在于 VDP 形成过程的实时监测。因此,需要一种快速、准确和简易的方法动态记录热压过程中 OSB 板坯的成型过程。

人造板 VDP 形成过程的研究多聚焦于 VDP 的模拟预测。Thömen^[8]结合热压过程中板坯内部含水率和压强数据,探索了热压过程中板坯内部各区域密度与厚度变化的规律,建立了中密度纤维板的 VDP 预测模型。针对 OSB 的 VDP 模拟预测, Suo 等^[9]基于刨花板的热压工艺和刨花本身的材料特性,构建了描述热压过程中温度、含水率影响 VDP 的数学模型,并预测其强度和尺寸稳定性。Painter 等^[10]结合热压参数与板坯内部温度、含水率构建了传热传质模型。Cheng 等^[11]将现有的热传递和质量传递模型结合构建一个能够预测 OSB 水平和垂直方向上的密度分布的模型。

相较于模拟预测,在线监测 VDP 通过连续记录人造板断面结构的变化,可直接获得人造板的成型过程。Wang 等^[12-13]利用射线技术在线监测了板坯区域密度,并获得了中密度纤维板板坯厚度方向上 22.5%、50.0% 和 77.5% 区域的密度。该技术是将放射源放置在板坯特定位置以获得该区域密度,这使得可采集的数据量具有一定局限性,设备成本也较高。如需连续获得 OSB 断面结构的变化过程,需要开发一种准确、简易、连续且数据完整的方法。近年来,计算机视觉开始应用于木材缺陷识别、刨花定向角度的在线识别和测量等领域。梅长彤等^[14]通过视觉识别技术开发了一种刨花形态自动识别系统,实现了对生产过程中刨花形态的自动检测和识别。洪吾俊等^[15]基于卷积神经网络和计算机视觉对刨花特征进行了提取和识别,建立了刨花定向角度测量模型。目前,使用计算机视觉记录 OSB 断面结构变化过程的研究鲜有报道。在 OSB 热压过程中引入计算机视觉,识别特征刨花,并计算刨花的位置变化,能够间接得到板坯特征区域的压缩程度和密度变化。这一方法可同步监测大量刨花的位置信息,而且设备成本较低。

本研究旨在探索 OSB 的 VDP 形成过程,并基于这一目标开发了 VDP 的快速在线监测方法。在实验室制备陡峭型和平坦型 VDP 的 OSB,热压成板期间以标记刨花作为参考,采用计算机视觉识别、标记刨花,并连续记录标记刨花的坐标数据,从而计算热压过程中沿板坯厚度方向上的压缩程度,以及区域密度,解释 VDP 的动态形成过程。这一方法的应用可以为人造板生产中的品质优化和质量控制提供技术支持和有益选择。

1 研究方法

1.1 材料

选用 0.5 mm 厚速生杨木(*Populus cathayana*)旋切单板, 经机械裁切成两种尺寸规格的刨花。使用长、宽分别为(150 ± 5) mm、(35 ± 5) mm 的刨花作为表层刨花, 使用长、宽分别为(75 ± 5) mm、(20 ± 2) mm 的刨花作为芯层刨花, 所有刨花的长度方向与木材纤维方向一致。表芯层共挑选 32 片长刨花, 以 16 片刨花为一组进行颜色标记, 在每一片刨花的短边上标记绿色或红色。采用固含量为 43% 的酚醛树脂(爱克太尔新材料有限公司)作为胶黏剂。

