

# 竹/木纤维配比对竹/木/聚丙烯纤维复合材料性能的影响

王云飞, 邹淼, 唐启恒, 郭文静

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 在聚丙烯纤维比例为 50% 的条件下, 采用不同竹/木纤维配比制备竹/木/聚丙烯纤维复合材料, 考察竹纤维用量对复合材料物理力学性能和微观形貌的影响。结果显示: 随着竹纤维用量增加和木纤维用量减少, 复合材料的耐水性增强, 力学性能则呈先升后降的趋势, 竹纤维用量为 25% 时力学性能达到最大; 试验确定优化竹/木纤维配比为  $m(\text{竹}):m(\text{木})=25:25$ , 复合材料的性能满足 TL 52448-1998《天然纤维成型材料热塑性增强材料要求》的要求。

**关键词:** 竹纤维; 木纤维; 聚丙烯纤维; 配比; 复合材料; 性能

中图分类号: TU531.13; TQ342 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 04-0005-04

## Effect of Mass Ratio of Bamboo/Wood Fiber on Properties of Bamboo/Wood /Polypropylene Composites

WANG Yun-fei, ZOU Miao, TANG Qi-heng, GUO Wen-jing

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

**Abstract:** Various mass ratios of bamboo fiber (BF) and wood fiber (WF) were used to prepare BF/WF/PP composites with 50% of Polypropylene (PP) fiber. The effects of BF on physical and mechanical properties, as well as the micro morphology of the composites were investigated.

The results showed that the water resistance of the composites samples was enhanced with higher percentage of BF. The composites with 25% BF showed the best mechanical properties. Optimized mass ratio of bamboo/wood fibers was BF : WF=25 : 25. The properties of the composite samples meet the requirements of TL 52448-1998.

**Key words:** bamboo fiber; wood fiber; polypropylene fiber; mass ratio; composite; properties

植物纤维具有价格低廉、可再生、力学性能优良等特点, 被广泛用来替代人造纤维<sup>[1-2]</sup>。植物纤维复合材料作为汽车内用新材料, 成为研究的热点,

在汽车车门、座椅靠背、顶棚、仪表盘、内饰等方面的应用备受关注<sup>[3]</sup>。近年来, 主要研究集中在汽车内饰用麻纤维毡复合材料的应用<sup>[4-6]</sup>, 但由于麻纤维价格的不断上涨, 限制了其应用领域的进一步扩展。

竹纤维资源丰富、生长周期短, 且力学性能优良<sup>[7-9]</sup>, 因此, 国内外学者选择竹纤维作为增强体制备复合材料, 并将其试用在汽车内门板、顶棚等内衬件以及行李箱等部位<sup>[10]</sup>。但竹纤维具有排列规整, 分子间作用力大等特点, 导致其刚性、脆性大, 硬

收稿日期: 2017-11-06; 修改日期: 2018-06-14

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“模压用木竹纤维复合工程材料制造关键技术”(CAFYBB2016ZD006)。

作者简介: 王云飞 (1993—), 男, 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。

挺<sup>[11]</sup>,在与热塑性塑料混合时,易聚集导致分散不均,从而影响胶合性能。

鉴于此,笔者在采用竹纤维、木纤维、聚丙烯纤维为原料,使用无纺气流铺装成型工艺,制备纤维复合毡时,通过改变竹/木纤维配比,探索竹纤维用量变化对复合材料性能的影响,选出最佳的原材料配比,旨为复合材料的制备工艺提供基础数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

1) 竹纤维(碱处理):长度 10~50 mm,直径约 150  $\mu\text{m}$ ,外购;

2) 杨木木纤维:长度约 10 mm,热磨自制;

3) 聚丙烯(PP)纤维:11.11 dtex,长度 38 mm,白色,外购。

### 1.2 试验装置

热压机;冷压机;万能力学试验机;扫描电镜。

### 1.3 试验设计

根据前期研究<sup>[12]</sup>,PP纤维在复合材料中起成网、粘结竹、木纤维的作用,用量不宜过少,故PP纤维用量固定为50%,设计4种竹/木纤维质量配比为:15:35,25:25,35:15和50:0。

### 1.4 试验方法

1) 纤维复合毡制备:采用无纺气流铺装成型工艺,主要工艺流程如下:

纤维称量→混合→松解→混合→气流铺装→辊压→预针刺→主针刺→卷材

按照设定的原材料配比称量纤维,由传送带输送到开松装置松解纤维,然后通过气流输送铺装,压力辊预压实,厚度2~3 cm,最后经过预针刺(1 000次/min)、主针刺(1 000次/min),制成面密度为2 000  $\text{g}/\text{m}^2$ 的卷材。

