

无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的工艺研究

陈伟, 张洋, 朱文凯, 王哲, 薛媛媛

(南京林业大学 材料科学与工程学院, 南京 210037)

摘要: **目的** 为了解决装饰纸贴面人造板的游离甲醛问题, 探究无醛装饰纸贴面胶合板的优化工艺和贴面后涂饰水性聚氨酯的表面耐磨性能。**方法** 采用无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板, 并在其表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料的方法。按照相关国标, 检测和分析不同工艺参数对无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度以及不同水性聚氨酯涂料涂饰量对耐磨性能的影响。**结果** 在实验区间内, 当无醛豆胶的单面施胶量为 200 g/m^2 , 热压温度为 $150 \text{ }^\circ\text{C}$, 热压时间为 1.5 min , 热压压力为 1 MPa 时, 无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度最高; 当无醛水性聚氨酯涂料的表面涂饰量为 190 g/m^2 时, 无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面耐磨性能最佳。**结论** 采用无醛豆胶为胶黏剂制备胶合板时, 无醛豆胶具有较好的渗透性能, 无醛水性聚氨酯涂料具有良好的表面性能。

关键词: 无醛装饰纸; 贴面; 豆胶胶合板

中图分类号: TS653.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)03-0087-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.03.012

Technology of Formaldehyde Free Decorative Paper Overlaying Faced Bean Glue Plywood

CHEN Wei, ZHANG Yang, ZHU Wen-kai, WANG Zhe, XUE Yuan-yuan

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

ABSTRACT: The work aims to solve the problem of free formaldehyde in decorative paper veneered wood-based panels and explore the process optimization of formaldehyde free decorative paper overlaying faced glue plywood and the surface wear-resisting property of applying waterborne polyurethane after facing. The decorative paper faced bean glue plywood was prepared by using formaldehyde free bean glue and formaldehyde free water-based polyurethane coating was applied to its surface. According to the relevant national standards, the effects of different process parameters on the surface bonding strength and wear resistance of formaldehyde free decorative paper faced bean plywood were tested and analyzed. In the test range, when the single-sided sizing amount of formaldehyde free bean glue was 200 g/m^2 , the hot pressing temperature was $150 \text{ }^\circ\text{C}$, the hot pressing time was 1.5 min , and the hot pressing pressure was 1 MPa , the surface bonding strength of formaldehyde free decorative paper faced bean glue plywood was the highest; when the surface finishing amount of aldehyde free waterborne polyurethane coating was 190 g/m^2 , the surface wear resistance of aldehyde free decorative paper faced bean glue plywood was the best. When formaldehyde free bean glue was used to prepare glue plywood, the formaldehyde free bean glue has good permeability and the formaldehyde free water based polyurethane

收稿日期: 2020-05-25

基金项目: 苏北科技专项 (SZ-SQ2018018); 南京林业大学大学生创新训练计划 (201910298004Y); 江苏省研究生科研与实践创新计划 (KYCX20_0868)

作者简介: 陈伟 (1995—), 男, 南京林业大学硕士生, 主攻林业工程。

通信作者: 张洋 (1956—), 男, 博士, 南京林业大学教授、博导, 主要研究方向为木质复合材料。

coating has good surface property.

KEY WORDS: formaldehyde free decorative paper; overlaying; bean glue plywood

甲醛是一种无色易溶的刺激性气体,对人体有较大伤害。近年来,甲醛的危害越来越受到重视。研究表明,室内甲醛污染主要来自装修所用甲醛基(酚醛胶、脲醛胶、三聚氰胺-甲醛胶)胶黏剂生产的人造板,其所含甲醛释放期长达3~15年之久。针对这一现象,近些年来大多研究集中在如何改性“三醛胶”减少甲醛释放,虽然可以在很大程度上减少游离甲醛释放,但却不能治本^[1]。此外,还有一部分研究采用替代胶黏剂进行人造板制造的研究,通常由于价格较高(如异氰酸酯胶黏剂)^[2]或性能不够稳定(如淀粉胶黏剂)^[3]而得不到很好的推广。经研究表明,该胶黏剂制备的胶合板等人造板可以达到脲醛胶人造板的强度和耐水要求,同时满足国际甲醛释放限制最高标准E0级(F4星)要求^[4]。

