

应用技术

木纤维/聚酯纤维复合材料的 制备工艺及其吸声性能

王军锋^{1,2}, 彭立民¹, 傅峰¹, 张耀丽², 王东¹

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 南京林业大学木材工业学院, 江苏南京 210037)

摘要: 为开发利用生物质资源制备吸声材料, 探讨木纤维和聚酯纤维质量比、施胶量、发泡剂添加量和密度等因素对复合材料吸声性能的影响。结果表明: 各因素对复合材料的吸声性能均有显著影响; 当木纤维和聚酯纤维质量比为3:1、施胶量12%、发泡剂添加量8%和密度为0.2 g/cm³时, 复合材料的中高频段吸声性能较优, 成本可降低30%。

关键词: 木纤维; 聚酯纤维; 复合材料; 吸声系数

中图分类号: S781.38; TS65

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2013)06-0041-04

Effect of Manufacture Technique on Sound Absorption Property of Wood Fiber/Polyester Fiber Composite Material

WANG Jun-feng¹, PENG Li-min¹, FU Feng¹, ZHANG Yao-li², WANG Dong¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: For developing low cost sound absorption materials made of wood fiber, the authors analyzed the effects of selected four parameters, such as proportion of wood fiber and polyester fiber, resin consumption, foaming agents content and board density of composite material on sound absorbing coefficients of the composite materials, which were measured by impedance tube instrument. The results showed that the factors had impact on sound absorption coefficient of the samples significantly, and as the fiber ratio of wood and polyester was 3:1 with 12% resin content, 8% foaming agent content and 0.2 g/cm³ density, the sound absorption property of the composite samples showed excellent in middle-high frequency with 30% of manufacturing cost saved.

Key words: wood fiber; polyester fiber; composite material; sound absorption coefficient

目前市场上常用的吸声材料为聚酯纤维吸声板^[1], 该材料具有多孔结构, 且为柔性纤维材料, 但化工原料不可再生且价格昂贵。木材纤维作为一种价格相对低廉、可再生的生物质资源, 由于具有中空结构和一定的表面粗糙度, 亦具有一定的吸声性能。如

果利用木纤维代替部分聚酯纤维, 结合人造板热压技术和聚合物发泡技术, 制备木纤维/聚酯纤维复合吸声材料, 可在满足轻质纤维板力学强度要求的条件下, 兼具较优的吸声性能, 从而降低吸声材料的成本。

笔者对不同工艺条件下制备的复合材料的吸声性能进行测试, 探究了木纤维/聚酯纤维质量比、发泡剂添加量、施胶量、密度等因素, 对复合板材吸声性能的影响, 为降低复合吸声材料的成本及优化其制备工艺提供参考。

收稿日期: 2013-04-27; 修改日期: 2013-10-17

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“木纤维/聚酯纤维复合吸音材料的研究”(CAFINT2011C04)。

作者简介: 王军锋(1986—), 男, 南京林业大学硕士研究生。

通讯作者: 彭立民, 男, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

1 材料与方法

1.1 试验材料

- 1) 杨木(*Populus* spp.)纤维,中国林科院中试基地提供,长度6~20 mm,直径200~600 μm ,含水率2%~5%,实质密度1.5 g/cm³。
- 2) 聚酯纤维,外购,实心纤维,横切面为圆形,直径30 μm ,长度6 mm,密度约1.4 g/cm³。
- 3) 异氰酸酯胶黏剂,外购,棕黄色液体,固体含量100%,黏度为275 mPa·s。
- 4) 发泡剂,外购,改性偶氮二甲酰胺,黄色粉末,工业级。

1.2 试验装置

热压机,阻抗管等。

1.3 试验方法

在前期探索试验的基础上,确定木纤维/聚酯纤维复合吸声材料的制备工艺:

木纤维→干燥→与聚酯纤维共混→施胶→加入发泡剂→二次共混→铺装→预压→热压。

根据前期全因子试验结果确定,热压压力2.5 MPa,温度150 ℃,时间10 min。采用 $L_9(3^4)$ 正交试验,研究各因素对复合材料声学性能的影响。板材幅面400 mm×400 mm,厚度10 mm,利用模具控制板坯厚度。试验因子及水平见表1。

