

瓦楞型竹席胶合板的模压工艺及性能研究

周海英, 高黎, 郭文静

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 为开发轻质竹工程材料, 制备模压瓦楞型竹席胶合板, 分析主要工艺参数对制品性能的影响。结果表明: 板材的静曲强度和最大压载荷随板坯含水率的提高而降低, 随施胶量的增加逐渐提高; 变形量随着铺装角度的增加而减小。在最佳制板工艺参数条件(板坯含水率 15%, 施胶量 15%, 铺装角度 45°)下, 板材的静曲强度达 46.32 MPa, 最大压载荷 81.78 N, 变形量为 0°。

关键词: 瓦楞型竹席胶合板; 模压; 含水率; 施胶量; 铺装角度

中图分类号: S795.9; TS653.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2017) 02-0029-05

Molding Technology and Performance of Corrugated Bamboo-mat Plywood

ZHOU Hai-ying, GAO Li, GUO Wen-jing

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

Abstract: A prototype corrugated bamboo-mat plywood was prepared using a molding process. The influences of moisture contents, resin contents and forming angles in the molding process on mechanical properties and molding performance were evaluated. The results showed that: modulus of rupture (MOR) and maximum compressive load of the plywood decreased with increasing moisture contents, and increased with increasing resin contents. Furthermore, the plywood deformation decreased with increasing forming angles. The optimum conditions for making the corrugated bamboo-mat plywood were determined as 15% moisture content, 15% resin content and 45° forming angle. Under these conditions, the modulus of rupture, maximum compressive load and deformation of the plywood were 46.32 MPa, 81.78 N and 0°, respectively.

Key words: corrugated bamboo-mat plywood; molding; moisture content; resin content; forming angle

竹材具有强度高、韧性好、分布范围广、生长周期短等特点, 以竹篾、竹丝束、竹条等原料制备的竹质工程材料已在建筑结构材料领域得到应用^[1-3]。近年来开发轻质竹质工程材料成为关注热点。

瓦楞型竹席胶合板是采用竹席为原料, 通过施胶, 利用瓦楞型模具热压成型制备而成, 在同等载荷的情况下, 具有密度小、强度大、成本低等优点^[4-6], 尤其是具有较高的平面抗压强度和剪切强度, 作为轻质工程材料, 将其用作墙体夹层材料, 具有广阔的应用前景。

利用瓦楞型的阴模和阳模, 瓦楞型竹席胶合板生产可采用热上-冷下的热压工艺^[7]。但由于竹材原料的可塑性、延展性和流动性较差, 加之竹席间的摩擦力极大, 模压成型具有一定的困难^[8]。已有研究

收稿日期: 2016-08-12; 修改日期: 2017-02-06

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“竹材模压湿热定型机制的研究”(CAFYBB2014MA009)。

作者简介: 周海英(1992—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 郭文静, 女, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

表明,利用湿热环境软化、胶黏剂固化定型,是实现木竹材料弯曲、表面密实化处理的重要手段^[9-10]。

目前,竹席胶合板的研究主要集中在工艺参数对板材性能的影响上,板坯含水率在10%~20%的范围,对竹材胶合板的性能有显著影响^[11];组坯方式对制品的力学性能也有较大影响^[12-13]。而对于模压制品,其力学强度及变形量是评价性能的重要指标。现有众多竹材的研究中,对竹席模压工艺参数及模压制品变形的研究均很少。

鉴于此,笔者探索采用模压工艺制备瓦楞型竹席胶合板的可行性,从含水率、施胶量以及竹席铺装角度三个方面入手,测试与评价其强度、压载及变形量,旨在为轻质瓦楞型竹席胶合板在在建筑工程中的应用提供工艺依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 竹席,购自福建永安和其昌竹业有限公司,厚度1.4~1.8 mm,裁切幅面为420 mm×170 mm,竹席长向与模具波瓦方向形成铺装角度分别为0°、15°和45°,见图1。

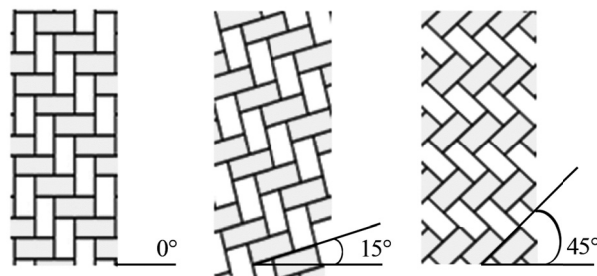


图1 竹席铺装角度

Fig.1 Schematic drawings of forming angles of bamboo mats

2) 酚醛树脂 (PF) 胶,购自北京太尔胶黏剂有限公司,固体含量46%,黏度30 mPa·s (23 °C)。

1.2 试验设备

电热恒温鼓风干燥箱 (DHG-9140A 型),热压机,自制瓦楞型模具 (410 mm×160 mm×55 mm),人造板试验机 (WDW-W10 型) 等。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

