

讨论与探讨

新型木丝板吸声性能的试验分析

张晓滕, 母军

(北京林业大学材料科学与技术学院; 木质材料科学与应用教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 采用驻波管法测量木丝板的吸声系数, 分析板材厚度、密度、后背空腔深度、组合方式等因素对木丝板吸声性能的影响。结果表明: 木丝板的吸声性能符合多孔材料吸声机理; 在 0~2 000 Hz 的声频范围内, 木丝板的吸声性能随着声波频率和板材密度的增大而提高, 增加背面空腔深度能够提高材料的吸声系数; 厚度 10 mm、密度 0.50 g/cm³ 木丝板的吸音效果较理想, 不同密度的木丝板组合使用, 亦可提高其吸声性能。

关键词: 木丝板; 吸声系数; 多孔材料; 驻波管

中图分类号: TS653.5; TU55.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2014)03-0034-05

Evaluation of Sound Absorption Performance of Light Wood Wool Board

ZHANG Xiao-teng, MU Jun

(College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University;

Key Laboratory of Wooden Material Science and Application, Beijing 100083, China)

Abstract: The stationary wave tube method was used to measure the sound absorption coefficient of wood wool boards. Effects of thickness, density, back cavity depth and density combination were used to analyze sound absorption performance of the boards. Results showed that the wood wool board conformed to absorption mechanism of porous material as audio frequency ranging from 0 ~ 2 000 Hz. Sound absorption performance was improved as the board density and thickness increased. And sound absorption coefficient could be improved by deeper cavity on the back side. The wood wool board having 10 mm thickness and 0.50 g/cm³ density was an ideal sound absorption material. Combination of different board densities could improve acoustic performance.

Key words: wood wool board; sound absorption coefficient; porous material; stationary wave tube

吸声材料是可以吸收由空气传递的声波能量的建筑材料, 广泛应用于音乐厅、影院等建筑物的墙面、顶棚等部位, 对改善声波传递质量、减少噪音等, 起到重要作用。吸声材料可分为三类: 多孔型、薄板型和

共振型, 多孔吸声材料内部具有许多微小、连通的空隙, 空隙细小且在材料内部分布均匀, 使大部分声波进入材料内部并消耗殆尽, 因而吸声能力强, 且相对于共振吸声结构, 具有较宽的吸声频带范围^[1]。

2011 年我国木质吸声材料的产量超过 1 000 万 m², 主要材种为速生材, 主要生产厂商集中在上海、北京、江苏和广东等地区。木质穿孔吸声板、水泥木丝板和轻质纤维板是三种常用的木质吸声材料^[2]。

传统的水泥木丝板是以木丝经矿化剂溶液处理后与水泥混合、铺装压制成型的板材, 属于水泥木质

收稿日期: 2013-07-01; 修改日期: 2014-03-26

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项“低成本无烟高效阻燃木质材料制造关键技术研究”(201204704); 北京市教育委员会共建项目专项资助“速生材高效利用技术”; 北京市教育委员会共建项目专项资助“人工林速生材的结构用集成材材性及应用性能研究”。

作者简介: 张晓滕(1988—), 男, 北京林业大学硕士研究生。

通讯作者: 母军, 女, 北京林业大学副教授。

制品;而新型木丝人造板是以木材枝丫材、小径材、木材加工剩余物等为原材料,经过顺纤维方向加工木丝、施胶、预压、热压、成型等工艺制作而成。新型木丝板的密度范围为 $0.25\sim 0.65\text{ g/cm}^3$,保温性与玻璃棉、泡沫塑料等相当,具有环保、质轻、高强抗震、生产能耗低等优势,可广泛应用于建筑用外墙、室内装饰、家具、建筑吊顶等材料领域^[3]。