2) 纤维复合材料制备:将纤维复合毡裁截成35 cm×35 cm的规格,采用厚度规控制复合材料厚度为5 mm,按照设计密度1.0  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,热压温度180  $^{\circ}\text{C}$ 、时间10 min、压力4 MPa的工艺参数进行热压,然后立即冷压定型。每种纤维配比制备3块试板。

### 1.5 性能测试

1) 物理力学性能:参照GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,测试复合材

料的密度、静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、24 h吸水率(WA)、24 h吸水厚度膨胀率(TS)。

每个条件取5个有效试样,结果取平均值。

2) 微观结构:利用扫描电镜(SEM)观察复合材料断口形貌。

## 2 结果与讨论

### 2.1 力学性能

不同竹纤维用量制备的复合材料力学性能的检测结果,如图1所示。

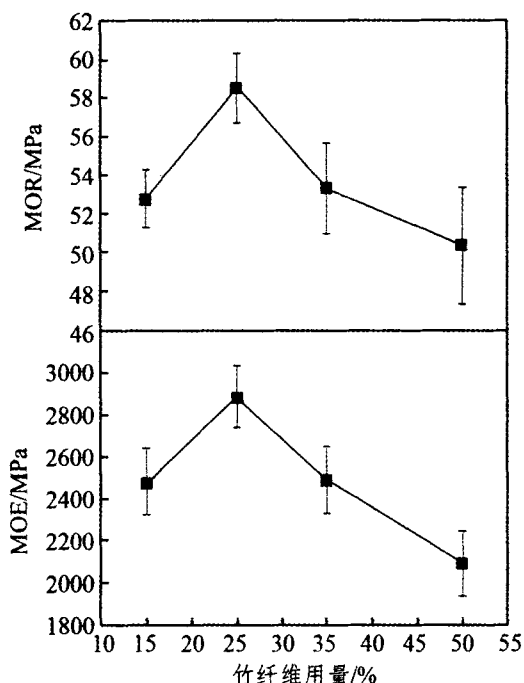


图1 不同竹纤维用量的复合材料力学性能

Fig.1 Mechanical properties of BF/WF/PP fiber composites with different percentage of bamboo fibers

图1显示,随着竹纤维用量增加,复合材料的静曲强度和弹性模量均呈先升后降的趋势,以竹纤维用量25%时达到最大,分别为58.51、2 887 MPa,达到TL 52448-1998《天然纤维成型材料热塑性增强材料要求》的要求(MOR>50 MPa, MOE $\geq$ 2 000 MPa)。

竹纤维用量增加,复合材料中起承载作用的纤维增多,其力学性能增强;但竹纤维用量继续增加,起填充作用的木纤维用量相对减少,硬直的竹纤维与PP纤维间难以形成缠接,且不易分散均匀,从而造成复合材料的强度降低。

当竹纤维和木纤维用量均为25%时,复合材料的力学性能最优,满足汽车内饰用标准要求。

### 2.2 复合材料断口形态

竹/木纤维用量比例为 25:25 时, 复合材料破坏的宏观形貌如图 2 所示; 不同竹/木纤维配比复合材料的微观形貌见图 3。

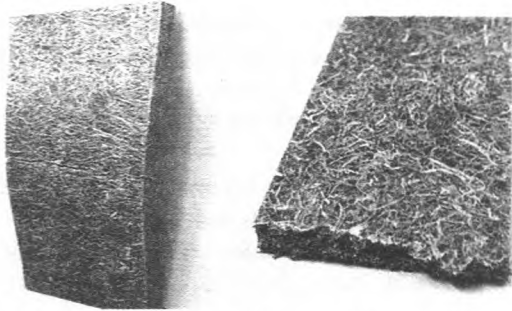
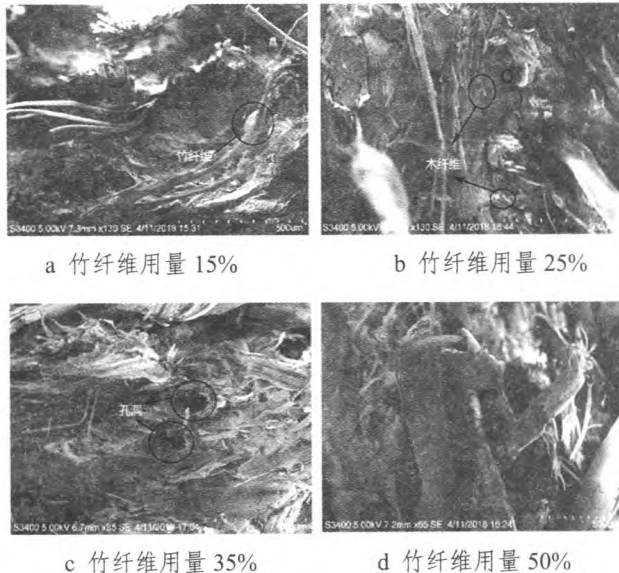


