DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2011.15.022

结构阻尼复合材料的研究及制备工艺

Research and Preparation Technology for Structural Damping Composites

中国航天科工集团第四总体设计部　　许砚琦

许砚琦

毕业于北京航空航天大学，工学硕士。现为航天科工集团四院第四总体设计部高级工程师，副主任研究师。负责过多个航天型号复合材料项目的研制工作，目前主要从事缠绕成型复合材料网格加筋结构（AGS）舱体研制。发表论文十余篇，获得过航天部级成果，申报国防保密专利多项。

具有阻尼减振功能的纤维增强复合材料在提供承载能力的同时，还能把振动能吸收并转化为其他形式的能量而耗散掉，从而减少机械振动和噪声。由于纤维增强复合材料具有较高的比强度、比模量，与同类型金属减振结构（如铝合金）相比其结构重量可减重 20% ～ 40%。

现代航空航天飞行器日益向高速化、轻质化的方向发展，随之而产生的宽频带振动也越来越严重。振动过大会造成结构疲劳破坏，控制系统、电子器件、仪器仪表失效，这些都将严重影响精度的可靠性。

以往主要靠减振器或者用金属和阻尼材料制备成约束层和自由层结构来进行减振，但这种方式存在以下缺点：减振器在共振时有较高的共振放大，且只在特定的频率范围内起作用，对于高精度控制系统只用减振器是不能满足减振要求的。而用金属做结构减振比重较大，不能满足轻质化的要求。

具有阻尼减振功能的纤维增强复合材料在提供承载能力的同时，还能把振动能吸收并转化为其他形式的能量而耗散掉，从而减少机械振动和噪声。由于纤维增强复合材料具有较高的比强度、比模量，与同类型金属减振结构（如铝合金）相比其结构重量可减重 20% ～ 40%。

国内外研究现状

1 国外研究现状

国外对结构 / 阻尼一体化复合材料非常重视，各个科研院所投入了大量的人力物力进行研究（包括阻尼复合材料的阻尼机理，模型、阻尼因子的预报方法等）[1-3]，并成立专门的特种复合材料公司对这方面的基础和应用进行研究，并且已经研制出高精密设备安装用的各种结构件。但是对于所采用的方法高度保密，报道很少。

2 国内研究现状

国内阻尼复合材料研究的着眼点主要集中在混杂复合材料的阻尼性能及其应用上。玻璃纤维和 kevlar 纤维比碳纤维具有更好的阻尼特性，但模量比碳纤维要低很多；这样通过纤维混杂的方法会使构件的模量大幅降低，并且提高的阻尼因子非常有限，这对于刚度要求很高、变形要求很小的结构件来说就不太适用了，使得这种方法的应用受到限制。

纤维复合材料阻尼减振机理

纤维增强复合材料与金属材料有着不同的阻尼机理[4]，主要体现在以下5方面。

（1）基体和纤维材料的固有粘弹性。

一般来讲，复合材料阻尼的主要贡献来自于基体，但是在分析复合材料阻尼时，也要考虑纤维的影响。

（2）界面相的阻尼。

界面相是指邻近纤维表面的一定厚度区域，它具有与纤维和基体不同的性质。作为纤维和基体之间几何和材料不连续的结果，界面相内存在很大的剪切应变，这就为耗散能量提供了前提。

