

天然纤维增强复合材料吸声性能研究

Acoustical Studies of Natural Fiber Reinforced Composites

罗 业, 李 岩

(同济大学 航空航天与力学学院, 上海 200092)

LUO Ye, LI Yan

(School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics,

Tongji University, Shanghai 200092, China)

摘要: 采用热压成型法制备天然纤维增强复合材料层合板和蜂窝夹芯结构, 利用双传声器阻抗管进行吸声性能测试, 并与合成纤维增强复合材料层合板和蜂窝夹芯结构进行对比。结果表明: 与合成纤维增强复合材料层合板相比, 天然纤维增强复合材料层合板虽然具有更优异的吸声性能, 但是仍不能满足吸声材料的要求, 需通过材料设计进一步提高这种材料的吸声性能。而天然纤维增强蜂窝夹芯结构具有优异的吸声性能, 吸声系数峰值高达 0.4, 可以被用作吸声材料。

关键词: 天然纤维; 吸声系数; 表面阻抗; 阻抗匹配

中图分类号: TB332 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2010)04-0051-04

Abstract: The natural fiber reinforced composite laminates and honeycomb sandwich structures were prepared by hot press. Acoustic properties were tested with the aid of two-microphone impedance tube and compared with synthetic fiber reinforced composite counterparts. The results showed that natural fiber reinforced composites laminates had better acoustic properties than their synthetic counterparts, but still failed to reach the requirements as acoustic materials. Proper materials design is needed to further improve the acoustic properties of natural fiber reinforced composite laminates. While, natural fiber based honeycomb sandwich structures had good acoustical properties, with its peak sound absorption coefficient approaching 0.4, and thus could be used as acoustic materials.

Key words: natural fiber; sound absorption coefficient; surface impedance; impedance matching

噪声污染已成为当代世界性的问题, 同水污染和大气污染一起被列为全球三大污染^[1]。随着工业、农业、交通运输业的发展, 噪声污染日趋严重, 已经成为越来越严重的社会问题。而噪声对人们的休息、学习和工作的影响以及对身心健康的危害, 日益为人们所认识和关注。为此, 各行各业在住宅、学校、工厂、交通工具以及城市环境等方面都建立起噪声的限制标准, 而噪声控制技术也随之得到了飞速的发展。

噪声的控制分为三种途径^[2]: 在声源处降低噪声幅值; 在声波传播途径中阻隔、吸收声能; 在声音接收点采取保护措施, 减少噪声影响。而实际应用中, 最有效的噪声控制就是通过吸声材料来达到降噪的效果。

天然纤维由于比强度高、比模量高、价格低廉、可回收、可降解、可再生、绿色环保等特性而作为增强体在复合材料中得到广泛应用^[3]。其织物、非织造布作为吸声材料也备受科学家和研究者的青睐^[4-8], Muller 和 Krobjowski 通过 Alpha-cabin 和双传声器阻抗管研究了棉制绒头织物的吸声性能, 发现了其优良的

吸声性能^[4]; Parikh 等^[5]发现天然纤维针织毡能够有效降低汽车内噪音; 张辉等^[8]选用大麻、涤纶和棉纱线织造了不同规格的织物, 分析了织物紧度、组织和化学试剂对大麻织物吸声系数的影响。而对于天然纤维增强复合材料的吸声性能却报道较少。

本工作着眼于绿色环保吸声材料的研制, 以天然纤维增强复合材料层合板和蜂窝夹芯结构为对象, 研究了其吸声性能, 并和传统的合成纤维增强复合材料层合板和蜂窝夹芯结构进行比较, 分析了其在吸声降噪领域的应用前景。

1 实验

1.1 实验材料

选用江西井竹麻业有限公司生产的平纹编织苎麻布, 浙江宏成纺织整理有限公司生产的平纹编织黄麻布, 常州天马集团公司生产的平纹编织玻璃纤维布以及上海怡昌碳纤维材料有限公司生产的平纹编织炭纤

维布作为增强材料。层合板树脂基体采用 Cytec 公司生产的 6070 酚醛树脂。蜂窝夹芯结构树脂基体来自上海科拉斯复合材料有限公司生产的乙烯基聚酯(聚酯:固化剂:促进剂=100:2:1.5)。纸蜂窝来自美国 Hexcel 公司。

1.2 试样制备

分别采用苧麻纤维、黄麻纤维、玻璃纤维以及碳纤维织物作为增强材料,酚醛树脂作为层合板基体材料,乙烯基聚酯作为蜂窝夹芯结构树脂基体,纸蜂窝作为芯层材料,利用热压成型法分别进行了复合材料层合板以及蜂窝夹芯结构的制备。