东北林业大学研究发现,各类板材吸声性能依次为:纤维板>胶合板>刨花板>实木^[4];中国林科院木材工业研究所利用木纤维和聚酯纤维制造一种高性能复合吸声材料;美国以经过化学处理的木质纤维为原料,制成一种喷覆式装饰吸音材料^[5]。但目前对新型木丝板吸声性能的研究极少。

有鉴于此,笔者对以桦木刨切薄木边角料为原料制成的轻质木丝板,进行吸声性能的测试分析,旨在为新型木丝板应用领域的拓展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

木丝板由秦皇岛裕源木业有限公司提供(如图 1 所示)。采用厚度 0.6 mm 的桦木废片,经专门抽丝机加工成宽度为 1 mm 的木丝,采用酚醛树脂胶,施胶量为 15%,经平压法热压而成,热压温度为 150℃,热压时间为 40 s/mm。产品密度范围为 $0.30\sim 0.65\text{ g/cm}^3$,厚度规格为 8~10 mm。

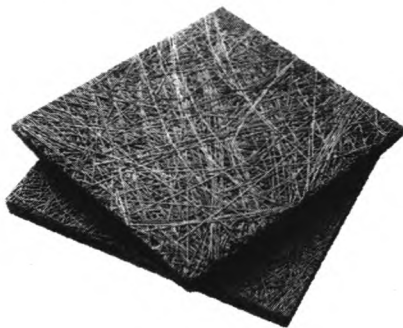


图 1 木丝板样品

Fig. 1 A sample of wood wool board

1.2 主要仪器

SZZB 型驻波管等。

1.3 试验设计

影响木丝板吸声性能的因素有:板材厚度、密度、

安装方式(后背空腔深度 D ,即在吸声系数测量过程中,试件背面与驻波管末端刚性壁间空气层的深度,如图 2 所示)、结构(不同密度板材组合)等。在对试件的厚度与密度进行筛选分组后,进行单因素试验(表 1),每个水平重复 3 次试验。

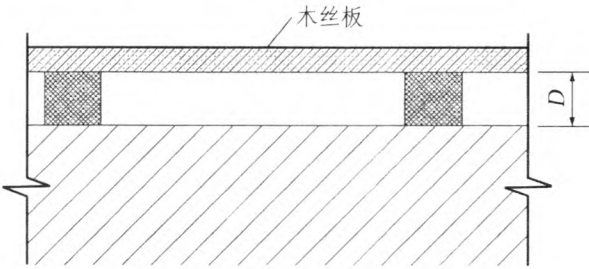


图 2 木丝板安装预留空腔剖面示意图

Fig. 2 Profile of reserved cavity on the back side of wood wool board

表 1 试验设计

Tab. 1 Design of the experiment

变量因子	变量取值	固定因子
厚度/mm	8,9,10	密度 0.50 g/cm^3
密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	0.3,0.5,0.6	厚度 10 mm
后背空腔深度/mm	0,5,10,15	厚度 8 mm,密度 0.65 g/cm^3
不同密度板材组合	A $0.50+0.50$	厚度 8 mm
方式/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	B ₁ $0.50+0.60$	
	B ₂ $0.60+0.50$	
	C $0.60+0.60$	

1.4 吸声性能测试

参照 GBJ 88-1985《驻波管法吸声系数与声阻抗率测量规范》,测试试验材料的吸声系数。将板材加工成直径为 100 mm 的圆形试件,测试频率设置为 200、250、315、400、500、630、800、1 000、1 250、1 600、2 000 Hz,取吸声系数的算术平均值记为平均吸声率(Average sound absorption factor, AVG);另计算 250、500、1 000、2 000 Hz 4 个倍频带吸声系数的算术平均值作为降噪系数(Noise reduction coefficient, NRC)。