1.2 OSB 制备

制备板坯幅面、目标厚度和密度分别为 50 mm × 50 mm、15 mm 和 650 kg/m³ 的 OSB。具体制备工艺分为 4 步。①热压前先将一部分表层刨花放置在 80 °C 的干燥箱内干燥 4 h, 将另一部分表层刨花和所有芯层刨花放置在 80 °C 的干燥箱内干燥 8 h。②对不同干燥时间的刨花分别施胶, 施胶量为 8%, 施胶后一部分表层刨花含水率为(8.4 ± 2.0)%, 另一部分表层刨花和所有芯层刨花含水率为(4.7 ± 2.0)%。③采用插片式定向装置对刨花进行手动铺装, 板坯结构为 3 层, 质量比为 1:3:1, 表芯层刨花纵横铺装。在铺装过程中, 将每组做有颜色标记的刨花沿整个厚度方向置于板坯一侧, 两组标记刨花在板坯厚度方向上随机分布; 选用平整的长片刨花对其短边进行标记, 以保证刨花沿长度方向深入板坯内部, 使得长片刨花的大部分区域充分受压, 避免蓬松的板坯边部对实验结果造成影响, 这样标记刨花的位移能有效代表板坯内部所有刨花的位移。④热压温度为 180 °C, 热压压力和时间曲线如图 1 所示。

通过调整表芯层刨花含水率制备陡峭型和平坦型两种 VDP 形貌的 OSB。其中, 陡峭型 VDP 的

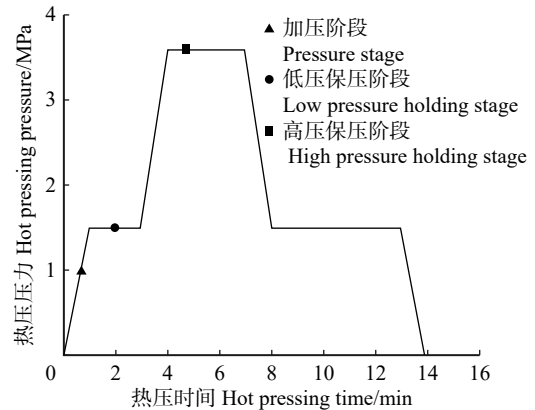


图 1 热压曲线

Fig. 1 Hot pressing curve

OSB 使用表层含水率(8.4 ± 2.0)% 和芯层含水率(4.7 ± 2.0)% 的刨花, 平坦型 VDP 的 OSB 使用表芯层含水率均为(4.7 ± 2.0)% 的刨花。在热压过程中, 将热电偶放置在板坯内表芯层的中心位置监测表芯层的实时温度。并使用摄像机拍摄板坯侧面, 每 30 s 拍摄一张, 当板坯达到目标厚度时停止拍摄(图 2)。

1.3 VDP 在线监测方法的构建

1.3.1 标记刨花的识别和定位

通过计算机视觉处理热压过程中采集的照片, 识别并跟踪照片中的标记刨花, 计算其位置坐标。首先, 将一台相机放置在距离板坯 56 cm 的位置, 采集板坯侧面照片, 图像分辨率为 4 000 × 3 000 像素, 每厘米的物理尺寸对应 60 个像素。之后, 对照片进行预处理, 使用颜色阈值对标记刨花精确定位, 并从背景中区分出标记刨花。进一步地, 采用多边形拟合和轮廓逼近算法检测图像中标记刨花的轮廓, 以此界定图像中绿色矩形的边界。以板坯侧面照片左上角作为坐标原点, 建立一个图像坐标系, 其中 x 轴向右延伸, y 轴向下延伸。这个坐标系中, 使用每个绿色矩形的质心坐标计算相邻两片刨花间的距离

