

一种降低弹翼 RCS 的技术方案研究

戴全辉 朱绪宝

航天机电集团公司三院三部 北京 100074

摘要 简述了弹翼电磁散射机理,阐述了电磁阻抗匹配的基本原理,设计了弹翼前缘阻抗匹配技术方案及其电磁模型。散射特性实验结果表明,在 8GHz~18GHz 内,弹翼 RCS 可降低 6dB~12dB,说明了所设计的电磁阻抗匹配技术方案对降低弹翼雷达截面(RCS)具有明显的效果。

主题词 阻抗匹配 弹翼 雷达截面 电磁波散射

中图分类号 :TM93

Research of a Technology in Radar Cross Section Reduction of Missile Wing

Dai Quanhui Zhu Xubao

The Third Research Academy of CAMEC, Beijing 100074

Abstract In this paper, electromagnetic scattering mechanism of missile wing is briefly described, and the basic theory of electromagnetic impedance matching technology is expounded. The electromagnetic impedance matching technology project of missile wing lead edge and its electromagnetic model are designed. The results of electromagnetic scattering characteristic experiments are 6 to 12dB reduction in wing's RCS compared with its basis within frequency from 8 to 18GHz, and this shows that the efforts has obvious effect in radar cross section reduction of missile wing.

Keywords Impedance matching Guided missile wing Radar cross section Electromagnetic scattering

1 前 言

飞行器的控制翼面是构成其电磁散射的重要组成部分,控制其雷达截面(RCS)是工程师们普遍关注的工程技术问题。美国以电介质材料为主实现了对战斗机机翼前缘的电磁阻抗渐变匹配技术方案的设计;日本利用磁损耗材料开展了吸收体在直升机旋翼上的安装研究。由于空气动力要求,弹翼前缘是一个具有变气动半径的锥形曲面,它对电磁波的散射表现为镜面反射和边缘绕射,其回波强度取决于该曲面的曲率半径大小,这使得弹翼成为常规飞航导弹头部前视后向 RCS 的主要贡献源之一。当电磁波照射到弹翼前缘时,较强的镜面反射使其 RCS 较大;水平极化时,由于前缘边缘散射的作用,其 RCS 表现得比垂直极化时更大一些。当电磁波照射方向垂直于弹翼后缘时,垂直极化下后缘的贡献也有一定的影响,但是与前缘贡献相比还是很小的。因此,弹翼前缘 RCS 的减缩是弹翼隐身特性设计的重点。本文根据电磁阻抗匹配原理,设计了一种弹翼前缘 RCS 减缩的技术方案,并通过弹翼模型的制作和电磁散射特性的试验进行了验证,效果十分明显。

2 基本原理

雷达波通过自由空间(阻抗为 Z_0)照射到阻抗为 Z_1 的介质表面产生反射,其反射系数可由下式确定

$$R = \frac{1 - z_1/z_0}{1 + z_1/z_0}$$

物体的特征阻抗与物体的导磁率及其介电常数比值的平方根成正比,即

$$Z = Z_0 \sqrt{\mu_r/\epsilon_r}$$

图 1 给出了电磁波在介质层中传播的机理示意图。为了实现不同介质之间的阻抗匹配,应该使介电常数与磁导率接近,使相邻介质之间的本征阻抗达到匹配,从而减少介面间的电磁反射。也就是说,一方面要使电磁波较容易地从一个介质

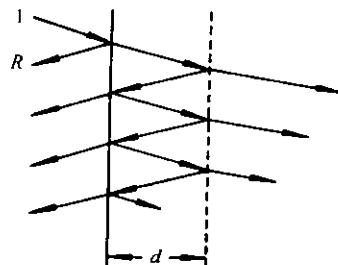


图 1 电磁波在介质层中传播的机理示意图

进入到另一个介质之中;另一方面,为了使进入到介质的能量在抵达金属体表面之前不致全部反射回去,还应该使介质材料具有足够的吸收或损耗。此外,还可利用金属表面几何形状的作用来改变回波方向,以进一步降低后向散射强度。

3 方案设计

根据上述原理,结合弹翼结构特点,我们提出了“前缘透波整流罩+吸收体”的弹翼 RCS 减缩技术方案,即在弹翼前缘设计一匹配空间,利用透波整流罩来维持弹翼前缘的气动外形并使电磁波尽可能地穿过整流罩进入吸收体,吸收体使电磁波逐渐地被吸收或损耗掉,而剩余的电磁波能量可再由金属构件几何外形的偏置作用改变其传播方向,使之移出主要威胁区域。为此,我们开展了以下几个方面的设计工作。

