

# 蜂窝夹层复合材料的吸波性能

赵宏杰 嵇培军 胡本慧 赵亮

(航天特种材料及工艺技术研究所,北京 100074)

**文 摘** 采用 Nomex 蜂窝芯、混合物吸收剂和酚醛树脂制备了蜂窝夹层复合材料,研究了蜂窝芯高度、蒙皮厚度和蜂窝芯增重对其吸波性能的影响。结果表明:随着蜂窝芯高度的增加,其夹层复合材料的 $-10\text{ dB}$ 有效带宽向低频扩展,18 mm 高度蜂窝夹层复合材料在 $2\sim 18\text{ GHz}$  频段反射率均小于 $-10\text{ dB}$ ;随着蒙皮厚度的增加,蜂窝夹层复合材料的低频反射率降低,但高频反射率升高;随着蜂窝芯黏附吸收剂质量的增加,其吸收峰频率向低频移动。

**关键词** 蜂窝,夹层,吸波性能

## Absorbing Properties of Honeycomb Sandwich Composites

Zhao Hongjie Ji Peijun Hu Benhui Zhao Liang

(Aerospace Research Institute of Special Materials and Processing Technology, Beijing 100074)

**Abstract** The samples of absorbing honeycomb were prepared by using Nomex honeycomb, multicomponent absorbent and phenolic resin. Effects of height, thickness of sheet and content of the absorbent of the honeycomb on radar absorbing properties of the honeycomb sandwich were investigated. The results indicate that effective bandwidth in which reflectivity is less than  $-10\text{ dB}$  extends to low frequency as height of the honeycomb increases, as thickness of the sheet increases, reflectivity of the absorbing honeycomb sandwich in low frequency band decreases and that in high frequency band increases, dip frequency of the reflectivity lowers as the weight of the absorbent adhering to the honeycomb wall increases.

**Key words** Honeycomb, Sandwich, Absorbing properties

### 1 引言

吸波蜂窝夹层复合材料一般是以纸蜂窝或芳纶蜂窝芯为基体材料,在蜂窝壁上浸渍一定的吸收剂,最后在蜂窝芯上下表面覆盖蒙皮制成<sup>[1]</sup>。吸波蜂窝夹层复合材料的特点是容易解决宽频段吸波问题,且质轻,具有一定的强度和刚度,因此在天线系统等领域获得广泛应用<sup>[2]</sup>。近年来,已经有科研人员对吸波蜂窝夹层复合材料的吸波性能进行了实验研究<sup>[3]</sup>和理论计算<sup>[4]</sup>,本文采用 Nomex 蜂窝芯材料、混合物吸收剂和酚醛树脂制备了吸波蜂窝夹层复合材料,研究了蜂窝芯高度、蒙皮厚度和蜂窝芯增重对吸波蜂窝夹层复合材料吸波性能的影响。

### 2 实验

#### 2.1 主要原材料

Nomex 蜂窝:北京航空材料研究院提供;吸收

剂:自制;酚醛树脂:北京玻璃钢研究院提供。

#### 2.2 浸渍胶液制备

将酚醛树脂溶于无水乙醇中稀释,制成胶液,加入吸收剂,机械搅拌 20 min,再在高速匀质机上继续分散 10 min,得吸波树脂胶液备用。

#### 2.3 吸波蜂窝芯制备

将配置好的胶液倒入浸胶槽,然后将预先裁剪的蜂窝芯(300 mm×300 mm)浸入胶液,用镊子夹住蜂窝两个角提起,放到台架上晾置 20~30 min,称量蜂窝的增重,然后重复浸渍、称重,直至达到所需的增加质量。

将浸渍后的蜂窝芯放入烘箱内进行固化处理,固化工艺条件为 $180^\circ\text{C}$ 下恒温 2 h。

#### 2.4 吸波蜂窝夹层复合材料制备

采用热压罐工艺用环氧胶膜将吸波蜂窝芯和玻璃钢蒙皮胶接起来,如图 1 所示。

收稿日期:2009-09-20

作者简介:赵宏杰,1979 年出生,博士,工程师,主要从事吸波材料研究。E-mail:zhaohj01@126.com

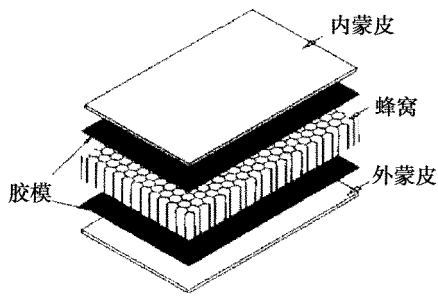


图1 吸波蜂窝夹层复合材料结构示意图  
Fig.1 Schematic of radar absorbing honeycomb sandwich composite