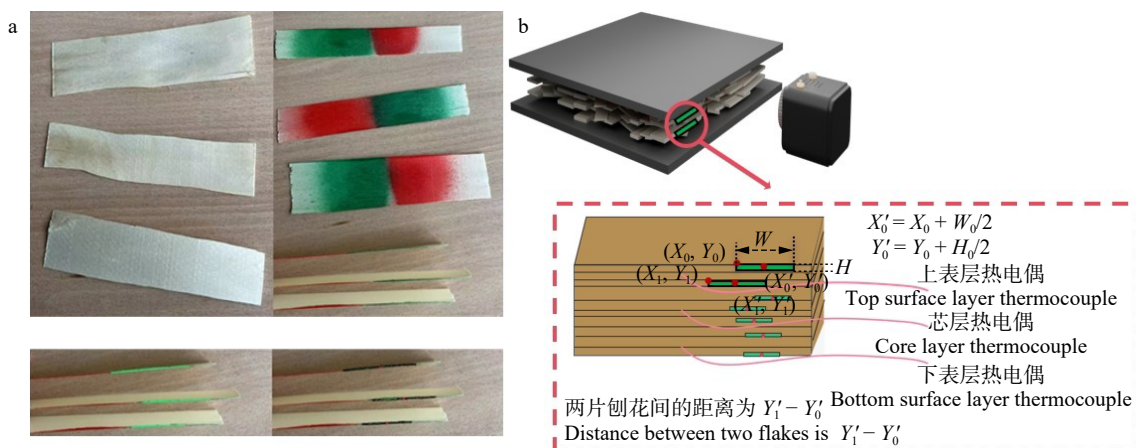


图 2 标记刨花(a)和 OSB 热压过程对标记刨花的识别(b)

Fig. 2 Marked strands (a) and identification of marked strands during hot pressing of OSB (b)

(式1)。最终,通过对每张照片中标记刨花的识别,将不同照片上的标记刨花按厚度方向进行排列,跟踪热压过程中每一片标记刨花的位置(图2)。

$$(X'_i, Y'_i) = \left(X_i + \frac{W_i}{2}, Y_i + \frac{H_i}{2} \right) \quad (1)$$

式中: X'_i 是第 i 个绿色矩形的质心横坐标, Y'_i 是第 i 个绿色矩形的质心纵坐标, X_i 和 Y_i 是第 i 个绿色矩形左上角的坐标, W_i 是第 i 个绿色矩形的宽, H_i 是第 i 个绿色矩形的高。

1.3.2 瞬时压缩比例和密度的计算

标记刨花质心间像素个数乘以像素点大小,可以得到标记刨花间的实际距离。提取标记刨花质心的纵坐标,并利用式(2)得到热压过程中相邻标记刨花间区域的压缩比例。结合板坯面积和刨花的总质量,利用式(3)可以计算出标记刨花区域的密度,并假设板坯压缩过程中标记刨花间刨花的数量不变,板坯幅面不变,标记刨花与板坯内部水平位置刨花的位移相同。

$$R_i = \frac{(y_i - y_{i-1}) - (y'_i - y'_{i-1})}{y_i - y_{i-1}} \quad (2)$$

式中: R_i 是相邻两片刨花间区域的压缩比例, y_i 是出现压力时沿厚度方向从上往下识别出的第 i 片标记刨花质心的纵坐标, y_{i-1} 是出现压力时沿厚度方向从上往下识别出的第 $i-1$ 片标记刨花质心的纵坐标, y'_i 是任意热压阶段时沿厚度方向从上往下识别出的第 i 片标记刨花质心的纵坐标; y'_{i-1} 是任意热压阶段时沿厚度方向从上往下识别出的第 $i-1$ 片标记刨花质心的纵坐标。

$$\rho' = \frac{(y_i - y_{i-1}) m}{(y_n - y_1)(y'_i - y'_{i-1}) s K} \quad (3)$$

式中: ρ' 是相邻两片刨花间区域密度(kg/m^3), y_1 是出现压力时沿厚度方向从上往下识别出的第一片标记刨花质心的纵坐标, y_n 是出现压力时沿厚度方向从上往下识别出的最后一片标记刨花质心的纵坐标, s 是板坯面积(m^2), m 是整个板坯的质量(kg), K 是像素点大小(m)。

整个板坯的平均压缩比例可以通过接触压机上下表面标记刨花的坐标位置计算获得(式4)。所有标记刨花间区域压缩比例的平均值可由式(5)计算得到。对比整个板坯的平均压缩比例和所有标记刨花间区域压缩比例的平均值,能够直观地评价瞬时区域压缩比例的准确性。

$$R = \frac{(y_n - y_1) - (y'_n - y'_1)}{y_n - y_1} \quad (4)$$

式中: R 是整个板坯的平均压缩比例; y'_1 是任意热压

阶段时沿厚度方向从上往下识别出的第一片标记刨花质心的纵坐标; y'_n 是任意热压阶段时沿厚度方向从上往下识别出的最后一片标记刨花质心的纵坐标。

$$R' = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N} \quad (5)$$

式中: R' 是所有相邻标记刨花间区域压缩比例的平均值, N 是所有相邻标记刨花形成的区域个数。

1.4 VDP 和区域密度的实测

使用断面密度扫描仪(GreCon DAX6000)检测尺寸为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 试件的 VDP, 计算 6 个试件的平均 VDP。基于平均 VDP, 可进一步得到沿试件厚度方向上的实际区域密度。参考标记刨花的位置信息, 使用式(6)计算出试件沿厚度方向上特定区域的实际密度。

