

刨花形态和跌落高度对刨花定向效果的影响

胡尧琼, 李万兆, 张晔, 梅长彤*

(南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037)

摘要:定向刨花板(OSB)是一种应用广泛的木质结构材,其基本组成单元是窄长薄片刨花,刨花定向铺装角度是影响OSB力学性能的重要因素。以刨花长度、宽度和跌落高度为影响因子,统计分析以上因子对刨花定向角度的影响,拟合出优化试验参数对应刨花定向效果的正态分布曲线。刨花跌落高度对定向角度影响显著,其次为刨花长度和宽度。分析刨花长宽比与定向角度绝对值的关系,重点关注定向角度绝对值小于 10° , 15° 和 30° 的刨花占比。当刨花长宽比小于8时,长宽比与刨花定向效果呈线性正相关,长宽比接近8时,刨花定向效果最佳。刨花长度 $\times$ 刨花宽度 $\times$ 跌落高度的优化参数分别为 $150\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 80\text{ mm}$ 、 $150\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 80\text{ mm}$ 、 $150\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 80\text{ mm}$ 和 $120\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 80\text{ mm}$,结合正态分布拟合曲线得出90%概率条件下,4组试验所得刨花定向角度的置信区间均小于 30° ,而 $150\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 80\text{ mm}$ 试验参数条件下刨花定向效果最佳。本研究系统分析了使用定向导板控制窄长薄片刨花的定向效果,优化了刨花形态和跌落高度的参数,刨花定向角度的量化分析预测可以为OSB力学性能的预测提供基础科学依据。

关键词:定向刨花板;刨花形态;跌落高度;定向角度;统计分析

中图分类号:S784

文献标志码:A

文章编号:2096-1359(2023)04-0066-06

Effect of strand shape and drop height on strands orientation

HU Yaoqiong, LI Wanzhao, ZHANG Ye, MEI Changtong*

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

Abstract: Basic composition component of oriented strand board (OSB) is long and thin slice strand. OSB is a renewable, reusable, and recyclable resource and an alternative to structural plywood for a wide range of lightweight timber frame construction with high variability in flexural properties. The directional paving angle of strand is one of the most important factors affecting the mechanical properties of OSB. Considering the length and width of the strand and the drop height after crossing the directional guide plate as the interfering factors, the influence of the above factors on the orientation angle of the strand was analyzed statistically, and the curve normal distribution of the orientation effect of the optimized test parameters was fitted. During the experiments, the strands fell freely onto the guide plate, and then scattered on the base plate after being oriented by the guide plate. The height of strand drop had a significant effect on the orientation angle, followed by the length and width of the strand. When the aspect ratio of strand was smaller than eight, the length-width ratio was linearly and positively correlated with the orientation effect of the strand, and when the length-width ratio was close to eight, the orientation effect of strand was the best. The optimized parameters of the strand length $\times$ strand width $\times$ drop height were $150\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 80\text{ mm}$, $150\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 80\text{ mm}$ and $150\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 80\text{ mm}$, respectively. When the length-width ratio was greater than eight, the reduction of the strand width would lead to the increase of the aspect ratio, while the change of the width had slight influence on the orientation effect. Combined with the fitting curve of normal distribution, the confidence intervals of the strand orientation angles obtained by the three groups of tests were all small than 30° under the condition of 95% probability. It was further explained that the change of particle width had no obvious influence on the orientation effect compared with the change of particle length. In this study, the influence of strand shape and drop height on orientation effect was analyzed by the statistical analysis. The confidence interval of particle orientation angle under the condition of the target probability could be obtained by combining the fitting curve of normal distribution. This study systematically analyzed the effect of using directional guide plate to control the strand orientation of the narrow and long thin slices, optimized the parameters of the strand morphology and drop height. The quantitative analysis and prediction of strand orientation angle

收稿日期:2022-11-03

修回日期:2023-02-05

基金项目:国家重点研发计划(2021YFD2200602);江西省林业局科技创新专项(202135)。

作者简介:胡尧琼,女,研究方向为木质复合材料。通信作者:梅长彤,男,教授。E-mail: mei@njfu.edu.cn

could provide a basis for the scientific prediction of mechanical properties of OSB.

