

文章编号:0253-9721(2011)06-0065-06

蜂窝织物增强聚氯乙烯复合材料的隔音性能

杨天兵, 傅雅琴

(浙江理工大学 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘 要 为研究蜂窝织物聚氯乙烯(PVC)复合材料的隔音性能,选用 58.3 tex $\times$ 2 的棉纱为经纬纱,在自动织样机上织造面密度基本相同而组织循环数不同的蜂窝织物,以埃洛石纳米管(HNTs)填充的 PVC 为基体,制备蜂窝织物/PVC 复合材料,再以蜂窝织物/PVC 复合材料为芯材,制备三明治结构复合材料。采用双声道声学分析仪,对制备样品的隔音性能进行测试和分析。结果表明:不同循环数的蜂窝织物对复合材料的隔音效果有很大影响,当组织循环数为 6 时,复合材料显示了良好的隔音效果;对于蜂窝织物复合材料作为芯材的三明治结构复合材料而言,组织循环数为 6 时,对低频具有良好的隔音性能,组织循环数为 14 时,对高频率具有良好的隔音性能。

关键词 蜂窝织物; 复合材料; 聚氯乙烯; 隔音性能

中图分类号:X 593 **文献标志码**:A

Sound insulation of honeycomb weave fabric reinforced polyvinyl chloride composite

YANG Tianbing, FU Yaqin

(Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract In order to study the acoustic insulation property of honeycomb weave fabric/PVC composite material, a honeycomb weave fabric with the same surface density but different repetitions of weave was woven on an automatic sample loom using 58.3 tex $\times$ 2 cotton yarn as warp and weft. Honeycomb weave fabric/PVC composite material was fabricated using the halloysite nanotubes (HNTs) filled polyvinyl chloride (PVC) as substrate, and then a sandwich structure composite was made with the honeycomb weave fabric/PVC composite as core material. The sound insulation quality of prepared samples was tested by acoustic analyzer of two-channel. The results showed that repetitions of weave have great influence on the sound insulation effect of honeycomb weave fabric. When the repetitions of weave are 6, the composite material displays good sound insulation. In the case of sandwich composite material with the honeycomb weave fabric/PVC composite as core material, it exhibits good sound insulation to low frequency when the repetitions of weave are 6, and its good sound insulation to high frequency is found when the repetitions of weave are 14.

Key words honeycomb weave fabric; composite material; polyvinyl chloride; sound insulation property

噪声污染已经严重影响人们的生产生活,因此,降噪材料的研究开发引起了各国学者的关注。目前,降噪的方法主要有隔音、吸音和消声,其中在隔音领

域,单一材料在实际应用中存在一定的局限性,因此对隔音复合材料的研究开发具有十分重要的意义。纤维作为多孔材料具有综合的吸音隔音效果,

收稿日期:2010-07-15 修回日期:2011-01-23

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(Y4100213)

作者简介:杨天兵(1984—),男,硕士生。主要研究方向为纺织复合材料及先进复合技术。傅雅琴,通信作者, E-mail:fuyaqin@yahoo.com.cn。

作为一种质轻、柔软的降噪材料而备受关注。Sezgin Ersoy 等^[1]研究了工业废茶纤维制成的板材与机织物和非织造布层及其背后空腔等结构对吸音性能的影响。Hur BY 等用相对密度为 0.6, 厚度为 10 mm 的烧结铝纤维作为吸音材料, 在频率为 800 ~ 2 000 Hz 范围内吸声系数达到 0.7^[2]。纺织纤维具有一定的长度、细度, 其弹性、强力等性能良好, 还具有较好的化学稳定性。国内外将纺织材料引入隔音复合材料领域的研究已经有很多^[3-5]。本课题前期研究采用常压浇注工艺, 制备了一系列超薄、质轻、柔韧的玻璃纤维/聚氯乙烯隔音复合材料^[6], 并发现织物参数对隔音性能具有明显的影响^[7]。

