

密度对稻壳-木质剩余物包装箱用复合板性能的影响

孙建飞¹, 肖生苓^{1*}, 黄海兵², 张长武² (1. 东北林业大学工程技术学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省木材科学研究所, 黑龙江哈尔滨 150081)

摘要 [目的]研究了密度对稻壳-木质剩余物包装箱用复合板性能的影响。[方法]采用混合水平均匀设计的方法,以稻壳与木质剩余物为原料制备包装箱用复合板。对试验结果进行回归分析,讨论密度对复合板2 h吸水厚度膨胀率、内结合强度、静曲强度和弹性模量的影响,同时结合密度与芯层比例、表层施胶量、芯层施胶量、热压温度、热压压力和热压时间6因素间的交互效应进行分析。[结果]在优化其他工艺的同时,使复合板在较低密度0.75~0.78 g/cm³时各项性能达到国家标准。[结论]该研究为稻壳-木质剩余物包装箱用复合板的研制提供了依据。

关键词 稻壳;包装箱;复合板;密度;性能

中图分类号 S784 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)13-03983-05

Effects of Density on Properties of the Rice-Husk/ Wood-Residues Packing Composite Particleboard

SUN Jian-fei, XIAO Sheng-ling et al (College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] To study the effects of density on properties of the rice-husk/wood-residues packing composite particleboard. [Method] Based on mixed levels uniform design method, the paper used rice husk and wood residues as raw materials for the preparation of packing composite particleboard. Through the regression analysis of experimental results, mainly discussed the effects of density on the thickness swelling, internal bond, modulus of rupture and modulus of elasticity. It also combined density with other main factors such as core layer ratio, surface layer resin consumption, core layer resin consumption, hot-pressing temperature, hot-pressing pressure and hot-pressing time. [Result] It optimized other manufacturing processes, and then made the performance of the composite particleboard reach the national standard at low density, such as 0.75-0.78 g/cm³. [Conclusion] This research provided reference for the development of rice-husk/wood-residues packing composite particleboard.

Key words Rice husk; Packing box; Composite particleboard; Density; Properties

稻壳是稻谷加工生产时的主要副产品,资源丰富且价格低廉,其自身结构组成决定了稻壳可作木材的替代材料应用于木质复合板的生产。国际上关于稻壳板的研究始于20世纪50年代,但由于诸多原因^[1],稻壳板的研制一直停滞不前。近年来,许多国家的科研人员尝试采用碾磨、蒸煮或化学试剂改性等方法对稻壳表面二氧化硅膜加以破坏或去除,并将二次加工后的稻壳用于稻壳板或复合板的研制^[2-3],取得了一定成果。但稻壳二次加工过程繁杂且效率普遍偏低,在实际工业化生产中极少得到推广与应用。

异氰酸酯作为胶黏剂,活性高,胶合效果好,可与稻壳接合获得理想界面。虽然相较于脲醛胶和酚醛胶价格偏高,但由于稻壳具有较强的经济性,可通过对异氰酸酯用量的合理规划,进而达到对复合板整体的成本控制,最终仍可获得较低的生产成本,相较于传统刨花板仍具备成本优势。由于稻壳自身纤维较短,制得稻壳板力学性能普遍不高,在静曲强度和弹性模量上很难达到国家标准对于普通刨花板的要求,特选取木质剩余物作为增强材料,旨在改善复合板的力学性能,以满足一般产品的包装要求^[4-6]。试验选用稻壳与木质剩余物为原料,脲醛树脂与异氰酸酯为胶黏剂,采用特定工艺制备稻壳-木质剩余物包装箱用复合板。

在复合板制备工艺中,密度是最重要的技术指标之一。在一定范围内,增大密度有利于改善复合板的尺寸稳定性、

提升复合板的各项力学性能,但同时会造成原料和能源消耗的增加,进而导致产品生产成本和使用成本(如装卸成本、运输成本等)的增加,加大了生产与使用的难度。因此,需结合复合板性能、生产成本等因素对密度加以控制。在密度单因素试验分析的基础上,探究密度与其他工艺参数间的交互效应对复合板性能指标的影响,同时结合相关国家标准,对包装箱用复合板制备工艺进行优化、选取,旨在为提高复合板性能、降低复合板生产成本提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与设备