目前,国内学者以改进大豆蛋白基胶黏剂的胶合强度和耐水性为切入点,用化学、物理和生物方法对大豆蛋白的羟基/氨基的活性基团进行改性。其中,化学方法最常见,包括交联、氧化、碱降解、酰化和乳液共聚。目前,更环保的改性方法是不加甲醛进行共聚,改性后的胶黏剂还是非甲醛胶。相关研究表明,大豆胶的胶合性能优异,可直接用于人造板的粘结。改性后的大豆胶在生产过程中无需添加各种助剂,就可以使豆胶固含量较高、耐水、耐腐蚀、胶合性能好^[5]。

装饰纸是将表面印有珍贵木纹或其他图案的优质纸张经树脂浸渍、表面涂饰等工艺加工制成的一种纸质装饰材料^[6-7]。装饰纸的出现,简化了人造板表面装饰工艺,降低了加工成本及相关的设备投资,免除了涂料涂饰过程所造成的环境污染,对于保护生态环境卓有成效^[8]。浸渍树脂与涂料是生产高质量预油漆纸必不可少的原料,其中,涂料是决定被装饰人造板表面性能的关键因素。

孙甜等^[9]利用邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)树脂制备浸渍纸。该树脂质地比较坚韧,耐热、耐水,不易龟裂,耐候性较好,该树脂适用于人造板表面装饰。为了降低生产成本,减少生产风险,降低对人体健康的危害,放弃了溶液浸渍法,着力开发乳液型树脂浸渍纸的生产工艺。卢昌昌等^[10]为了解决浸渍纸释放甲醛的问题,对大豆蛋白胶用于强化地板装饰纸的压贴工艺进行了探索,找到了合理的压贴工艺流程。

普通胶合板已经广泛用于包装材料,由于其含有一定量的游离甲醛,使其应用途径受到一定影响。文中拟开发一种新型的无醛包装材料,并探究其最佳工艺条件。

1 实验

1.1 材料及仪器

主要材料:杨木单板,由江苏七巧工艺木制品股份有限公司提供,厚度为1.8 mm,含水率为12%~13%;大豆胶黏剂,由南京康芝达新材料科技有限公司提供,双组分胶黏剂,固含量(均以质量分数计)为47.64%,粘度为8643 mPa·s;水性聚氨酯涂料,由南京蓝风新材料科技有限公司提供,双组分涂料,固含量为51.62%,粘度为395 mPa·s;装饰纸,由江苏七巧工艺木制品股份有限公司提供,厚度为0.105 mm。

主要仪器:压机,实验热压机,昆山大华机械制造有限公司;万能力学实验机,CMT614,深圳新三思;磨耗仪, JM-V,天津市世博伟业化玻仪器公司;电子天平, ZX-4200,西化仪科技有限公司;远红外快速恒温干燥箱, YHG-40X458S,上海跃进医疗器械厂;接触角测量仪, JC2000C,上海中晨技术有限公司;旋转粘度计, NDJ-5S,上海邦西仪器科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计

采用无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板,并在其表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料。装饰纸贴面豆胶胶合板由3层杨木单板(规格为10 mm×10 mm)和表层1张装饰纸组成。参考相关文献^[11-12]和前期预备实验结果,分别选择不同的施胶量、热压温度、热压时间为变化因素,进行单因素实验,其中,单面豆胶施胶量分别为150, 175, 200, 225, 250 g/m²,热压温度分别为120, 130, 140, 150, 160 °C,热压时间分别为1, 1.5, 2, 2.5, 3 min。