在湿热条件下可使竹材刚度降低,有利于模压

成型^[14];另外,竹材作为各向异性差异显著的材料,受力角度变化影响复合材料性能。因此,本研究选择竹席含水率、施胶量、铺装角度为变量因素,在前期预试验及参考以往文献研究的基础上^[9-13],各因素均设置3个水平(表1),按正交表 $L_9(3^4)$ 试验,每组重复3次。

表1 正交试验因素水平

Tab.1 Experimental factors and levels

水平	A 含水率/%	B 施胶量/%	C 铺装角度/°
1	15	5	0
2	20	10	15
3	25	15	45

1.3.2 模具设计

瓦楞型模具尺寸为410 mm×160 mm×55 mm,模具及产品如图2所示。

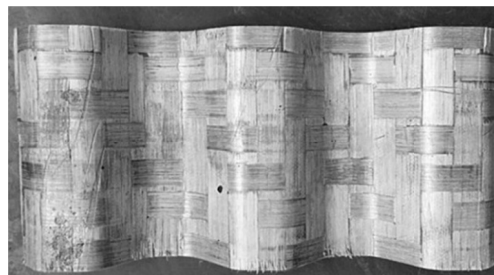
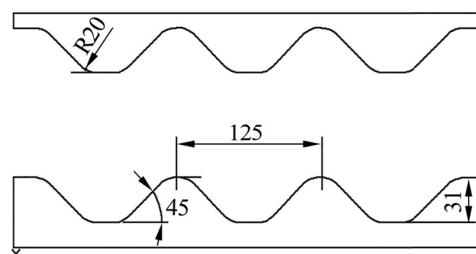


图2 模具形状与尺寸

Fig.2 Shapes and sizes of corrugated mould

1.3.3 制备工艺

采用浸胶方式,将竹席分别浸入固体含量为15%、26%和33%的PF胶液中,然后沥干干燥。通过调整浸胶时间,控制施胶量分别为5%、10%和15%,误差±0.4%;通过控制干燥时间,使施胶竹席的含水率为15%、20%和25%,误差±1.0%。

将竹席进行层积组坯,目标密度设为1.05 g/cm³,厚度规控制厚度为6 mm,在模具中热压成型。采用“热进-冷出”的工艺,热压温度140~150 °C,加压曲线如图3所示。

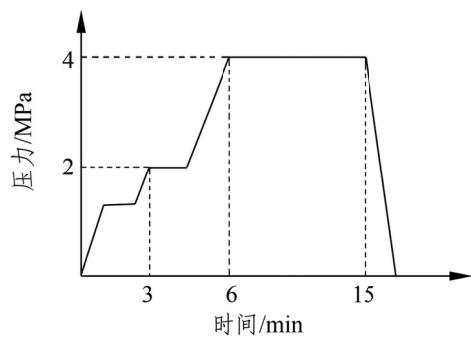


图3 模压工艺曲线
Fig.3 Mould-pressing curve

1.4 性能测试

由于目前国内外尚无适合瓦楞型竹质模压材料的性能评价标准,故参照 GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》中三点弯曲法,测试试件的静曲强度(MOR),试件尺寸为 350 mm×20 mm×6 mm;借鉴 GB/T 7019-2014《纤维水泥制品试验方法》中波瓦抗折法,测试试件的最大压载荷,试件尺寸 150 mm×20 mm×6 mm。