1.1.1 试验材料。稻壳,黑龙江省五常县,由当年生产水稻脱壳所得,尺寸在20⁺~8⁻目;刨花,由混杂木剩余物削片制得;脲醛树脂胶,固体含量58.5%,黏度大于100 mPa·s, pH7.96,游离甲醛1.52%,市售工业品;异氰酸酯,选用多苯基多亚甲基多异氰酸酯(PAPI),市售工业品;固化剂,质量分数为20%的NH₄Cl水溶液,实验室配制。

1.1.2 试验设备。热压机(KU-HPD-1515),日本;拌胶机(VR-22),德国;立式裁板锯(SZ3-600D),日本;万能力学试验机(UTM-10T-PL),日本;恒温水槽(BK-53),日本;恒温干燥箱(DX-58),日本;振动筛(HC-400-2P),中国。

1.2 试验方法

1.2.1 包装箱用复合板结构。包装箱用复合板结构如图1所示,稻壳位于复合板中间,作为芯层,尺寸在20⁺~8⁻目(占稻壳总量的92.4%~94.7%),木刨花主要用于提升复合板的静曲强度和弹性模量,置于表层,尺寸控制在20⁺目。复合板厚度20 mm,幅面405 mm×405 mm。

基金项目 国家林业公益行业科研专项(201304506)。

作者简介 孙建飞(1989-),女,山东日照人,硕士研究生,研究方向:生物质包装材料。*通讯作者,博士,教授,从事森林工程和包装工程研究。

收稿日期 2014-04-21

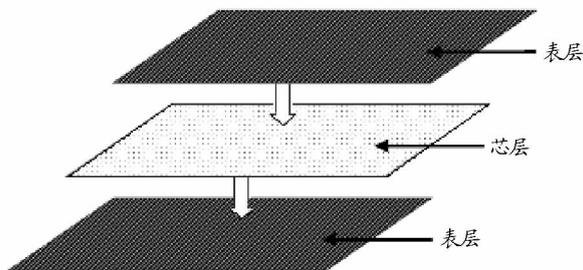


图1 包装箱用复合板结构示意图

1.2.2 包装箱用复合板制备工艺过程。采用手工分层铺装的方式,包装箱用复合板制备工艺过程如图2所示。

1.2.3 试验方案。试验主要侧重于研究密度对包装箱用复合板性能的影响。考虑到其他因素与密度之间的交互效应可能会对试验结果产生影响,特选用混合水平均匀设计的思想,以 X_1 (密度, g/cm^3)、 X_2 (芯层比例, %)、 X_3 (表层施胶量, %)、 X_4 (芯层施胶量, %)、 X_5 (固化剂用量, %)、 X_6 (热压温度, $^{\circ}C$)、 X_7 (热压压力, MPa)和 X_8 (热压时间, s/mm)为变量, Y_1 (内结合强度, MPa)、 Y_2 (2 h吸水厚度膨胀率, %)、 Y_3 (静曲强度, MPa)和 Y_4 (弹性模量, MPa)为目标函数,采用均匀设计v4.0注册版对试验进行设计。通过对刨花板与稻壳板研究现状的分析探讨,同时结合实际生产要求,对试验因子水平进行选取,具体数据见表1。对上述因子进行混合水

平均均匀设计,将试验方案定为21组,重复系数 $m=3$ 。复合板制备后将其置放在温度 $20^{\circ}C$ 、湿度65%的环境条件下72 h,以平衡复合板内部应力,使其充分稳定,然后进行试件制备及测试。由于我国没有木质包装箱板制备相关标准,而该研究的包装箱用复合板的制备技术与刨花板相近,故试件的裁制及测试方法依照我国现行的GB/T4897-2003《刨花板》的国家标准,试验方案与结果见表2。采用均匀设计v4.0注册版对试验数据进行逐步回归分析,并以曲线图和等值图的形式直观表示试验因子对包装箱用复合板性能的影响规律。在满足性能要求的前提下,综合考虑生产成本、生产周期和甲醛释放量等因素,对复合板制备的优化工艺进行确定^[7-9]。

