

竹柳材基本物理化学性能及其刨花板生产工艺的优化研究

吴向文¹,王喜明^{1*},赵智强^{1,2},刘建霞¹

(1. 内蒙古农业大学 材料科学与艺术设计学院,内蒙古 呼和浩特 010018;2. 内蒙古东达蒙古王集团,内蒙古 鄂尔多斯 014300)

摘要:为了实现竹柳材的工业化利用,开发竹柳材刨花板。测定了3年生竹柳材基本物理化学性能;研究了竹柳材刨花的长度、宽度和厚度值的分布规律,探讨热压压力、温度、时间以及施胶量和防水剂添加量对刨花板质量的影响。结果表明:3年生竹柳气干密度为 $0.463\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,体积干缩率为12.90%,pH为3.75,纤维素含量为43.86%,综纤维素为72.31%,酸不溶木素为18.68%,试验所用竹柳刨花长度、宽度和厚度值大致符合正态分布;通过正交试验得出竹柳刨花板的最优生产工艺条件为热压压力3.0 MPa、热压温度175℃、热压时间440 s、施胶量10%和防水剂添加量1.0%;最优工艺下的板材性能为:弹性模量2 950 MPa、静曲强度16.1 MPa、内结合强度1.02 MPa和2 h吸水厚度膨胀率6.5%。均达到了GB/T4897.3-2003国家标准要求。

关键词:竹柳材;刨花板;热压工艺;施胶量;物理力学性能

中图分类号:S781.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)04-0259-06

Basic Physicochemical Properties and the Optimization of Particleboard Production Process of *Salix discolor* Timber

WU Xiang-wen¹, WANG Xi-ming^{1*}, ZHAO Zhi-qiang^{1,2}, LIU Jian-xia¹

(1. College of Material Sciencen and Art Design, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. Inner Mongolia Dongda Mongolian King Group Co., Ltd. Ordos, Inner Mongolia 014300, China)

Abstract: In order to achieve industrial utilization of *Salix discolor* timber and to develop particleboard, the physicochemical properties of 3-year-old *S. discolor* were determined. The distribution patterns of the values of particle length, width and thickness were measured. Influences of the production factors on the quality of the particleboard were discussed, such as the pressure of thermal pressing, temperature, time, resin content and amount of water-proof agent. The results showed that the density of the air-dried timber of 3-year-old *S. discolor* trees was $0.463\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, the volume shrinkage: 12.9%, pH: 3.75, cellulose content: 43.86%, hemicellulose: 72.31%, acid insoluble lignin: 18.68%. The particle length, width and thickness values roughly presented normal distribution. Through orthogonal experiment, the optimum production conditions of *S. discolor* particleboard were pressing pressure: 3.0 MPa, pressing temperature: 175℃, pressing time: 440 s, resin content: 10%, and amount of water-proof agent: 1%. Under the optimum process conditions, the performance parameters of the particleboard were the modulus of elasticity: 2 950 MPa, the modulus of elastic bending strength value: 16.1 MPa, internal bonding value: 1.02 MPa and the thickness swelling rate after 2 h water soaking: 6.5%, which were in accordance with the national standard.

Key words: *Salix discolor*; particleboard; hot pressing process; glue consumption; physical and mechanical property