Keywords: oriented strand board; strand shape; drop height; orientation angle; statistical analysis

木材是一种绿色天然可再生材料,长期以来被广泛应用于家具、建筑、能源等领域。近年来,木材供需矛盾逐渐突出,优质木材严重短缺,而次生木质部的高效利用是缓解优质木材短缺的重要手段^[1-3]。定向刨花板(oriented strand board, OSB)是由规定形状和一定厚度的木质大片刨花施胶后经定向铺装、热压制成的多层结构板材,具有优异的力学性能和尺寸稳定性^[4-5]。生产 OSB 可实现木材利用率达到 85% 以上,同时其力学性能能够媲美胶合板^[6-8]。影响 OSB 力学性能的主要因素有刨花铺装角度、刨花形态、板材剖面密度、板坯结构、胶黏剂和热压工艺参数等^[9-13]。表层刨花规则排列能提高 OSB 的弹性模量(MOE)和静曲强度(MOR),且基于表层刨花铺装角度可以有效预测 OSB 的 MOE 和 MOR^[14]。Nishimura 等^[15]研究了表层刨花铺装角度和刨花形态对 OSB 力学性能的影响,结果表明,刨花铺装角度对 OSB 的 MOR 影响比刨花形态更明显。刨花的铺装角度主要受刨花形态和刨花铺装高度影响^[16]。刨花形态的重要评价指标是刨花的长宽比,刨花长宽比对 OSB 的内结合强度有一定的影响^[17]。刨花长宽比与 OSB 的 MOE 和 MOR 呈正相关,但刨花长宽比增加会降低 OSB 的内结合强度^[18]。刨花铺装角度对 OSB 的力学性能影响显著,通过研究刨花长宽比和跌落高度与刨花铺装角度的关系,可以为优化 OSB 的组坯工艺和产品结构提供理论指导。

笔者针对 15 种刨花形态和 2 种跌落高度与刨花铺装角度的关系展开系统研究,统计分析刨花形态和铺装高度对刨花定向角度的影响,梳理了刨花长宽比和定向铺装效果的关系,提出了刨花精准铺装的优化工艺参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设备

杨树(*Populus tremula*)木材旋切单板购自安徽省,密度 0.35 g/cm^3 ,名义厚度 1.0 mm ,含水率 9.15% 。选用没有节子、裂隙等明显缺陷的单板手工制备定向刨花,将单板裁成 5 种长度(150, 120, 100, 80, 50 mm),3 种宽度(2, 15, 10 mm)的长方形刨花,其中刨花长度和宽度分别对应木材的径向和弦向。将每种长度和宽度进行组合,共制备 15 种不同尺寸的刨花,每种刨花各 400 片。刨花铺装高

度对应刨花的跌落高度(刨花离开定向装置后自由落体至板坯的距离),本试验采用了 2 个刨花跌落高度,分别为 80, 230 mm。刨花跌落高度可以通过增加底座控制:无底座时,导板和垫板间的距离为 80 mm;加底座时,导板和垫板间的距离为 230 mm。首先使刨花自 1 500 mm 高度自由落体至定向导板,刨花通过定向导板后落至垫板,定向导板和垫板间的距离控制为 80 和 230 mm(图 1),定向导板间距是 30 mm。针对部分无法一次穿过定向导板的刨花,轻轻晃动定向导板使所有刨花跌落至垫板。该定向方法与生产线所用定向铺装头工作原理相似^[19]。每种刨花尺寸进行 2 个跌落高度试验,共计 30 组试验,每组 400 片刨花分 2 次开展试验,每次 200 片刨花。每次试验时当所有刨花跌落至垫板后手动记录刨花的铺装角度,刨花向逆时针和顺时针方向偏移分别记为负角度和正角度,其中基准方向是定向导板的长度方向(图 1)。