表1 试验因子水平

水平	因子							
	X_1 g/cm ³	X_2 %	X_3 %	X_4 %	X_5 %	X_6 $^{\circ}C$	X_7 MPa	X_8 s/mm
N ₁	0.75	40	8	4.0	1.2	170	2.5	20
N ₂	0.77	45	9	5.0	1.4	180	2.7	25
N ₃	0.79	50	10	6.0	1.6	190	2.9	30
N ₄	0.81	55	11	7.0	1.8	200	3.1	35
N ₅	0.83	60	12	-	2.0	210	3.3	40
N ₆	0.85	65	13	-	-	220	-	45
N ₇	-	70	14	-	-	-	-	-

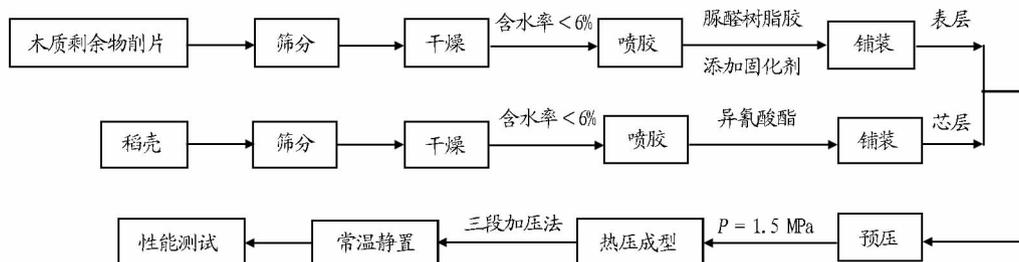


图2 包装箱用复合板制备工艺过程

表2 试验方案与结果

试验序号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	0.75	40	9	5	1.4	210	3.1	45	0.23	19.4	15.2	3 060
2	0.75	45	8	6	1.6	180	2.9	35	0.47	9.9	18.6	3 360
3	0.75	40	10	4	1.6	190	2.5	40	0.33	15.8	18.5	3 320
4	0.77	50	12	6	1.6	200	2.9	40	0.33	9.5	17.2	3 490
5	0.77	70	9	6	1.6	220	3.3	35	0.39	10.9	15.9	3 120
6	0.77	65	9	6	1.2	180	3.3	40	0.50	6.9	19.0	3 490
7	0.77	70	14	7	1.2	190	3.1	25	0.67	6.6	19.3	3 420
8	0.79	55	13	7	1.4	180	3.3	25	0.82	6.0	22.7	4 130
9	0.79	70	10	4	2.0	220	2.7	30	0.35	14.2	15.1	3 240
10	0.79	60	12	5	1.2	200	2.9	20	0.47	6.4	21.3	4 090
11	0.79	40	14	5	1.2	220	3.3	30	0.33	8.1	20.1	4 240
12	0.81	45	8	6	1.8	210	2.9	25	0.52	20.4	18.8	3 360
13	0.81	50	13	4	1.8	190	3.1	35	0.43	11.6	21.7	4 050
14	0.81	65	8	7	1.8	170	2.7	40	0.76	9.3	20.0	3 500
15	0.83	55	13	5	1.6	180	2.5	45	0.47	7.5	20.6	3 870
16	0.83	45	14	6	2.0	170	3.1	30	0.56	5.0	21.6	4 450
17	0.83	60	11	4	1.4	190	2.9	20	0.32	8.2	21.7	3 930
18	0.83	55	10	5	2.0	210	2.7	25	0.50	12.2	20.1	3 700
19	0.85	50	11	5	1.8	170	2.7	20	0.51	7.1	21.0	4 030
20	0.85	60	11	4	1.4	200	2.5	45	0.29	9.9	17.8	3 510
21	0.85	65	12	4	2.0	210	2.5	30	0.32	13.4	18.4	3 710

2 结果与分析

考虑到实际生产中存在的诸多不确定性因素(如防水剂的添加、成板的表面砂光等)可能导致最终制成品强度下降^[10],特参照 GB/T4897-2003《刨花板》中对于公称厚度 > 13~20 mm 的刨花板(干燥状态下使用的普通用板和结构用板)性能要求,对实验室制备复合板内结合强度、静曲强度和弹性模量的要求加以调整,标准值及设计值见表 3。