2 结果与分析

2.1 木丝板厚度对吸声性能的影响

图 3 显示 3 种厚度不同、密度均为 0.50 g/cm^3 的木丝板,在不同频率下的吸声频率特征曲线;表 2 列出其平均吸声系数和降噪系数。

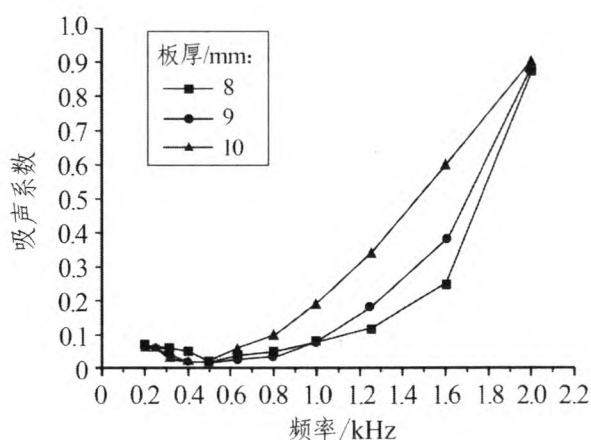


图3 不同厚度木丝板在不同频率的吸声系数

Fig. 3 Sound absorption coefficients of wood wool board with different thicknesses vs. sound frequencies

表2 不同厚度木丝板的平均吸声系数和降噪系数

Tab. 2 Average sound absorption coefficients and noise reduction coefficients of wood wool boards with different thicknesses

指标	厚度/mm		
	8	9	10
AVG	0.15	0.16	0.22
NRC	0.26	0.26	0.29

由图3可知,3种厚度木丝板的吸声频率特性曲线走势大致相同:在低频范围吸声系数很低,500 Hz位置出现较小波谷,之后随着频率的增大,吸声系数显著升高。当频率达到2 000 Hz时,3种厚度的木丝板的吸声系数值均接近0.9。

观察组间差异发现,在200~500 Hz频率范围内,厚度8 mm试件的吸声系数始终最高,但不同厚度试件之间的差异较小;频率高于500 Hz以后,厚度10 mm试件的吸声系数明显高于其他试件,并在频率高于1 000 Hz后的吸声系数>0.20。厚度10 mm的MDF在1 000 Hz时吸声系数仅为0.12^[6],相比显见木丝板的吸声性能。

多孔性吸声材料的吸声频率特性即低频吸声差,高频吸声好^[7]。木丝板的吸声机理符合多孔材料吸声机制,原因是木丝板由木丝分层交织而成,各层间的空隙中心上下错位,孔隙的大小变化率、深度和管状通道的曲折度较高,增加了声波在木丝板内部碰撞和反射的机会,在摩擦和黏滞力的作用下,较多的声能转化为热能,从而使声波衰减;同时孔隙中的空气

和孔壁纤维之间的热交换,引起热损失也有较大提高。因此,木丝板的厚度增大,使其内部的空隙通道延长,通道曲折度提高,声波通过试件时受到的空气流阻增大,声能量损失提高^[8]。

按照平均吸声系数<0.2的材料归于反射材料,≥0.20的材料可称为吸音材料的划分规则^[2],厚度10 mm、密度0.50 g/cm³木丝板,在200~2 000 Hz范围内的平均吸声系数值为0.22,降噪系数值为0.29,其吸声性能可满足吸音材料的要求。

2.2 木丝板密度对吸声性能的影响

厚度同为10 mm,密度分别为0.30、0.50、0.60 g/cm³木丝板的吸声频率特性曲线,如图4所示。

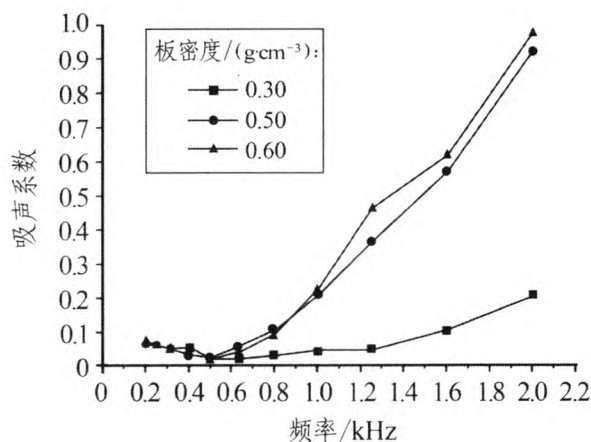


图4 不同密度木丝板的吸声系数

Fig. 4 Sound absorption coefficients of wood wool boards with different densities

