

纳米吸波复合材料及其 在隐身飞机上的应用

Nanometer Radar Absorption Composite and Its Application on Stealth Aircraft

空军驻沈飞公司军事代表室 刘道庆

海军驻沈阳地区航空军事代表室 张引强 张 旸

近年来,随着先进红外/紫外探测器、毫米波段雷达等新型先进探测器的相继问世,对原有的飞机隐身技术提出了新的、更严峻的挑战。一种类型的材料已很难满足飞机隐身技术所提出的“薄、轻、宽、强”的综合要求,而是需要将多种吸波材料进行多种形式的复合来获得最佳的隐身效果。

纳米技术是指通过特定的技术设计,在纳米粒子的表面实现原子/分子的排列组成,使其产生某种特殊结构,并表现特异的技术性能或功能。纳米技术的出现表明未来生产和科研的对象将向更小尺寸、更深层次方向发展,将从微米层次深入至纳米层次。纳米技术未来的发展目标是按照需要,操纵原子、分子来构建纳米级的、具有一定功能的器件或产品。对这种由数量不多的电子、原子或分子组成的体系中,对于新规律的认识和如何操纵或组合它们已成为当今研究纳米技术的主要方向之一。

纳米吸波复合材料

1 定义

在复合材料中,通常有一相为连续相,称为基体;另一相为分散相,

称为增强材料。纳米功能复合材料是指由2种或2种以上的物理或化学性质不同的物质组合而成的一种多相固体材料,其中至少有一种在一维方向是处于纳米级的微粒、晶粒、薄膜或纤维。这种纳米级的微粒、晶粒、薄膜或纤维必须具有与普通大尺寸物质所不同的奇特性质,而由这些物质组成的复合材料通常称之为纳米复合材料。这种复合材料由于具有某些奇特功能,因此又称之为纳米功能复合材料。纳米吸波复合材料是指能吸收投射到它表面的电磁波能量,并通过材料的介质损耗使电磁波能量转变成热能或其他形式能量的一类纳米功能复合材料。

2 纳米吸波复合材料的工作原理

雷达波首先传输到阻抗为 Z_0 的自由空间,然后投射到阻抗为 Z_1 的

材料表面,这时雷达波产生部分反射。反射系数 R 由下式得出:

$$R = (Z_0 - Z_1) / (Z_0 + Z_1)$$

式中, $Z_0 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}$, $Z_1 = (\mu_1 / \epsilon_1)^{1/2}$ 。 μ_0 、 μ_1 分别为自由空间和吸波材料的磁导率; ϵ_0 和 ϵ_1 分别为自由空间和吸波材料的介电常数。

为了不产生反射,反射系数必须为零,即满足 $Z_0 = Z_1$ 或 $\mu_0 / \epsilon_0 = \mu_1 / \epsilon_1$ 。这就是理想吸波材料的阻抗匹配原理。由于现实中材料的 μ 常小于 μ_0 ,而 ϵ 远远大于 ϵ_0 ,很难满足上述要求,因此实际设计中常采用阻抗渐变过渡、多层结构设计的方法来近似地达到阻抗匹配。

3 纳米吸波复合材料的特性

纳米复合材料的界面组元所占比例大,颗粒表面原子比例高,不饱

和键和悬挂键增多。大量悬挂键的存在使界面极化,吸收频带展宽。高的比表面积造成多重散射。纳米材料的量子尺寸效应使电子的能级分裂,而分裂的能级间距正处于微波的能量范围,为纳米材料创造了新的吸波通道。纳米材料中的原子、电子在微波场的辐射下,运动加剧,增加了电磁能转化为热能的效率,从而提高了对电磁波的吸收性能。

纳米吸波复合材料的应用

现代飞机的隐身技术,除了采用热红外线和自身电磁隐身方法外,主要手段是使用新型的吸波材料。纳米吸波复合材料正被作为新一代隐身材料加以研制,纳米吸波复合材料按其材料成型工艺和承载能力可分为结构型和涂敷型2种。

1 结构型纳米吸波复合材料

结构型纳米吸波复合材料是将吸收剂分散在由特种纤维(如石英纤维、玻璃纤维等)增强的结构复合材料中所形成的结构复合材料,它具有承载和吸收雷达波的双重功能。图1所示是一种用于飞机机翼前缘的吸波复合结构。它的蒙皮由玻璃纤维增强塑料制成,厚0.76mm,其气动外形由未填充吸收剂的刚性泡沫材料来保证;刚性泡沫体的内侧涂敷填充了铝粉的涂层,可以使部分入射的电磁波散射到其他方向,而不回到雷达接收站;泡沫材料中填充有吸收剂,并且呈一定的梯度以便更好地衰减入射电磁波;整个结构主要由翼梁支撑。