为评价瓦楞板的稳定性,自行设计变形量测试方法。选择瓦楞板一个波,测试其夹角角度在脱模后 10 min 内的变化量,即变形量。变形量越大,说明瓦楞板固定越差。

各指标测试方法如图 4 所示。

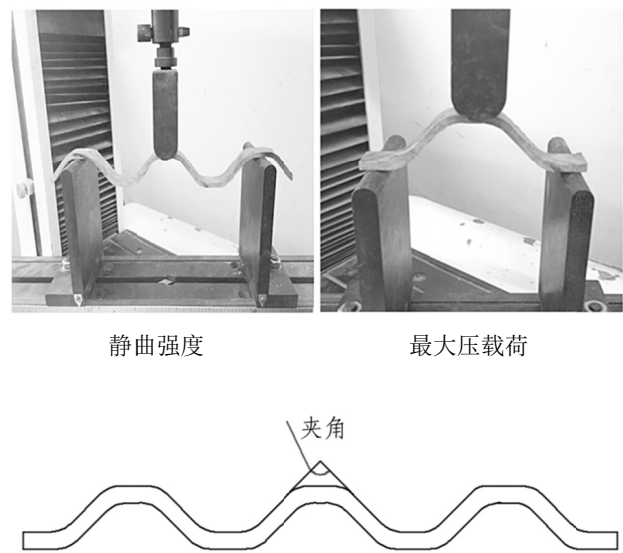


图4 瓦楞板静曲强度、最大压载荷及夹角角度测试方法
Fig.4 Testing method of MOR, maximum compressive load and included angle test for corrugated bamboo-mat plywood samples

2 结果与分析

不同因子水平下制备的瓦楞型竹席胶合板,其性能测试结果见表 2。使用 SAS 软件,对试板的静曲强度、最大压载荷以及变形量进行分析。

表2 瓦楞型竹席胶合板的性能测试结果
Tab.2 Properties of corrugated bamboo-mat plywood samples

试验号	因素及水平			试验结果		
	含水率	施胶量	铺装角度	静曲强度/MPa	最大压载荷/N	变形量/°
1	1	1	1	22.30	73.40	6.3
2	1	2	2	23.94	83.32	2.7
3	1	3	3	46.32	81.78	0.0
4	2	1	2	14.22	34.93	1.3
5	2	2	3	13.34	47.82	1.3
6	2	3	1	26.43	95.68	5.3
7	3	1	3	9.26	38.27	1.0
8	3	2	1	19.50	33.57	6.3
9	3	3	2	23.04	97.08	1.7

2.1 变量因子对试样静曲强度的影响

瓦楞型竹席胶合板 MOR 的方差分析结果,列于表 3。

表3 瓦楞型竹席胶合板静曲强度方差分析
Tab.3 Variance analysis on MOR of corrugated bamboo-mat plywood samples

方差来源	自由度	偏差平方和	平均偏差平方和	F 值	显著性
模型	6	3 203.32	533.89	6.02	0.000 ***
含水率	2	997.58	498.79	5.63	0.007 ***
施胶量	2	1 852.20	926.10	10.45	0.000 ***
铺装角度	2	353.55	176.77	1.99	0.148
误差	44	3 900.13	88.64		
总误差	50	7 103.45			

由表 3 可知,因子显著性排序为:施胶量>含水率>铺装角度,含水率和施胶量的影响极为显著。各因子对模压制品 MOR 的影响,如图 6 所示。

试样的 MOR 随着施胶量的增加而提高。施胶量的增加,有利于层间竹席结合更加紧密。当施胶量从 5%增加至 15%,静曲强度提高 1 倍多。随着含水率的增加,试样的 MOR 呈减小趋势,含水率由 15%上升至 25%,MOR 降低了 44.0%。这是由于含水率太高,在热压成型过程中,胶液随水分流失,进而导致施胶量降低,板材的力学性能降低。

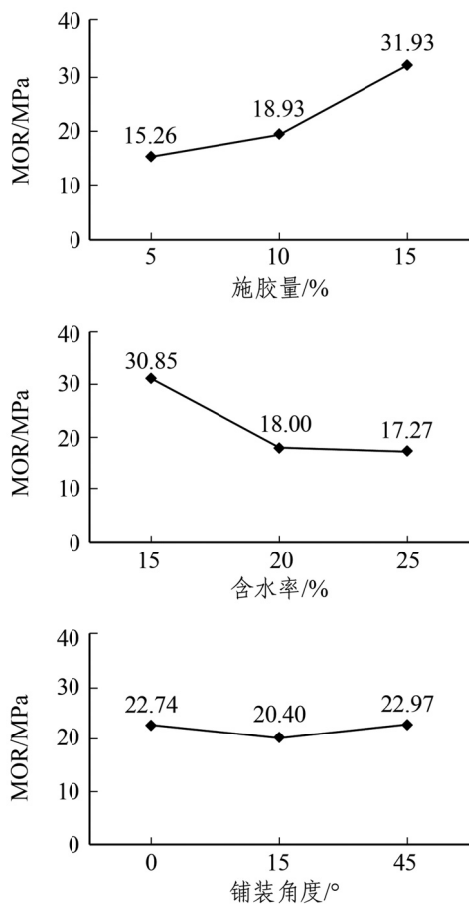


图6 变量因子对瓦楞型竹席胶合板静曲强度的影响

Fig.6 Effect of variables on MOR of corrugated bamboo-mat plywood samples

2.2 变量因子对试样最大压载荷的影响

试样最大压载荷的方差分析结果(表4)表明,因子显著性排序为:施胶量>含水率>铺装角度,其中施胶量的影响最显著,含水率的影响显著,铺装角度的影响不明显。各变量因子对试板最大压载荷的影响,如图7所示。