制备工艺:单板→干燥→施胶→组坯→热压→施胶→贴面→热压→后期加工。

在贴面后,存放24 h,再进行涂料饰面工艺:装饰纸贴面豆胶胶合板表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料,分别为150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 g/m²,常温固化时间为1 h,固化后2 h,进行测试;每个施胶量在磨耗仪下测试5次,测量结果取平均值。

1.2.2 性能测试

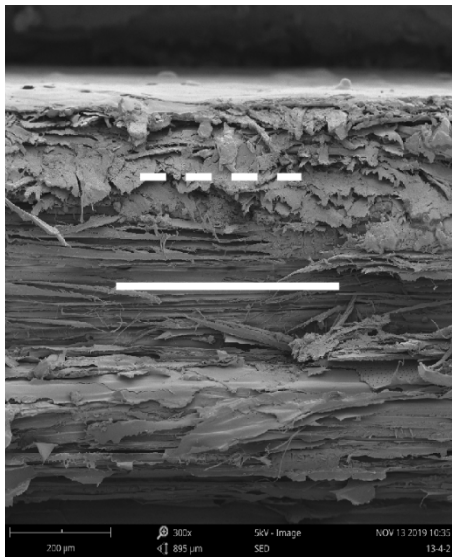
无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度按照 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能实验方法》进行测试;无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面耐磨性能按照 GB/T 15102—2006《浸渍胶膜

纸饰面人造板》进行测试。

2 结果与分析

2.1 无醛豆胶渗透性能分析

采用无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板后，对其厚度方向进行电镜观测，放大倍数为 300（见图 1）。从图 1 可以发现，大豆蛋白胶黏剂与单板表面、装饰纸表面相结合的界面，豆胶进入到木材与纸张的孔隙中。固化后大豆蛋白胶黏剂亲水性基团减少，酰胺键有所增加，即大豆蛋白胶黏剂在固化过程中发生化学反应，内部基团发生交联^[13]。该胶合板在温度为 150 °C，时间为 1 min，压力为 1 MPa 的热压工艺下制备而得到，施胶量为 200 g/m²。胶液向上渗透和向下渗透量约为施胶量的 15% 和 25%，在实验区间采用不同热压工艺时得到了同样结果。



注：虚线为装饰纸，实线为单板

图 1 无醛豆胶渗透性能的电镜观测图

Fig.1 Electron microscopic observation of the permeability of formaldehyde free soybean glue

2.2 无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度分析

2.2.1 豆胶施胶量的影响

当热压压力为 1 MPa，热压温度为 150 °C，热压时间为 1.5 min，单面豆胶施胶量为 150 ~ 250 g/m² 时，无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度变化量见图 2。随着施胶量的增加，胶合强度呈现先上升后下降的趋势；单面施胶量为 200 g/m² 时，胶合强度达到最佳，说明豆胶胶黏剂使胶合板板面与装饰纸充分粘结；施胶量从 150 ~ 200 g/m²，随着施胶量的增加，表面装饰纸与胶合板表层单板之间更容易形成连续胶层，接触更充分且分布更均匀，胶合强度增加；当

施胶量从 200 g/m² 增加到 250 g/m² 时，该过程中由于胶量的增加，会有部分胶液溢出，甚至局部出现鼓泡，影响胶合强度。

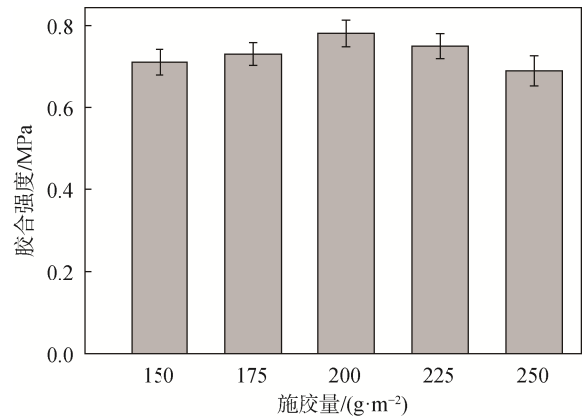


图 2 不同施胶量与无醛装饰纸贴面豆胶胶合板表面胶合强度的关系

Fig.2 Relationship between different sizes and surface bonding strength of formaldehyde free decorative paper overlaying faced bean glue plywood