3.1 整流罩的选取与设计

整流罩主要由结构确定,一般是从弹用透波材料中来选取并用低介电常数的玻璃钢制成,厚度适当,以便尽可能地让电磁波穿过。

3.2 吸收体的设计

吸收体的设计是方案设计的重点,其中包括吸收体与透波整流罩的匹配设计、吸收体本身的电参数匹配设计以及吸收体与弹翼载体金属表面的匹配设计。从阻抗匹配的角度讲,吸收体设计就是要使吸收体的等效阻抗沿其厚度方向梯度减小,为此可以通过单层或多层材料来实现。以单层吸收体为例,为了使电磁波能进入吸收体内,需要调整吸收体表面吸收剂的浓度,进而调整其介电常数,以有利于吸收体外表面的阻抗与整流罩的匹配,而吸收剂浓度沿厚度方向设计成逐渐加大,使吸收体的等效电磁参数朝有利于吸收体与弹翼载体金属表面的阻抗匹配方向变化,这样有利于吸收体对电磁波的吸收和损耗,但是浓度的增大不利于电磁波的进入,显然这是一对矛盾。为折衷处理这个矛盾,我们在提高磁性材料吸收剂浓度的同时,引入了少量低介电常数的电介质材料来降低材料的介电常数,这样既可以使电磁波更多地进入吸收体,又可以使入射的电磁波能量经磁化旋转等的作用得到充分的吸收或衰减。

在此基础上,我们还设计了双层吸收体,以及利用弹翼载体金属表面的几何外形来使反射波偏离来波方向这两种方案,这样可望进一步降低弹翼 RCS 和拓宽 RCS 减缩频带范围。图 2 是弹翼 RCS 减缩方案示意图,图 3 为前缘吸收体的示意图。

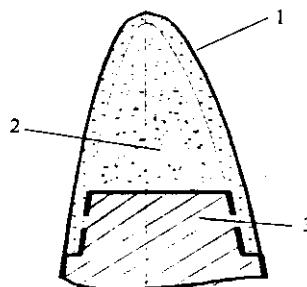
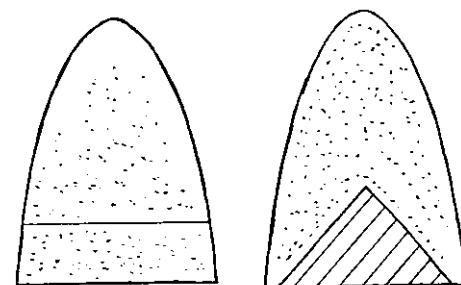


图 2 弹翼 RCS 减缩技术方案示意图



(a) 双层吸收体 (b) 吸波材料与几何外形综合

图 3 吸收体示意图

3.3 阻抗匹配弹翼模型的设计

为了考核方案的有效性,我们进行了弹翼模型实验件的设计。考虑到导弹结构的可能要求,我们将弹翼前缘阻抗匹配的弦向位置设计在距前缘的第一根翼梁腹板之前,并尽可能地靠前,翼展方向的大小可由结构给定。模型设计时,主要考虑了在反映真实弹翼电磁散射规律的同时,避免匹配空间内部出现角反射器,并使前缘整流罩、吸收体以及弹翼载体之间的连接配合紧密,尽可能减少或避免不连续散射。

4 模型试验与结果

利用吸波材料进行弹翼前缘的阻抗匹配设计,从理论上进行定量分析仍然是国内外一大难题。在利用介质材料解决飞行器翼面 RCS 减缩问题上,目前主要依靠试验的方法。为了考察方案的效果,我们选择了如图 3(a)所示的双层吸收体进行全尺寸阻抗匹配弹翼模型的设计和制做,并通过改变吸收体内部组成成分的浓度得到了 A、B、C 三种方案。图 4 和图 5 给出了这三种阻抗匹配弹翼模型在 8GHz~18GHz 频段内与相应基准金属弹翼的 RCS 测量对比曲线,其中,RCS 是电磁波在弹翼弦平面内垂直于弹翼前缘照射的方位上测量得到的,偏离该方位时,RCS 曲线将产生很大的变化。表 1 列出了相应于这三种阻抗匹配弹翼方案在整个 8GHz~18GHz 频段内相对于其基准金属弹翼 RCS 的最小减缩量。