（3）由材料破坏引起的阻尼。

包含2种类型，一是纤维和基体之间的界面存在由未粘合区域和分层引起的摩擦阻尼，二是由基体开裂和纤维断裂的能量耗散引起的阻尼。

（4）粘塑性阻尼。

在大振幅/高应力情形下，特别是热塑性复合材料，由于在纤维之间的局部区域内存在高应力和应变集中而表现出非线性的阻尼特性。

（5）热弹性阻尼。

由从复合材料压应力区域到拉应力区域的循环热流动引起。

Saravanos和Chamis研究了纤维增强单向和角度铺层复合材料的阻尼特性，得出各个方向的阻尼系数预报计算公式。

提高复合材料阻尼因子的方法

基于以上所述的阻尼机理，可以通过多种方法和途径，研制纤维增强阻尼复合材料。

1 研制具有阻尼减振功能的树脂基体

对树脂基体进行配方设计、各组分比例调整、树脂性能测试等，研制出具有阻尼特性的结构型树脂基体，使其能够在一定的温度下长期使用，对碳纤维能够实现很好的浸润。

英国的研究者Grant I D等人通过改性环氧树脂制备了本身具有阻尼性能的复合材料基体体系RF69、RF1818和RF1816，并用这些基体和碳纤维平纹布复合制成了复合材料，测定了该复合材料动态力学性能，测试频率为10Hz，如图1、图2所示。