改革开放以来,我国人造板工业发展迅速,生产原料短缺已制约了人造板工业的发展。在此背景

收稿日期:2015-12-02 修回日期:2016-01-18

基金项目:内蒙古创新引导项目(20140609)。

作者简介:吴向文,女,硕士研究生,研究方向:木材科学。E-mail:wxwwtx@163.com

* 通信作者:王喜明,男,教授,研究方向:木材科学与技术。E-mail:w_ximing@263.net

下,内蒙古对沙生灌木人造板生产技术进行了研究并推广应用到生产实践中^[1]。但沙生灌木存在树皮较多、处理较难等问题。

竹柳为杨柳科柳属植物、乔木,生长速度快,生长潜力大,其高度可达 20 m 左右。竹柳具有很强的环境适应性,抗寒、抗旱、耐盐碱,可在盐碱地、沙地上种植,成活率高^[2]。因此,竹柳被广泛引种到内蒙古西部沙区,其中鄂尔多斯地区种植面积约 14 hm²,目前正进入抚育采伐期。此外,竹柳还具有高密度种植特性,具有高产基础和广泛推广前景,可大量用于生物质能源林基地建设。然而,作为一种新型速生材,竹柳材的性能及其在木材工业方面的应用还没有进行深入研究。因此,本研究以鄂尔多斯地区抚育间伐的竹柳材为原料,对其基本物理化学性能及以其为原料制备竹柳刨花板的工艺进行了研究,对竹柳材的密度等物理性能以及化学成分进行了测定,分析了竹柳刨花形态,并通过正交试验对竹柳刨花板的生产工艺(包括热压压力、热压温度、热压时间、施胶量以及防水剂添加量等)进行了优化,以期竹柳材在木材工业的应用推广提供必要的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料及设备

1.1.1 试验材料 试验用竹柳材及竹柳刨花来自内蒙古鄂尔多斯东达林沙刨花板厂(39°36′29″N、109°46′52″E);胶黏剂:脲醛树脂胶,固含量为 63%,固化时间 130 s,pH 值为 7.4,水混合性 1.44,粘度 17.06 s;防水剂:石蜡乳液;苯;乙醇;亚氯酸钠;冰乙酸;硝酸;丙酮;硫酸。

1.1.2 试验仪器及设备 削片机 BX218D,镇江中福马机械有限公司;刨片机 MRZ1400,德国 MAIER 公司;筛子 BF14100,镇江中福马机械有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,上海齐欣科学仪器有限公司;水

浴恒温振荡器,江苏金坛市江南仪器厂;分析天平,北京赛多利斯天平有限公司;植物细胞粉碎机,北京中兴伟业仪器有限公司;游标卡尺,广州百威狮工有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 竹柳材基本物理化学性能测定 密度按 GB/T1993-2009《木材密度测定方法》测定;干缩率按 GB/T1932-2009《木材干缩性测定方法》测定;pH 值按照 GB/T6043-2009《木材 pH 值测定方法》;纤维素含量按照硝酸-乙醇方法测定;综纤维素含量按 GB/T2677.10-1995《造纸原料综纤维素含量的测定》;酸不溶木素按 GB/T2677.8-1994《造纸原料酸不溶木素含量的测定》。

1.2.2 竹柳刨花形态测定 随机取适量刨花,将刨花分散放置扫描仪上;设置标尺;用扫描仪扫描刨花,生成图像;用软件 Video Test- Structure 测量刨花的长、宽尺寸(>1 000 个);用千分尺测量刨花的厚度(>200 个)。

1.2.3 竹柳刨花板生产工艺

1.2.3.1 工艺流程 将竹柳刨花置于干燥箱内干燥至终含水率为 3%~5%;根据试验设计方案称取刨花、胶黏剂、添加剂,然后将刨花移入拌胶机中进行拌胶;采用手工铺装方式进行板坯铺装,经预压、热压成规格为 450 mm×450 mm×11 mm(长×宽×厚)的刨花板^[3]。

1.2.3.2 试验设计方案 研究防水剂添加量、施胶量、热压时间、热压温度、热压压力对竹柳刨花板物理力学性能的影响,根据因素水平选择正交表 L₁₆(4⁵)进行试验,如表 1 所示。

1.2.4 竹柳刨花板性能测定 板材的物理力学性能参照 GB/T17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》进行测试,包括弹性模量(MOE)、静曲强度(MOR)、内结合强度(IB)、密度和 2 h 吸水厚度膨胀率(TS)。

表 1 正交试验设计方案
Table 1 Orthogonal test scheme

因素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
防水剂/%	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
施胶量/%	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12
热压时间/s	330	385	440	495	385	330	495	440	440	495	330	385	495	440	385	330
热压温度/℃	165	170	175	180	175	180	165	170	180	175	170	165	170	165	180	175
热压压力/MPa	2.5	3.0	3.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	3.0	2.5	4.0	3.5	3.5	4.0	2.5	3.0