表 3 参考标准及实验室要求

项目	内结合强度	静曲强度	弹性模量
	IB//MPa	MOR//MPa	MOE//MPa
普通用板	≥0.24	≥11.5	-
结构用板	≥0.35	≥15.0	≥2 150
试验设计值	≥0.50	≥18.0	≥3 000

2.1 密度对复合板尺寸稳定性的影响 密度的变化对包装箱用复合板 2 h 吸水厚度膨胀率的影响如图 3 所示。复合板 2 h 吸水厚度膨胀率随密度的增大而减小,即增加密度有利于改善复合板的尺寸稳定性。当密度在 0.80~0.85 g/cm³ 时,复合板的 2 h 吸水厚度膨胀率 < 8%,满足国家标准要求。密度的增加使得稻壳与木刨花的压缩率增大,复合板内部间隙变小,水分进入复合板的难度加大,同时在复合板内部的扩散作用减弱^[11],复合板的尺寸稳定性随密度的增加而得到改善。基于在满足复合板性能的前提下选择小密度的生产要求,优先选择 0.80 g/cm³ 的密度值。

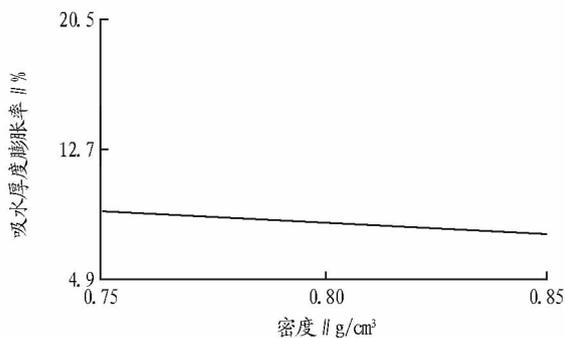


图 3 密度对复合板 2 h 吸水厚度膨胀率的影响

密度与其他因素对复合板 2 h 吸水厚度膨胀率的交互影响如图 4 所示。选择 0.75~0.80 g/cm³ 密度区间与其他因素对复合板 2 h 吸水厚度膨胀率的交互效应等值图进行分析,通过密度与芯层比例(图 4a)、表层施胶量(图 4b)、热压温度(图 4c)、热压压力(图 4d)的交互效应等值图可知,在 0.75~0.80 g/cm³ 的密度区间,增加表层施胶量、降低热压温度、增加热压压力均有利于降低复合板的 2 h 吸水厚度膨胀率。且当芯层比例为 58%~62%、表层施胶量 ≥ 12%、热压温度 < 190 °C、热压压力 ≥ 3.1 MPa 均有利于复合板获得较低的 2 h 吸水厚度膨胀率。在此工艺条件下,可优先选择 0.78 g/cm³ 的密度值对复合板生产进行设计。

2.2 密度对复合板力学性能的影响

2.2.1 内结合强度。密度的变化对包装箱用复合板内结合强度的影响如图 5 所示。复合板内结合强度随密度的增大

先增大后减小。当密度在 0.75~0.80 g/cm³ 时,复合板的内结合强度随密度的增加而增大;当密度 ≥ 0.80 g/cm³ 时,密度的增加反而导致复合板内结合强度下降。由图 5 可知,密度在试验范围内取值,复合板的内结合强度均能满足国家对普通用板的内结合强度要求(≥0.24 MPa)。当密度在 0.77~0.83 g/cm³ 内取值时,复合板的内结合强度 > 0.50 MPa 的试验设计值。复合板的内结合强度主要受芯层胶合强度的影响。在内结合强度达到峰值之前,密度的增加使稻壳的压缩率增加,减小了稻壳间空隙,改善了稻壳与稻壳之间的交织状况和稻壳与胶之间的胶合效果,从而提高了复合板的内结合强度。当密度 ≥ 0.80 g/cm³ 时,内结合强度随密度的增加呈显著下降趋势。通过查阅文献可以发现,稻壳的实际密度约为 0.735 g/cm³^[4]。通常,刨花板存在密度曲线,一般情况下复合板表层密度大于芯层密度。当复合板整体密度 ≥ 0.80 g/cm³ 时,芯层密度大于稻壳自身的实际密度,在热压干燥的状态下,密度的继续增大会造成稻壳纤维结构的过度破坏,从而导致复合板的内结合强度下降。