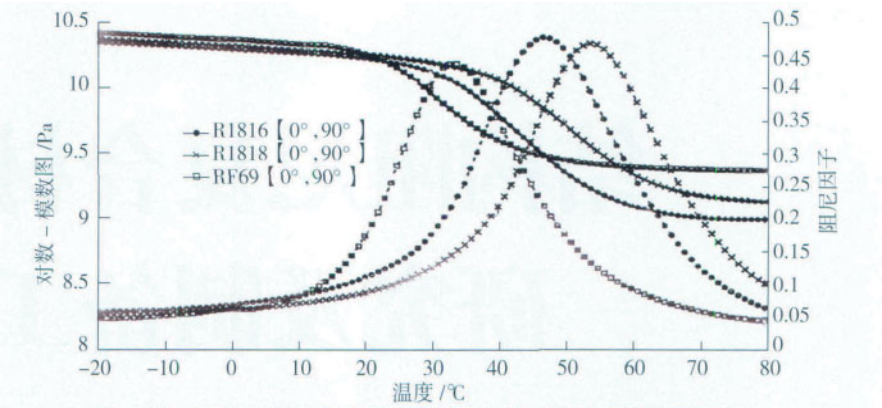

图1 碳纤维平纹布增强高阻尼环氧基体动态力学性能（测试频率10Hz）

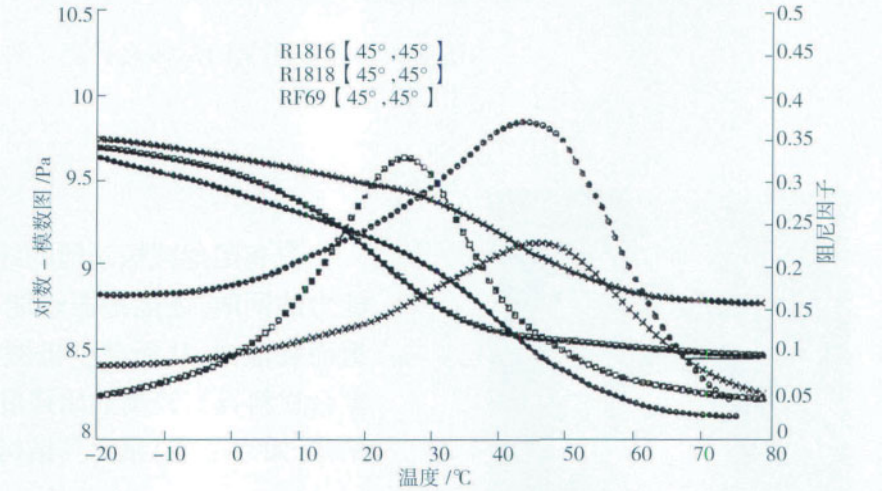

图2 ±45°碳纤维增强高阻尼环氧基体动态力学性能（测试频率10Hz）

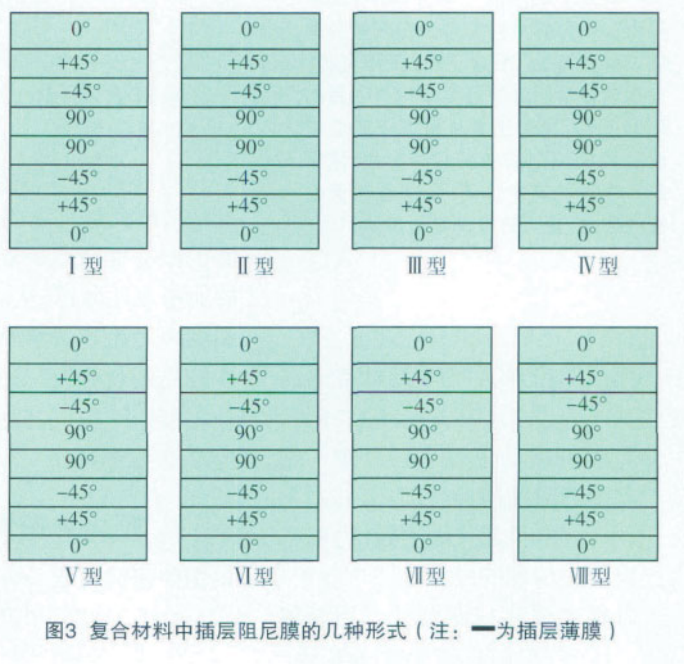

图3 复合材料中插层阻尼膜的几种形式（注：━为插层薄膜）

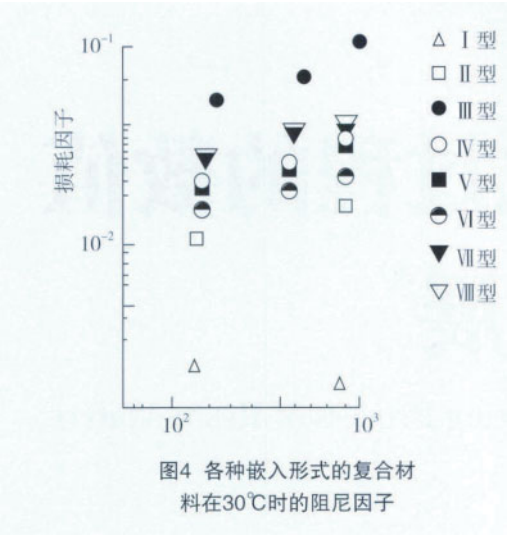

图4 各种嵌入形式的复合材料在30℃时的阻尼因子

由图 1、图 2 可以看出，碳纤维增强阻尼树脂基体 RF69、RF1818、RF1816 复合材料在 20 ～ 65℃有较大的阻尼值，复合材料的阻尼因子最高可以达到0.45；阻尼因子在0.2 以上的峰宽约为 20℃。

纤维的不同铺层角度对复合材料阻尼因子也有一定的影响。根据不同温度段的减振要求可以选用不同的阻尼树脂体系。

2 采用共固化阻尼层来提高复合材料结构阻尼特性

该方法通过在结构内部夹进粘弹性阻尼层来增加整体结构的阻尼减振效果[5]。

插层是通过在碳纤维预浸料中插入粘弹性阻尼膜的方法改善 CFRP 层板阻尼效果的。

图 3 为国外研究者在复合材料中插层阻尼膜的几种形式，第一种为没有嵌入阻尼膜的状态，其余几种为嵌入阻尼膜的状态。嵌入的位置和数量有所不同。

图 4 为各种嵌入形式的复合材料在 30℃时的阻尼因子，可以看出与未嵌入阻尼膜的复合材料相比，嵌入阻尼膜后的复合材料的阻尼因子在 30℃时有很大幅度的提高，复合材料阻尼因子提高的幅度与嵌入阻尼膜的位置数量有关。

