

5. 12-10

# 添加丙纶纤维及其改性处理对木塑复合材料性能的影响

TS 62

王建军 吴健身

(中国林业科学研究院木材工业研究所 北京 100091)

**摘要** 就木塑纤维复合材料组分中添加丙纶纤维和对丙纶纤维进行改性预处理,改性剂的种类及改性剂的添加方式等引起材料物理力学性能和成网性能、模压性能的变化进行了研究。试验表明,添加丙纶纤维有助于改善材料的成网性能,使之成为具有良好模压性能的材料;对丙纶纤维进行改性的预处理可提高复合材料的物理力学性能;改性剂添加到木纤维中的工艺过程比对丙纶纤维进行预处理的工艺过程简单,并可以达到对丙纶纤维进行预处理的相同效果。

**关键词:** 木塑纤维复合材料 丙纶纤维 改性 成网 模压 形稳性 滞燃性

Effects of Adding Polypropylene Fiber and

Modifying Polypropylene Fibers on Properties of Wood/Plastic Composite

Wang Jianjun Wu Jiashen

Research Group of Wood/Plastic Fiber Composite

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091)

**Abstract** The changes of physical-mechanical properties and molding performance of wood/plastic composite by adding polypropylene fiber, pre-treating polypropylene fiber with modifier, using different modifiers and different methods of adding modifier were studied in this paper. The experiment results showed that the molding performance of the composite was improved by adding polypropylene fiber; the physical-mechanical properties of the composite was enhanced by pretreating polypropylene fiber; the technological process of adding modifier to wood fibers was more simple than that of pretreating polypropylene fiber, while achieving the same modifying effect.

**Keywords** Wood/Plastic composites; Polypropylene fiber; Modification; Molding performance; Fire retardance.

近年来,利用塑料与木纤维复合制成具有某些高性能复合材料的研究正在成为木材工业材料研究的新领域。这种复合材料在尺寸稳定性、模压成型、抗张和抗冲击方面都具有优势,国外已实现工业化生产,例如在高级轿车工业中的应用等<sup>[1]</sup>。西方工业发达国家在汽车工业上已经广泛应用木塑纤维复合材料,视为当代汽车工业“绿色革命”的重要内容,现正向其它工业领域不断延伸发展<sup>[2,3,4]</sup>。但是由于聚烯烃塑料分子为非极性分子,分子量又非常大,而木纤维主要由极性分子构成,热压过程中熔融塑料分子很难浸润木纤维,因而两种材料复合制成复合材料的物理力学性能指标难以取得大的提高。提高木塑复合材料性能的方法有两种:一是在塑料与木纤维复合前对塑料或木纤维进行改性,增加塑料的分子极性或降低木纤维分子极性,使两者分子性质接近产生共价连接,进而明显改善塑料和木纤维之间的结合;二是在复合材料中添加改性剂

来消除极性的影响。目前中国林业科学研究院木材工业研究所采用非织造布生产技术,以少量丙纶纤维做为加强纤维与木纤维制成毡,此种毡具有一定强度,可折叠、卷曲、模压性能极好,其模压制品是轿车工业中理想的内饰材料。本文就添加丙纶纤维对木塑复合材料物理力学性能的影响及采用改性剂来改善木塑复合材料物理力学性能等问题进行研究。

## 1 材料选择及制板工艺过程

### 1.1 材料

1.1.1 木纤维 制作纤维的红松(Pinus. Koraiensis)来源于吉林省松江河林业局。试材经锯截、削片、热磨后,制成符合规格的木纤维,木纤维筛分值见表1。

表1 木纤维筛分值

序号	>16目 (%)	16~32目 (%)	32~60目 (%)	60~115目 (%)	<115目 (%)
1	61.4	16.4	14.6	6.2	1.4
2	77.3	10.4	6.3	5.0	1.0

木纤维是木塑复合材料的主要原料组分,要求纤维细长,以针叶材为佳,亦可混入少量软阔叶材或麻棉纤维。

1.1.2 合成纤维 试验选用的丙纶纤维(聚丙烯纤维

林产工业 1998年第25卷第4期

本文为国家“九五”攻关专题《高性能高附加值复合材料生产技术和设备研究》内容的一部分。执笔人:王建军、吴健身;专题组成员:吴健身 王正 史广兴 李卓东 郭文静 王建军 曾珍 黄泽恩。