密度与其他因素对复合板内结合强度的交互影响等值图如图 6 所示。选择 0.75~0.80 g/cm³ 密度区间与其他因素对复合板内结合强度的交互效应等值图进行分析。通过密度与芯层比例(图 6a)、芯层施胶量(图 6b)、热压温度(图 6c)、热压时间(图 6d)的交互效应等值图可知,在 0.75~0.80 g/cm³ 的密度区间,增加芯层比例和芯层施胶量、降低热压温度、减少热压时间均有利于提高复合板的内结合强度。从节约成本、减少甲醛释放量的角度考虑,在保证复合板性能的前提下,增加芯层比例、降低热压温度、减少热压时间均为可采取措施,而在存在其他选择的前提下,通过增加芯层施胶量来提升复合板内结合强度的措施不可取。当芯层比例在 60%~70%、芯层施胶量 6%、热压温度 < 190 °C、热压时间 < 30 s/mm 时,可优先选择 0.77 g/cm³ 的密度值对复合板生产进行设计。

2.2.2 静曲强度和弹性模量。密度的变化对包装箱用复合板静曲强度和弹性模量的影响如图 7a 和图 7b 所示。复合板的静曲强度和弹性模量整体表现为随密度的增加而显著增加,即增加复合板密度有利于提高复合板的静曲强度和弹性模量。由图 7 可知,当密度在试验范围内取值时,复合板的静曲强度和弹性模量均可达到国家对于结构用板的要求。当密度在 0.75~0.82 g/cm³ 取值时,复合板的弹性模量随密度的增大而增大,但增幅逐渐趋于缓慢;当密度 ≥ 0.82 g/cm³ 时,复合板的弹性模量随密度的增大而小幅度下降。当密度 ≥ 0.77 g/cm³ 时,可以确保复合板的静曲强度 > 18 MPa、弹性模量 > 3 000 MPa 的试验设计值。密度对于复合板力学性能的改善作用主要是由于刨花板在成板过程中,随着密度的增大,复合板中的纤维结构增多,压缩程度加大,原料间的交联作用更为明显,与胶黏剂之间的胶合效果也可在一定程度上得到改善,致使板的强度相应增加。

