

木材树种对刨花/EPS 泡沫复合轻质刨花板性能的影响

罗书品, 高黎, 王超, 郭文静

(中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 为实现刨花板轻量化, 通过向芯层引入聚苯乙烯(EPS)泡沫颗粒, 制备平均密度为 500 kg/m^3 的刨花板, 探索表芯层刨花构成对板材的剖面密度分布和物理力学性能的影响。结果表明: 以杨木细刨花为表层、桉木粗刨花和EPS泡沫颗粒混合物为芯层制备的复合轻质刨花板, 其表芯层密度差异最为显著, 力学性能达到 GB/T 4897—2015《刨花板》中干燥状态下使用的家具型(P2型)刨花板的要求。

关键词: 轻质刨花板; 树种; 聚苯乙烯泡沫; 密度梯度; 性能

中图分类号: S792.11; S792.39; TS653 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2020)01-0006-05

Effect of Wood Species on Properties of Wood/EPS Foam Low-Density Particleboard

LUO Shu-pin, GAO Li, WANG Chao, GUO Wen-jing

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: In order to manufacture low-density particleboard, poplar and eucalyptus wood particles as well as expanded polystyrene (EPS) foam particles were used to make three-layer particleboard samples with 500 kg/m^3 of panel density. EPS foam particles were mixed with core layer wood particle as fillers. The effect of wood species on vertical density profile and physio-mechanical properties of the samples was investigated. Results showed that biggest vertical density difference between the core layer and the face layer was observed when the poplar fine particles were used at the face layers and the eucalyptus coarse particles at the core layer. The physical and mechanical properties could meet the requirements of furniture-use particleboard for dry conditions (Type P2) in GB/T 4897—2015.

Key words: low-density particleboard; wood species; expanded polystyrene(EPS) foam; density profile; properties

近几年随着我国定制家居行业的快速发展, 国内刨花板市场需求大增, 其在人造板产品中的占比

亦不断提高。目前市场上家具用刨花板的密度在 $620 \sim 720 \text{ kg/m}^3$ 范围内, 若密度低于这一范围时, 按常规工艺制备的刨花板性能难以满足使用要求。

随着木材资源的紧缺和人造板产业的多元化发展, 节材、节能成为必然趋势, 如何采用更少的材料制备满足使用性能要求的刨花板, 即轻质刨花板, 成为刨花板研发的关注热点^[1-2]。

收稿日期: 2019-03-29; 修改日期: 2019-12-03

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“低密度阻燃墙体填充材料制造关键技术”(CAFYBB2017ZX003-3)。

作者简介: 罗书品(1990—), 女, 助理研究员。Email: luosp@caf.ac.cn

责任作者: 郭文静, 女, 研究员。Email: guowj@caf.ac.cn

目前实现刨花板轻量化的手段主要有：采用低密度原料、胶黏剂发泡、引入轻质填料、设计板坯结构等^[3]。其中，引入轻质填料，如发泡聚苯乙烯（expanded polystyrene, EPS）颗粒、可发性淀粉等，填充在刨花空隙中达到降低板材密度的目的，成为研究热点之一。具有代表性的是巴斯夫研发的 Kaurit® Light 技术，在芯层刨花里添加密度为 20~60 kg/m³ 的聚苯乙烯泡沫颗粒，代替部分刨花制备板材，较传统刨花板可减重 20%~30%^[4]。

单方面降低刨花板密度，使表芯层密度差减小，导致板材的尺寸稳定性等物理性能及力学性能将下降，表面质量变差^[5]。解决方法之一是优化板坯结构，形成致密的表层和疏松的芯层，使厚度方向的剖面密度合理分布。以往研究采取的措施有：提高表层含水率、单板贴面、控制刨花形态尺寸及排列方向、改变表/芯层刨花比例等^[5-7]。但是，目前鲜有利用不同树种制备轻质刨花板的研究报道。