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{i+1} \rho_i}{n} \quad (6)$$

式中: ρ 是试件位于标记刨花间区域的实际密度(kg/m^3), ρ_i 是位于第 i 片和第 $i+1$ 片刨花间的密度(kg/m^3), n 是第 i 片和第 $i+1$ 片刨花间的密度值个数。

采用 Pearson 相关系数(r)评价刨花间区域压缩比例和密度的准确性。一般认为, r 在 $0.8 \sim 1.0$ 之间, 代表所对比的两组数据具有显著相似性。

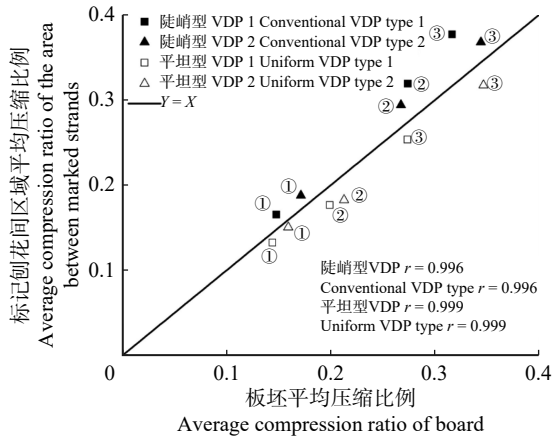
$$r = \frac{\sum_{t=1}^3 (A_t - \bar{A})(B_t - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{t=1}^3 (A_t - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^3 (B_t - \bar{B})^2}} \quad (7)$$

式中: A_t 为 t 阶段实际板坯压缩比例或实际区域密度(kg/m^3), B_t 为 t 阶段标记刨花间的瞬时平均压缩比例或监测区域密度(kg/m^3), \bar{A} 为 3 个阶段实际板坯压缩比例或实际区域密度的平均值(kg/m^3), \bar{B} 为 3 个阶段标记刨花间的瞬时平均压缩比例或监测区域密度的平均值(kg/m^3)。

2 结果与分析

2.1 VDP 监测方法准确性的评价

为评价 VDP 监测方法的准确性, 对比 3 个热压阶段瞬时板坯实际平均压缩比例和标记刨花间区域的瞬时平均压缩比例, 3 个时间点分别为加压结束时间点、低压保压结束时间点和高压保压开始 1 min 时间点。热压过程中陡峭 VDP 板坯瞬时平均压缩比例与标记刨花的瞬时平均压缩比例的 r 值为 0.996; 平坦 VDP 板坯瞬时平均压缩比例与标记刨花的瞬时平均压缩比例的 r 值为 0.999(图3)。这说明该方法能够准确地获得标记刨花间的瞬时压缩比例。



① 加压结束时间点 End time of the pressurization; ② 低压保压结束时间点 End time of low pressure holding; ③ 高压保压开始 1 min 时间点 1 min time point when the high pressure holding starts

图 3 板坯实际平均压缩比例与采用标记刨花计算的平均压缩比例之间的关系

Fig. 3 Relationship between actual average compression ratio of the board and compression ratio calculated by marked strands

针对陡峭 VDP 的 OSB, 采用 VDP 监测方法得到的标记刨花间区域瞬时平均压缩比例略高于板坯瞬时平均压缩比例。在加压开始时, 表层刨花含水率较高且易被迅速软化, 并被进一步压缩密实, 此时板坯中的部分水分以水蒸气的形式存在, 并向芯层迁移, 导致芯层压力快速增大, 芯层压力峰值上升,