收稿日期:1998-02-13

(PP),由北京燕山石化总公司提供。性能指标为:比重为 $0.90\sim 0.91\text{g}/\text{cm}^3$ ,熔点 $135\sim 165^\circ\text{C}$ ,断裂伸长率 $20\%\sim 80\%$ ,纤维长度 $38\text{mm}$ ,细度 $2.5$ 旦。丙纶纤维比重小(比聚酯纤维轻 $30\%$ ),强度高(纤维断裂强度 $3\sim 8\text{gf}/\text{旦}$ ),耐磨性、耐腐性好,具有良好的阻燃性(只有长期接近热源才会燃烧)和电绝缘性(比电阻为 $10^7\sim 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ ),熔点低,价格便宜<sup>[5]</sup>。

合成纤维的主要作用是通过合成纤维间的杂乱搭接,使之与木纤维之间交织共同形成纤网,增加复合板坯卷材的初强度,改善板坯(卷材)的模压性能。

1.1.3 胶粘剂 采用热固性改性酚醛树脂。对胶粘剂的基本要求是:粘度小、固含量高、生活期长,在高频加热状况下不允许电击穿<sup>[6]</sup>。试验采用自行研制的改性酚醛树脂胶粘剂。

1.1.4 添加剂 为了提高木纤维与合成纤维之间的界面结合力,需添加适量改性剂,为了增加材料的耐久性和阻燃性,添加少量的耐水剂和阻燃剂。

## 1.2 复合材料的试验工艺

### 1.2.1 原材料配比

木纤维	丙纶纤维	胶粘剂	石蜡
100	8	12	1.5

### 1.2.2 复合材料制造工艺过程

1.2.2.1 木纤维制备 原料经鼓式削片机削片,筛选后经过水洗,再送入间歇式热磨机进行纤维分离。制成符合规格的纤维。纤维制备过程中加入石蜡耐水剂。热磨机型号:CC-12/12-ICP(奥地利产试验室用热磨机),一次装料量 $3.0\text{kg}$  绝干木片。

1.2.2.2 纤维施胶、干燥 采用德国产间歇式拌胶机进行施胶,胶液呈雾化状态喷入纤维中,边施胶边搅拌。施胶后的木纤维送入气流式干燥机干燥备用。

1.2.2.3 合成纤维预处理 丙纶纤维用改性剂处理后,经开松机开松,干燥备用。

1.2.2.4 纤维混合开松、铺网、针刺加固、成卷 施胶干燥后的木纤维和经过改性的丙纶纤维,按照一定配比混合,经过纤维开松机开松后形成混合纤维,送入特殊结构的气流成网机制成松软纤网。纤网用薄型无纺布衬底,经针刺加固后使木纤维与聚丙烯纤维较紧密地交织起来,形成具有一定强度和韧性的连续板坯,齐边后再用成卷机卷成卷材备用。根据对卷材的要求选择针型、刺针排列、针刺密度和针刺深度。

1.2.2.5 模压成型 将卷材裁成长 $\times$ 宽 $=340\times 360$ (mm)的幅面,按目标密度组坯后送入热压机上下模具之间热压,型面复合材料板材厚度由上下模具的间隙来控制,起模后进行修边整理。

添加丙纶纤维及其改性处理对木塑复合材料性能的影响——王建军 吴健身

## 2 试验方法

本研究选用丙纶纤维改性剂为研究对象,采用单因子试验法考察丙纶纤维改性剂的种类、添加量、添加方式等三个因子,选择最佳处理工艺条件。

### 2.1 丙纶纤维改性剂的添加方式

本研究采用两种方式添加丙纶纤维改性剂:一种是用丙纶纤维改性剂对丙纶纤维进行预处理,然后经开松机开松,干燥备用。另一种是不对丙纶纤维进行直接处理而是将丙纶纤维改性剂与胶粘剂混合喷在木纤维上,使改性剂在成板过程中起作用来提高复合材料的性能。

### 2.2 丙纶纤维改性剂的种类、添加量(见表2)

表2

处理方法	A		B
	E01	E02	E01
改性剂种类			
处理量 (相对于绝干木纤维 重量百分含量)%	0	0	0
	3.5	3.5	8

注:A为将丙纶纤维进行预处理,B为将改性剂喷在木纤维上;E01、E02分别为两种不同的改性剂。

## 3 试件检测方法

试材陈放48h后,锯制成试件,按照一汽大众汽车TL-VW494《木纤维素成形材料》技术标准检测主要技术指标。内容包括:密度、静曲强度、吸水率、吸水厚度膨胀率、形稳性、滞燃性、模压性。