鉴于此，笔者以杨木和桉木两个树种的刨花为原料，通过在芯层引入 EPS 泡沫颗粒，制备平均密度为 500 kg/m³ 的轻质刨花板，探索表芯层刨花构成对板材的剖面密度分布和主要物理力学性能的影响，为开发轻质刨花板提供理论依据和基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 刨花：杨木刨花，由连云港宁丰木业有限公司提供；桉木刨花，由广西省林科院提供。将杨木和桉木刨花分别筛分为：芯层粗刨花（通过 1~4 mm 筛网）和表层细刨花（通过 0.2~0.5 mm 筛网）。

为实现较好的密度梯度分布，控制表层刨花的含水率为 16%，芯层刨花的含水率约 8%。

2) 胶黏剂：多苯基多甲基多异氰酸酯胶（pMDI），黏度 150~200 mPa·s（25 ℃），万华化学有限公司。

3) 聚苯乙烯（EPS）泡沫颗粒：直径 4~6 mm，密度 50~60 kg/m³。外购。

1.2 试验设备

刨花光学分析仪；热压机；X 射线剖面密度仪；人造板力学试验机等。

1.3 试验方法

在轻质刨花板制备中，控制表芯层刨花形态尺

寸，是改善板材性能的重要方法。由于小尺寸刨花的抗压缩性低于大尺寸刨花^[8]，笔者选择细刨花为表层原料，粗刨花为芯层原料，以期制得的刨花板既有一定的力学强度，又具有较好的表面质量。

根据前期试验，综合考虑刨花板的物理力学性能，选取 7.5% 的 EPS 用量（相对于芯层刨花的质量）。试验方案见表 1。

表 1 轻质刨花板的结构设计

Tab.1 Wood species combinations of three-layer low-density particleboard samples

试板结构	原料木材树种	
	表层细刨花	芯层粗刨花+ EPS 泡沫
表杨-芯杨	杨木	杨木
表桉-芯杨	桉木	杨木
表桉-芯桉	桉木	桉木
表杨-芯桉	杨木	桉木

设定板材目标厚度为 15 mm，其中表层细刨花厚度为 1.5 mm，芯层粗刨花和 EPS 泡沫颗粒混合物的厚度为 12 mm；平均密度 500 kg/m³，表层和芯层刨花的施胶量分别为 10% 和 7%。

按照表 1 设计进行称量、施胶和铺装，试板幅面 340 mm×360 mm。热压温度 120 ℃，热压时间 20 min，热压压力 3 MPa，使用厚度规控制板材厚度，热压后经冷却陈放。每组试验条件重复 3 次。

1.4 性能测试

1) 刨花尺寸分布：使用刨花光学分析仪分析表、芯层刨花的尺寸分布（体积分数）和长宽比。

每种刨花测试约 1×10⁵ 个。

2) 剖面密度分布：测试试样在厚度方向的剖面密度分布，测量速度为 0.5 mm/s。取三个密度最接近设定值 500 kg/m³ 的样品数据平均值做曲线。

3) 物理力学性能：参照 GB/T 4897—2015《刨花板》，测试 2 h 吸水厚度膨胀率（TS），内结合强度（IB）、静曲强度（MOR）、弹性模量（MOE）。