这造成在热压过程未达到最大压力时, 板坯瞬时压缩比例降低^[16]。本研究采用 VDP 监测方法记录的刨花位于板坯侧面, 距离板坯中心区域较远, 因此刨花间空隙增大现象被弱化, 造成标记刨花间区域瞬时平均压缩比例大于板坯瞬时平均压缩比例。相较于陡峭 VDP 的 OSB, 平坦 VDP 型 OSB 的标记刨花间区域的瞬时平均压缩比例和板坯瞬时平均压缩比例更加接近, 这是因为平坦型表芯层刨花含水率相同, 在热压过程中板坯内部压力受水蒸气影响较小, 表芯层均被逐渐压缩密实, 形成稳定的板坯结构。

图 4 对比了实测 VDP 与高压保压开始 1 min 时间点的在线监测区域密度结果。标记刨花间区域密度与实际 VDP 曲线较为一致。对比发现, 陡峭 VDP 和平坦 VDP 的 OSB 标记刨花间区域密度与同一厚度上的实际区域密度接近, r 值分别为 0.842 和 0.870。以上结果说明 VDP 在线监测方法能够有效记录热压过程中板坯内部的密度变化。

总体而言, 使用标记刨花和图像识别技术能够实时地记录板坯局部区域的压缩过程, 采用压缩比例能够准确地反映板坯的侧面结构变化; 通过引入板坯整体质量和面积数据, 可以较为准确地计算板坯区域密度, 实现 OSB 热压过程中 VDP 形成过程的在线监测。