由表 1 可知， $P < 0.01$ ，该结果表明施胶量对无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度影响极为显著，因此，宜选用 200 g/m² 为最佳施胶量。

表 1 不同施胶量的表面胶合强度方差分析
Tab.1 Variance analysis of surface bonding strength with different sizes

差异源	方差 (SS)	自由度 (df)	均方差 (MS)	F 值	显著性 (P)
组间	0.078	4	0.020	4.735	0.001
组内	0.495	120	0.004		
总计	0.573	124			

2.2.2 热压温度的影响

当热压压力为 1 MPa，热压时间为 1.5 min，单面施胶量为 200 g/m²，热压温度为 120 ~ 160 °C 时，无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度变化量见图 3。树脂固化速度取决于热压温度，温度过低树脂固化时间延长，过高树脂流动时间短，导致胶合表面不均匀^[14]。如图 3 所示，5 种温度下，表面胶合强度均在 0.6 MPa 以上，且随着温度的增加呈现先增后减的趋势；在 150 °C 时，胶合强度达到最大。其原因可能是在 120 ~ 150 °C，随着温度的增加，数值固化程度逐渐增加，在 150 °C 时，达到最佳；在 150 ~ 160 °C 时，温度过高，高温下具有流动渗透性较强特点的这类胶黏剂会对具有松动流化趋势的木材逐渐渗透，甚至渗透至木材较深处，致使胶层面滞留的胶液不足，从而导致胶合强度下降^[15-17]。

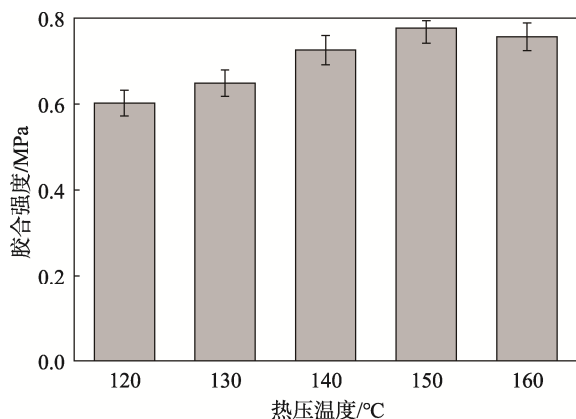


图3 不同热压温度与无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度的关系

Fig.3 Relationship between different hot pressing temperature and surface bonding strength of formaldehyde free decorative paper overlaying faced bean glue plywood

如表2所示, $P < 0.01$, 该结果表明热压温度对豆胶胶黏剂贴面豆胶胶合板的表面胶合强度影响极为显著; 结合图3, 可选用150 °C为最佳热压温度。

表2 不同热压温度的表面胶合强度方差分析
Tab.2 Variance Analysis of surface bonding strength at different hot pressing temperatures

差异源	方差 (SS)	自由度 (df)	均方差 (MS)	F 值	显著性 (P)
组间	0.405	4	0.101	72.218	0.000
组内	0.168	120	0.001		
总计	0.573	124			

2.2.3 热压时间的影响

当热压压力为1 MPa, 热压温度为150 °C, 单面施胶量为200 g/m², 热压时间为1~2 min时, 无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面胶合强度变化量见图4, 单因素方差分析见表4。由图4可知, 5种不同的热压时间, 试件的胶合性能均在0.6 MPa以上, 达到GB/T 34722—2017《浸渍胶膜纸饰面胶合板和细木工板》中规定胶合板的表面胶合强度。在随着热压时间的增长, 胶合强度呈先增后减的趋势。固化时间长短决定树脂的固化程度, 直接影响树脂的胶合强度。从1~2 min的过程中, 胶合强度不断升高; 在2 min时, 豆胶胶黏剂完全固化; 时间超过2 min后, 胶层部分出现老化, 从而使胶合强度下降。从图4中可知, 胶合强度变化幅度小, 说明热压时间对豆胶贴面豆胶胶合板影响小^[18]。