2 结果与分析

2.1 竹柳的基本物理化学性能

测得 3 年生竹柳气干密度为 0.463 g·cm⁻³,体积干缩率为 12.90%,pH 为 3.75,纤维素含量为

43.86%,综纤维素为 72.31%,酸不溶木素为 18.68%。

2.2 竹柳刨花形态

试验共测量了 1 344 个刨花的长度,1 042 个刨花的宽度和 252 个刨花的厚度,测量统计值如表 1 所示,不同形态刨花的频率分布直方图如图 1 所示。

由图1和表3可知,竹柳刨花的长度、宽度和厚度值集中范围分别为2~12、0.4~2.4 mm和0.4~1.6 mm,基本符合正态分布。由表1可知,竹柳刨花长度、宽度和厚度均值分别为 6.29 ± 3.96 、 1.44 ± 0.88 、 0.94 ± 0.35 mm。

表2 竹柳基本物理化学性能

Table 2 The basic physical and chemical properties of the *S. discolor*

	气干密度/(g·cm ⁻³)	体积干缩率/%	pH 值	纤维素/%	综纤维素/%	酸不溶木素/%
3年生竹柳	0.465	12.90	3.75	43.86	72.31	18.68

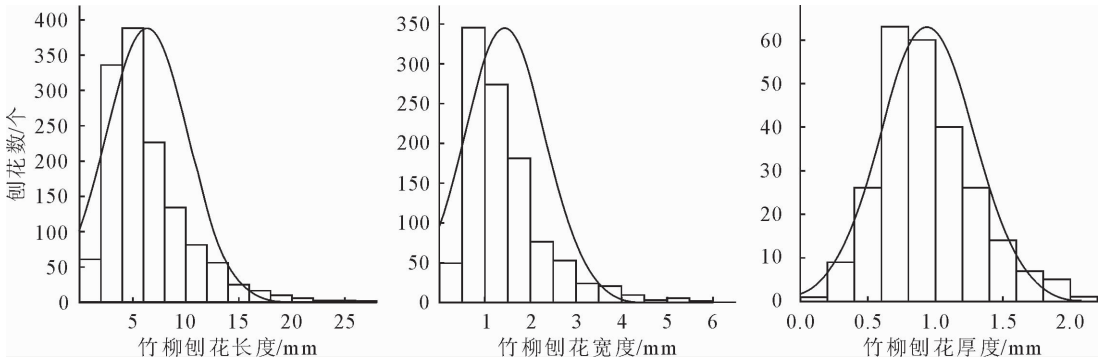


图1 竹柳材刨花长度、宽度和厚度正态分布

Fig. 1 Normal distributions of particle length,width and thickness

表3 竹柳刨花形态测定值

Table 3 Determination of the particle form

	长度值/mm	宽度值/mm	厚度值/mm
检测数量/个	1 344	1 042	252
均值/mm	6.29	1.44	0.94
标准差	3.96	0.88	0.35

2.3 竹柳刨花板生产工艺优化

通过对竹柳基本物理化学性能及竹柳刨花形态的分析可知,竹柳适用于刨花板的工业生产。因此,本试验采用正交试验法分析了热压压力、热压温度、热压时间、施胶量和防水剂添加量对竹柳刨花板物理力学性能的影响,以确定竹柳刨花板的最优生产工艺。

2.3.1 竹柳刨花板生产工艺条件及板材性能 试验采用 $L_{16}(4^5)$ 正交试验法进行,分析了热压压力、

热压温度、热压时间、施胶量和防水剂添加量等生产工艺条件对竹柳刨花板性能的影响,各生产工艺条件及相应工艺条件下竹柳刨花板板材的物理力学性能如表4所示。

2.3.2 正交试验极差与方差分析 根据表2的试验结果对本次正交试验的极差和方差分析结果如表5所示。

由表5可知,影响板材弹性模量从主到次的因素排列为热压压力、施胶量、热压温度、热压时间和防水剂,热压压力和施胶量达到了极显著性水平,热压温度和热压时间达到了显著性水平;影响板材静曲强度从主到次的因素排列为施胶量、热压压力、防水剂、热压时间和热压温度,施胶量达到了极显著性水平,热压压力达到了显著性水平;影响板材内结合强度从主到次的因素排列为施胶量、热压压力、防水