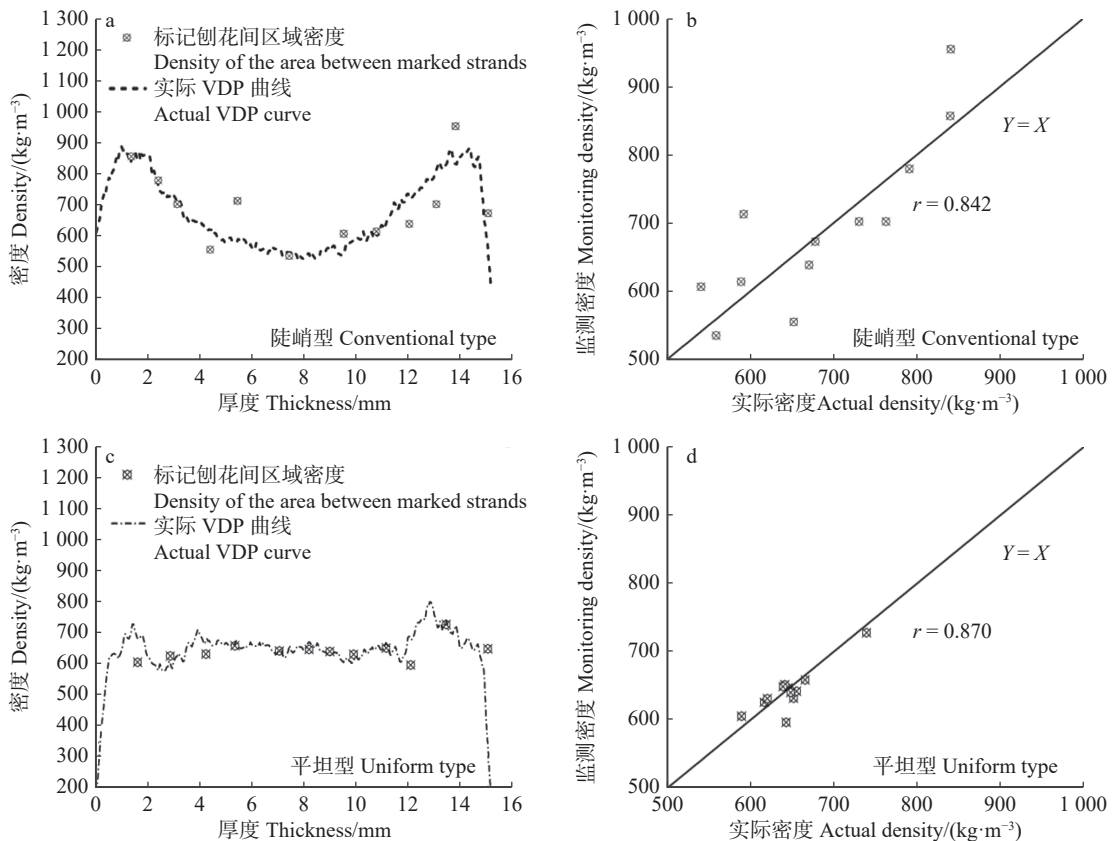


图 4 板坯实际 VDP 曲线和标记刨花间区域密度的监测值, 以及密度监测值和实际值的相关性

Fig. 4 Actual measured VDP and the monitoring density of marked strands, and correlation between monitoring density and actual density

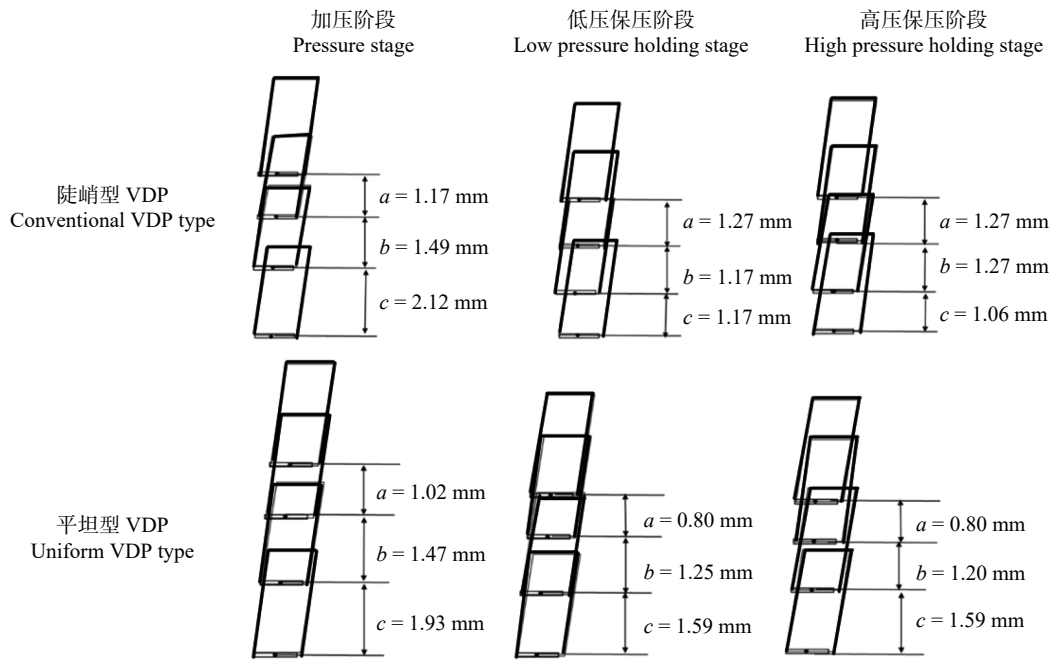
2.2 板坯 VDP 的形成过程

在不同热压阶段, VDP 监测方法能够识别出刨花的个数相同, 并且可以对所有标记刨花的质心位置进行定位。对比热压过程中相同刨花的位置坐标, 可得到板坯局部区域的压缩程度。图 5 为陡峭和平坦型 VDP 的 OSB 各个热压阶段标记刨花的位置变化图像, 选取分别位于芯层、表芯层和表层的 3 个区域进行分析。

在加压至低压保压阶段, 陡峭型 VDP 的 3 个区域刨花间距离变化为增加或减小。芯层区域刨花间距离从 1.17 mm 增加到 1.27 mm, 其原因可能是: 首先, 这一阶段芯层刨花温度偏低且未被完全软化, 这使得刨花不易产生压缩变形; 其次, 随着表层温度迅速升高, 表层水分汽化, 并不断向芯层扩散, 芯层产生较大蒸气压力, 造成刨花间距离增大。表芯层区