### 2.5 吸波蜂窝夹层复合材料反射率测试

按照 GJB 2038—94,采用弓形法测试电磁波垂直入射时吸波蜂窝夹层复合材料的反射率,测试频段为 2~18 GHz。

## 3 结果与分析

### 3.1 蜂窝芯高度对蜂窝夹层复合材料吸波性能影响

图 2 显示了不同厚度蜂窝夹层复合材料的反射率曲线,玻璃钢蒙皮厚度均为 1 mm。可以看出,6、10 和 18 mm 蜂窝夹层复合材料分别在 5.4~18 GHz、3.8~18 GHz 和 2~18 GHz 频段反射率小于 -10 dB,即随着蜂窝芯厚度的增加,其夹层复合材料的低频吸收带边向低频扩展,-10 dB 有效带宽增加。

一般来说,当吸波材料的厚度为四分之一介质波长时,材料表面的出射波与入射波相位相反,发生干涉相消<sup>[5]</sup>,使总的反射波被最大限度地限制在蜂窝内部,电磁波的能量被蜂窝壁上的损耗材料(吸收剂)耗散掉,此时,材料的厚度与波长产生“匹配”。因此,蜂窝芯越厚,其能够匹配的电磁波的波长就越长,对应的吸收频率就越低。

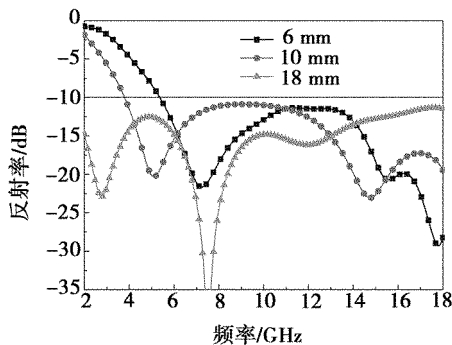


图2 不同厚度蜂窝夹层复合材料反射率曲线  
Fig.2 Reflectivity of sandwich composites with different height of honeycombs

从图 2 可知,18 mm 蜂窝夹层复合材料在 2~18 GHz 具有 -10 dB 以下的反射率带宽,因此,本文以该厚度蜂窝为例,进一步研究蒙皮厚度和蜂窝芯增重

对蜂窝夹层复合材料吸波性能的影响。

### 3.2 蒙皮厚度对蜂窝夹层复合材料吸波性能影响

图 3 显示了 18 mm 厚蜂窝芯无蒙皮和粘接不同厚度玻璃钢蒙皮的反射率曲线,蒙皮厚度分别为 0.5、0.7 和 1.0 mm。在吸波强度上,随着蒙皮厚度的增加,蜂窝夹层复合材料的低频(2~8 GHz)吸波性能显著提高;高频(8~18 GHz)吸波性能随着蒙皮厚度增加先提高,再降低。在吸收峰频率上,随着蒙皮厚度的增加,蜂窝夹层复合材料的低频吸收峰和高频吸收峰频率均向低频移动。

较厚的蒙皮能够匹配较大波长的电磁波,相应的吸收峰频率就越低。

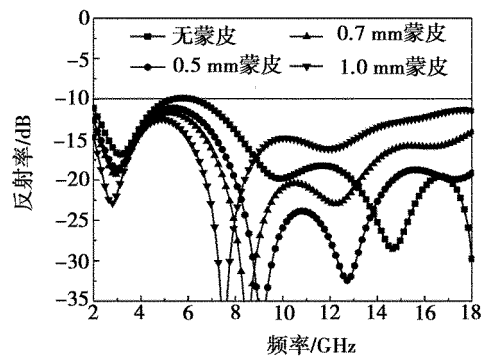


图3 18 mm 厚蜂窝芯粘接不同厚度蒙皮的反射率曲线  
Fig.3 Reflectivity of 18 mm height honeycombs with different thickness of sheets

从图 3 可知,所有测试试样的反射率在 2~18 GHz 均小于 -10 dB,同时在 2~4 GHz 反射率均小于 -15 dB,8~18 GHz 反射率均小于 -20 dB,能够满足使用要求。

### 3.3 蜂窝芯增重对蜂窝夹层复合材料吸波性能影响

图 4 为 18 mm 厚蜂窝芯黏附不同质量吸收剂的反射率曲线,其增重分别为 44% 和 70%,玻璃钢蒙皮厚度均为 1.0 mm。

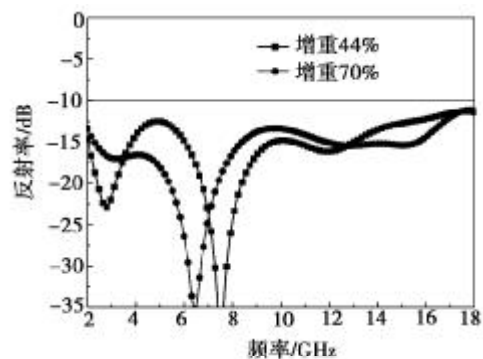


图4 18 mm 厚蜂窝芯粘附不同质量吸收剂的反射率曲线  
Fig.4 Reflectivity of 18 mm height honeycombs with different weight of absorbent

(下转第 76 页)