

漂珠填充聚氯乙烯基复合材料的隔声性能

姚跃飞, 高磊, 杨琼丽, 周耿, 傅雅琴, 刘冠峰

(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: 常压浇注制备了不同面密度(厚度)未填充和填充有漂珠(CFA)的玻璃纤维织物/聚氯乙烯(GF/PVC)复合材料。对比研究了两种复合材料的刚柔性、阻尼性和隔声性能。结果表明, 在相近面密度条件下, CFA/GF/PVC 复合材料的刚度、常温以上阻尼性、平均隔声量和高低频段(100 Hz~630 Hz 和 1250 Hz~8000 Hz)下的隔声量较 GF/PVC 复合材料均有所提高。两种复合材料的刚度、隔声量均随着面密度的增加而增加, 其中隔声量在低频段增速最快, 中频段次之, 高频段最慢。

关键词: 聚氯乙烯; 隔声; 漂珠; 复合材料

中图分类号: TB332

文献标识码: A

文章编号: 1000-7555(2009)011-0061-04

填料是调节材料与声波相互作用特性的重要物质^[1]。通过填充填料, 将聚合物与无机填料有机结合, 实现对噪声最大程度的吸收是设计性能优异高分子隔声材料的主要构想, 也是当前研究中最为活跃的领域之一。漂珠是从火力发电厂排出的废弃物粉煤灰中分选出来的新型填料。与传统填料相比, 漂珠为中空微球结构, 具有轻质、不燃烧、强度高、价格低廉等优点。过去的研究集中在漂珠的力学增强作用和能量吸收上^[2~4], 很少涉及其声学^[5], 尤其是隔声性能。而漂珠特殊的结构使其在隔声和减噪等功能方面具有巨大的潜在应用价值。本文选用漂珠做为填料并常压浇注制备了不同面密度(厚度)的漂珠/玻璃纤维织物/聚氯乙烯复合材料, 通过比较填充漂珠前后材料的刚柔性、阻尼性、微观结构和隔声性能的变化来探讨漂珠在隔声领域应用的可能性。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

聚氯乙烯糊(P-450)树脂: 天津渤海化工有限公司; 柠檬酸三丁酯(TBC): 江苏雷蒙化工科技有限公司; 环氧大豆油(ESO): 浙江桐乡市嘉澳化工有限公司; 玻璃纤维织物(EW100): 杭州玻璃纤维厂; 漂珠(CFA): 60 mesh, 淮南市盘香耐火保温材料有限公司。

JSM-5610LV 型扫描电子显微镜: 日本日立公司;

BSWA VS302USB 双通道声学分析仪: 北京声望声电公司; Pyris Diamond 型 DMA 分析仪: 美国 PerkinElmer 公司。

1.2 试样制备

将 PVC 糊树脂与各种助剂及漂珠混合搅拌均匀, 将其浇注到已经铺制好玻璃纤维织物的模具上, 放置于 160 °C 的烘箱中烘烤 15 min, 自然冷却, 制成样品, 根据需要裁制成测试样品。

基本配方: PVC 100 g, TBC 130 g, ESO 7 g, CFA 为总质量的 20%。

1.3 测试与表征

1.3.1 隔声测试: 参照文献[6], 采用混响室-消声室法测定材料隔声性能。粉红噪声源, A 计权网络, 1/3 倍频程, 声压级 80dB。测试样尺寸 250mm×250mm。

1.3.2 刚柔性测试^[6]: 参照日本工业标准 JIS-L1096, 8.19.3 的 B 法测定试样刚度。

1.3.3 阻尼性测试: 振动频率 10Hz, 升温速率 3 °C/min, 温度范围 -100 °C~100 °C。

1.3.4 SEM 结构观察: 对试样横断面镀金, 电压 5kV。

2 结果与讨论

Tab. 1 为实验中制备的十八块代表性试样的面密度、厚度等相关参数, 其中 1[#]~9[#] 试样为 GF/PVC 复

收稿日期: 2008-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50173033); 浙江省科技厅重点科研工业项目(2006C21081)

通讯联系人: 姚跃飞, 主要从事隔声复合材料的研究, E-mail: yfyao@zstu.edu.cn

合材料, 10[#]~18[#]试样为 CFA/GF/PVC 复合材料。

2.1 漂珠对复合材料刚柔度的影响

从 Fig. 1 可知, 试样的刚度随着面密度的增加而线性增加。当面密度较小时, 填充漂珠前后复合材料的刚度基本接近; 而随着面密度的增加, CFA/GF/PVC 复合材料的刚度逐渐超过了 GF/PVC 复合材料的刚度, 且面密度越大, 差距越大。