域刨花间距离从 1.49 mm 减小到 1.17 mm; 表层区域刨花间距离从 2.12 mm 减小到 1.17 mm。表芯层和表层区域距离下表层较近, 随着热压的进行, 这一阶段表芯层和表层区域温度迅速超过 100 °C 并不断上升(表 1), 刨花在高温的作用下软化, 可塑性增强, 易发生变形, 表现为区域刨花被压实; 热压过程中, 下表层比上表层刨花温度略低, 这可能是由于上表层水蒸气向四周扩散, 而下表层水蒸气更多向芯层迁移, 造成下表层向芯层传递更多热量且温度较低。

平坦型 VDP 的 3 个区域刨花间距离变化为减小, 且 3 个区域的压缩比例较为一致, 约为 0.2。芯层区域刨花间距离从 1.02 mm 减小到 0.80 mm; 表芯层区域刨花间距离从 1.47 mm 减小到 1.25 mm; 表层区域刨花间距离从 1.93 mm 减小到 1.59 mm。



a、b、c 分别为芯层、表芯层和表层 3 个区域刨花间距离。a、b 和 c are the distances between marked strands in core layer, surface core layer, and surface layer, respectively.

图 5 两种定向刨花板区域标记刨花的实际位移

Fig. 5 Actual displacement of marked strands of two types of OSB

表 1 3 个热压阶段表芯层刨花的温度

Tab. 1 Temperatures of strands in surface layers and core layers during three hot pressing stages

VDP类型 VDP type	结构层 Structural layer	温度/Temperature/°C		
		加压阶段 Pressure stage	低压保压阶段 Low pressure holding stage	高压保压阶段 High pressure holding stage
陡峭型 Conventional type	上表层 Top surface layer	115.6	121.1	134.4
	芯层 Core layer	90.4	109.7	118.2
	下表层 Bottom surface layer	109.5	115.3	127.3
平坦型 Uniform type	上表层 Top surface layer	95.6	110.2	125.6
	芯层 Core layer	80.5	95.5	112.5
	下表层 Bottom surface layer	90.7	105.5	121.6

这可能是由于平坦型 VDP 的 OSB 表层含水率较低, 板坯升温缓慢。表芯层刨花温度差异小, 板坯各区域刨花压缩程度接近。

在低压保压至高压保压阶段, 陡峭型 VDP 的 3 个区域刨花间距离变化也表现为小幅增加或减小。芯层区域刨花间距离基本保持不变; 表芯层区域刨花间距离从 1.17 mm 增加到 1.27 mm; 表层区域刨花间距离从 1.17 mm 减小到 1.06 mm。表芯层区域刨花间距离增加的原因是聚集在芯层的水蒸气逐渐向外排出, 导致表芯层区域产生较大蒸气压力, 造成刨花间距离小幅增大。平坦型 VDP 的 3 个区域刨花间距离基本不变。

综上, 基于 VDP 在线监测方法获得的数据, 能够帮助研究者直观理解热压过程中板坯的 VDP 形成过程。

3 结 论

实时记录热压时定向刨花板(OSB)的断面密度梯度(VDP)形成过程, 可以为优化 OSB 结构提供直观的事实依据。本研究开发了一种基于计算机视觉在线监测板坯压缩过程的方法, 该方法具有快速、准确、数据完整的特点。该方法能够连续记录热压过程中板坯侧面结构的变化过程。陡峭型和平坦型 VDP 的板坯瞬时平均压缩比例与标记刨花的瞬时平均压缩比例的 r 值分别为 0.996 和 0.999; 陡峭型和平坦型 VDP 的 OSB 标记刨花间区域密度与同一厚度上的实际区域密度的 r 值分别为 0.842 和 0.870。该方法能够准确计算并获得板坯的瞬时压缩比例和区域密度。

基于计算机视觉的 VDP 在线监测方法可快速准确地记录板坯的 VDP 形成过程, 为理解 VDP 的形成机制提供可靠数据, 为科学优化 OSB 的板坯结构提供了一种新的技术手段。