表4 瓦楞型竹席胶合板最大压载荷方差分析

Tab.4 Variance of analysis for maximum compressive load of corrugated bamboo-mat plywood samples

方差来源	自由度	偏差平方和	平均偏差平方和	F 值	显著性
模型	6	27 286.72	4 547.79	4.25	0.002 ***
含水率	2	5 693.61	2 846.80	2.66	0.080 **
施胶量	2	19 177.22	9 588.61	8.97	0.001 ***
铺装角度	2	2 415.89	1 207.94	1.13	0.332
误差	47	50 242.11	1 068.98		
总误差	53	77 528.83			

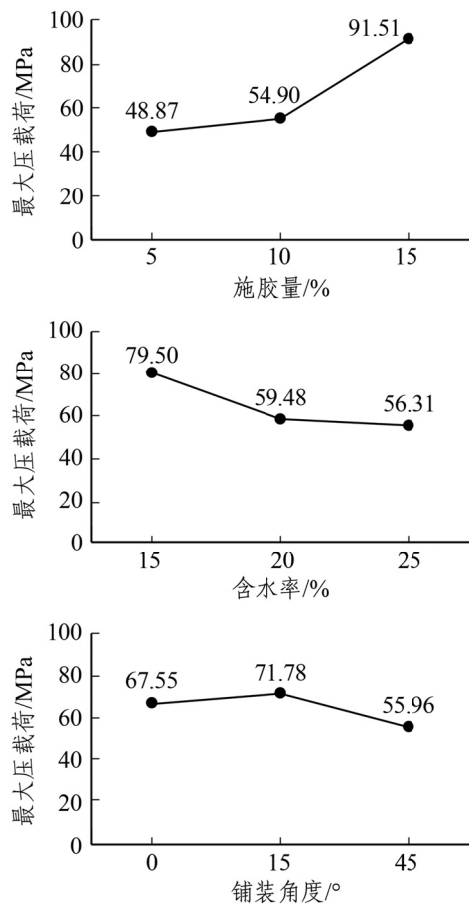


图7 变量因子对瓦楞型竹席胶合板最大压载荷的影响

Fig.7 Effects of variables on maximum compressive load of corrugated bamboo-mat plywood samples

由图7可见,与静曲强度趋势相似,瓦楞型竹席胶合板的最大压载荷也随着施胶量的增加而增大,其中施胶量15%时的最大压载荷,比施胶量5%时提高46.6%;随着含水率的增加而降低,含水率25%时的最大压载荷,比含水率15%时降低29.2%。铺装角度对最大压载荷的影响不显著,15°时最大压载荷相对最高,45°时相对最低。

2.3 变量因子对试样变形量的影响

形变是表征模压制品的一个重要指标。表2结果表明,瓦楞型竹席胶合板的变形都是向外扩展。方差分析结果(表5)表明,因子显著性顺序为:铺装角度>含水率>施胶量,且仅铺装角度对瓦楞型竹席胶合板变形量的影响极显著,含水率和施胶量影响均不显著。

变量因子对瓦楞型竹席胶合板的变形量影响趋势,如图8所示。

表5 瓦楞型竹席胶合板变形量方差分析

Tab.5 Variance of analysis for deformation of samples

方差来源	自由度	偏差平方和	平均偏差平方和	F 值	显著性
模型	6	142.44	23.74	5.51	0.002 ***
含水率	2	0.68	0.33	0.08	0.926
施胶量	2	5.56	2.78	0.64	0.536
铺装角度	2	136.22	68.11	15.80	0.000 ***
误差	20	86.22	4.31		
总误差	26	228.67			