图 2 竹/木/PP 纤维复合材料受压断裂 (竹纤维 25%)  
Fig.2 Bending Failure of bamboo/wood/PP fiber composites  
( $m(\text{BF})=25\%$ )



a 竹纤维用量 15%      b 竹纤维用量 25%  
c 竹纤维用量 35%      d 竹纤维用量 50%

图 3 不同竹纤维用量的复合材料断口 SEM  
Fig.3 Micro morphology of bamboo/wood/PP fiber composites with different percentages of bamboo fibers

图 2 显示, 试样表面平整光滑, 无可见气泡和缺陷, 纤维排列无序, 材料断口参差不齐, 有明显的纤维突出, 属于典型的韧性破坏, 断口处出现应力发白现象, 说明 PP 纤维融化完全。

图 3a 显示, 复合材料断口处平整光滑, 竹纤维拔出较少; 随着竹纤维用量提高到 25% (图 3b), 复合材料断口处, 竹、木纤维交错分布, 结合较为致密, 木纤维填充作用良好, 此时复合材料的力学性能最佳; 当竹纤维用量继续增加到 35% (图 3c), 竹纤维被拔出并留下孔洞和痕迹, 这是因为亲水性的

植物纤维与疏水性的 PP 纤维界面相容性差; 当竹纤维用量增加到 50% (图 3d) 时, 长直的竹纤维在气流铺装时, 很难与 PP 纤维混合均匀, 出现了聚集现象, 导致复合材料性能降低。

### 2.3 耐水性能

不同纤维配比复合材料的耐水性能测试结果, 见图 4。

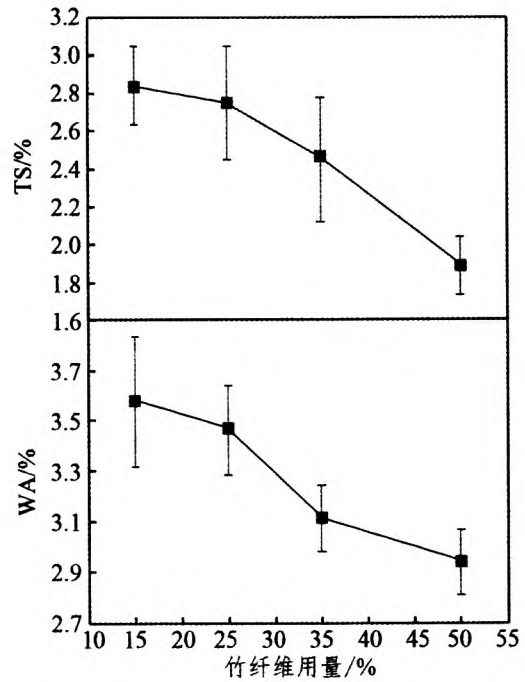


图 4 不同竹纤维用量复合材料的耐水性能  
Fig.4 Water resistance of bamboo/wood/PP fiber composites with different percentages of bamboo fibers

图 4 显示, 随着竹纤维用量增加, 复合材料的 WA 和 TS 均呈下降的趋势; 对应于复合材料力学性能最佳的竹/木配比, 即竹纤维用量为 25% 时, 复合材料的 WA 和 TS 分别为 3.4% 和 2.7%, 均低于 TL 52448-1998 规定的限定值 (WA < 12%, TS < 5%)。

复合材料中水分的吸收主要取决于植物纤维内腔、纤维增强材料和基体物质之间的裂隙和植物纤维细胞壁上的吸水基团<sup>[13]</sup>。与木纤维相比, 竹纤维细胞壁较厚, 且胞腔狭小, 纹孔稀少, 吸水性低于木纤维<sup>[14-15]</sup>; 另外, 经过碱处理的竹纤维表面, 吸水基团亦减少。

不同纤维配比制备复合材料的耐水性能, 均满足汽车内饰用标准的要求。因此, 可根据不同的使用环境和用途, 来选择合适的纤维配比。

### 3 结论

1) 在本试验范围内, 随着竹纤维用量的增加, 复合材料的力学性能呈先升后降的趋势。在竹纤维用量为 25%时, 复合材料的静曲强度和弹性模量达到最大, 断面较为平整, 竹、木纤维和聚丙烯纤维结合较为致密。

2) 不同纤维配比复合材料的耐水性能, 呈现随着竹纤维用量增加而增强的趋势。综合考虑, 确定优化纤维配比为  $m(\text{竹}):m(\text{木}):m(\text{聚丙烯})=25:25:50$ , 复合材料的性能指标满足 TL 52448-1998《天然纤维成型材料热塑性增强材料要求》的要求。