密度与其他因素对包装箱用复合板静曲强度和弹性模量的交互影响如图 8、9 所示。选择 0.75~0.80 g/cm³ 密度

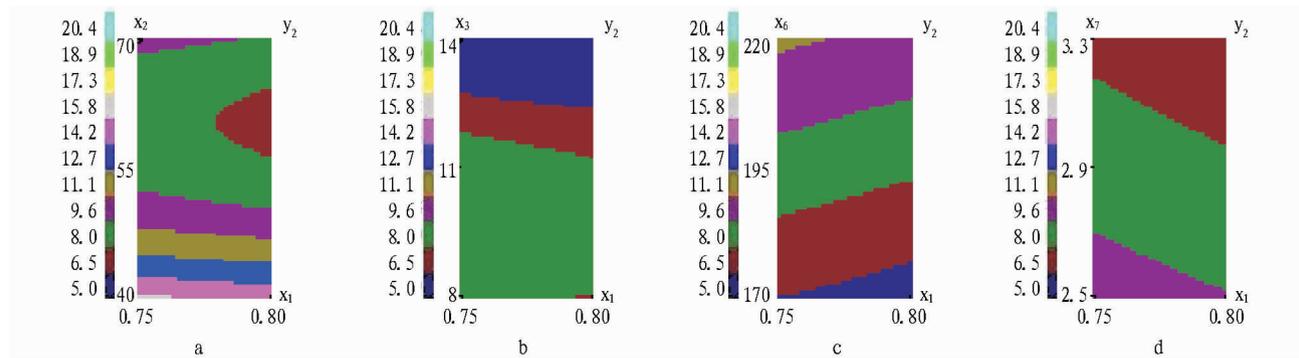


图4 密度与其他因素(a. 芯层比例;b. 表层施胶量;c. 热压温度;d. 热压压力)对复合板2 h吸水厚度膨胀率的交互影响等值图

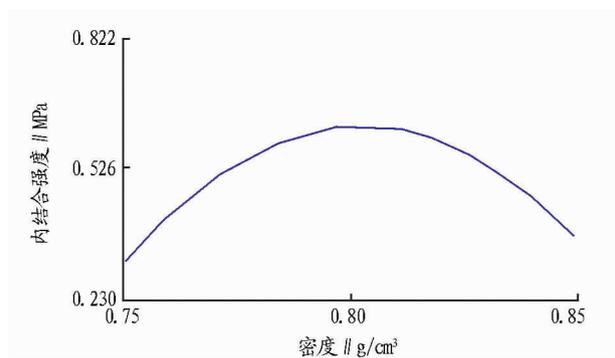


图5 密度对复合板内结合强度的影响

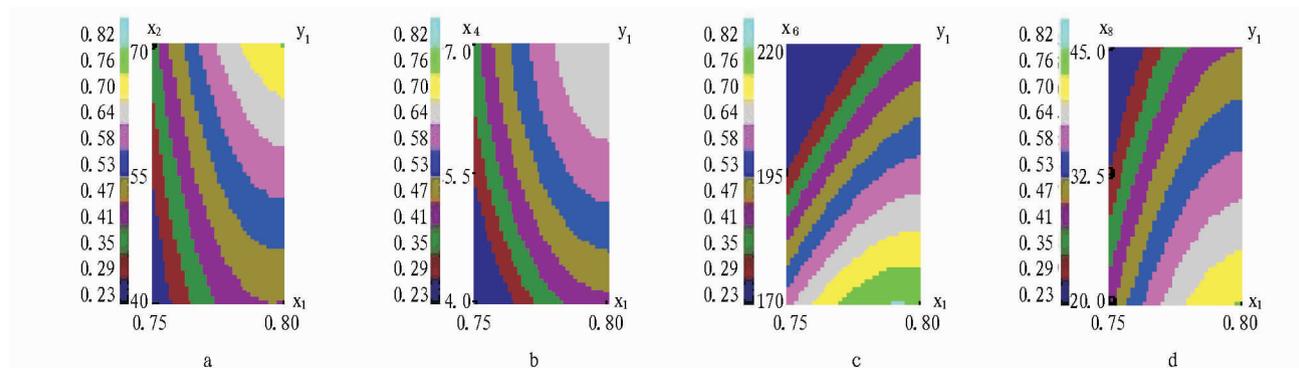


图6 密度与其他因素(a. 芯层比例;b. 芯层施胶量;c. 热压温度;d. 热压时间)对复合板内结合强度的交互影响等值图

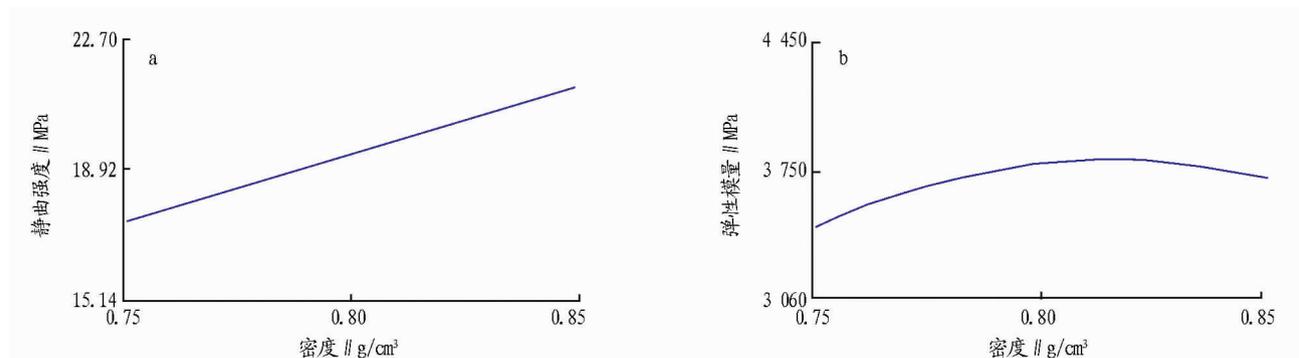


图7 密度对复合板静曲强度(a)和弹性模量(b)的影响

区间与其他因素对复合板静曲强度和弹性模量的交互效应等值图进行分析。通过对密度与热压温度(图8a和图9a)、热压压力(图8b和图9b)、热压时间(图8c和图9c)的交互效应等值图可知,在0.75~0.80 g/cm³的密度区间,增加热压压力有利于提高复合板的静曲强度,但同时会增加能耗成

本;而降低热压温度和热压时间可以在提高复合板静曲强度和弹性模量的同时,减少生产成本与生产周期,有利于复合板的市场化生产。当热压温度≤185℃、热压时间≤28 s/mm时,0.75 g/cm³的密度值足以使复合板具备较高的强度。

3 结论

该文主要探讨了密度对稻壳-木质剩余物包装箱用复合板性能的影响,通过试验研究可以得到如下结论。

(1)复合板2 h吸水厚度膨胀率随密度的增大而减小,即增加密度有利于改善复合板的尺寸稳定性。密度在0.80~0.85 g/cm³时,可满足2 h吸水厚度膨胀率≤8%的国家标