## 4 结果与讨论

### 4.1 试验结果

未加丙纶纤维与添加丙纶纤维板材各项性能试验结果见表3。

丙纶纤维未经预处理剂处理与丙纶纤维经过预处理的板材各项性能试验结果,见表4。

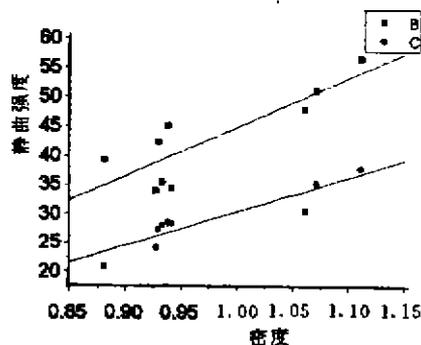


图1 添加和未添加丙纶纤维在相对密度下对静曲强度影响的比较

注:B为未添加丙纶纤维情况下密度和静曲强度的直线关系;C为添加丙纶纤维情况下相对于未添加丙纶纤维的密度和静曲强度(比强度)的直线关系。

表 3 添加和未添加丙纶纤维对比试验结果

类别	序号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	静曲 强度 (MPa)	相对 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比强度 (MPa)	吸水厚度 膨胀率 (%)	形 稳 性	滞 燃 性	成 网 性	模 压 性
未 添 加 合 成 纤 维	1	0.881	39.31			9.72	✓	✓	×	
	2	0.927	34.12			11.72	✓	✓	×	
	3	0.929	42.36			12.06	✓	✓	×	
	4	0.933	35.51			13.73			×	
	5	0.938	45.12			10.58			×	
	6	0.941	34.51			14.20			×	
	7	1.06	47.91			17.1			×	
	8	10.7	51.0			18.66			×	
	9	1.11	56.38			10.74			×	
	平均值		42.91							
添 加 合 成 纤 维	10	0.96	22.8	0.881	20.92	26.12	✓	✓	✓	✓
	11	0.992	25.82	0.927	24.13	20.93			✓	✓
	12	1.00	29.37	0.929	27.28	13.12			✓	✓
	13	1.01	30.43	0.933	28.11	21.14	✓	✓	✓	✓
	14	1.01	30.46	0.938	28.47	23.92			✓	✓
	15	1.01	30.66	0.941	28.38	16.52			✓	✓
	16	1.02	29.35	1.06	30.50	15.03	✓	✓	✓	✓
	17	1.014	33.36	1.07	35.20				✓	✓
	18	1.033	35.21	1.11	37.83	21.72			✓	✓
	平均值				28.98					

注:(1)试验条件 胶种,PF648,施胶量,12%,耐水剂添加量,1.5%,预处理剂添加量,3.5%,热压温度,175±5℃,板面单位压力,1.0~5.0MPa,热压时间,4.5min,其它条件从略;

(2)形稳性“✓”表示在55℃ 95%RH×48h环境下,试件未见明显可见的形变,如扭曲、分层、爆开、气泡、变色;

(3)滞燃性“✓”表示火焰传播速率不大于50mm/min;

(4)模压性“×”表示模压垂直深度为20mm试件出现撕裂,“✓”表示在上述同样条件下未出现撕裂;

(5)比强度,将静曲强度转换成相对密度下的强度(假设静曲强度在一定范围内与密度成正比);

(6)成网性,“×”表示混合纤维经气流铺网机不能形成纤网,“✓”表示在上述同样条件下可形成纤网。

表 4 预处理和未预处理丙纶纤维对比试验结果

类别	序号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	静曲强度 (MPa)	相对密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比强度 (MPa)	吸水厚度 膨胀率(%)	形 稳 性	滞 燃 性	模 压 性
未 处 理 合 成 纤 维	1	0.96	22.8			26.12			✓
	2	0.992	25.82			20.93			✓
	3	1.00	29.37			13.12	✓	✓	✓
	4	1.01	30.43			21.14			✓
	5	1.014	33.36				✓	✓	✓
	6	1.033	35.21			21.72	✓	✓	✓
	平均值		29.50						
预 处 理 合 成 纤 维	7	0.984	38.89	0.96	37.94	13.28			✓
	8	1.010	50.34	0.992	49.44		✓	✓	✓
	9	1.032	51.23	1.00	49.64		✓	✓	✓
	10	1.066	53.99	1.01	51.15	11.46			✓
	11	1.078	62.49	1.014	58.78	12.74			✓
	12	1.096	51.93	1.033	48.94	9.62			✓
	平均值				49.32				

选择两种改性剂对丙纶纤维进行预处理及将改性剂喷在木纤维上的板材各项性能试验结果见表5。

## 4.2 试验结果分析

### 4.2.1 表3、表4、表5静曲强度试验结果的方差分

析<sup>[7]</sup>分别见表 6。

4.2.2 几种条件下的平均吸水厚度膨胀率,见表 7。

4.2.3 原材料组分中加入丙纶纤维对物理力学性能

的影响。

由表 3 的比试验结果和表 6 的方差分析,可以得出以下结论:

