

聚合物基复合材料隔声性能的研究

梁基照 蒋兴华

(华南理工大学工业装备与控制工程学院,广州 510640)

摘要 分析了无机粒子填充聚合物复合材料的隔声原理,指出其隔声效果的改善可归因于粒子使声波多次折射、散射和绕射导致传播路径增加,以及粘弹性的改变令声能消耗增大。测试了几种聚合物基复合材料的隔声性能,结果表明,隔声效果服从质量定律,且含中空粒子的复合材料具有更优越的隔声性能。

关键词 聚合物复合材料 无机填料 隔声性能

噪声是当今世界的三大污染之一。随着工业的发展,由生产、施工、交通及社会生活而引起的噪声日益恶化着人类的生活环境和工作环境,严重地影响人们的身体健康。噪声污染的防治与控制已成为目前全球关注的亟待解决的一个重大课题。为了有效地防治噪声和控制噪声,应考虑到由声源、传播途径及接受者三个环节组成的声学系统。由于第一和第三个环节属于客观存在,故人们主要着重于噪声的传播途径及其防治与控制方面的研究。目前,常用的控制噪声的方法是吸声和隔声,即:①采取吸声材料、吸声结构降低反射引起的混响声,从而达到控制噪声的目的;②利用隔声材料制成隔声装置把噪声与其它环境隔离开以达到噪声的防治及控制。

近年来,人们在吸声材料及其相关结构等方面进行了大量的实验研究,开发出许多新材料和新技术^[1~6]。除了已广泛使用的岩棉、矿绵、珍珠岩外,还开发了空心玻璃棉,以及集阻燃、防老化和吸声等性能于一体的聚氨酯声学泡沫材料。然而,有关隔声材料的研究报道较少。笔者拟着重于聚合物基复合材料隔声性能的测试,并就其隔声原理进行初步的探讨。

1 隔声原理

所谓隔声就是利用隔声材料或隔声结构隔离或阻挡声能的传播,把噪声源引起的吵闹环境限制在局部区域内或者在吵闹的环境中营造出一个安静的场所。实际上,隔声也包括吸声部分,即吸声的同时有利于隔声。材料的吸声原理主要是通过声波在材料中传播引起粘性流动损失及材料的分子间相对运动引起的内摩擦将声能转化成热能散失掉,从而达到吸声和隔声效果。但是,隔声原理与吸声原理是不同的:隔声是另一环境相对噪声源环境而言的,而吸声则是对同一环境而言的。当声波入射到隔声材料上,一部分声波被材料吸收,一部分被反射出去,

另一部分则透过隔声材料传到另一侧,其隔声过程如图1所示。

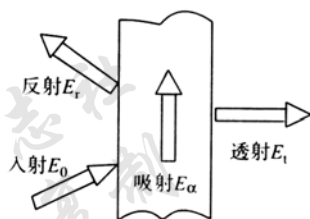


图1 隔声示意图

1.1 基本参数

若把入射声波的能量定义为 E_0 、透射声能为 E_t 、反射声能为 E_r 、吸收声能为 E_a ,则隔声效果的好坏可以用透射声能 E_t 与入射声能 E_0 之比即透射系数 t ^[7] 来表示,用式(1)计算:

$$t = \frac{E_t}{E_0} = \frac{E_0 - E_r - E_a}{E_0} \quad (1)$$

式中: E_t 、 E_0 、 E_a 的单位均为 J。

从式(1)可知,材料的吸收声能 E_a 越大,则透射系数 t 将越小,从而隔声效果会相应提高。当然,就隔声材料而言,若反射声能 E_r 越大,则透射系数 t 越小,越有利于隔声。由此可见,隔声与吸声的要求及机理都是不同的。

1.2 插入损失

当采用隔声罩和隔声室等隔声设施时,比较方便的方法是用插入损失 (IL) 来表示其隔声效果,它较易于现场测试,插入损失是指录得的置于隔声罩(室)内的噪声源的声级,与隔声罩(室)外侧某一位置上的声级之差,其表达式见式(2):

$$IL = 10 \lg \left[1 + \frac{\alpha}{\beta} \right] \quad (2)$$

式中: IL ——插入损失, dB;

α ——内壁材料的吸声系数;

β ——壁件的透射系数。

由式(2)可知,要得到一个大的插入损失,则需要一个小的透射系数及大的吸声系数。

1.3 质量定律

理论分析和试验研究表明,单层均质的隔声构件(砖墙、金属板、木板等)其隔声性能主要是随着构件的面密度和声波的频率不同而变化的^[8]。对于单相均质材料,其隔声效果服从质量定律。通常,可用经验公式(3)估算隔声量(R):

$$R = 18 \lg \rho + 12 \lg f - 25 \quad (3)$$

式中: R ——隔声量, dB;