表1 试验因子与水平

Tab. 1 Experimental factors and levels

因子	水平		
	1	2	3
A 木纤维/聚酯纤维质量比	1:1	3:1	9:1
B 施胶量/%	6	12	18
C 发泡剂添加量/%	4	8	12
D 密度/(g·cm ⁻³)	0.2	0.3	0.4

1.4 性能测试

根据GB/T 19696.2-2004《声学 阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量 第二部分:传递函数法》,采用阻抗管测试吸声系数,测试环境为半消音室,环境温度10 ℃,湿度20%,大气压100.76 kPa,测量范围50~6 400 Hz,每隔4 Hz测量一个值。每个条件下测量3个试样,每个试样重复测量3次。

2 结果与分析

由于复合材料低频段的吸声性能变异不明显,在

中高频段吸声性能差异明显,因此,取整个频段吸声系数的平均值,作为评价其吸声性能的依据。复合材料吸声系数的测量结果、极差分析和方差分析,分别见表2、3。

表2 不同工艺参数时复合材料的吸声性能

Tab. 2 Sound absorption coefficient of composite material under different parameters

编号	因子与水平				吸声系数
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	0.618167
2	1	2	2	2	0.405073
3	1	3	3	3	0.346928
4	2	1	2	3	0.458444
5	2	2	3	1	0.605974
6	2	3	1	2	0.409893
7	3	1	3	2	0.437421
8	3	2	1	3	0.357863
9	3	3	2	1	0.656651
1	0.456	0.504	0.461	0.626	
2	0.491	0.456	0.507	0.417	
3	0.484	0.471	0.463	0.388	
R	0.035	0.048	0.046	0.238	

表3 制板工艺因素对板材吸声系数影响的方差分析

Tab. 3 Variance of analysis of factors on sound absorption coefficient of composite material

因子	III型平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
A	0.006	2	0.003	2720.663	<0.0001	**
B	0.011	2	0.005	4614.575	<0.0001	**
C	0.012	2	0.006	5133.521	<0.0001	**
D	0.304	2	0.152	131429.635	<0.0001	**

注:**表示极显著。

从表3可知,木纤维/聚酯纤维质量比、施胶量、发泡剂添加量、密度4个因素,对复合材料的吸声性能均有极显著的影响。

2.1 2种纤维质量比对吸声性能的影响

由表2可知,随着木纤维比例的增加,复合材料的吸声系数先增加后减小,3种比例对复合材料吸声性能的影响,排序依次为:3:1>9:1>1:1。

复合材料的吸声机理有两种:一种为多孔吸声机理,起主导作用^[2],通过粘滞性和导热性的协同作用,达到对声波能量的损耗^[3]。复合材料中的木纤维为刚性纤维,表面较粗糙,声波与纤维表面的接触面积大,从而提高吸声性能;另一种是阻尼吸声机理^[4],聚酯纤维为柔性纤维,具有较大的粘弹性,在声波作用

下可产生滞后效应和弹性形变,从而消耗声波的能量^[5]。

木纤维和聚酯纤维的化学组成及结构存在差异,导致其内聚能与粘弹性不同,从而使得两种纤维的骨架强度、弯曲度等存在差别,当两种纤维配比不同时,其吸声性能亦有差别^[6]。

当木/聚酯纤维质量比为 3 : 1 时,充分发挥了两种纤维自身的吸声性能,一方面,木纤维表面对声波的阻尼和聚酯纤维的弹性阻尼产生较优的搭配;另外,由两种纤维构成的多孔孔隙具有较佳的阻碍声波进行传播的结构,因此在该比例下具有较优的吸声性能。

2.2 施胶量对吸声性能的影响

表 2 显示,随施胶量的增加,复合材料的吸声性能逐渐减弱。

在胶黏剂和发泡剂协同作用的过程中,胶黏剂可控制气泡孔径的大小、孔隙率、开孔率等。当吸声材料的孔隙越多、越小,开孔率越大,其吸声性能就越优。若施胶量过少,则胶黏剂很难形成泡孔结构,不利于声波能量的损耗。而施胶量过高,一方面使泡孔生成受限,泡孔的孔径过小,形成较多的闭孔结构;另一方面,纤维表面被较多的胶液包覆,胶黏剂固化后纤维的刚性较大,不利于纤维在声波能量作用下发生形变而损耗其能量。因此,从生产成本和吸声性能方面考虑,施胶量以 12% 为宜。