由表3可知, $P > 0.05$, 该结果表明热压时间对豆胶胶黏剂贴面豆胶胶合板的表面胶合强度影响不显著, 结合图4, 考虑到实验能耗, 选取1.5 min为热压时间最佳。

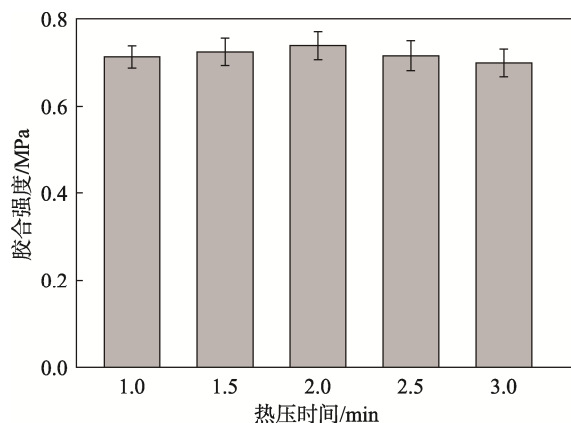


图4 不同热压时间与无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的胶合强度关系

Fig.4 Relationship between different hot pressing time and surface bonding strength of formaldehyde free decorative paper overlaying faced bean glue plywood

表3 不同热压时间的胶合强度方差分析
Tab.3 Variance analysis of bonding strength at different hot pressing time

差异源	方差 (SS)	自由度 (df)	均方差 (MS)	F 值	显著性 (P)
组间	0.036	4	0.009	2.030	0.094
组内	0.536	120	0.004		
总计	0.573	124			

2.3 无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面耐磨性能分析

根据南京蓝风新材料科技有限公司提供的检测结果表明, 无醛水性聚氨酯涂料具有良好的低温成膜性, 耐高温回粘性, 优异的力学性能, 低的VOC排放量, 成型后的涂层丰满(见表4)。

实验采用无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板, 并在其表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料, 表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料分别为150, 165, 180, 195, 210, 225, 240 g/m², 常温1 h后固化, 再存放24 h后检测其表面耐磨性能。从图5可知, 在实验区间内, 无醛装饰纸贴面豆胶胶合板的表面耐磨性能均能达到国标要求(≤ 0.8 mg/r)。为了进一步了解其表面耐磨性能的变化规律, 对实验结果进行初步分析表明, 在施胶量从150~190 g/m²的过程中, 表面磨耗值不断降低, 说明其随着施胶量的增加, 耐磨性能越来越好, 其磨耗值越低。其原因可能是在低施胶量时, 胶液在装饰纸表面覆盖不完全, 导致局部成膜较薄, 在磨耗仪的作用下, 其磨耗较大; 在190~240 g/m²过程中, 说明随着施胶量的增加, 磨耗增加, 水性聚氨酯内-NCO基团可能与水反应产生CO₂, 由于水的增加, 从而使得部分气泡残留在漆膜内, 影响了耐磨性能^[19]。

表 4 无醛水性聚氨酯涂料表面力学性能
Tab.4 Surface mechanical properties of aldehyde free waterborne polyurethane coating

性能	指标	检验结果	备注
铅笔硬度	≥HB	H	GB/T 9754—2007
附着力	0~1 级	0 级	GB/T 6739—2006
VOC	≤120 g/L	93.9 g/L	GB 18582—2008
甲醛释放量	≤100 mg/kg	19.98 mg/kg	GB 18582—2008
光泽	≥92	93	GB/T 9754—2007
耐热老化 (70 °C, 240 h)	灰度等级优于 4~5 级, 失光率<15%	样品灰度等级 4~5 级, 失光率<15%	GB/T 1735—2009