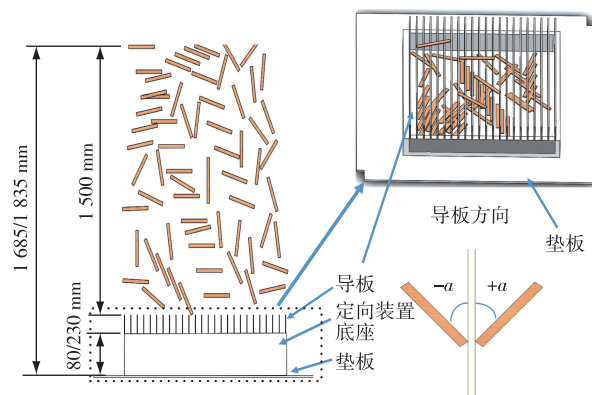


图 1 长片刨花定向铺装工序示意图

Fig. 1 Schematic diagram of directional process of strands

1.2 数据分析

采用方差(F 检验)进行刨花长度、刨花宽度和跌落高度对刨花定向效果影响的组间显著性分析。将刨花长度与宽度整理成长宽比,分析刨花长宽比与定向角度的相关性。为分析每组试验的刨花定向效果,按式(1)计算 400 片刨花绝对角度的平均值。当刨花的定向角度绝对值大于 30° 时,定向效果不理想,且会导致 OSB 产品的 MOR 和 MOE 显著下降^[18],因此本研究重点分析定向角度绝对值小于 30° 的数据,并整理出平均定向角度小于 10° 、 15° 和 30° 的刨花数量占比(式(2))。针对平均角度小于 30° 的各组数据,计算每组定向角度数据的偏度值、峰度值和 Z_s 、 Z_k (式(4)~(8)),进行

正态分布分析,计算每组定向角度数据的平均值(式(3))和标准差。

$$\bar{X} = \frac{|x_1| + |x_2| + \cdots + |x_{n-1}| + |x_n|}{n} \quad (1)$$

$$P = \frac{m}{n} \times 100\% \quad (2)$$

$$\mu = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_{n-1} + x_n}{n} \quad (3)$$

$$S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

$$K = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^2} - 3 \quad (5)$$

$$S_e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

$$Z_s = \frac{S}{S_e} \quad (7)$$

$$Z_k = \frac{S}{S_k} \quad (8)$$

式中: $\bar{x}$ 为刨花定向角度绝对平均值; x_i 为每一片刨花的定向角度; P 为处于一个角度区间内的刨花数量占比; μ 为一组刨花定向角度的平均值; n 为一组刨花的总数量; m 为一组刨花中处于一个角度区间内的刨花数量; S 为偏度值; K 为峰度值; S_e 为标准误差; Z_s 为峰度的 Z 评分; Z_k 为偏度的 Z 评分。

2 结果与分析

2.1 刨花形态与跌落高度对刨花定向效果的影响

本研究聚焦于刨花长度、刨花宽度和跌落高度(对应铺装高度)对刨花定向效果的影响,采用组

间方差(F 检验)分析以上因素对刨花定向角度影响的显著性。该方法也会被用于医学研究领域,探究不同药液的作用强度是否在统计学上有显著的差异^[20-21]。通过对 30 组试验数据的对比分析发现,刨花长度、刨花宽度和跌落高度均对刨花定向方向有显著性影响($P < 0.001$) (表 1)。 F 检验值越大代表组间差异越显著。跌落高度对应的 F 值最大,说明这一因素对刨花的定向效果影响最大。当跌落高度是 230 mm 时,刨花定向角度的绝对平均值是 24.47° ; 当跌落高度是 80 mm 时,刨花定向角度的绝对平均值是 10.36° 。跌落高度低意味着刨花自由落体段的距离短,刨花角度随机偏移的概率降低,这有助于改善刨花的定向效果。相较于刨花长度,刨花宽度对刨花的定向效果影响更小。研究表明,在 OSB 组坯结构不变的情况下,刨花定向效果与其 MOR 和 MOE 呈线性正相关^[15]。OSB 的 MOR 和 MOE 主要决定于刨花长度,而刨花宽度对其影响较小^[18]。刨花长度对刨花定向角度的影响是刨花长度影响 OSB 的 MOR 和 MOE 的重要原因。

表 1 刨花定向效果方差分析

Table 1 Analysis of variance of strand definitive direction result

指标	平方和	自由度	F	显著性
刨花长度	92 019.77	4	54.11	**
刨花宽度	2 547.37	2	7.19	**
跌落高度	35 929.20	1	99.74	**

注: “**” 表示差异极其显著 ($P < 0.001$)。

为研究刨花尺寸对定向效果的影响,将刨花尺寸进一步整理为长宽比,并分析刨花长宽比与定向角度绝对值的关系,重点关注定向角度绝对值小于 10° 、 15° 和 30° 的刨花数量占比(式(2))。刨花长宽比对刨花定向角度的影响见图 2,其中,刨花占比是指刨花定向角度绝对值小于 10° 、 15° 和 30° 的刨花数量占总刨花数量的比例。刨花长宽比与定