蜂窝织物是织物表面有规则的、边高中低的四方形凹凸花纹, 纹路外观状如蜂巢。它是在平纹组织中显著增加经浮长和纬浮长而得到。其规律为以交织点多的向交织点少的逐渐过渡, 然后再由交织点少的向交织点多的逐渐过渡。交织点多处为平纹组织, 占据较大的平面空间, 形成平整的低洼区, 显得较薄。而交织点少的浮线区域, 因交织点少, 将被多个交织点挤压, 形成密集隆起的弯凸纹, 而且疏松、显厚。由于其特殊的结构特点, 已开始在隔音复合材料领域得到研究和应用, 但蜂窝结构参数对隔音性能的影响未见报道。为此, 本文采用蜂窝织物与 PVC 复合制成蜂窝织物增强 PVC 复合材料, 对复合材料的隔音性能及其结构参数与隔音性能之间的关系进行研究, 并研究蜂窝织物及其复合材料作为夹芯层结构的隔音性能, 研究结果对优化结构、推进蜂窝织物的应用具有重要意义。

1 实验材料及方法

1.1 原材料

杭州千汇纱线有限公司生产的 58.3 tex × 2 棉纱; 天津渤海化工有限责任公司生产的 P-450 聚氯乙烯 (EPVC) 粉末; 杭州金生塑化公司生产的邻苯二甲酸二正辛酯 (DOP); 实验室粉碎筛选的埃洛石纳米管 (HNTs); 玻纤织物/PVC 复合材料, 厚度为 0.36 mm, 面密度为 0.639 6 kg/m², 作为三明治结构复合材料的蒙皮。

1.2 织物试样织造

选用 58.3 tex × 2 棉纱, 在 ASL2000-20-6 型自动织样机上织造 6 种不同组织循环数的蜂窝织物, 织物的经密为 200 根/10cm, 纬密为 150 根/10cm, 具体参数如表 1 所示。

表 1 蜂窝织物有关参数

Tab. 1 Related parameters of honeycomb weave fabric

组织循环数	表面厚度 / mm	面密度 / (g · m ⁻²)	透气量 / (L · m ⁻² · s ⁻¹)
R = 4	0.694	309	68.3
R = 6	0.756	317	73.1
R = 8	0.818	315	97.1
R = 10	1.181	312	103.5
R = 14	2.403	307	187.2
R = 16	2.485	318	308.6

1.3 试样的制备

取 DOP 60 g, 加入 HNTs 超声处理 20 min, 与 60 g EPVC 均匀混合后浇注到蜂窝织物 (HNTs 含量为 8%) 上, 在 160 °C 恒温箱中烘 15 min, 迅速冷却即可制得纺织复合材料。HNTs 的加入可以减少成本并能改善 PVC 基体的隔音性能。

1.4 织物表面厚度测试

使用 FAST-1 压缩性测试仪测试织物的表面厚度。每个试样测 5 次, 取其平均值, 并根据下式计算蜂窝织物的表面厚度。

$$S_T = T_1 - T_2$$

式中: S_T 为表面厚度; T_1 为负荷在 196 Pa 的平均厚度; T_2 为负荷在 9.8 kPa 的平均厚度。

1.5 透气性能测试

参照 GB/T 5453—1997《纺织品织物透气性的测定》, 采用 YG461D 型数字式织物透气量仪测试织物的透气率。试样面积为 5 cm², 压差为 100 Pa, 每个试样测 10 次, 取其平均值。

1.6 隔音性能测试

采用北京声望公司生产的 BSWAVS302USB 双声道声学分析仪测试材料的隔音性能, 测量装置如图 1 所示。采用 Spectra LAB 软件分析数据, 选择非计权网络, 声压级为 90 dB 的粉红背景噪声源和常用的 1/3 倍频程作为研究对象, 其中静音箱体积为 1 000 mm × 1 000 mm × 1 000 mm, 声音的取样频率为 48 000, 抽取速率选择位为 1, 快速傅里叶变换样本数取 4 096。

材料的隔音性能用声音透过衰减量 R 表示, 其计算公式^[8]为

$$R = 10 \lg \frac{I_i}{I_\tau} = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{E_i}{E_\tau}$$