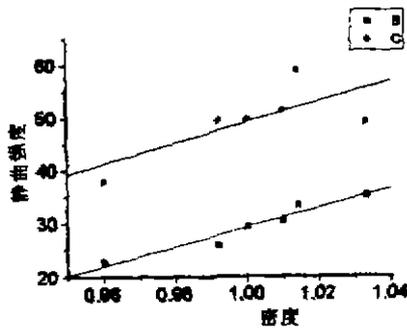


图 2 未预处理和预处理聚丙烯纤维在相对密度下对静曲强度影响的比较

注: B, 未预处理聚丙烯纤维密度和静曲强度的直线关系; C, 预处理聚丙烯纤维在相对密度下和静曲强度的直线关系。

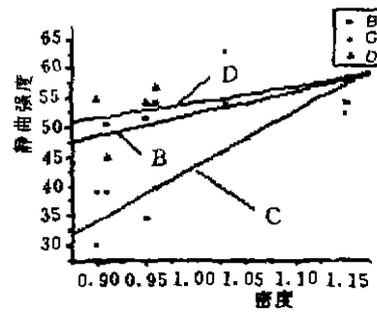


图 3 在相对密度下两种改性剂处理丙纶纤维密度与静曲强度的直线关系

注: B, E01 改性剂处理丙纶纤维; C, E02 改性剂处理丙纶纤维; D, 将 E01 改性剂喷在木纤维上。

表 5 两种改性剂处理聚丙烯纤维对比试验结果

类别	序号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	静曲强度 (MPa)	相对密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比强度 (MPa)	吸水厚度膨胀率 (%)	形稳性	滞燃性	模压性
E01	1	0.984	38.89			13.28			✓
	2	1.010	50.34						✓
	3	1.032	51.23				✓	✓	✓
	4	1.066	53.99			11.46			✓
	5	1.078	62.49			12.74			✓
	6	1.096	51.93			9.62	✓	✓	✓
	平均值		51.48						
E02	7	0.993	30.25	0.984	29.98	18.12			✓
	8	1.017	39.17	1.010	38.90		✓	✓	✓
	9	1.019	34.10	1.032	34.54	20.68			✓
	10	1.027	38.06	1.066	39.51				✓
	11	1.062	52.81	1.078	53.61	16.30	✓	✓	✓
	12	1.072	52.68	1.096	53.86	14.34			✓
	平均值				41.73				
将改性剂喷在木纤维上	13	0.90	49.99	0.984	54.66	15.38			✓
	14	0.91	40.46	1.010	44.91		✓	✓	✓
	15	0.95	49.91	1.032	54.64	13.36			✓
	16	0.96	51.01	1.066	56.64	14.98			✓
	17	1.03	51.04	1.078	53.42		✓	✓	✓
	18	1.15	60.62	1.096	57.77	10.81			✓
	平均值				53.63				

(1) 原材料组分中加入 10% 丙纶纤维导致复合材料板材静曲强度降低, 吸水厚度膨胀率上升。静曲强度方差分析显示  $F_{MOR} = 15.01 > F_{0.01} = 8.5$ , 说明添加丙纶纤维对板材强度有特别显著的影响, 从图 1 中也可以看出在消除密度的影响后添加丙纶纤维使复合材料板静曲强度明显低于未添加丙纶纤维复合材料板

(平均下降 13.93MPa)。平均吸水厚度膨胀率由 13.17% 至 19.81%, 上升了 6.64%。

(2) 添加丙纶纤维后木纤维可与丙纶纤维形成具有一定强度的纤网, 使复合材料具有较好的模压性能。

(3) 原材料组分中, 无论是否添加丙纶纤维, 板材的形稳性和滞燃性都能够满足要求。

表6 静曲强度的方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值
添加合成纤维	783.6	1	783.6	15.01**	$F_{0.01}=8.5$
误差	835.6	16	52.2		
总和	1619.2	17			
方差来源					
合成纤维预处理	1499.8	1	1499.8	36.74**	$F_{0.01}=10.0$
误差	394.6	10	39.46		
总和	1844.4	11			
方差来源					
改性剂种类	312.7	1	312.7	4.24*	$F_{0.1}=3.3$
误差	738.2	10	73.8		
总和	105.9	11			
方差来源					
改性剂添加方式	2.34	1	2.34	0.048	$F_{0.1}=3.3$
误差	491.7	10	49.17		
总和	494.1	11			