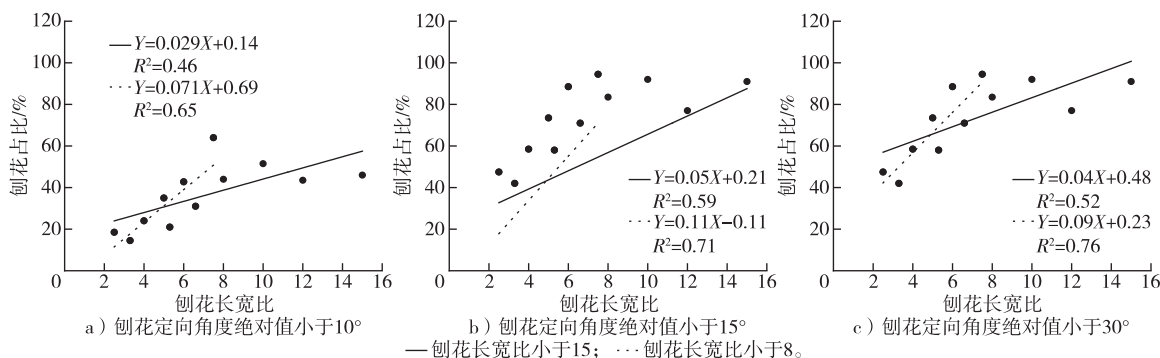


图 2 不同定向角度下刨花长宽比对刨花定向角度的影响

Fig. 2 The effect of length-width ratio on orientation angle of strand under different orientation angles

向角度呈一定的线性正相关。当刨花长宽比小于 8 时,刨花长宽比对刨花定向效果的影响明显,并且刨花长宽比与定向角度的决定系数显著提高。当刨花长宽比为 8 时,44.0%的刨花绝对定向角度小于 10°,63.0%的刨花定向角度绝对值小于 15°,83.5%的刨花定向角度绝对值小于 30°。当刨花长宽比大于 8 时,长宽比的变大不再明显改善刨花的定向效果。这与彭明凯等^[18]得到的刨花长宽比优化结果基本一致。刨花的长度增加,刨花长宽比变大,导板对刨花方向的约束能力越好。当刨花长宽比大于 8 时,长宽比的增加主要源于刨花宽度的减小,而非刨花长度的继续增加,因此,刨花的定向效果变化不大。这与表 1 中的结果一致,刨花长度对刨花定向效果的影响明显大于刨花宽度。

2.2 刨花定向角度的正态分布分析

刨花定向角度大于 30°时,OSB 的 MOR 和 MOE 会明显下降^[18]。本研究设计的 30 组试验参数中有 10 组刨花的定向角度绝对平均值小于 30°,10 组数据的具体参数和定向效果如表 2 所示。为分析 10 组数据的分布状态,采用式(4)~

(8)计算了 Z_s 和 Z_k 值。研究发现,当样本容量在 20~1 000 时,可采用 Z_s 和 Z_k 联合检验判断一组数据是否符合正态分布^[22]。 Z_s 和 Z_k 的绝对值都小于 1.96 时,可认为这一组数据完全符合正态分布;当 Z_s 和 Z_k 的绝对值大于 1.96 时,需结合频数分布直方图判定数据是否符合近似正态分布。标准差 σ 可以判断一组数据的离散程度,当 σ^2 越大时其离散程度越大,刨花定向效果越差。刨花定向角度平均值 μ 接近 0,同时刨花绝对定向角度平均值 $\bar{X}$ 越小,则说明刨花定向效果越好。由表 2 分析可知,使用 150 mm×20 mm×80 mm、150 mm×15 mm×80 mm、150 mm×10 mm×80 mm、120 mm×20 mm×80 mm 这 4 组试验参数铺装所得刨花定向角度平均值、刨花绝对定向角度平均值和标准差均较小,说明刨花定向效果较好。以上 4 组试验参数的特点是刨花长度大且刨花跌落高度低,这与表 1 得到的跌落高度和刨花长度对刨花定向角度影响显著的结果吻合。结合 Z_s 、 Z_k 值和频数分布直方图可知,这 4 组数据完全符合或接近正态分布。

表 2 刨花定向角度的绝对平均值与正态分析
Table 2 Absolute mean value and normal analysis of strand orientation angle