表4 竹柳刨花板物理力学性能

Table 4 Physical and mechanical properties of the particle board

试验序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
弹性模量/MPa	1 130	1 930	2 530	2 400	2 170	1 970	2 050	2 170	1 410	1 330	2 860	2 450	1 580	2 430	1 510	2 510
标准偏差	104	140	140	169	179	22	124	167	132	76	83	43	146	158	175	157
静曲强度/MPa	8.9	16.7	20.6	20.4	13.1	14.9	16.1	18.4	9.9	9.1	15.3	20	9.7	13.6	12.4	17.7
标准偏差	1.1	1.2	1.1	1.0	1.7	1.0	1.6	1.5	1.2	0.8	2.7	1.2	0.7	0.6	1.5	1.9
内结合强度/MPa	0.47	0.46	0.95	1.02	0.60	0.73	0.77	0.66	0.61	0.58	0.51	0.76	0.33	0.82	0.59	1.03
标准偏差	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.01	0.04	0.02	0.06	0.04	0.06	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02
2 h吸水厚度膨胀率/%	30.1	14.1	10.2	23.1	8.3	12.6	7.5	6.8	8.2	7.8	6.9	7.0	8.4	7.2	6.9	6.8
标准偏差	0.15	0.15	0.47	0.68	0.70	0.14	1.24	0.84	1.07	0.24	1.16	0.33	0.29	1.07	1.00	1.14
密度/(g·cm ⁻³)	0.65	0.65	0.68	0.74	0.74	0.67	0.68	0.70	0.63	0.65	0.75	0.86	0.67	0.76	0.70	0.86
标准偏差	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03

表 5 正交试验结果极差与方差分析

Table 5 Range and variance analysis of orthogonal test results

	弹性模量/MPa					静曲强度/MPa					内结合强度/MPa					2 h 吸水厚度膨胀率/%				
	k1	k2	k3	k4	R 显著性	k1	k2	k3	k4	R 显著性	k1	k2	k3	k4	R 显著性	k1	k2	k3	k4	R 显著性
热压压力/MPa	1 535	1 975	2 132	2 465	930**	12.2	15.1	16.3	15.6	4.1*	0.57	0.71	0.69	0.74	0.16*	12.9	9.2	9.6	11.4	3.8
热压温度/℃	2 015	2 135	2 135	1 822	313*	14.7	15.0	15.1	14.4	0.73	0.71	0.49	0.79	0.73	0.30*	13.0	9.1	8.3	12.7	4.7
热压时间/s	2 118	2 015	2 135	1 840	295*	14.2	15.6	15.6	13.8	1.8	0.69	0.60	0.76	0.68	0.16*	14.1	9.1	8.1	11.7	6.0*
施胶量/%	1 573	1 915	2 238	2 382	810**	10.4	13.6	16.1	19.1	8.7**	0.50	0.65	0.71	0.87	0.37*	13.8	10.4	7.9	10.9	5.9*
防水剂/%	1 998	2 090	2 013	2 008	93	16.7	15.6	13.6	13.4	3.3*	0.72	0.69	0.62	0.69	0.11	19.4	8.8	7.5	7.3	12.1*

注:k_i表示某因素的*i*水平对板材性能的平均影响程度;R表示某因素不同水平之间的极差,反映了该因素对板材性能影响大小;*表示达到0.05显著性水平;
**表示达到0.01显著性水平;密度进行了方差分析,均未达到显著性水平。

剂、热压温度和热压时间;其中施胶量达到了显著性水平;影响板材2 h吸水厚度膨胀率从主到次的因素排列为防水剂、热压时间、施胶量、热压温度和热压压力,防水剂添加量达到了显著性水平。

