

## 植物蛋白胶刨花板生产技术

李光荣, 辜忠春, 李军章, 杜业云

(湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075)

**摘要:** 利用以植物蛋白为主要组分的生物质胶, 生产在干燥状态下使用的家具及室内装修用刨花板。通过单因素试验对拌胶的方式和参数等进行研究, 通过正交试验分析热压时间、热压温度、热压压力对刨花板物理力学性能的影响。结果表明: 用卧式搅拌机在转速  $200 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  下搅拌胶 5~8 min, 热压工艺参数为: 时间 6 min, 温度  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , 压力 2.550 MPa, 制备的板材密度为  $0.74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 静曲强度为 16.8 MPa, 内结合强度为 0.49 MPa, 表面结合强度为 1.01 MPa, 2 h 吸水厚度膨胀率为 1.8%, 甲醛释放量为  $14.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 外观质量、理化性能达到了 GB/T 4897.1-2003 和 GB/T 4897.3-2003 的要求, 且甲醛释放量来自于木刨花。该种刨花板新产品的制备工艺是可行的。表 5 参 8

**关键词:** 木材科学和技术; 植物蛋白胶; 刨花板; 热压工艺参数; 甲醛释放量

**中图分类号:** S784; TS65      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2015)06-0909-05

## Plant protein based adhesive for particleboard

LI Guangrong, GU Zhongchun, LI Junzhang, DU Yeyun

(Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, Hubei, China)

**Abstract:** To prepare a plant protein-based, biomass adhesive particleboard for interior fixtures (including furniture) to be used in dry conditions. Through the single factor test, the way and the parameters of the adhesive stirred were studied, and the influence of the hot press time, press temperature and pressure on the physical and mechanical properties of the particleboard was studied by orthogonal test. Results indicated that the horizontal mixer design was used to stir the adhesive at  $200 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  for 5-8 min, hot process parameters: 6 min press time,  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  temperature, and 2.550 MPa pressure. Appearance quality and properties of particleboard met the requirements for GB/T 4897.1-2003 and GB/T 4897.3-2003 standards. Properties of the particleboard: density  $0.74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , static bending intensity 16.8 MPa, internal bond strength 0.49 MPa, surface bonding strength 1.01 MPa, 2 h absorbing water thickness expansion rate 1.8%, free formaldehyde emission  $14.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Additionally, the free formaldehyde emission of the particleboard contained in wood shavings. Thus, it would be feasible to prepare this new particleboard using this technology. [Ch, 5 tab. 8 ref.]

**Key words:** wood science and technology; plant protein based adhesive; particleboard; hot process parameters; free formaldehyde emission

刨花板作为人造板三大板材之一, 主要应用于室内装饰装修、家具生产、饰面人造板生产等领域。目前, 刨花板生产所使用的胶黏剂主要是含有游离甲醛的脲醛树脂胶。游离甲醛释放是一个缓慢而长期的过程。随着人们对生活品质要求的提高, 对室内空气质量重视程度的增加, 人们对脲醛胶刨花板在室内装修中的应用颇为忌惮; 另外, 脲醛树脂胶和其他两大类人造板胶黏剂(酚醛树脂胶、三聚氰胺树脂胶)都是利用不可再生的化石资源作为原料。随着不可再生资源的日益消耗和人类对化石资源依赖程度的增加, 植物蛋白胶作为一种环保型、可再生的胶黏剂在 70 多年以后再次被人们提出, 应用植物蛋白

收稿日期: 2015-01-12; 修回日期: 2015-03-05

基金项目: 湖北省林业科学研究院青年基金资助项目(2014YQNJJ03)

作者简介: 李光荣, 助理研究员, 从事人造板加工技术研究。E-mail: safelgr@126.com。通信作者: 杜业云, 高级工程师, 从事林产化工研究。E-mail: duyeyun@tom.com