式中: I_i 为声波的入射强度; I_τ 为声波透过隔音材料后的透过强度; τ 为声音的透过率; E_i 为声波入射能量; E_τ 为声波的透过能量。

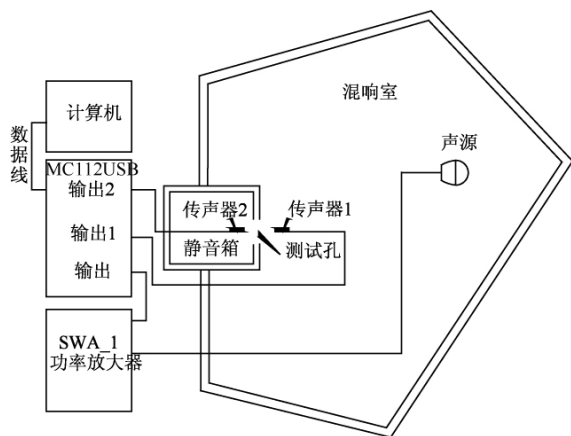


图1 隔音测试系统

Fig.1 Measurement system of sound insulation

1.7 拉伸性能测试

以 GB/T 1447—1983《玻璃纤维增强塑料拉伸实验方法》为依据,采用 RGM200A 型电子万能材料实验机进行测试。样品尺寸为 250 mm × 25 mm,夹距为 180 mm,速度为 30 mm/min。为保证拉伸时试样端部不首先破坏,在拉伸试样时两端分别粘贴规格为 50 mm × 25 mm × 2.5 mm 的铝质加强片,每个数据均为 4 个试样有效测试结果的平均值。

2 结果与讨论

2.1 织物及其复合材料的相关参数

图 2 为不同循环数的蜂窝织物的组织图。从图中可以看出,不同循环数的交织点亦不同。

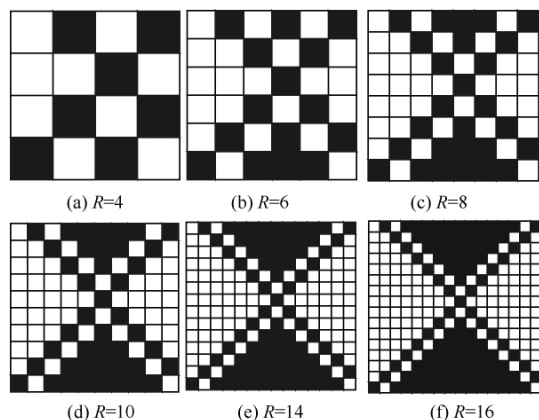


图2 蜂窝织物有关参数

Fig.2 Organization chart of honeycomb weave fabrics

表 1 示出蜂窝织物试样与隔音性能相关的基本参数。从表可以看出,在蜂窝织物面密度基本相同时,组织循环数对表面厚度和透气性有较大的影响。

随着织物组织循环数的增大,表面厚度和透气性也增大。

蜂窝织物/PVC 复合材料与隔音性能相关的参数见表 2。从表可以看出,复合材料面密度和纤维含量基本相同,组织循环数不同导致复合材料的表面厚度存在明显的差异。

表 2 蜂窝织物/PVC 复合材料有关参数

Tab.2 Related parameters of composite material of honeycomb weave fabric/PVC

组织循环数	表面厚度 / mm	面密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	纤维含量 / %
$R = 4$	1.9	2.072	14.9
$R = 6$	2.0	2.024	15.7
$R = 8$	2.9	2.012	15.7
$R = 10$	3.7	2.060	15.1
$R = 14$	4.4	2.108	14.6
$R = 16$	5.1	2.092	15.2

2.2 织物组织循环数对透气性的影响

材料的空气流阻是影响多孔材料隔音性能的重要因素之一^[9]。空气流阻反映空气通过多孔材料阻力的大小,单位厚度材料的流阻称为比流阻。比流阻越大,空气透过量越小,织物透气性越差,即声音透过量越小,隔音性能越好。本文对不同织物组织进行了透气性研究,织物透气性测试结果见表 1。由表可知,蜂窝织物透气性随组织循环数的增大而增大, $R = 16$ 时织物的透气性最好。空气透过织物有 2 种途径:一是织物纱线间的空隙;二是纱线内纤维间的空隙^[10]。因为棉纱线线密度均为 58.3 tex × 2,因此棉纤维间的空隙对透气性的影响基本相同,忽略不计,但棉纱线间的空隙不同。本文 $R = 4$ 时蜂窝组织循环数较小,纱线排列紧密,纱线间的空隙越细密,气体通透量越小,致使织物的透气性较差。