3) 在实际生产中, 可根据复合材料使用性能的不同要求, 选择合适的竹纤维、木纤维和聚丙烯纤维质量配比。

### 参考文献:

- [1] Ramesh M, Atreya T S A, Aswin U S, Eashwar H. Deepa C, Processing and mechanical property evaluation of banana fiber reinforced polymer composites[J]. Procedia Engineering, 2014(97): 563-572.
- [2] Gujjala R, Ojha S, Acharya S K, Pal S K. Mechanical properties of woven jute-glass hybrid-reinforced epoxy composite[J]. Journal of Composite Materials, 2013, 48(28): 1-11.
- [3] Gupta A, Kumar A. Potential of bamboo in sustainable development[J]. Asia-Pacific Business Review, 2008, 4(3): 100-107.
- [4] S Goutianos, T Peijs, B Nystrom, M Skrifvars. Development of flax fibre based textile reinforcements for composite applications[J]. Applied Composite Materials, 2006, 13(4): 199-215.
- [5] 王瑞, 张梅, 王广峰, 刘丽妍. 亚麻纤维毡增强复合材料及其性能分析[J]. 天津工业大学学报, 2003, 22(4): 5-7.
- [6] 高黎, 唐启恒, 郭文静. 网络状麻纤维毡增强酚醛树脂复合材料的制备及性能研究[J]. 塑料工业, 2017, 45(1): 84-87.
- [7] M Kobayashi, T Asano, M Kajiyama, B Tomita. Analysis on residue formation during wood liquefaction with polyhydric alcohol[J]. Journal of Wood Science, 2004, 50(5): 407-414.
- [8] 李新功, 郑霞, 吴义强. 竹纤维聚乳酸复合材料界面调控[J]. 复合材料学报, 2012, 29(4): 94-98.
- [9] 郑霞, 李新功, 吴义强, 等. 竹纤维聚乳酸可生物降解复合材料自然降解性能[J]. 复合材料学报, 2014, 31(2): 362-367.
- [10] 姚文斌. How to extract bamboo fibers from raw bamboo and their applications[R]. 2007 年日本竹纤维研讨会, 主题学术报告, 日本京都, 2007.
- [11] 王黎明, 沈勇, 张惠芳, 等. 竹纤维的结构表征及产品开发研究[J]. 染整技术, 2011, 33(8): 17-21.
- [12] 中国林科院木材工业研究所木质纤维复合材料专题组. 聚丙烯纤维对木/塑纤维复合材料性能影响的初步研究[J]. 木材工业, 1997, 11(6): 5-7.
- [13] H Wang, R Chang, KC Sheng, M Adl, XQ Qian. Impact response of bamboo-plastic composites with the properties of bamboo and polyvinylchloride (PVC) [J]. Journal of Bionic Engineering, 2008, 5(8): 28-33.
- [14] 程隆棣, 徐小丽, 劳继红. 竹纤维的结构形态及性能分析[J]. 纺织学报, 2003(5): 101-103.
- [15] 《木材流体关系学与木材材性培育利用关系学研究》编委会. 木材流体关系学与木材材性培育利用关系学研究[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2012.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)

### 行业简讯

## 2018 意大利 Xylexpo 木机展圆满落幕

木材加工领域加工机械与装备、木质家居用品生产用原辅材料供应的专业领先国际展会——第 26 届国际木工机械展 (Xylexpo) 于 2018 年 5 月 8—12 日, 在意大利米兰国际展览中心盛大举行。

展会展出面积达 34 785 m<sup>2</sup>, 共 425 家展商参展, 展示范围涵盖板材、实木及表面加工技术, 家具原辅材料及配件, 最先进的“工业 X.0”解决方案。共吸引 17 781 名观众前来观展, 同比增长 2.1%。其中, 5 032 名来自海外, 占比 28.3%; 17 781 名来自意大利, 占比 71.7%, 同比增长 3.3%。

根据近日意大利木工机械与刀具制造商协会 (Acimall) 公布的报告显示: 意大利木工机械行业 2018 年第一季度延续了 2017 年的良好势头, 整体形

势向好。

1) 订单总量 同比增长 19.2%, 其中来自国外的订单增长 22.1%, 国内订单增长 3.7%。

2) 品质调查 65%的受访企业有所提高, 29%的企业认为保持稳定, 6%的企业认为有所下降。

3) 雇佣率 35%的受访企业保持稳定, 53%的企业有所提高, 12%的企业有所降低。

4) 可用库存 65%的企业保持稳定, 29%的企业下降, 6%的企业增加。

5) 市场预测 国外市场, 41%的企业预计订单将有所增加, 47%预计保持稳定, 12%预计将减少; 国内市场, 23%预计将有所增加, 65%预计将保持稳定, 12%预计将减少。

劳万里