胶制备刨花板,以求解决脲醛树脂胶人造板游离甲醛释放的问题和三醛胶人造板石油资源日益匮乏的问题。本研究利用以植物蛋白胶为主要组分的生物质胶生产刨花板,对发展环保人造板具有重要现实意义。通过植物蛋白胶进行干燥状态下使用的家具及室内装修用刨花板研究,研究了工艺对刨花板物理力学性能的影响,制备出理化性能达到 GB/T 4897.1-2003<sup>[1]</sup>和 GB/T4897.3-2003<sup>[2]</sup>要求的刨花板。

## 1 材料及方法

### 1.1 材料

刨花:由湖北嘉聚宝森工有限责任公司提供的已干燥、分选好的刨花,刨花的木材主要是松木、柞木和杨木。粗刨花为可以通过3目筛网但不能通过12目筛网的刨花,作为芯层原料,细刨花为可以通过12目但不能通过32目筛网的刨花,作为表层原料,刨花趋于绝干状态;植物蛋白胶:固含量为35%,加入25%的水后,黏度为1 525 Pa·s,由武汉市帝源黏合剂有限公司提供;防水剂:自制石蜡乳液, $m(\text{石蜡}):m(\text{水})$ 为2:3。

### 1.2 设备

热压机(BY50×50/15),推台锯,万能力学试验机(WDW-100),恒温水浴锅(HH.S21-4),穿孔萃取仪,721分光光度计,自制卧式搅拌机1台(转速为200 r·min<sup>-1</sup>),自制钢模具(410 mm×410 mm),304不锈钢板2块(500 mm×510 mm×3 mm),手提式拌胶器等。

### 1.3 内容与方法

1.3.1 板材目标规格 板材制备的目标密度为0.72 g·cm<sup>-3</sup>,目标厚度为16 mm,板坯幅面尺寸410 mm×410 mm。表层刨花量:芯层刨花量为2:3。

1.3.2 拌胶 国内外刨花板生产中主要采用气流式、压力式和旋转式施胶,拌胶的方法有环式单轴、环式双轴和滚筒式,脲醛树脂胶、酚醛树脂胶等黏度小,流动性好的树脂胶可以用此方式施胶和拌胶<sup>[3]</sup>。本研究中所使用的植物蛋白胶黏度大,流动性差。在实验室内,笔者利用拌胶器将放置时间久的植物蛋白胶通过高速搅拌,搅匀,改善胶的流动性;再将刨花和植物蛋白胶放入搅拌机,用较高的速度搅拌,使胶黏剂均匀地分散到刨花的表面。经前期试验,板材的施胶量控制在刨花量的30%为宜,由于芯层(粗)刨花与表层(细)刨花比表面不同,芯层刨花施胶量为粗刨花量的28%,表层刨花施胶量为细刨花量的33%。为了提高板材的防水性能,通过预实验可知:加入刨花量的3%~6%的自制石蜡乳液均可。将称量的植物蛋白胶与石蜡乳液混合,用拌胶器高速搅拌胶混合液,使之混匀。由于在热压过程中热压板温度高,热压机闭合需要时间,导致与下加热板接触的板坯表层预固化严重。通过预试验可知,在表层的胶液中加入表层刨花量的4.0%~8.6%的水,搅拌混匀,提高表层刨花施胶后的含水率,可以带来3个方面的益处:①使得压机在闭合前通过水分蒸发,减缓板坯表层的预固化程度;②可以加快热量在板坯中传导的速度,减少热压时间<sup>[4]</sup>;③适当增加水分可以改善该植物蛋白胶的流动性,增强胶黏剂的伸展性,使刨花之间结合更紧凑,提高板材的力学性能<sup>[5]</sup>。加入水的量为表层刨花量的8.6%。将搅拌好的表层胶液与表层刨花倒入搅拌机中,在200 r·min<sup>-1</sup>的转速下搅拌6~8 min,搅匀后倒出密封备用;将搅拌好的芯层胶液与芯层刨花倒入搅拌机中,在200 r·min<sup>-1</sup>的转速下搅拌5~7 min,搅匀后倒出密封备用。