2.3 材料的隔音性能

材料的隔音性能与质量定律有密切关系,可以用来预测材料的隔音性能,其声音透过衰减量可由下式^[11]得到:

$$T_L = 20 \lg f + 20 \lg \rho D - 42.4$$

式中: f 为频率,Hz; ρ 为面密度, kg/m^2 ; D 为材料厚度。纺织材料作为一种特殊的降噪材料,其降噪性能集隔音机制与吸音机制于一体。具体地说,织物隔音量主要是由声波在织物表面的反射部分及透过织物后被织物吸收部分所组成。

图 3 示出不同蜂窝组织织物的衰减量与频率曲线。从图可以看出,织物的隔音性能在中频时较低

频和低频差。主要由于中频区域是质量控制区,而织物的面密度较小,导致隔音量下降。随着组织循环数的增大,蜂窝织物的隔音性能呈下降趋势。图中 $R=4$ 和 $R=6$ 与其他 4 种结构相比隔音量较大。主要是由于 $R=4$ 和 $R=6$ 的纱线排列紧密,纱线间孔隙率较小,透气性较差。其他 4 种结构的纱线排列较疏松,透气性好,隔音效果差。特别是 $R=14$ 和 $R=16$ 的织物,透气性较好,织物空隙分布变异较大,存在一个完全连通的通道,空气流阻较小,纤维与空气的摩擦较小,声能转化为热能的机制并不明显,此时的隔音主要是织物表面纤维自身对声波的反射作用,因此在蜂窝织物面密度接近时, $R=6$ 的隔音性能优于其他结构。在此也验证了织物的隔音性能与其透气性能有密切关系。

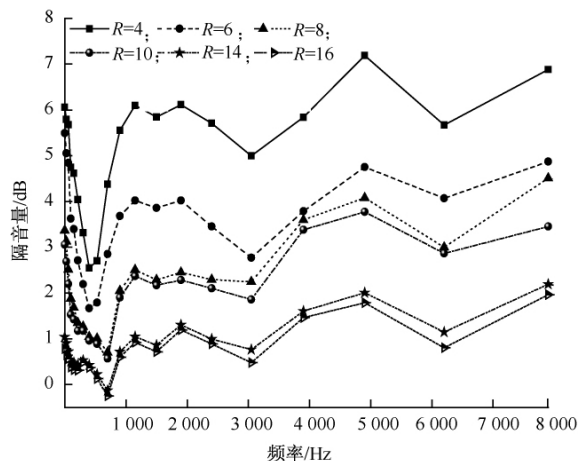


图 3 织物不同组织循环数时衰减量与频率曲线

Fig. 3 Transmission loss of different tissue circulation count of fabric

图 4 示出纺织复合材料不同组织循环数时衰减量-频率曲线。由图可以看出,复合材料的隔音性能明显优于蜂窝织物,在 E 型 PVC 中加入棉纤维后,限制了 PVC 大分子链的运动,应变、应力的增加相对滞后,材料的模量明显提高,其介质损耗和玻璃化转变温度也相应的发生改变。当声波入射时,在材料中传播要克服更大的阻力,使得声能消耗增大,达到隔音的效果^[9]。织物循环数对复合材料的隔音性能有明显影响,在中低频区域, $R=6$ 时隔音效果最好,一方面是由于此时复合材料的表面积较小,实际厚度比 $R>6$ 的复合材料大;另一方面是表面效应比 $R=4$ 时强,二者协同使其隔音性能相对较好。从图中还可以看出,从 2 000 Hz 开始,随着频率的增大, $R=4$ 和 $R=6$ 的隔音效果相对于 $R=8 \sim 14$ 隔音效果开始下降。 $R=16$ 时,复合材料的表面效应虽

然好于其他材料,但表面积变大,在面密度相近的情况下,实际厚度相对较小,使声波透过相对容易,二者协同作用使其综合隔音性能较其他复合材料差。从图 3 和图 4 还可以看到,在中高频区域,蜂窝织物的隔音曲线和复合材料的隔音曲线趋势有差异,主要是由于与复合材料相比,蜂窝织物有较大透气性,使其对高频噪音的隔音效果不明显,而复合材料几乎是不透气的,隔音效果符合质量定律,因此,曲线几乎是单边上扬。