编号	刨花长×宽×跌落高度/mm	$\bar{X}$	Z_s	Z_k	μ	σ^2
1	150×20×80	10.36	0.32	8.41	0.65	107.33
2	150×15×80	13.13	-0.60	4.33	0.21	172.40
3	150×10×80	14.86	-0.08	2.57	0.39	220.67
4	150×20×230	24.47	-0.04	0.24	-1.78	598.78
5	120×20×80	17.29	0.01	1.08	-0.38	298.94
6	120×15×80	20.34	0.00	1.15	1.05	413.72
7	120×10×80	20.40	-0.03	0.76	0.04	415.96
8	100×20×80	21.04	0.01	0.02	-0.08	580.09
9	100×15×80	24.09	0.02	0.19	-0.26	691.16
10	100×10×80	27.40	0.00	0.07	0.06	750.76

4 组试验参数所得刨花定向角度的正态分布拟合曲线见图 3。其中,占比是指刨花落在不同角度区间内的概率。当试验参数为 150 mm×20 mm×80 mm 时, Z_k 值最大,拟合曲线最陡峭,刨花定向效果最佳,具体表现为大多数刨花定向角度接近 μ 值。当刨花长度为 150 mm 时,减小刨花宽度, Z_k 值减小,正态分布拟合曲线趋于平缓, μ 值附近刨花占比下降。这说明刨花定向角度分布域变宽,定向效果下降。当刨花长度为 120 mm 时, Z_k 值进一步减小,刨花定向效果继续下降。

结合拟合后的正态分布曲线,可以梳理出一定概率条件下刨花定向角度的置信区间。在 90%和

95%概率条件下,4 组试验参数所得刨花定向角度的置信区间见表 3。在 90%概率条件下,4 组试验参数所得刨花定向角度的置信区间均为 -30°~30°。在 95%概率条件下,150 mm×20 mm×80 mm、150 mm×15 mm×80 mm、150 mm×10 mm×80 mm 试验条件下,刨花定向角度的置信区间仍为 -30°~30°,因此采用这 3 种试验参数可以确保刨花的绝对定向角度小于 30°。基于本研究结果得出 150 mm×20 mm×80 mm 试验参数条件下,刨花定向效果最佳。结合正态分布曲线可实现刨花定向角度的量化分析和预测,这为进一步构建 OSB 力学性能的预测模型提供基础数据依据。

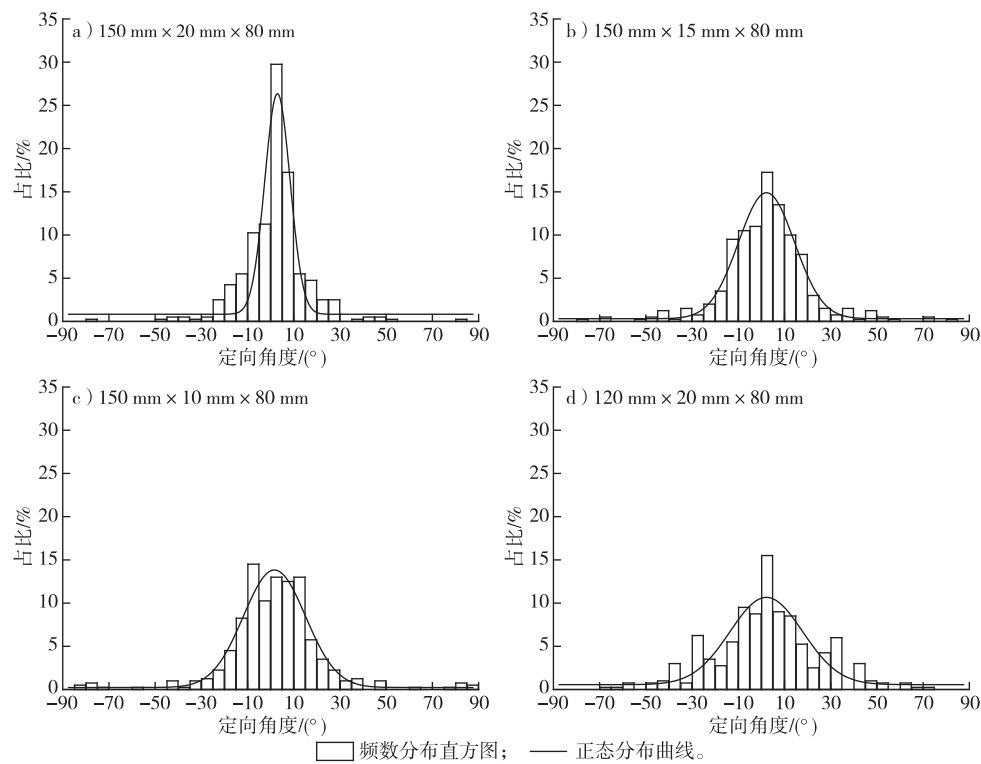


图 3 4 组试验条件下刨花定向角度的正态分布

Fig. 3 Normal distribution of strand orientation angle under four groups of test conditions