利用SPSS软件对正交试验进行多重比较分析可知。在5个因素中,4个水平内进行比较可知,弹性模量:除3.0 MPa与4.0 MPa、10%与12%之间差异无统计学意义外,其余各组之间差异均有统计学意义,170℃和175℃均与180℃差异有统计学意义,330、385 s和440 s均与495 s差异有统计学意义;静曲强度:3.0、3.5 MPa和4.0 MPa与2.5 MPa差异有统计学意义,330、385 s和440 s均与495 s差异有统计学意义,6%、8%、10%和12%之间差异有统计学意义,1.0%和1.5%与0%和0.5%之间差异有统计学意义;内结合强度:3.0、3.5 MPa和4.0 MPa与2.5 MPa差异有统计学意义,除165℃与180℃、330 s与495 s之间差异无统计学意义外,其余各组之间差异均有统计学意义,6%、8%、10%和12%之间差异有统计学意义,0%、0.5%和1.5%与1.0%之间差异有统计学意义;2 h吸水厚度膨胀率:3.0 MPa和3.5 MPa与2.5 MPa差异有统计学意义,170℃和175℃与165℃和180℃之间差异有统计学意义。除380 s与445 s、6%与8%、1.0%与1.5%之间差异无统计学意义外,其余各组之间差异均有统计学意义。

2.3.3 竹柳刨花板生产工艺条件对板材性能的影响

2.3.3.1 热压压力对竹柳刨花板物理力学性能的影响 由表5可知热压压力对弹性模量有极显著影响,对静曲强度和内结合强度有显著影响。由图2可知,随着热压压力的增大,竹柳刨花板的弹性模量、抗弯强度和内结合强度呈现增加趋势。但热压压力达到3.0 MPa以上时,弹性模量、静曲强度和内结合强度增加趋于缓慢,因此将热压压力的较优工艺条件选为3.0 MPa。

2.3.3.2 热压温度对竹柳刨花板物理力学性能的影响

影响 由表5可知热压温度对弹性模量和内结合强度有显著影响,由图3可知,随着热压温度的升高,竹柳刨花板的弹性模量有先增加再减小的趋势,而内结合强度呈减小增大再减小趋势。热压温度的较优工艺条件选为175℃。

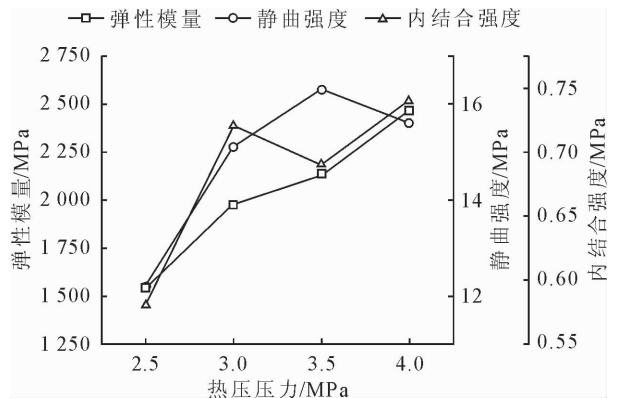


图2 不同热压压力竹柳刨花板物理力学性能

Fig. 2 Physical and mechanical properties of the particle board with different pressing pressures

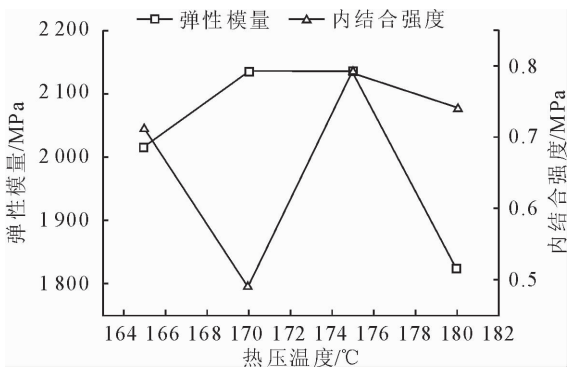


图3 不同热压温度竹柳刨花板物理力学性能

Fig. 3 Physical and mechanical properties of the particle board with different pressing temperatures

2.3.3.3 热压时间对竹柳刨花板物理力学性能的影响 由表5可知热压时间对弹性模量、内结合强度和2 h吸水厚度膨胀率有显著影响。随着热压时间的增加,竹柳刨花板的弹性模量和内结合强度先增加再减小,2 h吸水厚度膨胀率先减小再增大,随