材料吸声性能的频率特性受空气流阻的影响很大,即空气质点通过材料空隙所受到的阻力^[9]。由图4可知,当木丝板的密度为0.30 g/cm³时,试件的吸声系数较低。这可能是由于材料内部空隙过大,声波穿过试件时的空气流阻过低,声能因摩擦转化成的热能较少所致。

当木丝板的密度增大到0.50、0.60 g/cm³时,在200~500 Hz的频率范围内,其吸声系数无明显变化;而随着频率增大,在500~2 000 Hz范围内,吸声系数显著提高至0.20以上。

结果说明材料的密度增大,可导致其孔隙率降低,材料的空气流阻增大,声能转化为热能的效率提高;同时,孔隙率的降低,减小了材料内部的孔径,能量较大的高频声波在木丝板孔隙内,可发生二次或多

次非弹性碰撞,经多次反射和折射后,声波的能量损失较多,故吸声性能较好^[10]。

但是,如果密度过大,孔径太小,声波亦会在材料表面发生反射,从而不易进入材料内部。声波的反射取决于材料本身的声阻抗和反射界面两侧介质声阻抗的差异程度。阻抗越大的材料,反射声能量的能力越强,并且声阻抗随材料密度的增加而增加。因此,木丝板密度从 0.5 g/cm^3 上升到 0.6 g/cm^3 时,增强了材料的声阻抗及空气与材料声阻抗的差异程度,声波从空气传播到材料表面时发生的反射现象越剧烈,故试材的吸声性能上升缓慢,甚至开始下降^[9]。

2.3 后背空腔深度对木丝板吸声性能的影响

选择厚度 8 mm、密度 0.65 g/cm^3 的木丝板,其安装时后背空腔深度对吸声频率的影响,如图 5 所示。

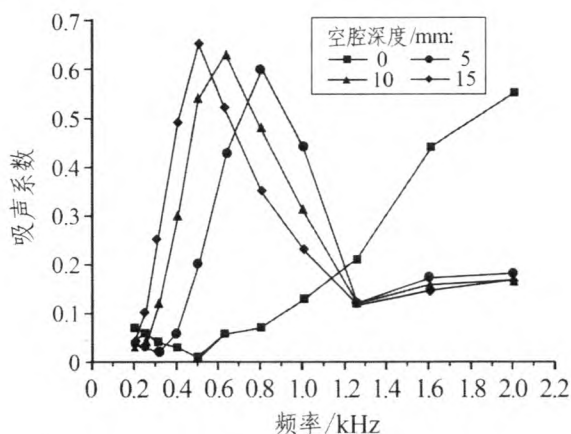


图 5 后背空腔深度对木丝板吸声系数的影响

Fig. 5 Effect of back cavity depth on sound absorption coefficient of wood wool board

由图 5 中可以看出,空腔深度 $> 0 \text{ mm}$ 的三种情况下,木丝板吸声频率特性曲线的走势基本一致,符合共振型吸声材料的吸声原理。木丝板可以看作是许多个单孔共振腔并联在一起,其内部形成贯穿孔隙通道,在声波的作用下,孔隙内的空气柱像活塞一样往复运动,孔隙内侧的空气通过摩擦将声能转化为热能。当入射声波与共振器的固有频率一致时即发生共振现象,此时孔隙内壁的空气阻尼最大,声能消耗也最大^[6]。