1.3 吸声性能测试

根据 ASTM E-1050 测试标准^[9],采用传递函数法进行吸声性能测试,如图 1 所示。

此测试方法将试样置于阻抗管一端,利用固定在阻抗管另一端的信号发生器发出宽带信号,通过采集传声器的声压信号,得到总声场的传递函数 H

$$H = \frac{p_2}{p_1} \quad (1)$$

式中: p_1 , p_2 分别为 1 号传声器(Mic. 1)和 2 号传声器(Mic. 2)处所测得的反射声压。而试样表面的复反射系数 R 为

$$R = \left(\frac{H - e^{-jks}}{e^{jks} - H} \right) e^{2k(l+s)} \quad (2)$$

式中: k 为波数; s 为传声器之间的距离; l 为 1 号传声器(Mic. 1)到试样表面的距离。这样,就可以得到声波垂直入射时材料的吸声系数 α

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (3)$$

和声阻抗比 $\frac{z}{\rho c}$

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (4)$$

式中: z , ρc 分别为材料和空气的特征阻抗。

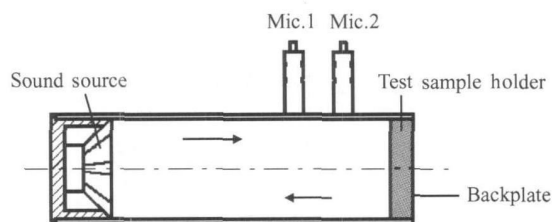


图 1 ASTM E-1050 双传声器阻抗管

Fig. 1 The two-microphone impedance tube for ASTM E-1050

选用 4206A 型双传声器阻抗测量管测量材料的吸声性能,测量管内径为 100mm,测试频率范围为 50 ~ 1600Hz,试样如图 2 所示。

2 结果与讨论

2.1 层合板吸声性能

图 3, 4 分别是厚度为 3mm 的四种纤维增强复合材料层合板的吸声系数频率谱和在 250, 500, 1000, 1500Hz 频率下的吸声系数。可以看出,四种纤维增强复合材料层合板均在 400Hz 频率附近出现较为明显的吸声峰值。这可能与酚醛树脂分子链段单键内旋转,运动滑移产生内摩擦而消耗外部能量有关^[10]。而经过比较发现,天然纤维(苧麻或黄麻)增强复合材料层合板较合成纤维(玻璃纤维或碳纤维)增强复合材料层合板具有更为优异的吸声性能,而且在高频范围的优势更为明显。四种纤维增强复合材料层合板的吸声系数大小顺序按增强材料排序为苧麻纤维>黄麻纤维>玻璃纤维>碳纤维。通常,工程上把吸声系数大于 0.2 的材料称为吸声材料。可以看出,不论是合成纤维增强复合材料层合板还是天然纤维增强复合材料层合板都不能达到吸声材料的标准。

吸声材料的表面阻抗是影响材料吸声性能的主要因素之一^[11]。四种纤维增强复合材料层合板的表面

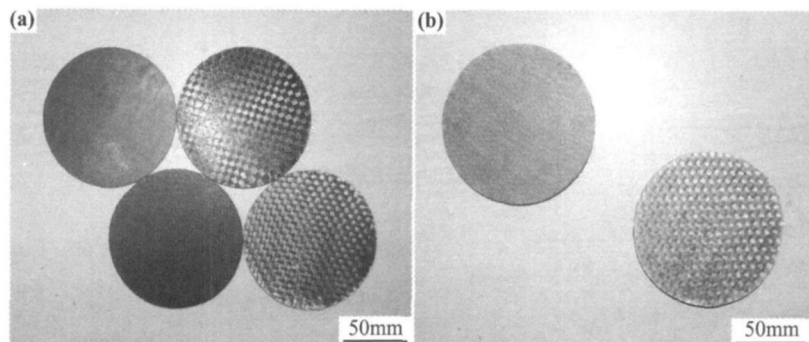


图 2 吸声性能测试试样 (a) 层合板; (b) 蜂窝夹芯结构

Fig. 2 Specimens for acoustic test

(a) laminates; (b) honeycomb sandwiches

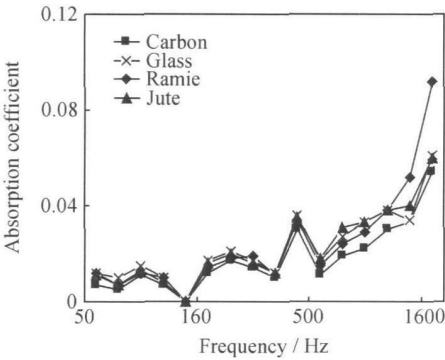


图 3 四种纤维增强复合材料层合板吸声系数频率谱

Fig. 3 Absorption coefficient of four kinds of fiber reinforced composite laminates *versus* frequency