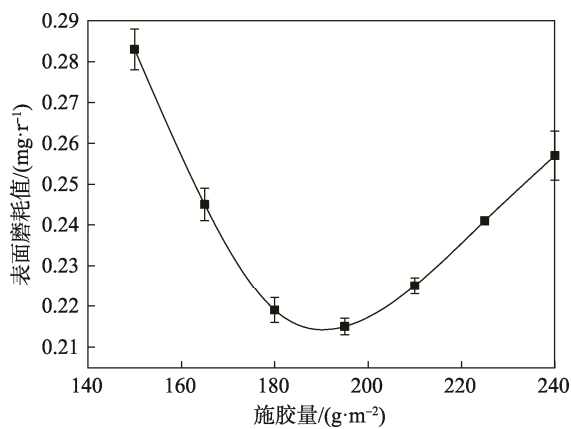


图 5 水性聚氨酯施胶量对表面磨耗值影响
Fig.5 Effect of water-based polyurethane size on surface abrasion value

3 结语

采用无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板,并在其表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料,研究了不同工艺参数对其表面胶合强度和不同涂饰量对表面耐磨性能的影响,得到如下结论。

1) 无醛豆胶具有较好的渗透性能,无醛水性聚氨酯涂料具有良好的表面性能。

2) 在该实验区间内,采用无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板,当热压时间为 1.5 min,热压温度为 150 °C,热压压力为 1 MPa,施胶量为 200 g/m²时,表面胶合强度达到最高。

3) 在该实验区间内,以无醛豆胶为胶黏剂制备装饰纸贴面豆胶胶合板后,表面涂饰无醛水性聚氨酯涂料的涂胶量为 190 g/m²左右时,其耐磨性能最佳。

参考文献:

[1] 张晓欢,陈桂华,韩健. 低游离甲醛脲醛树脂胶黏剂的合成研究[J]. 木材加工机械, 2010, 21(2): 20—22.
ZHANG Xiao-huan, CHEN Gui-hua, HAN Jian. Study

on the Synthesis of Sow Free Formaldehyde Urea Formaldehyde Resin Adhesive[J]. Wood Processing Machinery, 2010, 21(2): 20—22.

[2] 祝荣先,于文吉. 异氰酸酯制备无醛胶合板的研究-热压工艺参数的优化[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(10): 58—60.

ZHU Rong-xian, YU Wen-ji. Study on the Preparation of Formaldehyde Free Plywood with Isocyanate[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(10): 58—60.

[3] 刘景宏,林巧佳,杨桂娣. 改性淀粉胶黏剂在胶合板生产中的应用[J]. 福建林学院学报, 2004, 24(2): 144—147.

LIU Jing-hong, LIN Qiao-jia, YANG Gui-di. Application of Modified Starch Adhesive in Plywood Production[J]. Journal of Fujian Forestry University, 2004, 24(2): 144—147.

[4] 王巍. E0 级胶合板用脲醛树脂胶黏剂的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012: 20—26.

WANG Wei. Study on Urea Formaldehyde Resin Adhesive for Plywood Grade E0[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2012: 20—26.

[5] 常亮,郭文静,陈勇平,等. 人造板用无醛胶黏剂的研究进展及应用现状[J]. 林产工业, 2014, 41(1): 3—6.

CHANG Liang, GUO Wen-jing, CHEN Yong-ping, et al. Research Progress and Application Status of Formaldehyde Free Adhesives for Wood Based Panel[J]. Forest Industry, 2014, 41(1): 3—6.

[6] THAKUR S, KANAK N. Castor Oil-based Hyper Branched Polyurethanes as Advanced Surface Coating Materials[J]. Progress in Organic Coatings, 2013, 76(1): 157—164.

[7] DAS G, KALITA R D, DEKA H, et al. Biodegradation, Cytocompatibility and Performance Studies of Vegetable Oil Based Hyperbranched Polyurethane Modified Biocompatible Sulfonated Epoxy Resin/Clay Nanocomposites[J]. Progress in Organic Coatings, 2013, 76(7/8): 1103—1111.