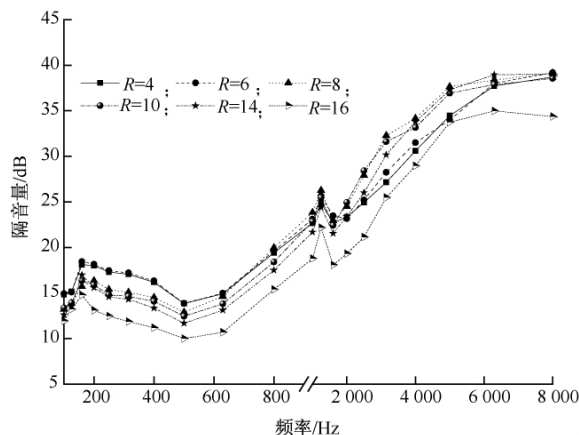


图 4 复合材料不同组织循环数时衰减量与频率曲线

Fig. 4 Transmission loss of different tissue circulation count of composite material

多层隔音问题是声学领域一个经典的研究课题,国内外许多学者都利用经典的多层隔音理论和实验来研究多层结构的隔音量。而蜂窝夹芯板具有质轻等优良的特性,近年来备受关注。当声波从面板入射到夹芯板时,声压首先作用在面板上并引起此面板的振动。该振动通过 2 条路径传输到另一面板,一条是由空腔中的空气传播,另一条则是由蜂窝组织边缘传播^[12]。

图 5 示出蜂窝织物为芯层和蜂窝织物/PVC 复合材料为芯层不同组织循环数下的衰减量与频率曲线。为了统一,蒙皮采用厚度为 0.36 mm、面密度为 0.639 6 kg/m² 的玻璃纤维/PVC 复合材料^[9]。

由图 4、5 可知,蜂窝织物、蜂窝织物/PVC 复合材料分别作为夹芯层的复合结构,其隔音量趋势与芯层材料类似,但是以蜂窝织物为芯层的三明治夹芯结构复合材料,虽然面密度比蜂窝织物/PVC 复合材料小,但隔音量却明显增大,特别是蜂窝织物夹芯结构在高频区域隔音量明显提高。蜂窝织物/PVC 复合材料作为夹芯层的材料与蜂窝织物作为夹芯层的材料相比,在低频区域隔音优势较明显,中高频没有明显的优势。但是复合材料夹芯层可以改

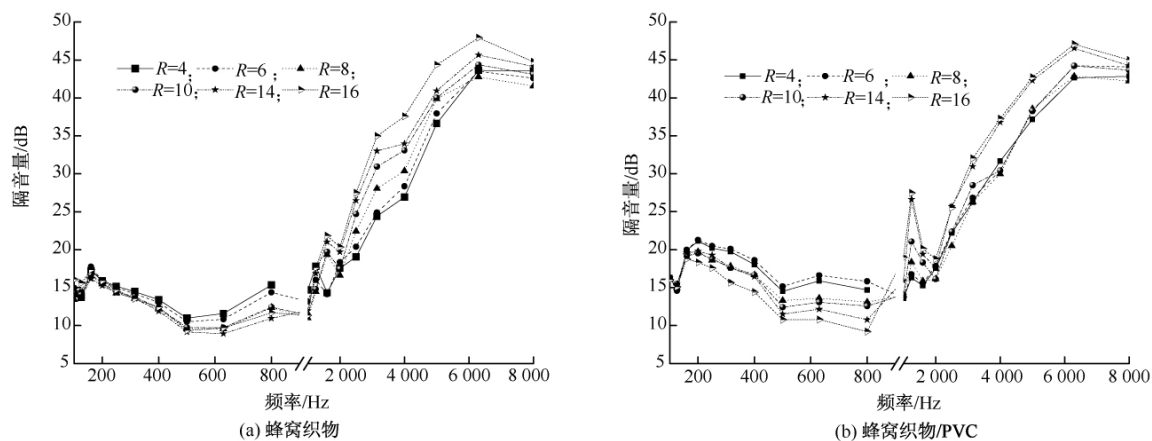


图5 夹芯层不同组织循环数时衰减量与频率曲线

Fig. 5 Transmission loss of different tissue circulation count core.