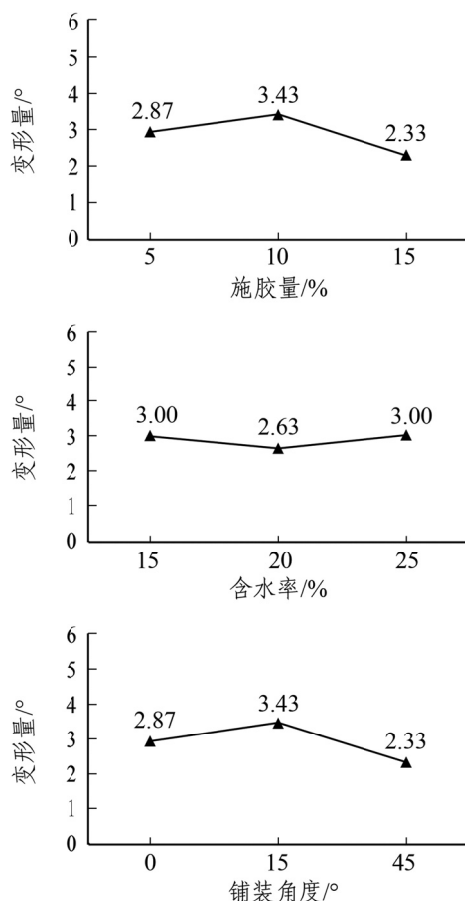


图8 变量因子对瓦楞型竹席胶合板变形量的影响

Fig.8 Effects of variables on deformation of samples

随着竹席铺装角度由 0° 上升至 45°，瓦楞板变形迅速减小，说明瓦楞板坯的对称均匀铺装和受力，有利于提高产品的尺寸稳定性。

根据以上分析，综合考虑瓦楞板的性能，在本试验范围内，最优的工艺因子参数为：含水率 15%，施胶量 15%，竹席铺装角度 45°（即正交试验第 3 组试验条件）。其性能检测结果为：MOR 46.32 MPa，最大压载荷 81.87 N，变形量 0°。

3 结论

1) 以竹席模压制备瓦楞型竹席胶合板在工艺上可行。根据各变量因子水平对瓦楞型竹席胶合板性能的影响，采用热压工艺应保持较低的板坯含水率；在保证性能的前提下，尽量减少施胶量；竹席铺装角度对变形量影响最显著，对称结构组坯（45°）时，板材的综合性能最佳。

2) 在本研究范围内，瓦楞型竹席胶合板的最佳工艺参数为：含水率 15%，施胶量 15%，竹席铺装角度 45°；在此条件下，板材的静曲强度达 46.32 MPa，最大压载荷 81.87 N，变形量 0°。

3) 竹产品具有环保低碳、经济耐用等优良特性，开发瓦楞型竹席胶合板作为墙体夹层材料，应用于建筑等领域具有广阔的前景，将为我国竹材高附加值利用开辟新径。

参考文献：

- [1] 于文吉. 我国高性能竹基纤维复合材料的研发进展[J]. 木材工业, 2011, 25 (1): 6-8.
- [2] 余养伦, 于文吉. 高性能竹基纤维复合材料制造技术[J]. 世界竹藤通讯, 2013, 11 (3): 6-10.
- [3] 高黎, 王正, 常亮. 建筑结构用竹质复合材料的性能及应用研究[J]. 世界竹藤通讯, 2008, 6 (5): 1-5.
- [4] Guo Y, Wang X, Zhang Q. Design methods and experimental study on the stability of tapered beam-columns with sinusoidal corrugated web [J]. Engineering Mechanics, 2010, 27 (9): 139-146.
- [5] Guo Y, Wang X, Zhang Q, et al. Design theory and application of steel structures of light-weight buildings[J]. Building Structure, 2010, 41(4): 11-19.
- [6] Thorpe J L, Choi D. Corrugated container failure: Part 2 Strain measurements laboratory compression [J]. Tappi Journal, 1992 (7): 135-161.
- [7] 赵仁杰, 喻云水. 竹材人造板工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 167-169.
- [8] 吴正心, 吴正芳. 竹瓦楞板材料物流托盘的试制与研究[J]. 长沙大学学报, 2008, 22 (2): 44-46.
- [9] 陈鹏. 热处理多层单板弯曲木的变形固定及其物性变化[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [10] 赵辉. 木材压缩弯曲理论及其设备研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [11] 高黎, 王正, 任一萍. 热压工艺及板坯含水率对竹帘胶合板性能的影响[J]. 木材工业, 2012, 26 (6): 9-12.
- [12] 刘学, 喻云水, 周蔚虹. 慈竹竹帘胶合板力学性能研究[J]. 湖南林业科技, 2012, 39 (1): 51-53.
- [13] 陈复明, 江泽慧, 王戈, 等. 瓦楞型竹束单板复合材料的制备及力学性能表征[J]. 复合材料学报, 2013, 30 (3): 82-86.
- [14] 黄梦雪, 张文标, 张晓春. 竹材软化展平研究及其进展[J]. 竹子研究汇刊, 2015, 34 (1): 31-36.

(责任编辑 向琴)