[8] DAS B, CHATTOPADHYAY P, MANDAL M, et al.

- Bio-based Biodegradable and Biocompatible Hyperbranched Polyurethane: a Scaffold for Tissue Engineering[J]. *Macromolecular Bioscience*, 2013, 13(1): 126—139.
- [9] 孙甜. 乳液型邻苯二甲酸二烯丙酯树脂浸渍纸的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007: 20—42.
SUN Tian. Study on Emulsion Type Diphenyl Ester Diphenyl Ester Resin Impregnated Paper[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007: 20—42.
- [10] 卢晶昌, 杨光, 杨波, 等. 大豆蛋白胶用于强化地板装饰纸压贴的探究[J]. *包装工程*, 2014, 35(15): 53—58.
LU Jing-chang, YANG Guang, YANG Bo, et al. A study on the Application of Soy Protein Glue in Strengthening the Press and Paste of Decorative Paper for Floor[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(15): 53—58.
- [11] 郭丽敏, 王伟宏, 王清文, 等. 木粉-HDPE 复合材料的单板贴面效果研究[J]. *西南林业大学学报*, 2014, 34(5): 95—98.
GUO Li-min, WANG Wei-hong, WANG Qing-wen, et al. Veneer Overlaying Effect of Wood Flour HDPE Composite[J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2014, 34(5): 95—98.
- [12] 贾翀, 梁镇, 王方先, 等. 人造草皮层压多层实木复合地板的制备[J]. *林业工程学报*, 2018, 3(6): 156—160.
JIA Chong, LIANG Zhen, WANG Fang-xian, et al. Preparation of Multi-layer Solid Wood Composite Floor with Artificial Turf[J]. *Acta Forestry Engineering*, 2018, 3(6): 156—160.
- [13] 陈奶荣, 林巧佳, 卞丽萍. 改性豆胶胶合板热压工艺优化及固化机理分析[J]. *农业工程学报*, 2012(11): 255—260.
CHEN Nai-rong, LIN Qiao-jia, BIAN Li-ping. Optimization of Hot Pressing Process and Analysis of Curing Mechanism of Modified Soybean Glue Plywood[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2012(11): 255—260.
- [14] 贾翀, 刘国忠, 陈凤琦, 等. 热压过程中不同温度条件下豆胶红外光谱分析[J]. *西南林业大学学报*, 2016, 36(2): 137—141.
JIA Chong, LIU Guo-zhong, CHEN Feng-qi. Infrared Spectrum Analysis of Soybean Gum Under Different Temperature During Hot Pressing[J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2016, 36(2): 137—141.
- [15] TABARSA T, CHUT Y H. Effect of Hot-pressing on Properties of White Spruce[J]. *Forest Prod J*, 1997, 47(5): 71—76.
- [16] PANSHIN A J, ZEEUW C D. Text Book of Wood Technology(4th Edition)[M]. New York: Mc Graw Hill Inc, 1980: 365.
- [17] 王凯文, 杨蕊, 叶芑, 等. 大豆与木片共磨制备无胶纤维板的工艺研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(7): 81—87.
WANG Kai-wen, YANG Rui, YE Peng, et al. Process of Preparing Glueless Fiberboard by Co-milling of Soybean and Wood Chips[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(7): 81—87.
- [18] 张洋, 周定国, 杨波, 等. 豆胶制造速生杨木 II 类胶合板的工艺研究[J]. *中国人造板*, 2007, 14(5): 7—9.
ZHANG Yang, ZHOU Ding-guo, YANG Bo, et al. Study on the Technology of Producing Fast-Growing Poplar Class II Plywood with Bean Gum[J]. *China Wood Based Panel*, 2007, 14(5): 7—9.
- [19] 谭芳. 双组分水性聚氨酯的制备及其成膜机理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007: 45—60.
TAN Fang. Study on the Preparation and Film-forming Mechanism of Two-component Waterborne Polyurethane[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007: 45—60.