(a) Honeycomb weave fabric core; (b) Honeycomb weave fabric/PVC core

变复合结构板的强度,起到稳定尺寸等作用。

从图5中还可以看出,在中高频区域内, $R=14$ 和 $R=16$ 时复合结构的隔音量要比其他结构的隔音量大。说明在吻合效应区, $R=14$ 和 $R=16$ 时复合结构减弱材料吻合效应的情况较好,获得了较高的隔音量。而 $R=6$ 时,在低频显示了良好的隔音性能。

2.4 夹芯层的拉伸性能

作为隔音材料,除了具有优良的隔音性能外,还要具有良好的力学性能。图6示出夹芯层复合材料沿经向和纬向的拉伸强度、断裂伸长率与织物组织循环数关系曲线。从图可以看出,经向拉伸强度明显高于纬向。其主要原因在于经密和纬密的不同。经密大,等同于在经向上棉纤维的体积分数高,同时

承受拉伸的棉纤维根数多,因而拉伸强度高,反之亦然。从图6(a)中可看出,复合材料经向拉伸强度和伸长率随蜂窝织物组织循环数的增大而减小。主要是因为试样要达到基本相同的面密度,每个试样所用的树脂量基本相同,当 $R=4$ 时,由于织物表面厚度薄,基体易覆盖整个织物,拉伸时,基体和织物的受力相对均匀,导致断裂伸长率较大,随着 R 值的增大,基体无法完全填充蜂窝,造成拉伸过程中的应力集中。而纬向由于纬密相对较小,虽然开始时随着 R 值的增大,基体无法完全填充蜂窝,造成拉伸过程中的应力集中,而使伸长率减少,当 R 值继续增大时,织物组织出现松弛,基体在纬线方向易连成一体,减少了应力集中现象,从而使伸长率增加(见图6(b))。

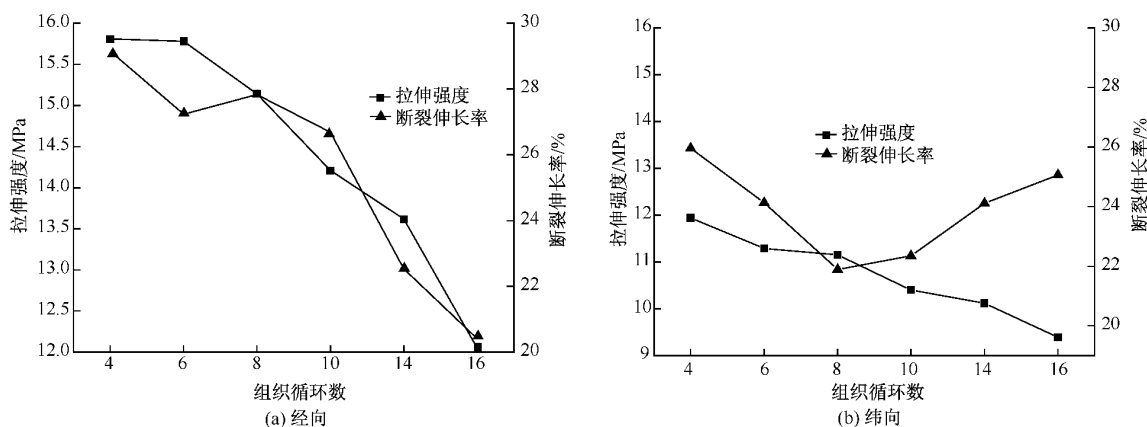


图6 蜂窝织物组织循环数与复合材料夹芯层拉伸强度及断裂伸长率的关系

Fig. 6 Curve of relation between tensile strength and elongation at break of composite material's sandwich core and fabric tissue circulation count. (a) Warp direction; (b) Weft direction

3 结 论

1) 蜂窝织物组织循环数对蜂窝织物/PVC 复合材料的隔音性能有较大的影响;在面密度基本相同的情况下,组织循环数为 6 时复合材料的隔音性能最佳。

2) 蜂窝织物/PVC 复合材料作为夹芯层制备的三明治结构复合材料具有良好的隔音性能,且隔音曲线形状与芯层类似。当组织循环数为 14 时,对高频有良好的隔音效果,而组织循环数为 6 时,对低频噪音起到良好的隔音效果,因此,可以根据不同的使用场合,选择不同的蜂窝组织循环数。 FZXB