1.3.3 铺装和预压 将不锈钢模具放在不锈钢板上,称量拌胶之后的细刨花,手工均匀铺装在不锈钢模具内;将拌胶后的粗刨花均匀的铺在细刨花之上,盖上盖子预压,预压的目的是将芯层刨花压实,以免后续铺装的细刨花渗入芯层刨花中,影响板坯的结构,取出盖子;将表层刨花均匀铺在芯层刨花之上,后盖上盖子,用0.049 MPa力预压。

1.3.4 热压 将预压好的板坯四周放上厚度规,上方搁置不锈钢板,一起放于热压机热压板上,快速闭合,进入热压阶段。热压工艺参数按照正交试验 $L_9(3^4)$ 设计试验(表1),探讨热压时间、热压温度、热压压力因素对板材理化性能的影响。当板材热压时间少于6 min或压力小于2.550 MPa时,板材内部存在残余应力,板材冷却后回弹比较严重,物理力学性能达不到国家标准,而热压时间的延长和热压压力的增加可以提高刨花之间的胶结力,平衡板内残余应力。热压温度过低,胶黏剂固化不充分,热压温度过高,蛋白胶和木纤维发生降解,而影响板材的物理力学性能<sup>[6]</sup>。因此采取如表1所示的时间、温度、压力水平,每组试验平行压制3块板。热压过程中,当压力达到设定的 $p$ 后,使之保持在 $(p-0.392$

MPa)~ $p$  的范围内, 不宜一直保持在设定的压力  $p$  水平, 板材压力适当降低, 会加快水分在板坯内的移动速度, 加快热的传递, 同时, 水分也会蒸发到空气中一部分, 避免最终突然卸压, 板坯内水分全部向外移动而产生板坯“放炮”现象。

1.3.5 性能测试与评价 最终压制成的刨花板按照 GB/T 4897.1-2003 和 GB/T 4897.3-2003 的要求进行测试, 评价指标按照该标准要求执行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 最佳热压工艺参数的研究

按照 1.3 所述的方法压制的板材, 芯层石蜡乳液加入量为刨花量的 4.6%, 表层石蜡乳液加入量为刨花量的 5.8%。板材制备之后养生 3 d, 主要物理力学性能测试结果和排名如表 2 所示, 总排名为静曲强度、弹性模量、内结合强度、2 h 吸水厚度膨胀率 4 项性能排名相加得到, 由此可得综合性能最好的一组水平。由此可见, 板材的最佳热压工艺参数为热压时间 10 min, 热压温度 180 °C, 热压压力 26 MPa。该植物蛋白胶所压制的刨花板在如表 1 所设计的热压参数条件下, 只有第 1 组水平下的静曲强度没有达到 GB/T 4897.3-2003 的要求, 其他指标均达到此标准要求。

表 1 正交试验因素和水平

水平	$t/\text{min}$	$T/^\circ\text{C}$	$p/\text{MPa}$
1	6	160	2.550
2	8	170	2.844
3	10	180	3.138

表 2 植物蛋白胶刨花板物理力学性能

Table 2 Properties of plant protein adhesive particle board

编号	因素与水平			性能值(排名)				总排名
	$t/\text{min}$	$T/^\circ\text{C}$	$p/\text{MPa}$	静曲强度/MPa	弹性模量/MPa	内结合强度/MPa	2 h 吸水厚度膨胀率/%	
1	6	160	2.550	13.7(9)	2 508(9)	0.43(7)	3.0(6)	31
2	6	170	2.884	15.0(6)	2 769(8)	0.49(4)	3.2(8)	26
3	6	180	3.138	17.6(2)	3 071(2)	0.48(5)	3.6(9)	18
4	8	160	3.138	15.7(4)	2 874(6)	0.51(3)	3.1(7)	20
5	8	170	2.550	15.3(5)	2 873(7)	0.49(4)	2.4(5)	21
6	8	180	2.884	17.8(1)	2 978(4)	0.49(4)	1.7(2)	11
7	10	160	2.884	14.8(7)	2 940(5)	0.61(1)	2.2(4)	17
8	10	170	3.138	14.2(8)	3 067(3)	0.47(6)	2.0(3)	20
9	10	180	2.550	15.8(3)	3 215(1)	0.52(2)	1.5(1)	7