参 考 文 献

- [1] 李宏艺, 李长贵, 马玉珍, 等. 大片刨花形态对可饰面定向刨花板力学性能的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(12): 39-48.
Li H Y, Li C G, Ma Y Z, et al. Influence of large strands shape on mechanical properties of decorative OSB[J]. Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition), 2023, 51(12): 39-48.
- [2] 胡尧琼, 李万兆, 张晔, 等. 刨花形态和跌落高度对刨花定向效果的影响 [J]. 林业工程学报, 2023, 8(4): 66-71.
Hu Y Q, Li W Z, Zhang Y, et al. Effect of strand shape and drop height on strands orientation[J]. Journal of Forestry Engineering, 2023, 8(4): 66-71.
- [3] Wong E D, Zhang M, Wang Q, et al. Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard[J]. Journal of Wood Science, 1998, 44(4): 287-295.
- [4] 李东虎, 李万兆, 梅长彤. 定向刨花板抗弯性能、形变及剖面密度梯度的相关性 [J]. 林业工程学报, 2023, 8(3): 52-57.
Li D H, Li W Z, Mei C T. The relationship of bending strength, deformation and VDP of OSB[J]. Journal of Forestry Engineering, 2023, 8(3): 52-57.
- [5] Xu W. Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composites panels: a theoretical consideration[J]. Wood and Fiber Science, 1999, 31(3): 277-282.
- [6] Painter G, Budman H, Pritaker M. Prediction of oriented strand board properties from mat formation and compression operating conditions (part 2): MOE prediction and process optimization[J]. Wood Science and Technology, 2006, 40(4): 291-307.
- [7] 张扬, 于志明. 工艺参数对中密度纤维板断面密度分布的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(4): 118-122.
Zhang Y, Yu Z M. Effect of process parameters on density distribution of MDF sections[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(4): 118-122.
- [8] Thömen H. Modeling the physical processes in natural fibre composites during batch and continuous pressing [D]. Corvallis: Oregon State University, 2000.
- [9] Suo S, Bowter J L. Simulation modeling of particleboard density profile[J]. Wood and Fiber Science, 1994, 26: 397-411.
- [10] Painter G, Budman H, Pritaker M. Prediction of oriented strand board properties from mat formation and compression operating conditions (1): horizontal density distribution and vertical density profile[J]. Wood Science and Technology, 2006, 40(2): 139-58.
- [11] Cheng Z V, Dai C P, Smith G D. Modeling vertical density profile formation for strand-based wood composites during hot pressing (1): model development[J]. Composites Part B: Engineering, 2001, 42(6): 1357-1365.
- [12] Wang S Q, Winistorfer P, Young T, et al. Step-closing pressing of medium density fiberboard (1): influences on the vertical density profile[J]. Holz als Roh- und Werkstoff, 2001, 59: 19-26.
- [13] Wang S Q, Winistorfer P, Young T, et al. Step-closing pressing of medium density fiberboard (2): influences on panel performance and layer characteristics[J]. Holz als Roh- und Werkstoff, 2001, 59: 311-318.
- [14] 梅长彤, 周又平, 薛联凤. 刨花形态自动识别系统的设计与开发 [J]. 林业科技开发, 2006, 20(3): 49-51.
Mei C T, Zhou Y P, Xue L F. A design for strand from auto recognition system and its exploitation[J]. Journal of Forestry Engineering, 2006, 20(3): 49-51.
- [15] 洪吾俊, 李万兆, 胡尧琼, 等. 基于卷积神经网络的刨花定向角度自动测量方法构建 [J]. 木材科学与技术, 2024, 38(1): 58-65.
Hong W J, Li W Z, Hu Y Q, et al. An automatic method for measuring strands' orientation angles based on convolutional neural network[J]. Wood Science and Technology, 2024, 38(1): 58-65.
- [16] 陈天全. 大片刨花板热压过程中温度、气压和含水率变化规律研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
Chen T Q. Study on the variation law of temperature, air pressure and moisture content of strand board during hot-presuring[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.

(责任编辑 吴娟
责任编辑 于志明)