阻抗比如图 5 所示。声阻抗比的实部和虚部为材料的声阻抗比和声抗比, 分别反映材料的声耗散能力和声反射能力^[12]。从图 5(a) 中可以看出, 苧麻纤维增强复合材料在全频率段都具有较优异的声耗散性能。但是由于其在频率段 500~ 1000Hz 声抗比远远偏离零点(见图 5(b)), 材料表面阻抗与空气的特征阻抗不匹配, 因此表

现为声反射较大, 声波难以进入材料内部, 使得其优异的声耗散性能在 1000Hz 以后才得以体现(见图 3)。而对于黄麻纤维增强复合材料, 虽然其声耗散性能并不突出, 但是由于其声抗比更接近零值, 声反射较小, 因此也具有较好的吸声性能。这同时也表明, 材

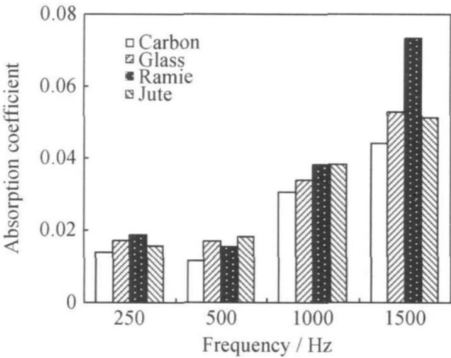


图 4 四种纤维增强复合材料层合板在不同频率下的吸声系数

Fig. 4 Absorption coefficient of four kinds of fiber reinforced composite laminates at different frequency

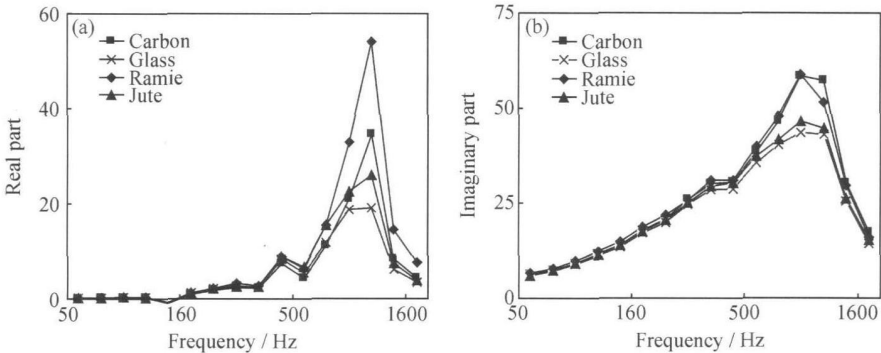


图 5 四种纤维增强复合材料层合板的表面阻抗比 (a) 实部; (b) 虚部

Fig. 5 Surface impedance ratio of four kinds of fiber reinforced composite laminates (a) real part; (b) imaginary part

料的吸声性能由声耗散和声反射性能共同作用而决定的。

2.2 蜂窝夹芯结构的吸声性能

夹芯结构通常具有良好的吸声性能^[7]。因此, 本工作又以蜂窝夹芯结构为对象, 采用纸蜂窝作为芯层材料, 苧麻纤维或玻璃纤维增强材料作为面板材料, 研究了蜂窝夹芯结构的吸声性能。

图 6 为玻璃纤维和苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构的吸声系数频率谱。可以看出, 苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构在全频率段都具有良好的吸声性能, 吸声系数峰值高达 0.4。

图 7 为苧麻纤维和玻璃纤维增强蜂窝夹芯结构的表面阻抗比。可以看出, 苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构

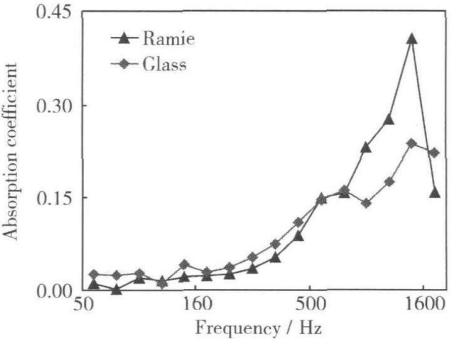


图 6 玻璃纤维和苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构的吸声系数频率谱

Fig. 6 Absorption coefficient of glass fiber and ramie fiber based honeycomb sandwiches *versus* frequency