2.3 发泡剂添加量对吸声性能的影响

适量的发泡剂,可以使得纤维表面的胶黏剂分布均匀,胶合界面致密,且发泡产生的孔隙结构亦分布均匀,孔径适宜,使材料具有较优的吸声性能。表 2 显示,随着发泡剂添加量的增加,复合材料的吸声性能先增后降。说明发泡剂添加量对材料吸声性能的影响存在一个最佳范围。

因为声波主要通过衍射进入多孔材料内部,发泡剂用量过少时,其分解产生的气体,无法使胶黏剂均匀分布,造成孔隙结构的孔径过小、不均匀,声波在材料表面更容易发生反射,使得材料的吸声性能降低。

当发泡剂的用量过大时,流体中的气体膨胀力变大,当超过流体所能承受的极值时,流体内部的泡孔出现串孔或者塌陷,多余的气体沿着纤维外壁逸出^[7-8],使得胶黏剂向气体冲击力薄弱的区域流动,从

而导致泡孔分布不均匀,部分气泡孔径过大,对声波孔壁产生的有效摩擦阻尼变小,导致吸声效果较差。本试验条件下,发泡剂较优的添加量为 8%。

2.4 密度对吸声性能的影响

表 2 显示,复合材料吸声系数随着密度的增大而减小。吸声材料的密度与其孔隙率和流阻率密切相关^[9-10],实践表明,吸声材料的孔隙率又与吸声性能密切相关,孔隙率太小,材料过于密实,声波不易进入材料内部,孔隙率太大,材料过于疏松,孔隙间空气没有充分的摩擦,吸声性能均较差。而孔隙率的大小亦反映为空气流经材料所遇到的阻力,即流阻率。因此,适当控制流阻率可使材料获得较优的吸声性能^[11]。实际工程中,常通过材料密度估算其孔隙率和流阻率。

多孔材料的密度与纤维种类、纤维直径及固体密度密切相关,同一种纤维材料,密度越大,孔隙率越小,流阻率越大。在厚度一定的条件下,材料密度过大,可引起孔隙率和流阻率超过最佳范围值时,反射的声能较多,导致吸声性能变弱。

由表 2 中的数据可知,复合材料的较佳密度值为 0.2 g/cm³。观察试样发现,该密度的复合材料内部具有大量相互连通的气泡,有许多微小细孔直通材料表面。

2.5 验证试验

通过极差和方差分析,较优的工艺参数为:在本试验的热压条件下,木/聚酯纤维质量比为 3 : 1,施胶量 12%,发泡剂添加量 8%,密度 0.2 g/cm³,厚度 10 mm。按照该工艺进行验证试验,制备的复合材料试样的吸声性能曲线见图 1。

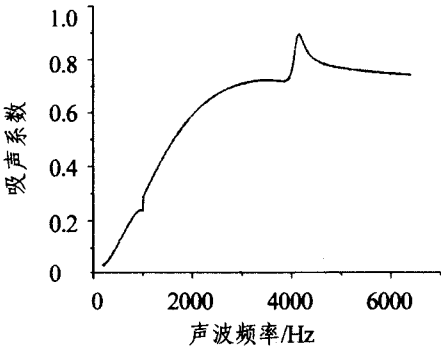


图 1 不同频率下复合材料的吸声系数
Fig. 1 Sound absorption coefficient of composite material under different frequencies

图1显示,在100~4 148 Hz范围内,复合材料的吸声系数随着声波频率的增大而增大;频率超过4 148 Hz后,吸声系数略有下降,但基本保持稳定。这是因为入射声波的频率越高,空隙间空气质点的振动速度越快,与孔壁产生碰撞和摩擦的频率越高,空气与孔壁的热交换亦加快。因此,该复合材料在中高频具有良好的吸声性能。

在50~6 400 Hz声波频率范围内,木纤维/聚酯纤维复合材料平均吸声系数为0.67;聚酯纤维吸声板平均吸声系数为0.52。厚度为10 mm的聚酯纤维吸音板的成本为35元/m²左右,而同样厚度的木纤维/聚酯纤维复合材料成本为25元/m²。