### 2.2 热压参数影响分析

虽然在如表 1 所设计的热压参数条件下, 板材主要物理力学性能达到了国家标准, 但热压过程中, 所设计的影响因素和水平对板材主要物理力学性能影响显著性不同。对测试结果, 通过 SPSS 分析如表 3 所示。热压时间对板材的静曲强度、弹性模量、内结合强度影响显著。热压温度对板材静曲强度、弹性模量影响高度显著。热压压力对板材的静曲强度、弹性模量、内结合强度、2 h 吸水厚度膨胀率影响不显著。热压时间、热压温度、热压压力对 2 h 吸水厚度膨胀率的影响均不显著。张亚慧等<sup>[6]</sup>研究表明: 防水剂对板材 2 h 吸水厚度膨胀率的影响显著。本试验中, 芯层石蜡乳液加入量为刨花量的 4.6%, 表层石蜡乳液加入量为刨花量的 5.8%, 所研制的刨花板, 板材的 2 h 吸水厚度膨胀率完全能够达到国家标准所规定 $\leq 8\%$ 的要求。因此, 考虑到生产成本的问题, 可以适当减少石蜡乳液的用量。

但每个热压参数对板材各物理力学的影响程度不同, 如表 4 所示。对于静曲强度和弹性模量而言, 热压温度 $>$ 热压时间 $>$ 热压压力, 对内结合强度和 2 h 吸水厚度膨胀率而言, 热压时间 $>$ 热压压力 $>$ 热压温度。

### 2.3 验证试验

考虑到板材理化性能、各因素对板材性能的影响和实际生产中的成本, 在最佳热压工艺参数的基础上, 尽可能减少热压时间, 降低热压温度, 来降低生产成本。选择热压时间为 6 min, 热压温度对板材主要物理力学性能影响高度显著; 选择热压温度为 180 °C, 热压压力对板材主要物理力学性能影响不显

表 3 物理力学性能方差分析

Table 3 Variance analysis of properties

影响因素	变量	偏差平方和	自由度	方差	F 值	显著性 P 值
热压时间	静曲强度	8.27	2	4.13	3.62	0.05 *
	弹性模量	384 338.00	2	192 169.00	5.19	0.02 *
	内结合强度	0.02	2	0.01	1.23	0.02 *
	2 h 吸水厚度膨胀率	8.35	2	4.17	4.85	0.31
热压温度	静曲强度	31.30	2	15.65	13.71	0.00 **
	弹性模量	448 128.22	2	224 064.11	6.05	0.01 **
	内结合强度	0.00	2	0.00	0.28	0.50
	2 h 吸水厚度膨胀率	1.25	2	0.63	0.73	0.76
热压压力	静曲强度	1.98	2	0.99	0.87	0.44
	弹性模量	67 366.22	2	33 683.11	0.91	0.42
	内结合强度	0.02	2	0.01	1.23	0.46
	2 h 吸水厚度膨胀率	1.37	2	0.69	0.80	0.31
随机误差	静曲强度	22.83	20	1.14	-	-
	弹性模量	740 893.56	20	37 044.68	-	-
	内结合强度	0.16	20	0.01	-	-
	2 h 吸水厚度膨胀率	17.22	20	0.86	-	-
总和	静曲强度	6 588.37	27	-	-	-
	弹性模量	232 116 401.00	27	-	-	-
	内结合强度	6.88	27	-	-	-
	2 h 吸水厚度膨胀率	198.68	27	-	-	-