TS、IB 试件数 15 个、MOR 和 MOE 试件数 12 个，结果取平均值。

2 结果与讨论

2.1 表、芯层刨花尺寸分布

为了解表芯层刨花的构成，对其尺寸分布（长度、宽度、长宽比）进行测试，结果如图 1 所示。

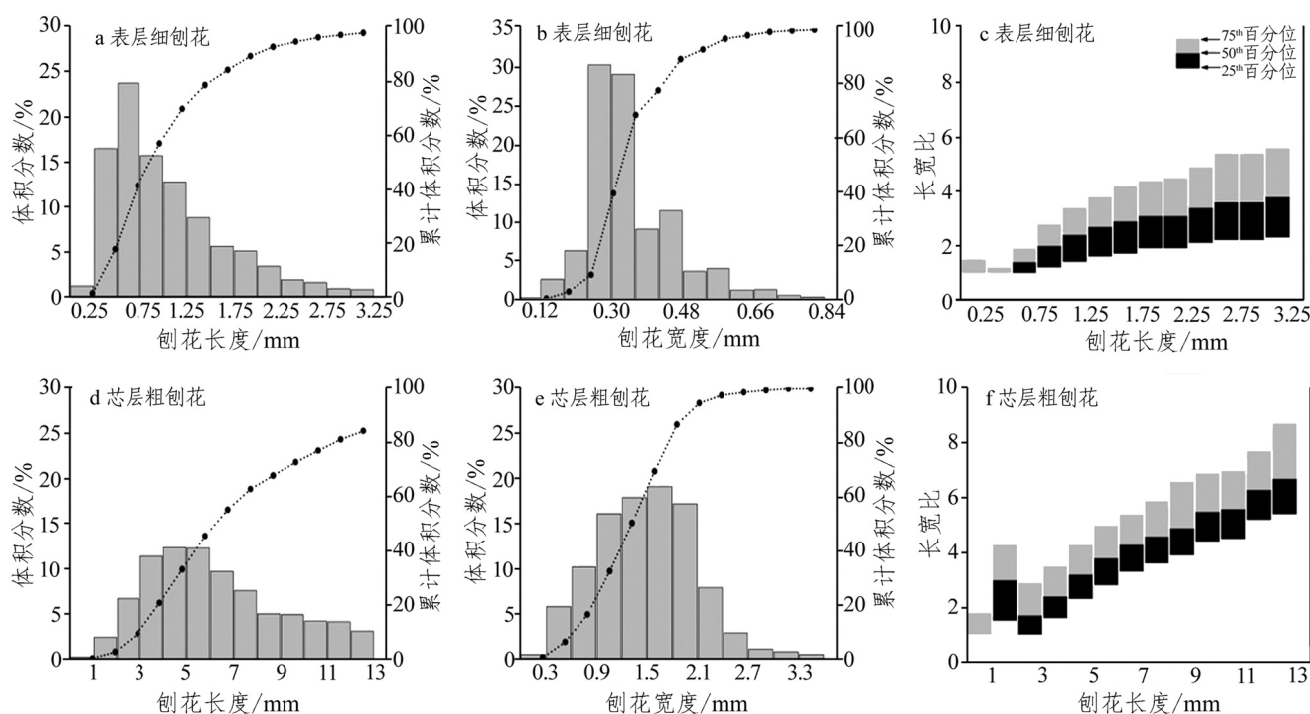


图1 表层细刨花和芯层粗刨花的尺寸分布

Fig.1 Particles size distributions in face layers and coarse particles in core layer

由图1可知,表层细刨花的长度主要分布在0.25~2 mm之间,宽度主要分布在0.18~0.48 mm之间;芯层刨花长度主要分布在2~10 mm之间,宽度主要分布在0.3~2.4 mm之间。

刨花长宽比结果以箱式图形式展示,每个箱式图有三个标记,分别表示第25个百分位、第50个百分位、第75个百分位。以表层细刨花为例(图1c),长度在0.5~0.75 mm之间的25%的刨花的长宽比<1, 50%的刨花的长宽比<1.4, 75%的刨花的长宽比<1.9。由此可见,细刨花形态有利于形成致密的表层,从而提高表面强度和可加工性;芯层粗刨花的长宽比高于表层细刨花,有利于提高芯层刨花混合的交织均匀性和孔隙率,可以实现和EPS颗粒良好混合的目的。