2.2 漂珠对复合材料阻尼性的影响

实验选取了 2[#]试样和 11[#]试样作相应的阻尼性能测试, 结果见 Fig. 2。从 Fig. 2 可知, 由于 11[#]试样中填充了 CFA, 其损耗因子 $\tan \delta$ 曲线的峰值降低并向高温方向迁移, 在常温到 100^oC 的范围内, 11[#]样的 $\tan \delta$ 比 2[#] 样的大, 由于阻尼能力与损耗因子相对应, 故说明了填充 CFA 使材料在常温状态以上的阻尼性得到显著提高, 即材料在承受周期性应变时能够以热量方式耗损机械能的能力提高。

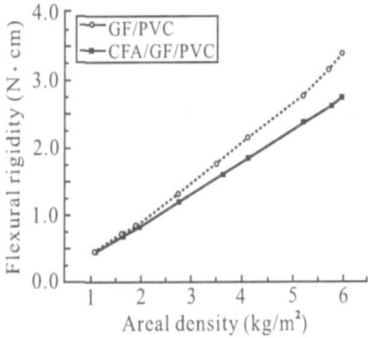


Fig. 1 The relation between flexural rigidity and areal density

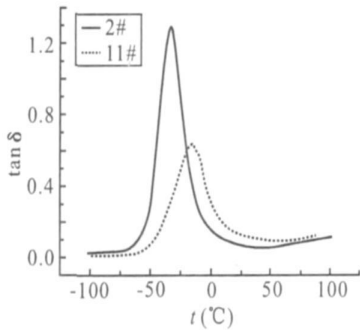


Fig. 2 Comparison of dynamic mechanical performance between unfilled and filled CFA samples

2.3 实际隔声量与质量定律的比较

工程中常用质量定律来预测刚性隔声材料的隔声量, 或评价材料隔声性能的好坏。当声波无规入射时, 材料的隔声量(R)可近似用下式来表示:

$$R=20\lg (mf)-47.5 \tag{1}$$

式中: R ——隔声量 (dB); m ——面密度 (kg/m^2); f ——频率 (Hz)。由 (1) 式可知, 刚性材料的隔声量主要受外部条件频率和自身面密度的影响。

Fig. 3 为不同面密度下试样的隔声曲线。从图可知, 柔性复合材料的隔声曲线变化趋势基本相同且遵循单层匀质密实墙的典型隔声频率特征: 对于一给定面密度的试样, 隔声量随着频率的变化而变化。在低频段 (100 Hz~630 Hz), 隔声量随着频率的增加上下波动, 在 500 Hz 处出现共振, 隔声量达到极小值。这一区段的隔声量主要受材料劲度跟阻尼的控制, 此共振现象是由劲度和质量效应相抵消所产生, 因 PVC 良好的阻尼效应使这一区段的隔声量明显高于 (1) 式的计算值, 显示出良好的隔声性能; 在中频段 (630 Hz~1250 Hz), 隔声量随着频率的增加以近乎斜率为 10dB/倍频程的直线线性增加, 隔声量达到极大值, 这一区段质量效应占主导作用, 材料隔声量的变化都大于 (1) 式所预测的 6dB/倍频程; 在高频段 ($>1250\text{ Hz}$) 因吻合效应分别在 2000 Hz、4000 Hz 和 6300 Hz 处出现了隔声低谷, 隔声性能明显低于 (1) 式的计算值。这些都显示出了与刚性材料不同的隔声性能。

Tab. 1 The correlative parameters of typical samples

No.	Composite structure	Areal density (kg/m^2)	Thickness (mm)
1 [#]	GF/PVC	1.104	1.12
2 [#]	GF/PVC	1.640	1.47
3 [#]	GF/PVC	1.904	1.74
4 [#]	GF/PVC	2.762	2.47
5 [#]	GF/PVC	3.621	3.24
6 [#]	GF/PVC	4.131	3.64
7 [#]	GF/PVC	5.235	4.76
8 [#]	GF/PVC	5.771	5.11
9 [#]	GF/PVC	5.997	5.56
10 [#]	CFA/GF/PVC	1.091	1.35
11 [#]	CFA/GF/PVC	1.613	1.78
12 [#]	CFA/GF/PVC	1.891	2.17
13 [#]	CFA/GF/PVC	2.736	3.17
14 [#]	CFA/GF/PVC	3.504	3.95
15 [#]	CFA/GF/PVC	4.133	4.77
16 [#]	CFA/GF/PVC	5.224	6.12
17 [#]	CFA/GF/PVC	5.746	6.55
18 [#]	CFA/GF/PVC	6.024	6.94