说明：\* 表示  $\alpha=0.05$  水平显著，\*\* 表示  $\alpha=0.01$  水平显著。

著；选择热压压力为 2.550 MPa。通过综合分析得到最适宜的热压工艺参数：热压时间 6 min，热压温度 180 °C，热压压力 2.550 MPa。另外，考虑到生产成本，加入石蜡乳液的量可以适当降低，芯层加入的石蜡乳液的量为芯层刨花量的 3%，表层加入石蜡乳液的量为表层刨花的 4%。芯层刨花施胶量为粗刨花量的 28%，表层刨花施胶量为细刨花量的 33%。由于施胶量不变，而石蜡乳液的减少，使得板坯拌胶之后刨花含水率降低，导致板坯塑性较差，压缩困难，板材强度低。因此，在芯层胶液中加入 1.6% 芯层刨花量的水，在表层胶液中加入 1.8% 表层刨花量的水，可以保证板坯拌胶之后刨花含水率适中，板坯预压成型好，具有较好的初强度。测得的刨花板外观质量达到了 GB/T 4897.1-2003 的要求，无断裂、透裂，无胶斑、石蜡斑、油污等污染点，边角无残损，板材修边时无崩边现象，表面光滑，理化性能达到了 GB/T 4897.1-2003 的要求和 GB/T 4897.3-2003 在干燥状态下使用的家具及室内装修用刨花板要求。

表 4 物理力学性能因素极差分析

Table 4 Extremum analysis of properties

指标	水平	热压时间 <i>t</i>	热压温度 <i>T</i>	热压压力 <i>p</i>
静曲强度/MPa	I <sub>1j</sub>	46.3	44.2	44.8
	II <sub>2j</sub>	48.8	44.5	47.6
	III <sub>3j</sub>	44.8	51.2	47.5
	R <sub>j</sub>	4.0	7.0	2.8
弹性模量/MPa	I <sub>1j</sub>	8 348	8 322	8 596
	II <sub>2j</sub>	8 725	8 709	8 687
	III <sub>3j</sub>	9 222	9 264	9 012
	R <sub>j</sub>	874	942	416
内结合强度/MPa	I <sub>1j</sub>	1.40	1.55	1.44
	II <sub>2j</sub>	1.49	1.45	1.59
	III <sub>3j</sub>	1.60	1.49	1.46
	R <sub>j</sub>	0.20	0.10	0.15
2 h 吸水厚度膨胀率/%	I <sub>1j</sub>	9.8	8.3	6.9
	II <sub>2j</sub>	7.2	7.6	7.1
	III <sub>3j</sub>	5.7	6.8	8.7
	R <sub>j</sub>	4.1	1.5	1.8

说明：I<sub>1j</sub> 表示在某个试验因素下第 1 水平物理力学性能之和，以此类推；R<sub>j</sub> 表示在某个试验因素下物理力学性能的极差。

表 5 板材理化性能测试值与标准值

Table 5 Properties of particle board test value and standard value

项目	含水率/%	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	板内平均密度 偏差/%	静曲强度/ MPa	弯曲弹性模 量/MPa	内结合强 度/MPa	表面结合强 度/MPa	2h 吸水厚 度膨胀率/%	甲醛释放量/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
测试值	8.5	0.74	+2.0, -1.4	16.8	2 884	0.49	1.01	1.8	14
标准要求值	4.0~13.0	0.4~0.9	±8	≥14.0	≥1 600	≥0.35	≥0.80	≤8.0	E <sub>1</sub> 级≤90

本次实验室制备的植物蛋白胶刨花板甲醛释放量为 14 mg·kg<sup>-1</sup>。甲苯煮沸穿孔法测得不同木材的甲醛释放量为 12~33 mg·kg<sup>-1</sup>[7]，所以本试验制备的刨花板甲醛释放量来源于木材本身所释放的甲醛。庞媛等[8]研究的大豆蛋白胶麻秆刨花板制备工艺的热压时间为 25 min；张亚慧等[6]所研究的改性豆基蛋白胶杨木刨花板的制造工艺热压时间为 14 min。本研究与同类研究相比热压时间缩短了很多，节约了板材的生产成本。