2.2 板材剖面密度分布

杨木和桉木刨花制备轻质刨花板的剖面图,见图2;剖面密度分布测试结果,见图3。

图2显示,由细刨花组成的表层较为紧密,由粗刨花和EPS泡沫颗粒组成的芯层较为疏松。

轻质刨花板厚度方向的密度分布,受含水率、板坯结构和热压工艺等因素影响,与板材性能有密



图2 轻质刨花板的剖面

Fig.2 Cross-section of three-layer low-density particleboard samples

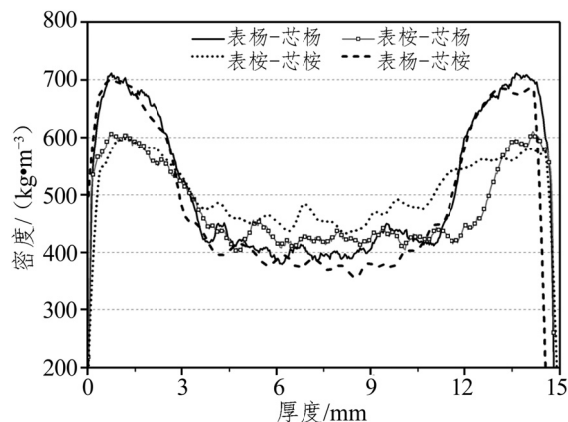


图3 轻质刨花板的剖面密度分布

Fig.3 Vertical density profiles of low-density wood/EPS particleboard samples

切的关联^[9]。图3显示,轻质刨花板的剖面密度呈U型分布,中心处密度最低,约400 kg/m³,在靠近表面的位置出现峰值。这是因为表层刨花的尺寸小且含水率高,热压过程中刨花的软化和压缩,有助于形成致密的表层。

对比两个树种的刨花,表层为杨木刨花时,板材表芯层密度差异较为显著,表层密度最高达700 kg/m³;而表层为桉木刨花时,板材的表层密度最高为600 kg/m³。主要是杨木木材自身的密度低于桉木,更易于被压缩。由此可知,要得到差异较为显著的剖面密度梯度,表层刨花应选择易于压缩的木材,而芯层刨花应具有较高的抗压缩性。

2.3 吸水厚度膨胀率

杨木和桉木轻质刨花板的2 h吸水厚度膨胀率(TS)测试结果,见图4。

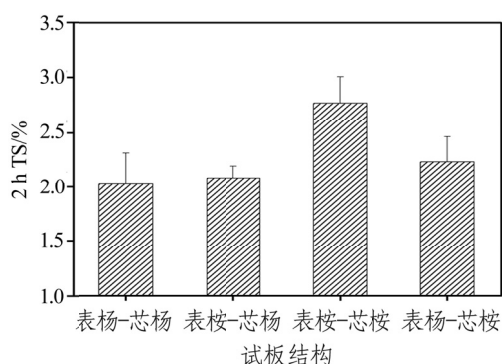


图4 轻质刨花板的2h吸水厚度膨胀率

Fig.4 2h-TS of low-density particleboard samples

图4显示,四组试样的2 h TS均远低于GB/T 4897—2015中P2型刨花板的要求(8%),这得益于EPS具有疏水性,与水接触时不会发生干缩湿胀^[10]。表层和芯层均为桉木刨花的板材,2 h TS最高(2.8%),其余3组比较接近。原因在于板材内部的空隙是水分进出的主要通道,与其他3种组合相比,全桉试样的表层密度较小,即压缩程度较低,水分通道相对较多,导致TS增加。

2.4 力学性能

1) IB 杨木和桉木轻质刨花板的IB测试结果见图5。

图5显示,四组试样的IB均达到GB/T 4897—2015中干燥状态下使用的家具型刨花板(P2型)要求(0.35 MPa)。其中,全杨木轻质刨花板的IB最高

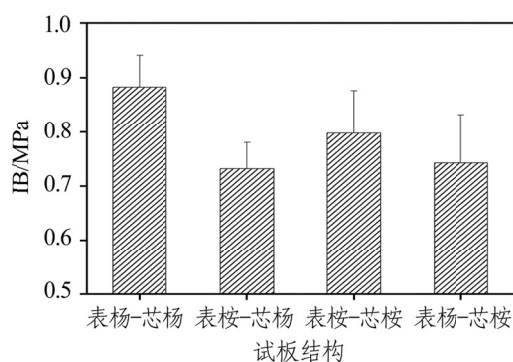


图5 轻质刨花板的内结合强度

Fig.5 IB of low-density particleboard samples

(0.89 MPa);其次是全桉木轻质刨花板(0.80 MPa);表桉-芯杨组的刨花板与表杨-芯桉组两种原料组合的刨花板IB接近。这可能是由于,同一树种的刨花特性相同,胶接性能更优。另外,两个树种相比,在热压过程中杨木刨花更易于被压缩,刨花之间的结合更为紧密和牢固,因而全杨木刨花制备的板材IB最高。