当频率低于 1250 Hz 时,随着空腔深度由 5 mm 增加到 15 mm ,试件的吸声系数峰值高度逐渐增大,

并且逐渐向低频方向移动,移动的幅度随空腔深度的增加而减小。通过计算可知,在三种条件下木丝板厚度与后背空腔深度之和约等于声波波长的 $1/32$ 时,吸声系数出现峰值。说明新型木丝板在较小的空腔深度时,便能产生空腔共振现象,其原因还有待于进一步研究。

当频率高于 1250 Hz 后,随着空腔深度的增大,试件的吸声系数数值略有提高,但变化并不明显。与空腔深度为 0 mm 时比较可知:试件背面空腔的存在,可以提高中低频段的吸声系数,这是因为增大空腔深度,相当于增加材料的厚度,试件背面空腔形成的亥姆霍兹(Helmholtz)共振腔,能够提高材料的吸声性能,且空腔深度越大,吸声效果越好^[11]。

对于 $1250 \sim 2000 \text{ Hz}$ 频段,木丝板的吸声系数降低,是因为 Helmholtz 共振体吸音对频率的选择性很强,只对共振频率具有较强的吸声性能,偏离共振频率时吸声效果很差,吸声频带也较窄,一般仅几十到 200 Hz 的范围。为了使频带加宽,可在木丝板背面蒙上一层织物,或者填充其他多孔吸音材料^[6]。

2.4 组合方式对木丝板吸声性能的影响

2.4.1 密度组合

图 6 所示为两种密度、厚度均为 8 mm 的木丝板,按 3 种排列方式组合后,其吸声频率特性曲线。

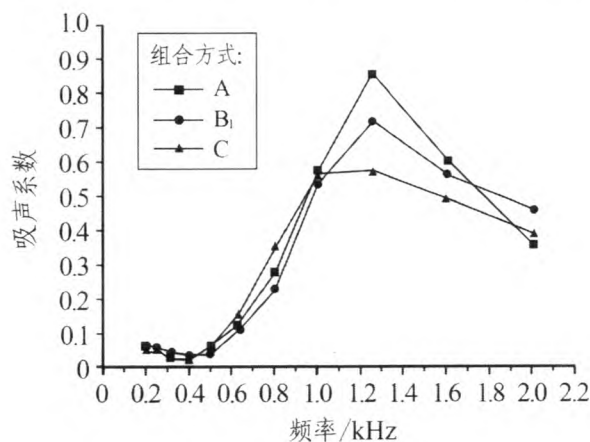


图 6 不同密度组合木丝板的吸声系数

Fig. 6 Sound absorption coefficient of composite wood wool boards of different densities

从组间来看,吸声系数曲线大致分为三个阶段:

- 1) 频率在 $200 \sim 400 \text{ Hz}$ 范围内,随着频率增加,3 种组合试件的吸声系数略有下降,但差别较小;

2) 在 400~1 000 Hz 之间,随着频率的增大,试件的吸声系数迅速升高,3 种组合试件的降噪系数为: $B_1 > C > A$;

3) 频率大于 1 000 Hz 之后, A 组合试件的波峰明显高于另外两种组合,但波峰所对应的频率均为 1250 Hz,说明空腔共振吸收峰值所对应的频率与木丝板的密度无关。因为当材料的密度增大时,其孔隙率变小,内部孔径减少,孔径有效长度和空腔深度亦随之减少,因此使得共振频率没有改变^[13]。

B_1 组合试件的降噪系数最大,说明在相同厚度条件下,不同密度木丝板的搭配组合,有利于提高整体的吸声性能。这是因为不同密度的板材组合,可形成密度梯度,将降低声波在每层界面处的反射系数,而且试件之间存在的微小缝隙,满足空腔共振吸声机理条件。

2.4.2 位置排列

为进一步探索木丝板密度排列方式对吸声效果的影响,笔者按照声波入射方向,选择 B 组试件,根据板材密度以不同位置排列在驻波管中,测试其吸声系数,结果如图 7 所示。