3 结论

1) 在本试验条件下,木纤维/聚酯纤维质量比例、施胶量、发泡剂加量、密度对复合材料的吸声性能均有极显著的影响。随着纤维质量比与发泡剂添加量的增加,复合材料的吸声系数先增加后减小;随着施胶量、密度的增加,吸声系数逐渐降低。

2) 在优化工艺条件下:木纤维/聚酯纤维质量比3:1、施胶量12%、发泡剂添加量8%、密度0.2 g/cm³,制备的复合材料在中高频段具有较优的吸声性能;与聚酯纤维吸声板成本相比,使用该工艺可以降低生产成本约30%。

3) 本试验所用的异氰酸酯胶成本相对较高,而通过前期探索试验已发现,脲醛胶和酚醛胶的胶合性能较差。今后有待探讨偶联剂对聚酯纤维胶合性能的影响,以进一步降低复合材料的生产成本。

参考文献:

- [1] 钟祥璋. 聚酯纤维装饰板吸声性能的实验研究[J]. 声频工程, 2005(10): 10-14.
- [2] 彭立民,梁善庆,傅峰,等. 我国木质吸音材料的发展现状分析[J]. 木材工业, 2012,26(3): 29-32.
- [3] 吕如榆. 吸声材料的吸声机理和设计原则[J]. 噪声与振动控制, 1983(3): 52-58.
- [4] 李思远,杨伟,杨鸣波. 降噪高分子材料及其应用[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(5): 70-73.
- [5] 张少辉,陈花玲. 共固化复合材料粘弹阻尼结构的损耗因子研究[J]. 航空材料学报, 2005, 25(1): 53-57.
- [6] 向海帆,赵宁,徐坚. 聚合物纤维类吸声材料研究进展[J]. 高分子通报, 2011(5): 1-9.
- [7] 郭结,揣成智. 模压法制备发泡聚丙烯的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2009, 21(1): 9-13.
- [8] 黄俊彦. 植物纤维类发泡材料的成型机理及生物发泡方法探讨[J]. 中国包装工业, 2010(11): 30-32.
- [9] 刘鹏辉,杨宜谦. 多孔吸声材料的吸声特性研究[J]. 噪声振动与控制, 2011(2): 123-126.
- [10] 胡俊民. 声学材料的流阻测定//绝热材料的前景与施工[C], 2002: 143-150.
- [11] 向建华,廖日东. 基于流阻率的吸声材料声学性能研究[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(1): 1018-1022.

(责任编辑 张一萍、姜征)

行业简讯

FMC China 2013 展商和观众数量再创新高

第19届中国国际家具生产设备及原辅材料展览会(FMC China 2013),2013年9月14日在上海世博展览馆圆满落幕。

本次展会总面积达5.9万m²,吸引了来自43个国家和地区的790家海内外参展商,及来自全球82个国家和地区的3.38万名专业买家,观众总数增长10%,其中海外观众占14.8%。FMC PREMIUM精品展区4天的流量高达2.29万人次。

本届FMC期间,还举办了将近40场行业高峰论坛及专业研讨会,邀请了60多位家具行业各领域的权威人士进行演讲和互动,包括2013中国家具制造大会及系列会议、第二届中国家具行业上下游产业联席会议、首届全球家具制造行业领导品牌集群展

等。会议现场嘉宾与观众踊跃互动、反响热烈。

主办方对家具制造在线(FMCGle.com)进行了全面改版和优化,并在展会现场首次使用二维码通道,让观众第一时间通过手机扫描获悉展商展品信息,迅速便捷的掌握商机。家具制造在线是FMC展会的延伸,全年365天的线上展示,为买卖双方提供更多的贸易机会。

下届展会将于2014年9月10—13日在上海世博展览馆举行,届时将新增人造板机械、地板机械、木门机械等版块,并推出展品专区化的新概念,包括:木工机械专区、数控设备专区、软体机械专区、胶黏剂专区、家具/家装涂料及涂装设备专区等,以期向行业观众呈现更完善的专区形象。

王超摘编