2) MOR、MOE 杨木和桉木轻质刨花板MOR和MOE测试结果,见图6。

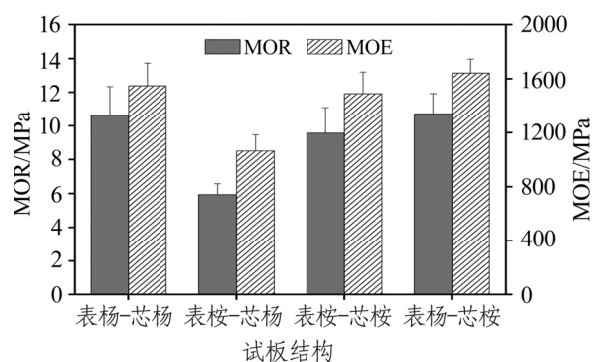


图6 轻质刨花板的静曲强度和弹性模量

Fig.6 MOR and MOE of low-density particleboard samples

图6显示,两组表层为杨木刨花的轻质刨花板均具有较高的MOR,以表桉-芯杨组板材的MOR最低。原因与表层密度有关,以杨木刨花为表层时板材更为致密,能够承受的载荷较高,因而抗弯曲能力更高。MOE的变化规律与MOR一致。

在四组试样中,以表杨-芯桉组具有最高的MOR和MOE,分别为11 MPa和1 643 MPa,达到GB/T 4897—2015中P2型刨花板的要求(MOR=11 MPa; MOE=1 600 MPa)。

3 结论

1) 采用杨木细刨花作表层、桉木粗刨花和 EPS 泡沫颗粒混合物作芯层, 制备的复合轻质刨花板表芯层密度差异显著, 性能达到 GB/T 4897—2015《刨花板》中 P2 型刨花板的要求, 可用于制作家具和室内装饰的非受力部件、墙体填充材料。

2) 为实现轻质刨花板的剖面密度梯度合理分布, 表芯层刨花树种搭配时, 表层采用易于压缩的杨木刨花, 芯层用具有一定抗压缩性能的桉木刨花, 制备的轻质板综合性能优良。

参考文献:

- [1] 郭文静. 人造板制造新技术及新产品开发[J]. 木材工业, 2016, 30(2): 29-32.
GUO W J. Development of new technology and new products for wood-based panels[J]. China Wood Industry, 2016, 30(2): 29-32.
- [2] 刘忠会. 新型木质材料在定制家居的应用及需求分析[J]. 中国人造板, 2018, 25(3): 1-5.
LIU Z H. Application and requirements analysis of new wooden materials in customized home products[J]. China Wood-Based Panels, 2018, 25(3): 1-5.

- [3] 罗书品, 高黎, 郭文静. 轻质刨花板研究进展[J]. 中国人造板, 2019, 26(1): 1-5.
LUO S P, GAO L, GUO W J. Review of research progress on low-density particleboard[J]. China Wood-Based Panels, 2019, 26(1): 1-5.
- [4] Barbu M C. Evolution of lightweight wood composites[J]. Pro Ligno, 2016, 11: 21-26.
- [5] Benthien J T, Ohlmeyer M. Influence of face-to-core layer ratio and core layer resin content on the properties of density-decreased particleboards[J]. Eur J Wood Wood Prod, 2016, 75(1): 55-62.
- [6] Benthien J T, Ohlmeyer M. Enhancement of low-density particleboard properties by core layer particle orientation[J]. Eur J Wood Wood Prod, 2017, 76(3): 1087-1091.
- [7] Schneider M, Stehle T, Benthien J T, et al. Stiffness modelling of particles in the core layer for the manufacturing of wood-reduced particleboard[J]. Eur J Wood Wood Prod, 2018, 76(3): 947-952.
- [8] Benthien J T, Ohlmeyer M, Schneider M, et al. Experimental determination of the compression resistance of differently shaped wood particles as influencing parameter on wood-reduced particleboard manufacturing[J]. Eur J Wood Wood Prod, 2017, 76(3): 937-945.
- [9] Wong E D, Zhang M, Wang Q, et al. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard[J]. Wood Sci Technol, 1999, 33(4): 327-340.
- [10] Shalabafan A, Tackmann O, Welling J. Using of expandable fillers to produce low density particleboard[J]. Eur J Wood Wood Prod, 2015, 74(1): 15-22.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)

