

文章编号 :1001 - 2486(2005)01 - 0044 - 03

一种新型结构吸波材料的制备*

曹 义 程海峰 周永江 李永清 才鸿年

(国防科技大学 航天与材料工程学院 , 湖南 长沙 410073)

摘 要 :介绍了阻抗匹配设计原理。自制了三种导电纤维 ,分别织成正交平纹布 ,通过优化设计 ,采用简单层式结构 ,以酚醛为基体 ,制备出接近实用水平的多层结构吸波材料。该材料厚 3.2mm ,密度 $1.38\text{g}/\text{cm}^3$,面密度 $4.42\text{kg}/\text{m}^2$,在 8.4GHz ~ 18GHz 反射率小于 -10dB ,弯曲强度 173MPa ,弯曲模量 12.5GPa。

关键词 :阻抗匹配 ;层式结构 ;吸波材料

中图分类号 :TB34 文献标识码 :B

The Manufacture of New-style Structure Radar Absorbing Materials

CAO Yi , CHENG Hai-feng , ZHOU Yong-jiang , LI Yong-qing , CAI Hong-nian

(College of Aerospace and Material Engineering , National Univ. of Defense Technology , Changsha 410073 , China)

Abstract :The impedance matching design is briefly introduced. Three kinds of conductive fibers were prepared. Then the fibers were woven into tabby fabrics. A new kind of multilayer structural radar absorbing material was made with these conductive tabby fabrics. From 8.4GHz to 18GHz , the reflection attenuation of the material exceeds 10dB. The material is light (3.2mm thick and density $1.38\text{g}/\text{cm}^3$) and of good mechanical properties (flexural strength 173MPa , toughness 12.53GPa).

Key words :impedance matching ; multilayer structural ; radar absorbing materials

雷达吸波材料按使用形式可分为涂层型、贴片型、结构型等^[1]。结构吸波材料(Structural Radar Absorbing Materials)是在先进复合材料基础上发展起来的双功能复合材料 ,既能隐身又能承载 ,可成型各种形状复杂的部件 ,是当今吸波材料主要的发展方向之一。结构吸波材料一般设计成多层结构 ,利用阻抗渐变使得材料的表面输入阻抗和自由空间的波阻抗匹配起来 ,使入射电磁波能最大限度地进入材料内部被吸收掉。结构吸波材料往往采用复杂的结构和工艺以及昂贵的特种纤维 ,使得材料成本大大增加^[2]。

1 原料与实验方法

通过不同的处理制度 ,自制三种不同电阻率的束丝(6000 根束) ,织成正交平纹布(分别称为织物 A , 织物 B , 织物 C) ,选用酚醛树脂(FB88 ,蚌埠耐高温树脂厂 ,军 I 级)加适量无水乙醇配制成溶液 ;剪裁好的平纹布浸入溶液中 ,取出晾干成预浸料 ,在模具中铺层 ,模压 ,180℃ 热固化 ,制得三种复合材料 ,分别裁取小块 ,机加工成同轴测试样 ,委托某研究所测试其电磁参数。根据测试的结果 ,通过优化设计 ,选择合适的铺层结构 ,采用这三种织物制备了多层板结构吸波材料。测定该材料的反射率 ,用排水法测定其密度 ,在 WDW - 100 电子万能试验机上测定其三点弯曲强度和模量。

2 阻抗匹配设计原理

从电动力学原理可知 ,吸波材料对雷达波是否具有好的吸收性能不仅取决于材料是否具有大的介

* 收稿日期 2004 - 09 - 21

基金项目 : 国家部委基金资助项目

作者简介 : 曹义(1978—) ,男 ,博士生。

电损耗,还决定于雷达波能否从自由空间进入材料内部,这就要求材料表面的电阻抗与自由空间接近,也就是阻抗匹配^[3~6]。多层结构吸波材料的一个重要特征是从表面材料到紧贴金属材料的内层材料,其波阻抗依次减小。即介电特性常数依次增大或磁性参数依次减小。利用其表面材料的大阻抗与空气匹配,使电磁波很少反射,而大部分进入材料内部,然后由阻抗逐渐减小的内层材料逐步吸收电磁波能量,直至其基本或完全消失。

当电磁波垂直入射时,对多层结构吸波材料,可采用传输线法根据其电磁参数和厚度计算反射率曲线。传输线法可参照文献[7~8]。

根据计算得出结构吸波材料的频率—反射衰减曲线,根据吸收强度、频宽等条件,可以选择吸波材料的最佳铺层结构。

3 结果与讨论

本研究制备的平纹布为非磁性的吸波织物 $\mu_r \approx 1$ 。实验制备的导电平纹布/酚醛复合材料每铺层厚约 0.8mm,介电常数测试结果如图 1 所示。

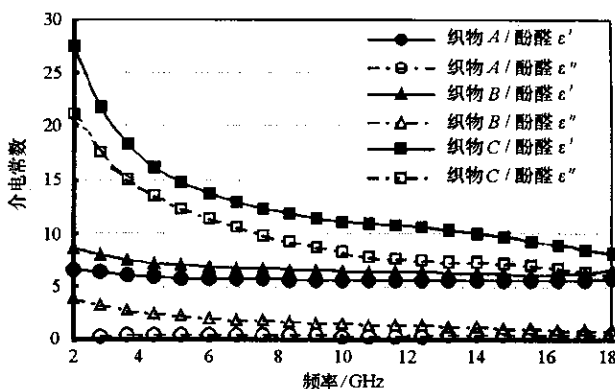


图 1 导电纤维织物/酚醛复合材料的介电常数

Fig. 1 Permittivity of conductive tabby fabrics/FB88 composites

由图 1 可以看出,三种材料中织物 A/酚醛制备的吸波材料介电常数的实部和虚部都比较小,与自由空间性质比较接近,适合做表面铺层,与空气阻抗匹配;织物 B/酚醛吸波材料适合做过渡层;织物 C/酚醛吸波材料适合做损耗层。