着热压时间在一定范围内的增加,板材弹性模量、内结合强度和 2 h 吸水厚度膨胀率得到了改善。而当热压时间>440 s 时,板材表面易形成硬壳,不利于压力的传递,并且脲醛树脂胶过分固化也会导致板材变脆,从而使板材弹性模量减小。因此将热压时间的较优工艺条件选为 440 s(图 4)。

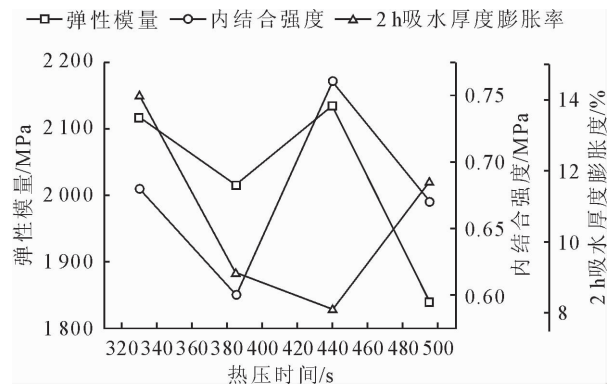


图 4 不同热压时间竹柳刨花板物理力学性能

Fig. 4 Physical and mechanical properties of the particleboard with different pressing time

2.3.3.4 施胶量对竹柳刨花板物理力学性能的影响 由表 5 可知施胶量对弹性模量和静曲强度有极显著影响,对内结合强度和 2 h 吸水厚度膨胀率有显著影响,由图 5 可知随着施胶量的增加,竹柳刨花板的弹性模量(MOE)、静曲强度(MOR)、2 h 吸水厚度膨胀率和内结合强度(IB)均得到明显改善。当施胶量从 6%增加到 12%时,竹柳刨花板的弹性模量(MOE)从 1 570 MPa 增加到了 2 380 MPa,弹性模量增加了 52%;静曲强度由 10.4 MPa 提高到了 19.1 MPa,提高了 84%;内结合强度(IB)由 0.44 提高到了 0.87,提高了 98%。综合考虑选择施胶量为 10%作为最优工艺。

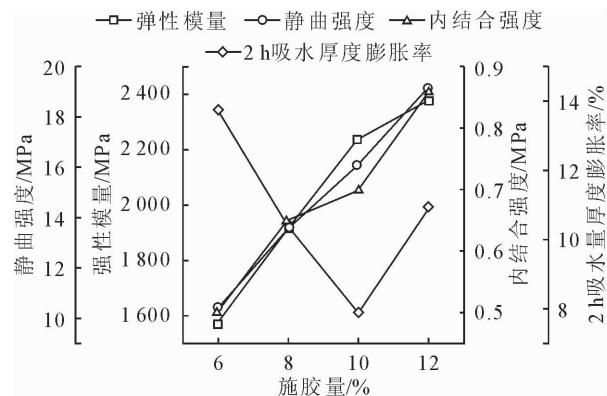


图 5 不同施胶量竹柳刨花板物理力学性能

Fig. 5 Physical and mechanical properties of the particleboard wiht different glue consumption

2.3.3.5 防水剂添加量对刨花板性能的影响 由表 5 可知防水剂添加量对 2 h 吸水厚度膨胀率和静曲强

度有显著影响。由图 6 可知,随着防水剂添加量的增加,竹柳刨花板静曲强度有下降趋势,防水剂添加量从 0%增加到 1.0% 时,竹柳刨花板的 2 h 吸水厚度膨胀率明显下降。但防水剂添加量从 1.0%增加到 1.5%时,竹柳刨花板的 2 h 吸水厚度膨胀下降较少,因此将防水剂添加量的较优工艺条件选为 1.0%。