(上接第5页)

- [4] 刘乐群, 钱华, 王进, 等. 竹材液化树脂发泡材料的性能与技术要求[J]. 木材工业, 2012, 26(5): 9-13.
LIU L Q, QIAN H, WANG J, et al. Properties and technical requirement of foaming material from liquefied-bamboo resin[J]. China Wood Industry, 2012, 26(5): 9-13.
- [5] 刘乐群, 王进, 张文福, 等. 竹材液化树脂发泡材料的降解性能和热老化性能评价[J]. 木材工业, 2012, 26(6): 4-8.
LIU L Q, WANG J, ZHANG W F, et al. Durability test of foaming material made from liquefied-bamboo resin[J]. China Wood Industry, 2012, 26(6): 4-8.
- [6] G R J Artus, S Jung, J Zimmermann, H P Gautschi, K Marquardt, S Seeger. Silicone nanofilaments and their application as superhydrophobic coatings[J]. Advanced Materials, 2006, 18(20): 2758-2762.
- [7] 代仕梅, 张天财, 高延敏. KH-550 对硬质聚氨酯发泡材料耐水性能的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2013, 36(2): 135-139.
- [8] 吕伟刚, 韩晓宇, 高延敏. KH-560 对硬质聚氨酯发泡材料阻水机理的研究[J]. 化学与黏合, 2011, 33(2): 45-48.
LU W G, HAN X Y, GAO Y M. The study on mechanism of water resistance of rigid polyurethane foam material with KH-560[J]. Chemistry and Adhesion, 2011, 33(2): 45-48.
- [9] 徐兵兵, 黄月文, 王斌. 改性 SiO_2 /聚硅氧烷无氟超疏水涂层的制备及性能[J/OL]. 精细化工: 1-8[2019-09-23]. <https://doi.org/10.13550/j.jxhg.20190107>.
XU B B, HUANG Y W, WANG B. Preparation and performance of fluorine-free superhydrophobic coatings based on modified silica and polysiloxane [J/OL]. Fine Chemicals: 1-8[2019-09-23]. <https://doi.org/10.13550/j.jxhg.20190107>.

- [10] 王刚. 溶胶-凝胶法制备多功能超疏水涂层[D]. 南京: 东南大学, 2017.
WANG G. Preparation of multifunctional superhydrophobic coating by SOL-GEL method[J]. Nanjing: Southeast University, 2017.
- [11] 刘乐群, 汪洪根, 孙丰文, 等. 竹材液化树脂发泡材料发泡工艺的研究[J]. 木材工业, 2012, 26(3): 11-14.
LIU L Q, WANG H G, SUN F W, et al. Making foaming materials from liquefied bamboo resin[J]. China Wood Industry, 2012, 26(3): 11-14.
- [12] 刘杨, 刘乐群, 王宇红, 等. 竹材加工剩余物液化及液化产物制备发泡树脂的工艺研究[J]. 木材工业, 2012, 26(2): 10-13.
LIU Y, LIU L Q, WANG Y H, et al. Bamboo residues liquefaction and resinification from liquefied products[J]. China Wood Industry, 2012, 26(2): 10-13.
- [13] 方晶, 张文福, 刘乐群.《竹材液化发泡工程材料通用技术要求》行业标准解析[J]. 中国人造板, 2016, 23(6): 29-32, 39.
FANG J, ZHANG W F, LIU L Q. Interpretation of forest industry standard: general technical requirements of liquefied bamboo foamed composites[J]. China Wood-based Panels, 2016, 23(6): 29-32, 39.
- [14] 高延敏, 宋东坡, 张天才. γ -氨基丙基三乙氧基硅烷对水在硬质聚氨酯泡沫中扩散性能的影响[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2010, 24(5): 443-445.
GAO Y M, SONG D P, ZHANG T C. Effect of water diffusion performance in rigid polyurethane foam material with γ -ammonia propyl-triethoxysilane[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 24(5): 443-445.

(本文编校 向 琴)