从 Fig. 3 还可知, 当频率给定时, 试样的隔声量与其面密度有很大关系。随着面密度的增加, 无论是未填充还是填充漂珠, 试样的隔声量均有所增加, 但并不是随之等量增加, 开始时增幅大, 而后逐渐趋缓, 这符合 (1) 式的预测; 同时, 低频段隔声量的增长速度最

快, 中频段次之, 高频段最慢, 这主要是由于随着面密度的增加, 低频段阻尼损耗量增加, 中频段质量效应增

强, 高频段因材料厚度增大, 吻合效应显著, 从而使高频段的隔声量增速没有中、低频段的明显。



Fig.3 The sound insulation curves of different areal density samples

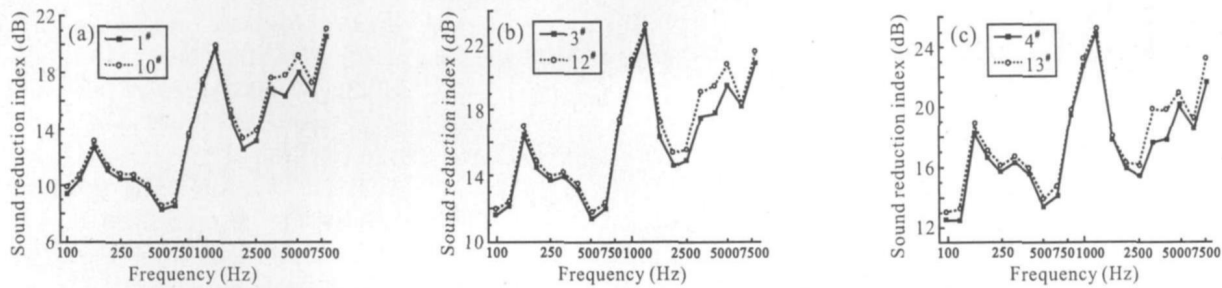


Fig.4 Comparison of sound insulation performance between unfilled and filled CFA samples

2.4 漂珠对复合材料隔声性能的影响

由前面分析可知, 材料的隔声性能与其面密度有很大关系, 故选择在面密度相近条件下来比较填充漂珠前后试样的隔声性能, 结果见 Fig.4。

从抽取的这三组代表性样品隔声曲线的对比可知, 填充漂珠后, 复合材料的隔声量在低频段和高频段有了不同程度的提高, 其中高频段较低频段提高明显, 而中频段几乎重合。这主要是因为填充漂珠后提高了 PVC 常温下的阻尼性能 (见 Fig. 2), 这样当声波作用于材料时, 增加了应力与应变之间的相对滞后, 有利于增大粘弹 PVC 的声能损耗, 所以低频段有了一定的提高; 在中频段, 质量效应对隔声量的贡献占主导作用, 因三组样分别是在面密度相近下的比较故而隔声量接近; 在高频段, 由于声波波长短, 不像低频时那样具有很强的绕射性能, 同时, 漂珠为中空微球结构, 其壁上也存在一些密闭的空洞 (见 Fig. 5), 根据文献[6], 其腔内主要是些稀薄的 N_2 和 CO_2 气体, 处于近真空状态, 对声波具有很好的阻挡作用, 所以当声波在传播过程中遇到漂珠时, 在漂珠表面主要发生反射、少量的透射, 几乎没有绕射, 而透射进入漂珠腔体内的声波也会在其内部发生多重反射, 从而使声能得到很大限度的衰减 (见 Fig. 6), 因此高频段比未填充前有了明显提高。

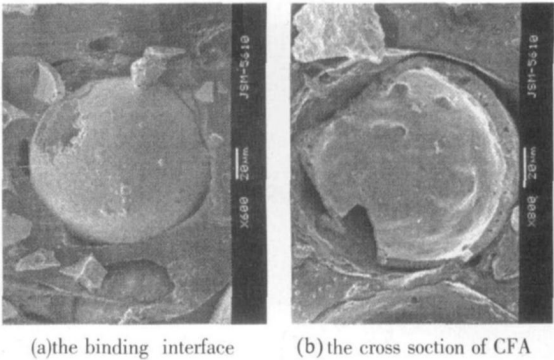


Fig.5 SEM micrograph of broken cenosphere

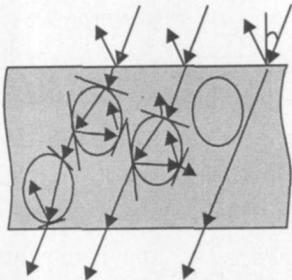


Fig.6 The schematic graph of sound wave transmission through the composite filled with CFA