在复合材料层片间引入阻尼材料插层改善振动阻尼是通过中间插层的剪切变形消耗振动能量实现的。

3 采用压敏材料提高阻尼特性

压敏材料可以克服高分子粘弹性阻尼对温度和频率的依赖性，使研制的结构－阻尼一体化复合材料能在较宽的温度和频率范围内都具有高阻尼特性。

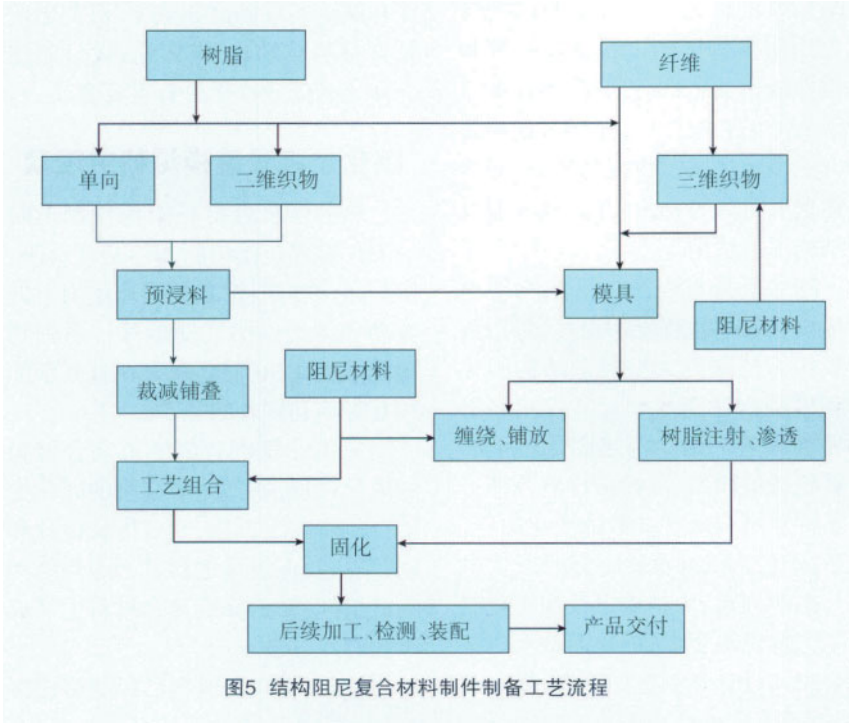

图5 结构阻尼复合材料制件制备工艺流程

压电材料是能够将机械能和电能互相转换的功能材料。所谓压电效应是指某些介质在受到机械压力时，即使这种压力像声波振动那样微小，都会产生压缩或伸长等形状变化，引起介质表面带电（正压电效应）；反之，施加激励电场，介质将产生机械变形，称逆压电效应。

将压电材料粘于复合材料层板表面时，压电复合材料在振动期间，CFRP 梁弯曲使压电元件变形，进而使压电元件产生电荷，于是产生一个通过电阻器的电流，以热量的形式消耗能量，结果导致梁的机械阻尼。

结构阻尼复合材料制件制备工艺

结构阻尼复合材料制件可以采用图 5 所示工艺流程进行制备。

结束语

上述方法可使复合材料阻尼因子大幅提高，可以显著提高复合材料的减振能力，在航空航天领域有广阔的应用前景。

参 考 文 献

[1] Biggerstaff J M and Kosmatka J B, Damping performance of cocured composite laminates with embedded viscoelastic layers. Journal of Composite Materials, 1998,32(21): 1-7.

[2] Chandra R, Sing S P, Gupta K. Damping studies in fiber reinforced composites. Composite Structures, 1999 (46):41-51.

[3] Saravanos D A. Dynamic characteristics of specialty composite structures with embedded damping layers. Journal of Vibration and Acoustics, 1995(117):62-69.

[4] 任永生. 纤维增强复合材料结构阻尼研究进展 . 力学与实践 , 2004, 26(1):9-16.

[5] 许砚琦，伍军，蒋麟儿. 嵌入阻尼层对 M40J/5228 复合材料性能影响研究，第十五届全国复合材料会议论文集，哈尔滨，2008.

（责编 小颖）