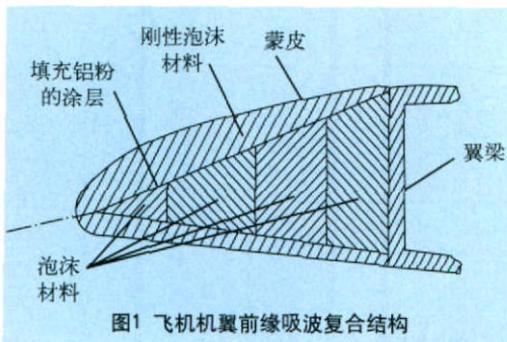


图1 飞机机翼前缘吸波复合结构

图2所示的飞行器机翼前缘为宽频吸波结构。该结构吸波材料为3层结构,其内外蒙皮很薄(0.5~1.5mm),内蒙皮由电阻织物构成的增强塑料制造,在结构受力的内蒙皮

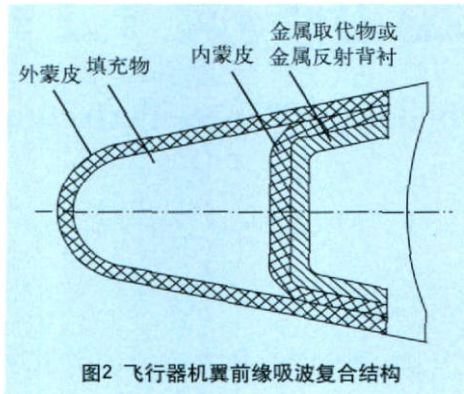


图2 飞行器机翼前缘吸波复合结构

通常采用镀金属的玻璃布制成,在内外蒙皮之间填充轻质吸波材料,在制造过程中加入吸波成分,夹层中填料浓度可改变,以便获得良好匹配。

图3是用于喷气发动机进气道的吸波栅格结构。其中,吸波带由玻璃纤维增强的并浸渍有吸收剂的树脂基复合材料制成,防护层为一般玻璃钢材料。整个栅格结构固定在进气道唇口部位,可以有效地衰减入射雷达波。

2 涂敷型纳米吸波复合材料

通常是吸收剂与粘结剂混合后涂敷于目标表面形成吸波复合涂层。将这种涂层涂敷于目标表面即可制成涂敷型纳米吸波复合材料,目前研究较多的多层涂敷型吸波材料是由电损耗和磁损耗材料复合而成的2层和3层吸波涂层。为应对不同雷达的不同工作方式,现在的隐身飞机已经开始有选择地用纳米吸波材料,即将纳米粉体均匀分散到飞机表面涂料当中,以增强吸收雷达电磁波的效率。一些发达国家正在进行主动抵消技术的研究,即利用吸波材料先吸收大部分雷达波,剩下

少量的反射波再利用主动抵消技术将其全部抵消,这样雷达就会完全失去作用。美国已研制出一系列薄层状铁氧体吸波复合材料,并成功应用于F-117A隐身战斗机的机身、机翼和V形垂尾外表面,获得很好的隐身效果,在1991年的海湾战争中,F-117A出动1000多次无一受损,最大限度地达到使隐身飞机杀伤敌方人员并保护自身安全的目的。

结束语

近年来,随着先进红外/紫外探测器、毫米波段雷达等新型先进探测器的相继问世,对原有的飞机隐身技术提出了新的、更严峻的挑战。一种类型的材料已很难满足飞机隐身技术所提出的“薄、轻、宽、强”的综合要求,而是需要将多种吸波材料进行多种形式的复合来获得最佳的隐身效果。纳米微粒如铁磁性物质Mn-Zn、Ni-Zn铁氧体与铁电性的BaTiO₃复合,能够极大地提高吸波性能;采用有机-无机纳米材料复合技术,能很方便地调节复合材料的电磁参数以达到阻

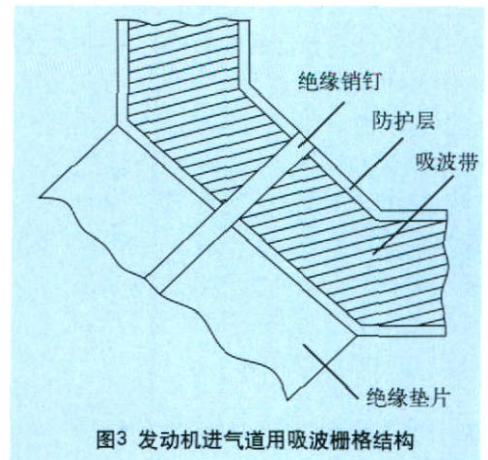


图3 发动机进气道用吸波栅格结构

抗匹配的要求,并最大限度地实现减重。因此,纳米吸波复合材料必将成为今后吸波复合材料研究与发展中的一个重要领域。

(责编 微凉)