参考文献:

- [1] ERSOY Sezgin, KUCUK Haluk. Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties [J]. Applied Acoustics, 2009, 70: 215 – 220.
- [2] HUR B Y, PARK B K. Sound absorption properties of fibre and porous materials [C] // Proceedings of the Fifth Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing, Materials Science Forum. [S.L.]. 2005: 475 – 479.
- [3] LU Enjie, KURAHASHI Naoya, NI Qingqing, et al. Development of flexible sound-proof materials [J]. Journal of the Society of Materials Science, 2006, 55(6): 583 – 588.
- [4] WILSON Adrian. Engineered nonwovens used for automotive acoustic insulation [J]. Technical Textiles International, 2006, 15(8): 11 – 16.
- [5] KINO N, UENO T. Evaluation of acoustical and non-acoustical properties of sound absorbing materials made of polyester fibres of various cross-sectional shapes [J]. Applied Acoustics, 2008, 69(7): 575 – 582.
- [6] 傅雅琴,倪庆清,姚跃飞,等. 玻璃纤维织物/聚氯乙烯复合材料隔声性能 [J]. 复合材料学报, 2005, 22(5): 94 – 99.
- FU Yaqin, NI Qingqing, YAO Yuefei, et al. Sound insulation performance of a glass fabric/PVC composite material [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2005, 22(5): 94 – 99.
- [7] 姚跃飞,高磊,杨琼丽,等. 玻璃纤维织物结构参数对隔声性能的影响 [J]. 纺织学报, 2009, 30(2): 52 – 55.
- YAO Yuefei, GAO Lei, YANG Qiongli, et al. Effect of glass fiber fabric structural parameters on its acoustic insulation property [J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(2): 52 – 55.
- [8] 潘仲麟,金进生,黄有兴. 隔音室的低频特性及实例验证 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 1993, 20(1): 34 – 38.
- PAN Zhonglin, JIN Jinsheng, HUANG Youxing. The performance of sound insulation room at low frequencies [J]. Journal of Zhejiang University: Sciences Edition, 1993, 20(1): 34 – 38.
- [9] 张邦俊,霍国庆. 环境噪声学 [M]. 第 2 版, 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 190 – 264.
- ZHANG Bangjun, HUO Guoqing. Environmental Noise Science [M]. 2nd ed, Hangzhou: Zhejiang University Press, 2001: 190 – 264.
- [10] 邱茂伟,王府梅. 机织物透气性能的预测研究 [J]. 纺织学报, 2005, 26(4): 73 – 75.
- QIU Maowei, WANG Fumei. The forecast research of woven fabric air permeability [J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(4): 73 – 75.
- [11] 杜功焕,朱哲民,龚秀芬. 声学基础 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2001: 256 – 290.
- DU Gonghuan, ZHU Zhemin, GONG Xiufen. Acoustics Foundation [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2001: 256 – 290.
- [12] 辛锋先,卢天健,陈常青. 轻质金属三明治板的隔声性能研究 [J]. 声学学报, 2008, 33(4): 340 – 347.
- XIN Fengxian, LU Tianjian, CHEN Changqing. The study of light quality metal sandwich board's sound insulation performance [J]. Acta Acustica, 2008, 33(4): 340 – 347.

(上接第 64 页)

- 及其砷氟共除性能的研究 [J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 375 – 382.
- XIN Linlin, WANG Jin, JING Chuanyong, et al. Preparation of a titanium lanthanum activated carbon adsorbent and its absorption of coexisting arsenate and fluoride [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(2): 375 – 382.
- [8] 金日光,华幼卿. 高分子物理 [M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2006: 76 – 78.

- JIN Riguang, HUA Youqing. Polymer Physics [M]. 3rd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 76 – 78.
- [9] 陈玲,马春燕,奚旦立,等. 丙纶吸油毡吸附处理印染厂含油废水试验研究 [J]. 净水技术, 2009, 28(1): 38 – 42.
- CHEN Ling, MA Chunyan, XI Danli, et al. Adsorbing treatment of oily wastewater from printing and dyeing mill with polypropylene felt [J]. Water Purification Technology, 2009, 28(1): 38 – 42.