表7 几种条件下的平均吸水厚度膨胀率

工艺条件	木纤维	添加合成纤维	预处理合成纤维	预处理木纤维
平均吸水			E01	11.89
厚度膨胀率 (%)	13.17	19.81	E02	17.36
				13.63

#### 4.2.4 丙纶纤维预处理和未预处理对物理力学性能的影响

(1) 对丙纶纤维预处理有助于改善复合材料的物理力学性能。从表4和图2可以看出,经预处理后,消除密度影响后静曲强度平均提高了19.82MPa。这也反映了经过预处理丙纶纤维的复合材料板材,由于改性剂的作用,它具有既能与丙纶纤维也能与木纤维界面结合能力,从而使复合材料板材的整体性能得以提高。从表6可以看出,静曲强度方差分析显示  $F_{MOR}=36.74 > F_{0.01}=10.0$ , 同样说明用改性剂预处理丙纶纤维对复合材料板材强度有特别显著的影响。由表7可以看出用改性剂预处理后,复合材料板的平均吸水厚度膨胀率由19.81%下降到11.89%,也说明预处理对复合材料板材吸水厚度膨胀率有显著的影响,因此在制造复合材料卷材(或板坯)工艺过程中,对丙纶纤维进行预处理是有意义的。

(2) 实验表明无论是经过预处理还是未预处理复合材料板材,在形稳性、滞燃性、模压性等方面均没有显著差异,能够满足要求。

#### 4.2.5 两种改性剂处理丙纶纤维和改性剂添加方式对物理力学性能的影响

(1) 本次试验共选用两种改性剂E01和E02。由表5的试验结果和图3可以看出,改性剂E02在消除密度的影响后静曲强度比E01大9.75MPa,表6的方

差分析结果  $F_{MOR}=4.24 > F_{0.1}=3.3$ , 说明改性剂种类对静曲强度有一定影响。从表7可以看出改性剂E01的平均吸水厚度膨胀率11.89%,明显优于改性剂E02的吸水厚度膨胀率17.36%。由于以上原因,我们认为选用改性剂E01对于复合材料板的物理力学性能来说优于改性剂E02。

(2) 由于改性剂对丙纶纤维进行预处理时在生产工艺上增加了三个工序,所以在喷涂、干燥、开松三个工序上就大大增加了工艺的复杂性。因此,我们选择了在木纤维中添加改性剂的方式。由表5和图3可以看出在消除密度的影响后,平均静曲强度分别为51.48MPa和53.67MPa,并没有大的区别。由表6的方差分析显示  $F_{MOR}=0.048 < F_{0.1}=3.3$ , 两种添加方式对静曲强度并没有显著的影响。从表7可以看出平均吸水厚度膨胀率由11.89%增加到13.63%,但完全符合标准的要求。

综上所述,采用将改性剂添加到木纤维上的方式可以简化工艺过程,虽改性剂用量增加,但有利于复合材料的工业化生产。因此,在工业生产过程中建议采用此种方式。

## 5 结论

5.1 木塑纤维复合材料中添加一定比例的丙纶纤维,可以得到具有良好模压性能的卷材,但导致复合材料成形板材物理力学性能下降。

5.2 对丙纶纤维进行预处理后有利于提高复合材料成形板材的物理力学性能。

5.3 添加预处理剂对木塑纤维复合材料的形稳性、滞燃性和模压性无显著影响。

5.4 将改性剂添加到木纤维中的工艺过程要比对丙纶纤维进行预处理的工艺过程简单,前者同样可以达到对丙纶纤维进行预处理的效果。

## 6 参考文献

- 1 王建军. 木纤维—聚乙烯改性的研究. 木材工业, 1995, 5(2), 10~13
- 2 王 恺. 木质纤维复合材料——一种有发展前景的复合材料. 木材工业, 1994(2), 32
- 3 Meng-Jiu Chen. Alteration of the surface energy of wood using lignin-(1-phenylethene)graft copolymers. Journal of wood chemistry and technology, 1995, 15(2), 287~302
- 4 R. C. Raj, B. V. Kokta, D. Maldas and C. Daneault. J. Appl. Polym. sci., Vol. 37(1989).
- 5 王延熹. 非织造布生产技术. 纺织工业出版社, 1987.
- 6 吴健身. 聚丙烯纤维对木塑纤维复合材料性能的初步研究. 木材工业, 1997, 11(6), 5~7
- 7 中国科学院数学研究所统计组. 方差分析. 科学出版社, 1997.

(责任编辑 许方荣)