ρ ——隔声构件的面密度, kg/m^2 ;

f ——入射声波的频率, Hz。

图2是当 $f=250$ Hz时单层钢板和木板的隔声量与面密度的关系。从图2可看出,对于木板而言,隔声量随着面密度的增加而迅速提高;而钢板的隔声量随面密度增加的幅度小于前者,尤其是当面密度大于 $25 \text{ kg}/\text{m}^2$ 后,隔声量对面密度的依赖性明显减弱。在传统隔声工程中,通常采用高密度材料和大厚度构件来提高隔声效果,但给实际应用带来许多不便,且造价昂贵。

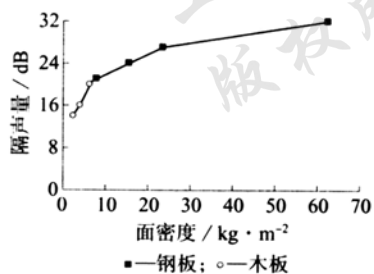


图2 $f=250$ Hz时隔声量与面密度的关系

2 实验部分

2.1 原材料

聚氯乙烯(PVC):白色粉料,SG-5型,天津大沽化工厂;

聚丙烯(PP):原色粒料,CJS-700型,注塑级,广州石化公司;

实心玻璃微珠(GB):密度为 $2.55 \text{ g}/\text{cm}^3$,空心玻璃微珠(HGB):密度为 $0.68 \text{ g}/\text{cm}^3$,平均粒径均为 $50 \mu\text{m}$,北京福基科贸有限公司;

碳酸钙(CaCO_3):轻质,密度为 $2.71 \text{ g}/\text{cm}^3$,平均粒径 $1.4 \mu\text{m}$,广西金山化工厂。

2.2 试样制备

PVC/GB和PVC/ CaCO_3 复合体系:将经表面处理好的GB和 CaCO_3 粒子分别与PVC及加工助剂

进行简单混合,然后加入到开炼机中进行熔融混炼,最后用模压机热压成长方形板。其中,GB粉料的体积分数分别为0.5%、10%、15%和20%;而 CaCO_3 粉料的体积分数为5%。

PP/HGB复合体系:将经表面处理好的HGB粒子与PP进行混合,然后加入到双螺杆挤出机中进行熔融混炼、切粒,最后用模压机热压成长方形板。其中,HGB粉料的体积分数分别为5%和15%。长方形板的尺寸为 $24 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 。

2.3 仪器和方法

应用自行研制的隔声性能测定仪测量试样的隔声性能。选择噪声频率范围为 $125 \sim 10\,000$ Hz。

3 结果与讨论

3.1 隔声量与填料含量的关系

图3给出了PP/GB复合体系的隔声量与GB体积分数的关系。从图3可看出,在不同的噪声频率 f 下,除个别测量点外,隔声量随着体积分数的增加而提高。对于GB,其密度高于聚合物材料,因而,聚合物复合材料的密度随着填料的增加而提高。这表明,聚合物基复合材料的隔声性能大致上服从质量定律。从图3还可以看出,当 $f=2\,000$ Hz和 $8\,000$ Hz时,试样在GB的体积分数为15%处的隔声量突然降低。这意味着,噪声频率对聚合物复合材料的隔声性能存在一定的影响,其作用机理有待于进一步研究。

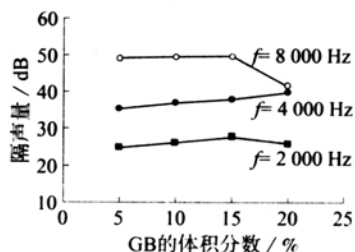


图3 PVC/GB复合材料隔声量与GB体积分数的关系

3.2 隔声量对噪声频率的依赖性

图4给出了几种聚合物复合材料(填料的体积分数为5%)及玻璃和三合板的隔声量与噪声频率的关系。从图4可看出,当噪声频率小于 $4\,000$ Hz时,所有材料的隔声量均随着噪声频率的增加而增大;当噪声频率大于 $4\,000$ Hz后,聚合物复合材料和玻璃的隔声量的增幅减小,而三合板的隔声量却随着噪声频率的增加而显著提高。这反映出不同材料的隔声性能对噪声频率敏感性的差异。从图4还可看出,聚合物复合材料的隔声效果总体上优于玻璃