表 3 在 $P=0.90$ 和 $P=0.95$ 时刨花定向角度的置信区间
Table 3 Confidence intervals of strand orientation angle at $P=0.90$ and $P=0.95$

刨花长×宽×跌落高度/ mm	置信区间 ($P=0.90$)	置信区间 ($P=0.95$)
150×20×80	-18.37° ~ 19.67°	-22.08° ~ 23.38°
150×15×80	-21.79° ~ 21.03°	-25.97° ~ 25.21°
150×10×80	-21.19° ~ 23.28°	-25.53° ~ 27.62°
120×20×80	-26.92° ~ 27.33°	-32.21° ~ 32.62°

3 结 论

1) 通过对比研究刨花长度、宽度、跌落高度(对应铺装高度)和刨花定向角度,发现对刨花定向角度影响因素的显著性顺序为跌落高度、刨花长度和刨花宽度。

2) 刨花长宽比与定向效果基本呈正相关,当刨花长宽比接近 8 时,刨花定向效果最佳。

3) 刨花长度×刨花宽度×跌落高度的 4 组优化参数分别为 150 mm×20 mm×80 mm、150 mm×15 mm×80 mm、150 mm×10 mm×80 mm、120 mm×20 mm×80 mm。结合正态分布拟合曲线可以得出:在 90% 概率条件下,4 组试验参数所得刨花绝对定向角度均小于 30°;在 95% 概率条件下,150 mm×20 mm×80 mm、150 mm×15 mm×80 mm、150 mm×10 mm×80 mm 这 3 组试验参数所得刨花绝对定向角

度小于 30°。

参考文献(References):

[1] 梅长彤, 雍成. 我国定向刨花板工业发展历史、现状和机遇 [J]. 中国人造板, 2016, 23(3): 6-9. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5064.2016.03.002.

MEI C T, YONG C. History, current situation and opportunities of oriented strand board industry development in China [J]. China Wood-Based Panels, 2016, 23(3): 6-9.

[2] 肖再然, 申伟, 刘振东. 中国定向刨花板市场 [J]. 国际木业, 2020, 50(3): 41-43. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4911.2020.03.010.

XIAO Z R, SHEN W, LIU Z D. China oriented particleboard market [J]. International Wood Industry, 2020, 50(3): 41-43.

[3] 夏芹, 周润之, 洪锐彬, 等. 国内外刨花板原材料的研究进展 [J]. 广州化工, 2022, 50(2): 21-23. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9677.2022.02.011.

XIA Q, ZHOU R Z, HONG R B, et al. Review on research developments of particleboard raw materials [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(2): 21-23.

[4] 卢项乾. 定向刨花板生产设备和工艺控制探析 [J]. 现代制造技术与装备, 2020, 56(7): 163. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2020.0687.

LU X Q. Discussion on production equipment and process control of oriented particleboard [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2020, 56(7): 163.

[5] LI W Z, CHEN C Y, SHI J T, et al. Understanding the mechanical performance of OSB in compression tests [J]. Construction and Building Materials, 2020, 260: 119837. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119837.