准要求。当芯层比例为58%~62%、表层施胶量≥12%、热压温度<190℃、热压压力≥3.1 MPa时,可优先选择0.78 g/cm³的密度值。

(2)复合板内结合强度随密度的增大先增大后减小。当密度在0.77~0.83 g/cm³内取值时,复合板的内结合强度≥

0.50 MPa 的试验设计值。当芯层比例在 60% ~ 70% 取值、芯层施胶量 6%、热压温度 < 190 °C、热压时间 < 30 s/mm 时，

可优先选择 0.77 g/cm³ 的密度值。

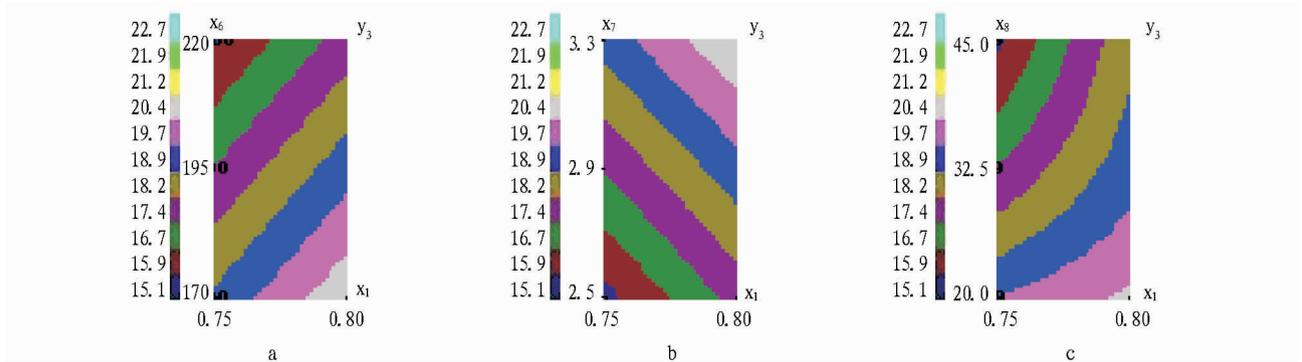


图 8 密度与其他因素 (a. 热压温度; b. 热压压力; c. 热压时间) 对复合板静曲强度的交互影响等值图

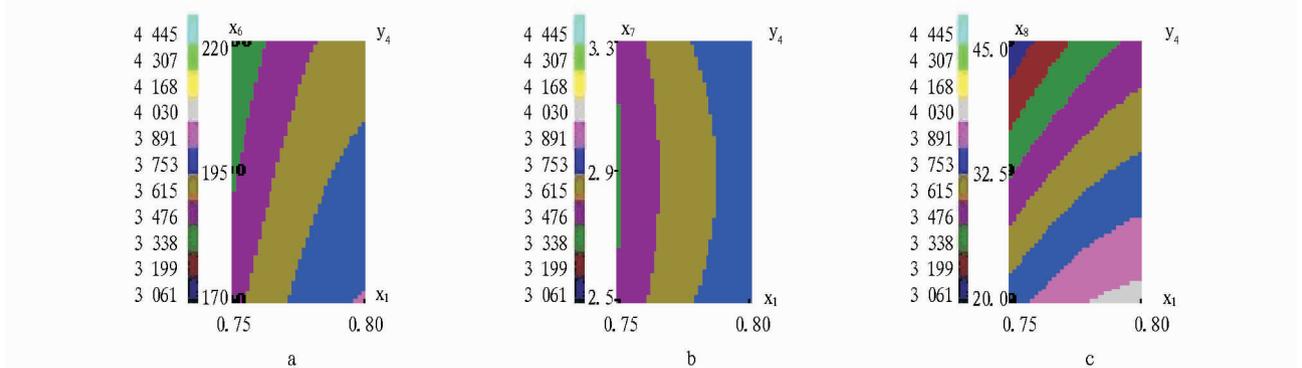


图 9 密度与其他因素 (a. 热压温度; b. 热压压力; c. 热压时间) 对复合板弹性模量的交互影响等值图

(3) 复合板的静曲强度和弹性模量整体表现为随密度的增加而显著增加,即增加复合板密度有利于提高复合板的静曲强度和弹性模量。当密度 ≥ 0.77 g/cm³ 时,可以确保复合板的静曲强度 > 18 MPa、弹性模量 > 3 000 MPa 的试验设计值。当热压温度 ≤ 185 °C、热压时间 ≤ 28 s/mm 时,可优先选择 0.75 g/cm³ 的密度值。

(4) 对于稻壳-木质剩余物包装箱用复合板性能的改善可通过优化其他工艺以获得较低的复合板密度值:0.75 ~ 0.78 g/cm³。为降低复合板的生产成本、提高复合板的市场竞争力,可根据复合板的具体使用环境与其对尺寸稳定性和力学性能的要求,优先选择较低密度。

参考文献

[1] 刘继延,刘学清. 稻壳二氧化硅的表面改性及结构分析[J]. 化学生物工程,2010,27(12):15-17.

[2] NDAZI B S, KARLSSON S, TESHA J V, et al. Chemical and physical modifications of rice husks for use as composite panels[J]. Composites, 2007, 38:925-935.

[3] CIANNAMEA E M, STEFANI P M, RUSECKAITE R A. Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives[J]. Bioresource Technology, 2010, 101:818-825.

[4] JIN HEON KWON, NADIR AYRILMIS, TAE HYUNG HAN. Enhancement of flexural properties and dimensional stability of rice husk particleboard using wood strands in face layers[J]. Composites, 2013, 44:728-732.

[5] NADIR AYRILMIS, JIN HEON KWON, TAE HYUNG HAN. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk[J]. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2012, 38:79-83.

[6] 祁桂兰, 肖生苓. 利用木质剩余物和向日葵秸秆制作外包装材料的研 究[J]. 森林工程, 2011, 27(4):3-6.

[7] 沈隽, 刘玉, 朱晓冬. 热压工艺对刨花板甲醛及其他有机挥发物释放量的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(10):130-133.

[8] 王敬贤, 沈隽. 热压工艺和环境参数对刨花板 TVOC 和甲醛释放量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(7):71-73.

[9] 陈宏刚, 孙刚, 张树东. 人造板中甲醛的危害及降醛措施[J]. 木材工业, 2006, 20(5):36-38.

[10] 王培元. 关于刨花板质量的几个基本问题[J]. 林业科学, 1986, 22(1):71-77.

[11] 顾继友, 高振华, 谭海彦. 制造工艺因素对刨花板 2 h 吸水厚度膨胀率的影响[J]. 林业科学, 2003, 39(1):132-139.

(上接第 3938 页)

[5] 榆林市“十二五”城镇化发展规划[Z]. 榆林市发展改革委员会, 2010.

[6] 榆林市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[Z]. 榆林市发展改革委员会, 2011.