和三合板,尤其是聚合物基泡体复合材料(PP/HGB),其隔声效果更佳。此外,当噪声频率小于6000 Hz时,复合材料的隔声效果明显地高于三合板。

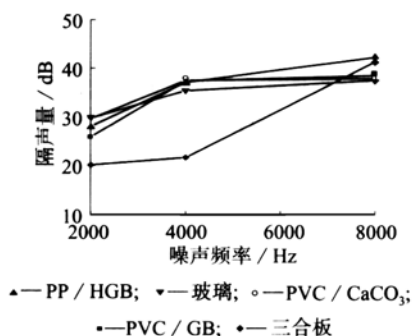


图4 隔声量与噪声频率的关系

3.3 聚合物复合材料的隔声机理

聚合物基泡体复合材料是使用空心玻璃微珠填充树脂复合而成。由于空心玻璃微珠密度小、强度高等特点使聚合物在各种性能上得到了很大的提高,聚合物基泡体复合材料的优越隔声性能也主要与该材料的组成和结构有着密切的关系^[9,10]。尽管聚合物基复合材料的隔声机理较为复杂,影响因素也较多,但仍可根据其结构特点就声波在材料内部传播中的入射、散射、折射、衍射等几个方面进行分析探讨,从而定性地评价其隔声性能。

一般说来,入射的声波在材料的内部将发生反射、散射、折射和衍射。对于聚合物基复合材料,由于树脂基体与填充料之间密度的差异,当声波遇到填充颗粒时将发生多次折射及散射使得传播路径增大、声能消耗将增多;同时,声波在树脂基体中传播碰到这些颗粒时相当于遇到障碍物,必须绕过填充颗粒发生衍射,从而也使声波的传播路径加长而消耗掉声能。对于聚合物基泡体复合材料,泡体内的气体增加了材料的吸声效果,从而改善了复合材料的

的隔声性能(见图4)。

另一方面,当在树脂中加入填充物后,限制了树脂大分子链的运动,应变、应力的增加相对滞后,材料的模量和粘度明显地提高,其介质损耗和玻璃化转变温度也相应地发生改变^[11]。当声波入射时,在材料中传播要克服更大的阻力,使得声能消耗越大,达到吸声的效果。

4 结论

聚合物基复合材料具有良好的隔声性能,且服从隔声质量定律。当填料粒子为中空微珠时,其隔声效果更佳。这可归因于由填充颗粒导致声波多次折射、散射和衍射使得传播路径加长,以及粘弹性的改变,令声能消耗加大,达到改善隔声的效果。对于聚合物基泡体复合材料,泡体内的气体增加了材料的吸声效果,从而提高了材料的隔声性能。

参考文献

- 1 张沛商. 噪声防治. 北京: 电子工业出版社, 1988.
- 2 俞伯璋. 新型的绝热吸声减振材料—多孔聚合材料. 新型建筑材料, 1999, 3(4): 9
- 3 张军, 赵书兰, 郭亚, 等. 改性聚丙烯阻燃泡沫材料的吸声性能的研究. 噪声与振动控制, 1997(3): 36
- 4 毛东兴, 洪宗辉. 聚氨酯泡体材料吸声性能及其低频拓展. 噪声与振动控制, 1999(2): 27
- 5 毛东兴. 高效吸声泡体玻璃性能的实验研究. 噪声与振动控制, 1999(6): 30
- 6 孔化民. 复合高效吸声材料的应用研究. 江苏环境科技, 1999, 9(3): 4
- 7 吕玉恒, 王庭佛. 噪声与振动控制设备及材料选用手册. 第二版. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- 8 周新祥. 噪音控制及应用实例. 北京: 海洋出版社, 1999.
- 9 段予忠. 塑料改性. 北京: 科技文献出版社, 1998.
- 10 刘小明. 硬聚氯乙烯改性及加工. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- 11 Liang J Z, Li R K Y, Tjong S C. Effects of glass bead content and surface treatment on viscoelasticity of filled polypropylene/elastomer hybrid composites. Polym Int, 1999, 48(11): 1068

STUDY ON THE SOUND INSULATION PROPERTY OF POLYMER COMPOSITES

Liang Jizhao, Jiang Xinghua

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT The principal of the sound insulation of inorganic particle-filled polymer composites is analyzed, and it is pointed out that the improvement of the sound insulation effect can be attributed to the many times refracting, spreading, and rounding of the sound waves, the increase of the propagation path and the variation of the viscoelasticity of the composites owing to the particles, leading to the increase of the sound energy consumption. The sound insulation properties of several polymer composites are measured. The results showed that the sound insulation effect obeyed the quality law, and the sound insulation property of the composites containing hollow particles was better.

KEYWORDS polymer composite, inorganic filler, sound insulation property