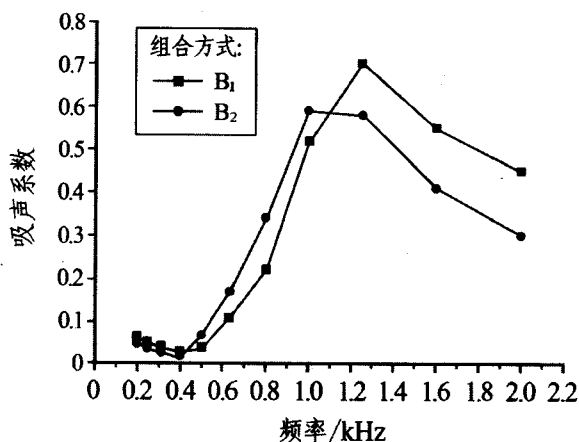


图 7 组合顺序对木丝板的吸声性能的影响

Fig. 7 Effect of arrangement on sound absorption coefficients of wood wool boards

频率 < 400 Hz 时,两种位置组合试件的吸声效果无明显差别;400~1 000 Hz 范围内, B_2 组合试件的吸声系数略高; > 1 000 Hz 以后, B_1 试件的吸声系数明显较高。说明沿着声波入射方向,低密度板材排列在前,更有利于提高木丝板的吸声效果。这是因为当声波先入射到低密度试件时,会有更多的声波入射

到试件内部,加上材料内部的空气粘滞力和内摩擦作用,使更多声能转化为热能而被消耗。

3 结论

1) 木丝板的吸声性能符合多孔材料吸声机理,在低频阶段的吸声系数较低,吸声系数随着频率的增大而提高。

2) 在一定范围内提高板材密度,可以提高木丝板的吸声性能;增加试件背面空腔深度,能够改善材料低频范围的吸声性能;不同密度的木丝板组合,沿声波入射方向,按其密度由小到大的顺序排列,材料的吸声性能更佳。

3) 考虑材料在满足吸音功能的前提下,应遵循质轻、生产能耗低、节省空间等原则,初步认为木丝板作为吸声材料,密度值以 0.5 g/cm^3 左右较为合理。

4) 由于试验仪器存在局限,本研究测试的频率范围仅为 0~2 000 Hz,今后将进行频率增大至 4 000 Hz 的试验;此外,木丝板的吸声性能受板材孔隙率、含水率、纹理角度和表面涂饰的影响,亦有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 何琳,朱海潮,邱小军,等. 声学理论与工程应用[M]. 北京:科学出版社,2008:105-123.
- [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] 王凤玫. 轻质木丝板工艺流程的初步研究[D]. 北京林业大学,2013.
- [4] 于海鹏,刘一星,江贵军,等. 木质类建材的自身吸声特性及影响因素[J]. 建筑材料学报,2008,11(1):70-75.
- [5] 吕强. 浅谈建筑师如何选用体育场馆室内声学材料[J]. 华中建筑,2008,26(5):53-56.
- [6] 于海鹏,刘一星,陈文帅,等. 木质建材与微环境设计[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [7] 孙广荣. 声学材料简析[J]. 电声技术,2010,34(8):9-12.
- [8] 许庆彦,陈玉勇. 多孔铝合金材料吸声性能的研究[J]. 宇航材料工艺,1998,28(2):39-43.
- [9] 王峰,项瑞祈,陈金京,等. 建筑声学材料与结构:设计和应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [10] Putra A, Abdullah Y, Efendy H, et al. Utilizing sugarcane wasted fibers as a sustainable acoustic absorber[J]. Procedia Engineering, 2013,53: 632-638.
- [11] 尉海军,姚广春,王晓林,等. 铝硅闭孔泡沫铝吸声性能研究[J]. 功能材料,2006,37(12): 2014-2018.

(责任编辑 向琴)