[6] 彭钊云. 定向刨花板家具部件结合性能的研究 [D]. 长沙: 中

- 南林业科技大学, 2016. DOI: 10.7666/d.Y3134607.
- PENG Z Y. Study on the connection strength of oriented strand board-furniture part joining[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2016.
- [7] 胡育辉. 定向结构刨花板与其他人造板的比较[J]. 木材工业, 2000, 14(5): 27-28. DOI: 10.19455/j.mcgy.2000.05.009.
- HU Y H. Comparison of oriented strand board with other wood based panels[J]. China Wood Industry, 2000, 14(5): 27-28.
- [8] 曾繁华. LPF 树脂在桉木定向刨花板的应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016. DOI: 10.7666/d.Y3087925.
- ZENG F H. Study on the application of LPF resin in the preparation of eucalyptus OSB [D]. Nanning: Guangxi University, 2016.
- [9] 梅长彤, 周定国, 戴春平. 平面密度分布对刨花板内结合强度的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 123-127. DOI: 10.3321/j.issn: 1001-7488.2004.03.021.
- MEI C T, ZHOU D G, DAI C P. Effects of horizontal density distribution on internal bond strength of particleboard[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(3): 123-127.
- [10] MEI C T, DAI C P, ZHOU D G. Effects of horizontal density variation on properties of wood strand composites[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2002, 26(6): 1-4.
- [11] LI R J, GUTIERREZ J, CHUNG Y L, et al. A lignin-epoxy resin derived from biomass as an alternative to formaldehyde-based wood adhesives[J]. Green Chemistry, 2018, 20(7): 1459-1466. DOI: 10.1039/C7GC03026F.
- [12] 李万兆, 李东虎, 陈超意, 等. 定向刨花板和细表面定向刨花板抗弯性能及应变分布比较[J]. 林业工程学报, 2022, 7(6): 61-66. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202202022.
- LI W Z, LI D H, CHEN C Y, et al. Comparison of bending strength and strain distribution in oriented strand board and fine surface oriented strandboard[J]. Journal of Forestry Engineering, 2022, 7(6): 61-66.
- [13] BARBIRATO G H A, JUNIOR W E L, MARTINS R H, et al. Sandwich OSB trapezoidal core panel with Balsa wood waste[J]. Waste and Biomass Valorization, 2022, 13(4): 2183-2194. DOI: 10.1007/s12649-021-01660-2.
- [14] CHEN S G, FANG L M, LIU X H, et al. Effect of mat structure on modulus of elasticity of oriented strand board[J]. Wood Science and Technology, 2008, 42(3): 197-210. DOI: 10.1007/s00226-007-0167-0.
- [15] NISHIMURA T, ANSELL M P, ANDO N. The relationship between the arrangement of wood strands at the surface of OSB and the modulus of rupture determined by image analysis[J]. Wood Science and Technology, 2001, 35(6): 555-562. DOI: 10.1007/s002260100118.
- [16] SUZUKI S, TAKEDA K. Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board[J]. Journal of Wood Science, 2000, 46(4): 289-295. DOI: 10.1007/BF00766219.
- [17] ARABI M, FAEZIPOUR M, LAYEGHI M, et al. Interaction analysis between slenderness ratio and resin content on mechanical properties of particleboard[J]. Journal of Forestry Research, 2011, 22(3): 461-464. DOI: 10.1007/s11676-011-0188-2.
- [18] 彭明凯, 梅长彤. 刨花形态及定向角度对刨片层积材性能的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(4): 129-131. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2009.04.028.
- PENG M K, MEI C T. Effects of strand geometry and orientation on the properties of laminated strand lumber[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2009, 33(4): 129-131.
- [19] 郑凤山, 国智武, 葛立军, 等. 定向刨花板刨花铺装系统探讨[J]. 中国人造板, 2018, 25(12): 14-17. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5064.2018.12.003.
- ZHENG F S, GUO Z W, GE L J, et al. Discuss on forming station system and equipment for OSB[J]. China Wood-Based Panels, 2018, 25(12): 14-17.
- [20] SCHÖBER P, VETTER T R. Analysis of variance in medical research[J]. Anesthesia & Analgesia, 2020, 131(2): 508-509. DOI: 10.1213/ane.0000000000004839.
- [21] 胡纯严, 胡良平. 如何正确运用方差分析——拉丁方设计定量资料一元方差分析[J]. 四川精神卫生, 2022, 35(2): 114-119. DOI: 10.11886/scjsws20220310004.
- HU C Y, HU L P. How to use analysis of variance correctly—An analysis of variance for the univariate quantitative data collected from the Latin Square design[J]. Sichuan Mental Health, 2022, 35(2): 114-119.
- [22] 马兴华, 张晋昕. 数值变量正态性检验常用方法的对比[J]. 循证医学, 2014, 14(2): 123-128. DOI: 10.3969/j.issn.1671-5144.2014.02.020.
- MA X H, ZHANG J X. The comparison among the common normality tests for numerical variables[J]. The Journal of Evidence-Based Medicine, 2014, 14(2): 123-128.

(责任编辑 莫弦丰)