### 3 结论

针对此种黏度大，流动性差的环保型植物蛋白胶，采用自制的卧式搅拌机，在 200 r·min<sup>-1</sup> 的转速下搅拌 5~12 min，可以使得胶均匀地分布在刨花表面，而不产生结团现象。芯层刨花施胶量为粗刨花量的 28%，表层刨花施胶量为细刨花量的 33%；芯层加入的石蜡乳液的量为芯层刨花量的 3%，表层加入石蜡乳液的量为表层刨花的 4%；芯层胶液中加入 1.6% 芯层刨花量的水，表层胶液中加入 1.8% 表层刨花量的水；热压工艺参数采用：热压时间 6 min，热压温度 180 ℃，热压压力 2.550 MPa，可以制备出外观质量和理化性能达到 GB/T 4897.1-2003 和 GB/T 4897.3-2003 要求的在干燥状态下使用的家具及室内装修用刨花板，用穿孔器法测定的甲醛释放量仅为 14 mg·kg<sup>-1</sup>，来自于木材本身。本研究中制备刨花板的热压时间与同类研究相比，大大缩短了热压时间，从而提高了出板率，而降低了板材的生产成本。

### 4 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，全国人造板标准化技术委员会. GB/T 4897.1-2003 刨花板 第 1 部分 对所有板型的共同要求[S]. 北京：中国标准出版社，2003.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，全国人造板标准化技术委员会. GB/T 4897.3-2003 刨花板 第 3 部分 在干燥状态下使用的家具及室内装修用板要求[S]. 北京：中国标准出版社，2003.
- [3] 金征，李光哲，张伟. 刨花板生产施胶工艺研究现状与发展[J]. 木材加工机械，2009(4)：24 - 25.  
JIN Zheng, LI Guangzhe, ZHANG Wei. A review of the technology of applying glue in particle board line [J]. *Wood Process Mach*, 2009(4): 24 - 25.
- [4] 雷亚芳. 板坯含水率对刨花板热压过程中传热的影响[J]. 木材工业，2006，20(6)：20 - 22.  
LEI Yafang. Influence of mat moisture content on heat--conduction during hot-processing [J]. *China Wood Ind*, 2006, 20(6): 20 - 22.
- [5] 方坤，吕谷来，盛奎川，等. 基于改性大豆蛋白胶黏剂的竹刨花板性能[J]. 农业工程学报，2008，24(11)：308 - 312.  
FANG Kun, LÜ Gulai, SHENG Kuichuan, et al. Properties of bamboo particleboard based on modified soy protein adhesive [J]. *Trans CSAE*, 2008, 24(11): 308 - 312.
- [6] 张亚慧，祝荣先，于文吉. 改性豆基蛋白胶杨木刨花板的制造工艺[J]. 木材工业，2010，24(3)：4 - 6.  
ZHANG Yahui, ZHU Rongxian, YU Wenji. Manufacturing technology of poplar particleboard with a modified soy-based protein adhesive [J]. *China Wood Ind*, 2010, 24(3): 4 - 6.
- [7] 梅长彤，周定国，段素英. 几种木材甲醛释放量的测定[J]. 林产工业，1988，25(2)：34 - 35  
MEI Changtong, ZHOU Dingguo. Test of formaldehyde emission of several wood species [J]. *China For Prod Ind*, 1988, 25(2): 34 - 35.
- [8] 庞媛，杨光，翟艳. 大豆蛋白胶麻秆刨花板制备工艺的研究[J]. 应用化工，2011，40(12)：2096 - 2101.  
PANG Yuan, YANG Guang, ZHAI Yan. Study on preparation of soy protein adhesive based hemp stalk particle board [J]. *Appl Chem Ind*, 2011, 40(12): 2096 - 2101.