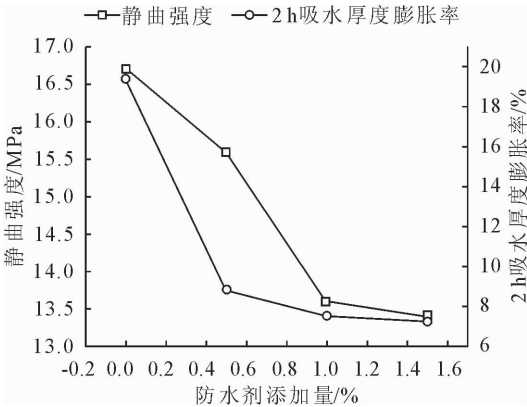


图 6 不同防水剂添加量竹柳刨花板物理力学性能

Fig. 6 Physical and mechanical properties of the particleboard with different water-proof additiou amounts

2.3.4 竹柳刨花板最优生产工艺 综合以上分析可知,竹柳刨花板的最优生产工艺条件为:热压压力 3.0 MPa、热压温度 175 ℃、热压时间 440 s、施胶量 10%和防水剂添加量 1.0%。

通过最优工艺条件压制出来的竹柳刨花板的各项物理力学性能为:MOE 2 950 MPa、MOR 16.1 MPa、IB 1.02 MPa 和 2 h 吸水厚度膨胀率 6.5%。

3 结论与讨论

王桂岩^[4]等测得成材杨木气干密度 0.350~0.400 g·cm⁻³,体积干缩率 8.5%~12.0%,pH 6.50,纤维素含量 53.22%,综纤维素含量 73.10%,酸不溶木素 24.42%;高志悦^[5]测得成材沙柳气干密度 0.680 g·cm⁻³,体积干缩率 17.86%,pH 5.83,纤维素含量 54.59%,综纤维素含量 78.96%,酸不溶木素 18.20%。通过将 3 年生竹柳基本物理化学性能与成材杨木、沙柳进行对比可以发现:3 年生竹柳除 pH 低于杨木和沙柳外,其他基本物理化学性能与成材杨木和沙柳相差不明显。目前,杨木和沙柳已广泛应用于刨花板的制造,因此通过生产性试验研究来判断竹柳这一速生材是否可应用于刨花板生产。

由周定国^[3]、雷亚芳^[6]等研究可知,本研究所使用的竹柳刨花符合工厂刨花尺寸的要求,通过对竹柳刨花的测量,可见使用现有刨削设备完全可以实现竹柳刨花的工业化生产。

热压压力对竹柳刨花板物理力学性能有显著影

响,可能是由于随着热压压力的增大,竹柳刨花逐渐被压缩,使得刨花之间胶接紧密^[7-8]。热压温度对板材物理力学性能的影响是由于随着热压温度的提高脲醛树脂胶能充分的固化,从而提高了竹柳刨花板的弹性模量^[9-10]。当温度<175℃时,随着热压温度的升高,竹柳刨花逐渐被软化,有利于刨花之间的结合,也降低了板材的密度^[9-10]。当温度>175℃时,随热压温度的升高,脲醛树脂胶可能发生过分固化,降解或老化、脆化等^[11-12],使得力学性能有所降低。热压时间大小影响了竹柳刨花的软化程度及脲醛树脂胶的固化程度,随着热压时间的增加,压力的传递和热量的传导逐渐充分^[13],使得刨花之间胶合紧密,因而影响了弹性模量、内结合强度和2h吸水厚度膨胀率。

随着施胶量的增加,刨花之间的胶接点^[14]也有所增加,使得板材弹性模量和静曲强度增加,2h吸水厚度膨胀率减小,同时也使刨花板的内结合强度明显提高。刨花板的吸水厚度膨胀率随着施胶量的增加而减小,可能是由于胶黏剂使刨花之间的空隙被阻塞,水分传递的通道被阻断,与程瑞香^[13]研究一致,但施胶量的多少还要考虑刨花板的环保性能和成本^[15]。由黄平平^[16]、姜妍^[17]等研究可知防水剂添加量过多时,降低竹柳刨花板的胶合强度,从而使吸水厚度膨胀率变化不明显,与本研究的结果一致。

正交试验所得的“最优工艺”为:热压压力3.0MPa、热压温度175℃、热压时间440s、施胶量10%和防水剂添加量1.0%。最优工艺下的板材性能为:弹性模量2950MPa、静曲强度16.1MPa、内结合强度1.02MPa和2h吸水厚度膨胀率6.5%。

参考文献:

[1] 王喜明. 沙生灌木人造板生产技术产业化现状与发展[J]. 林产工业,2012,39(1):53-55.