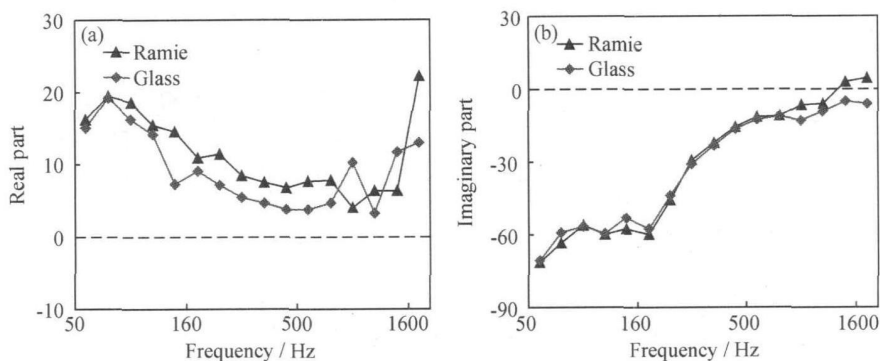


图7 玻璃纤维和苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构的表面阻抗比 (a) 实部; (b) 虚部

Fig. 7 Surface impedance ratio of glass and ramie fiber based honeycomb sandwiches (a) real part; (b) imaginary part

的声耗散和声反射性能都优于玻璃纤维增强蜂窝夹芯结构。正是因为苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构拥有优异的声耗散和声反射性能,才使得苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构具有卓越的吸声性能。

3 结论

(1) 材料的吸声性能由材料的声耗散性能和声反射性能共同决定。

(2) 与合成纤维增强复合材料层合板相比,天然纤维增强复合材料层合板具有更优异的吸声性能。但在 50~1600 Hz 频率范围内,其吸声系数均低于 0.2,达不到吸声材料的标准,需通过材料设计,进一步提高这种材料的吸声性能。

(3) 苧麻纤维增强蜂窝夹芯结构具有较玻璃纤维增强蜂窝夹芯结构更好的吸声性能。在 50~1600 Hz 频率范围内,其峰值吸声系数高达 0.4,能够满足吸声材料的要求。

参考文献

- [1] 朱从云. 主动吸声降噪理论与方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学博士学位论文, 2005.
- [2] 赵松龄. 噪声的降低与隔离[M]. 上海: 同济大学出版社, 1985.
- [3] LI Y, MAI Y-W, YE L. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments[J]. Composites Science and Technology, 2000, 60: 2037-2055.
- [4] MUELLER DH, KROBILOWSKI A. New discovery in the prop-

erties of composites reinforced with natural fibers[J]. Journal of Industrial Textiles, 2003, 33(2): 111-130.

- [5] PARIKH D V, CHEN Y, SUN L. Reducing automotive interior noise with natural fiber nonwoven floor covering systems[J]. Textile Research Journal, 2006, 76(11): 813-820.
- [6] BALLAGH K O. Acoustical properties of wool[J]. Applied Acoustics, 1996, 48(2): 101-120.
- [7] BORSELLINO C, BELLA G D. Paper reinforced biomimetic cellular structures for automotive applications[J]. Materials and Design, 2009, 30: 4054-4059.
- [8] 张辉, 徐凡, 张新安. 大麻织物吸声性能研究[J]. 青岛大学学报, 2009, 24(1): 66-70.
- [9] ASTM E-1050-08, Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis system[S].
- [10] 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.
- [11] 李波, 周洪, 黄光速. 声阻抗梯度渐进的高分子微粒吸声材料[J]. 高分子材料科学与工程, 2006, 22(3): 239-242.
- [12] LI B, ZHOU H, HUANG G. A novel impedance matching material derived from polymer micro-particles[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42: 199-206.

基金项目: 新世纪优秀人才计划资助项目(NCET-07-0620); 上海市科委科技攻关资助项目(075211015)

收稿日期: 2009-08-14; 修订日期: 2010-01-06

作者简介: 罗业(1986—), 男, 硕士研究生, 主要从事天然纤维增强复合材料的应用研究. 联系地址: 上海市四平路 1239 号同济大学航空航天与力学学院(200092), E-mail: luoye2006@gnail.com