本文采用工程上常用的 100 Hz ~ 3150 Hz 16 个 1/3 倍频程中心频率下的隔声量的算术平均值来表示试样的平均隔声量, 结果见 Fig. 7。从图中可知, 无论

是否填充有漂珠, 试样的平均隔声量均开始时随着面密度的增加而迅速增大, 当面密度超过 4 kg/m^2 以后, 平均隔声量趋于平衡, 说明: 面密度对增加试样的隔声量具有局限性, 通过一味地增加面密度并不能获得隔声性能的进一步提高; 此外, 同一面密度下, 填充漂珠的复合材料的平均隔声量均高于未填充漂珠复合材料的隔声量, 提高的幅度最大达到了 0.6 dB , 说明: CFA 代替部分的 PVC 树脂在降低材料成本的同时, 对材料的隔声性能具有一定的补强作用, 进一步论证了将 CFA 用于制备降噪材料的可行性。

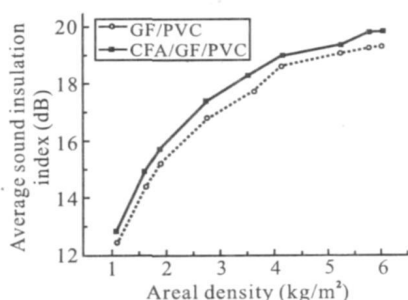


Fig. 7 The relationship between areal density and average sound insulation index

3 结论

以上实验研究结果表明: 聚氯乙烯基复合材料在填充漂珠后, 刚度、常温以上阻尼性能有了一定的提

高。声波的频率和材料的面密度均对聚氯乙烯基复合材料的隔声性能有很大影响, 基本符合单层匀质密实墙的典型隔声频率特征, 同时隔声性能有别于刚性材料, 对低频噪声具有良好的隔声效果。在相近面密度条件下, CFA/GF/PVC 复合材料的高频-低频隔声性能要优于 GF/PVC 复合材料, 其中高频段最为明显。

参考文献:

- [1] VORONINA V V, HOROSHENKOV K V. Acoustic properties of unconsolidated granular mixes[J]. *Applied Acoustics*, 2004, 65(1): 673-691.
- [2] ROHATGIA P K, KIMAJ K, GUPTA N, *et al.* Compressive characteristics of A356/ fly ash cenosphere composites synthesized by pressure infiltration technique[J]. *Composites*, 2006, 37(1): 430-437.
- [3] CHAO WASAKOO T, SOM BATSOMPOP N. Mechanical and morphological properties of fly ash/ epoxy composites using conventional thermal and microwave curing methods[J]. *Compos. Sci. Technol.*, 2007, 67(1): 2282-2291.
- [4] TIWARI V, SHUKLA A, BOSE A. Acoustic properties of cenosphere reinforced cement and asphalt concrete[J]. *Applied Acoustics*, 2004, 65(1): 263-275.
- [5] 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 Y Q, NI Q Q, YAO Y F, *et al.* Sound insulation performance of a glass fabric/PVC composite material[J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 2005, 22(5): 94-99.
- [6] 罗立群, 孙娟娟. 某粉煤灰漂珠的若干理化性质测定分析[J]. *中国矿业*, 2007, 16(12): 108-112.
LUO L Q, SUN J J. Test analyses of physical and chemical properties to floating beads of fly ash[J]. *China Mining Magazine*, 2007, 16(12): 108-112.

Sound Insulation Property of PVC Matrix Composite Material Filled with Cenosphere Fly Ash

YAO Yue-fei, GAO Lei, YANG Qiong-li, ZHOU Geng, FU Ya-qin, LIU Guan-feng
(Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology of Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: Glass fabric/polyvinyl chloride (GF/ PVC) composites filled and unfilled with cenosphere fly ash of different areal densities (thicknesses) were respectively prepared by moulding process under normal pressure. The flexural rigidity, damping property and sound insulation performance of CFA/GF/PVC and GF/PVC composites were comparatively investigated. The results show that under the close areal density, the flexural rigidity, damping property above room temperature, average sound insulation index and sound insulation index in high-low frequencies ($100 \text{ Hz} \sim 630 \text{ Hz}$ and $1250 \text{ Hz} \sim 8000 \text{ Hz}$) of CFA/GF/PVC composites are higher than those of GF/PVC composites. The flexural rigidity and sound insulation index of these two kinds of composites increase with the addition of areal density, the increment speed of sound insulation index of which is largest in low frequencies, second in middle frequencies and last in high frequencies.

Keywords: PVC; sound insulation; cenosphere fly ash; composite