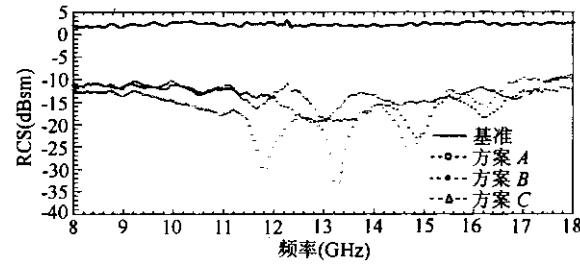


图 4 阻抗匹配弹翼与金属弹翼 RCS 测量结果对比(水平极化)

由于设计的弹翼前缘是一个具有变气动半径的锥柱形曲面,它对电磁波的散射表现为镜面反射和边缘绕射,其回

(下转第 52 页)

波强度取决于该曲面的曲率半径大小。当电磁波垂直于弹翼前缘入射时,前缘曲面产生的较强镜面反射使其RCS较大;水平极化时,即电场方向平行于弹翼前缘时,由于前缘边缘散射的作用,使其RCS表现得比垂直极化时更大一些,因而在利用吸收体进行阻抗匹配设计以降低弹翼RCS时,水平极化时的RCS减缩效果比垂直极化时的更好一些。

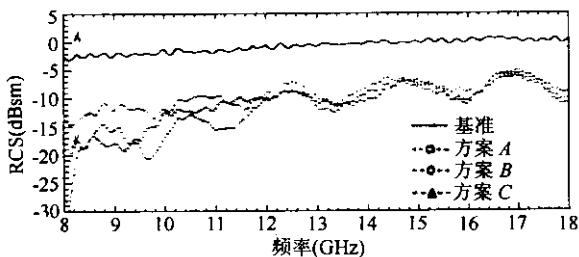


图5 阻抗匹配弹翼与金属弹翼RCS测量结果对比(垂直极化)

由此可见,在8GHz~18GHz频段内,采用阻抗匹配设计技术,可以使全尺寸弹翼的RCS在垂直于其前缘方位上有明显的降低,其中水平极化时可减缩12dB以上,垂直极化时可减缩6.5dB以上。

表1 全尺寸阻抗匹配弹翼方案的RCS减缩效果(dB)

极化类型\方案	频段	方案A	方案B	方案C
水平极化	X	12	12	14
水平极化	Ku	12	14	12
垂直极化	X	9.6	8.4	9.1
垂直极化	Ku	5.4	6.0	6.5

5 结论

基于弹翼的电磁散射机理,结合弹翼的结构特点,根据电磁阻抗匹配原理,本文提出了一种降低弹翼RCS的技术方案。围绕吸收体设计这个重点,综合利用了提高磁损耗材料浓度、使浓度梯度变化、掺入适量低介电常数的介质材料和利用弹翼载体几何外形对电磁波的偏置等方法,设计了相应的吸收体和全尺寸阻抗匹配弹翼电磁模型。实验结果表明,该技术在弹翼隐身设计中具有明显的效果,与其准弹翼相比,弹翼RCS在8GHz~18GHz频段内降低了6dB~12dB。

参 考 文 献

- Knott EF, Shaeffer J F, Tuley M T. Radar Cross Section. Second Edition, 1993 :297~357.
- 王永寿译. 安装吸波体的直升机旋翼研究. 飞航导弹, 1990(12).
- 王相元等. 吸波材料电磁参数与吸收剂百分体积关系. 南京大学学报, 1992, 28(4).

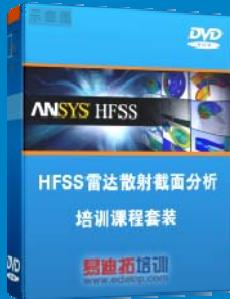
雷达散射截面（RCS）分析培训课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

雷达散射截面（Radar Cross Section，简称 RCS）是雷达隐身技术中最关键的概念，也是电磁理论研究的重要课题，使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起，系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授，边操作边讲解，直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程，其中：《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程，帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用；《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面，包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义，实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程，专家讲授，从零讲起，直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

● 更多培训课程：

● **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

● **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

● **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>