[2] 饶英. 竹柳的价值与用途和发展竹柳的意义[J]. 中国农业信息,2014(17):124.

[3] 周定国,赵广杰. 人造板工艺学[M]. 北京:中国林业出版社,2011.

[4] 王桂岩,王彦,李善文,等. 13种杨树木材物理力学性质的研究[J]. 山东林业科技,2001(2):1-11.

[5] 高志悦. 沙柳的材性对刨花板生产工艺的影响[J]. 林产工业,1997(5):17-20.

GAO Z Y. Effect of character of *Salix mongolia* on particle-board production technology[J]. China Forest Products Industry,1997(5):17-20. (in Chinese)

[6] 雷亚芳,常建民,杜朝刚. 刨花与刨花板性能关系的研究现状[J]. 西北林学院学报,2005,20(3):169-172,192.

LEI Y F,CHANG J M,DU C G. Current research situation of relationship between particle and properties of particleboard[J]. Journal of Northwest Forestry University,2005,20(3):169-172,192. (in Chinese)

[7] 张晓春. 热压压力及板材密度对竹木复合层积材顺纹抗压强度的影响[J]. 竹子研究汇刊,2012,31(3):23-27.

ZHANG X C. Influence of hot-pressing press and board density on compressive strength of bamboo-wood composite laminated veneer lumber[J]. Journal of Bamboo Research,2012,31(3):23-27. (in Chinese)

[8] 黄仁忠. 热压压力对B/Al复合材料组织结构及力学性能的影响[J]. 宇航材料工艺,2004,34(3):51-55.

HUANG R Z. Effect of pressure during hot-pressing on micro-structure and mechanical properties of B/Al composite[J]. Aero-space Materials & Technology,2004,34(3):51-55. (in Chinese)

[9] 喻亮. 热压温度对C-SiC-B₄C复合材料性能的影响[J]. 材料研究学报,2008,22(1):107-112.

YU L. Effect of hot pressing temperature on the microstructure and properties of C-SiC-B₄C composite[J]. Chinese Journal of Materials Research,2008,22(1):107-112. (in Chinese)

[10] 郝世明. 热压温度对30%SiC_p/Al复合材料组织与力学性能的影响[J]. 粉末冶金材料科学与工程,2013(5):655-661.

HAO S M. Effect of vacuum hot pressing temperature on microstructure and mechanical properties of 30% SiC_p/Al metal matrix composites[J]. Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy,2013(5):655-661.

[11] 金征. 刨花板生产施胶工艺研究现状与发展[J]. 木材加工机械,2009,20(4):24-25,3.

JING Z. A review of the technology of applying glue in particle board line[J]. Wood Processing Machinery,2009,20(4):24-25,3. (in Chinese)

[12] 金立维. E₁级人造板用脲醛树脂的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2005.

[13] 程瑞香. 采用固化剂缩短酚醛胶刨花板热压时间的研究[J]. 林产工业,2002,29(2):16-18.

CHENG R X. Study on reducing pressing time of PF particle-board by using curing agent[J]. China Forest Products Industry,2002,29(2):16-18. (in Chinese)

[14] 董葛平. 竹柳材性及其刨花板制造工艺研究[J]. 西南林业大学学报,2013,33(3):92-96.

DONG G P. Study on *Salix discolor* properties and its particleboard manufacturing technology[J]. Journal of Southwest Forestry University,2013,33(3):92-96. (in Chinese)

[15] 刘玉,沈隽,朱晓冬,等. 基于主成分分析的刨花板环保性能综合评价模型构建[J]. 西北林学院学报,2012,27(5):207-211,250.

LIU Y,SHEN J,ZHU X D,*et al.* Modeling of environmental property evaluation of particleboards based on principal component analysis[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(5):207-211,250. (in Chinese)

[16] 黄平平. 液体石蜡微胶囊防水剂在纤维板中的应用研究[J]. 安徽农业科学,2015(2):188-190.

[17] 姜妍. 提高沙生灌木刨花板防水性能的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2004.