结合实际可能遇到的厚度要求,采用四层结构,厚度约为 3.2mm。模拟计算所有四层组合的反射率,以反射率小于 -10dB 的带宽为评价标准,排在 前 6 位的铺层组合情况如表 1 所示,表中 M 代表金属背衬。由表可以看出,符合阻抗匹配原则的铺层顺序(A/B/C/C/M)有最佳吸收带宽。

表 1 反射率小于 -10dB 带宽最大的四层组合

Tab. 1 Four-layer materials with the widest waveband of reflection attenuation < -10dB

编号	铺层顺序	< -10dB 带宽 (GHz)	< -10dB 起始 频率(GHz)	< -10dB 截止 频率(GHz)	最小反射率 出现频率(GHz)	最小反射率 (dB)
1	A/B/C/C/M	3.44	8.48	11.92	9.84	-23.9
2	B/A/C/C/M	3.20	8.32	11.52	9.6	-23.7
3	B/B/C/B/M	3.20	8.08	11.28	9.36	-30.3
4	A/C/A/A/M	3.12	7.68	10.8	8.96	-26.2
5	B/B/C/A/M	3.12	8.08	11.2	9.36	-28.4
6	A/B/C/B/M	3.12	8.56	11.68	9.84	-20.0

按 A/B/C/C 顺序模压制备多层板结构吸波材料,厚 3.2mm,尺寸为 180mm × 180mm,密度约为 1.38g/cm³,面密度 4.42kg/m²。背衬铝板,其中,织物 C 铺层为贴近铝板的内层,反射率计算和测试结

果如图 2 所示。

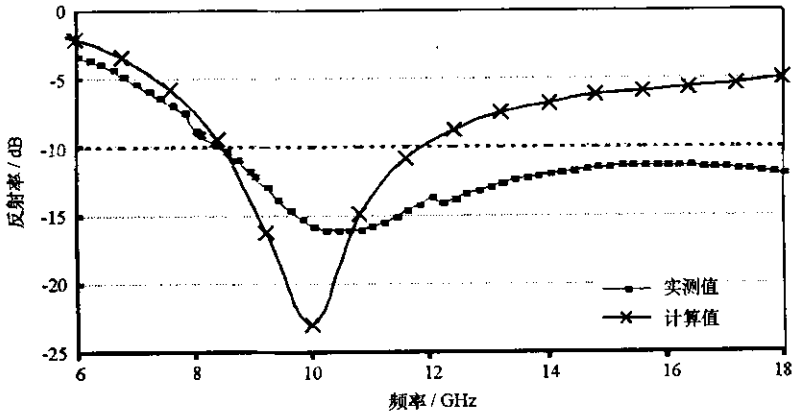


图 2 层压四层板的反射率实测与计算曲线

Fig. 2 The reflectivity curve of four-layer structural radar absorbing material

实测结果表明,在 8.4GHz ~ 18GHz 频率范围内,材料的反射率小于 -10dB,吸收带宽较大,覆盖了整个 Ku 波段和几乎整个 X 波段,在 X 波段 10.4GHz 达到最小值 -16.1dB。在 8GHz 和 12GHz 反射率曲线不连续,是由于分波段测试的影响。

计算值与测量值相比较,并不是很吻合,周永江等提出新的模型^[19],对计算结果进行了修正,修正的结果与测试结果比较一致。

上述模压多层板结构吸波材料弯曲强度为 173MPa,弯曲模量 12.5GPa,超过片状模压料(SMC)制备的汽车门板弯曲强度 95 ~ 150MPa 及其弯曲模量 7.6 ~ 11.6GPa^[10];从力学性能来说,材料可以满足地面装备的一般要求。

4 结论

(1) 采用阻抗匹配原理设计的多层结构吸波材料,具有较大的有效吸收带宽。

(2) 采用自制的导电纤维束织成的平纹布,制备了具有较好综合性能的结构吸波材料,在 8.4GHz ~ 18GHz 频率范围内,材料的反射率小于 -10dB,密度约为 1.38g/cm³,三点弯曲强度为 173MPa,弯曲模量 12.5GPa,有适用于实际装备的潜在能力。

参考文献:

- [1] 周永江. PAN 基吸波纤维与吸波结构的研究[D]. 长沙:国防科技大学,2002.
- [2] 黄远,李家俊,马铁军,等. 一种新型结构吸波材料的设计与制备[J]. 兵器材料科学与工程,1999,22(4):7-12.
- [3] 王军,陈革,宋永才,等. 以异型碳化硅纤维为吸收剂的结构吸波材料设计[J]. 材料工程,2000(7):27-29.
- [4] 邢丽英,刘俊能. 电阻渐变型结构吸波材料的研究与发展[J]. 航空材料学报,2000,20(3):187-191.
- [5] 曾竟成,罗青,唐羽章. 复合材料理化性能[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1998.
- [6] Yusoff A N, Abdullah M H. Microwave Electromagnetic and Absorption Properties of Some LiZn Ferrites[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2004, 269:271-280.
- [7] 杨尚林,等. 结构吸波材料的设计与性能预报[J]. 哈尔滨工程大学学报,2003,24(5):544-547.
- [8] 彭智慧,等. 雷达吸波材料设计理论与方法研究进展[J]. 航空材料学报,2003,23(3):58-63.
- [9] 饶克谨,赵伯琳,高正平. 吸波纤维层板的等效电磁参数研究[J]. 隐身技术,1999(3):2-5.
- [10] 沃丁柱,等. 复合材料大全[M]. 北京:化学工业出版社,2000:273.

