

文章编号: 1673-4599(2011)05-0005-04

直升机旋翼涂敷吸波材料减缩RCS试验研究

刘军辉, 张云飞

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 翼面类部件的RCS减缩始终是飞行器隐身研究的重要课题, 在微波暗室对某直升机旋翼金属模型和涂敷吸波材料模型进行测试研究。在金属旋翼模型表面涂敷1 mm厚吸波材料, 可以在8~18 GHz、HH极化下, 将其RCS的峰值减缩5~8 dB, 360°周向算术均值减缩约5 dB, 充分利用了所用吸波材料平板试件法向减缩量8~11 dB的性能, 减缩效果十分明显。而在VV极化, 除了前缘RCS峰值的减缩量能达到3~5 dB外, 后缘RCS峰值和周向RCS算术均值的减缩量均很小。研究结果对于翼面类部件的RCS减缩具有重要参考价值。

关键词: 吸波材料; 雷达散射截面; 隐身; 测试

中图分类号: V218

文献标识码: A

Test Research on RCS Reduction of Coating RAM for Helicopter Blades

LIU Jun-hui, ZHANG Yun-fei

(School of Aeronautical Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: RCS(Radar Cross Section) reduction of wing type components is an important issue for aircraft stealth design. The test on high frequency backscattering by a helicopter metal model blade and a model blade coated with radar absorbing material (RAM) were carried in the anechoic chamber. For horizontal polarization (HH), at frequency between 8~18 GHz, blade coated with 1 mm thick RAM compared with a metal one, the peak RCS was reduced by 5~8 dB and the arithmetic average RCS around 0°~360° was reduced by 5 dB. The reflective performance of plates coated with RAM is no more than 8~11 dB was full used. For VV polarization, the peak RCS of the leading edge was reduced by 3~5 dB, but the reducing shrinkage of the tail edge and the arithmetic average RCS around 0°~360° was a few. The result has important reference value for RCS reduction of the wing components.

Key words: radar absorbing material; radar cross section; stealth; test

翼面类部件是飞行器的重要雷达散射源, 人们对飞机机翼、直升机旋翼的雷达散射特性进行了计算和RCS测试研究^[1~6]。由于这种部件很难进行外形隐身, 对其RCS减缩的方法一般是采用结构型吸波材料或者是涂敷型吸波材料^[7~11]。

涂敷型吸波材料具有不改变翼面类部件外形

及不改变其内部结构的特点, 是一种常用的隐身材料, 其吸波效果一般是在电磁波垂直入射(入射角为0°)物体表面时效果最好, 当入射角增大时效果变差, 而当电磁波对物体表面接近掠入射(入射角接近90°)时, RCS减缩效果消失。

对于翼面类部件来说, 当飞行器作巡航飞行

收稿日期: 2010-09-16; 修订日期: 2011-07-18

时,电磁波对其翼面的入射角很大,甚至接近掠入射,采用涂敷型吸波材料的翼面的RCS减缩效果如何,这是隐身飞行器设计师所关心的问题。本文对此展开试验研究。

1 试验方法

某直升机旋翼的翼型如图1所示,旋翼长1.145 m,弦长0.095 m,安装在直升机上的旋翼直径约2.6 m。涂敷吸波材料厚度为1.0 mm。微波暗室净空尺寸为12 m×12 m×18 m,暗室背景电平-60 dBm²。



图1 旋翼翼型

将金属旋翼(图2)和吸波材料旋翼(图3)水平放置,翼型迎角为0°(弦平面与水平面平行),桨叶随转台转动时的角度称为方位角。雷达波垂直照射旋翼后缘时方位角为90°,照射桨尖时方位角为180°,垂直照射旋翼前缘时方位角为270°。测试波段为X和Ku波段,极化为HH和VV。

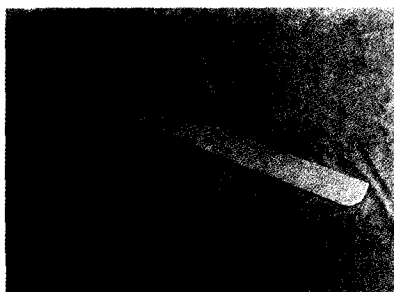


图2 金属旋翼



图3 涂敷吸波材料旋翼

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

试验分别测试了金属旋翼模型和涂敷吸波材料旋翼模型在8~18 GHz频率,0~360°方位角及HH和VV极化方式下的静态RCS特性。图4~7为试验结果的部分曲线对比。

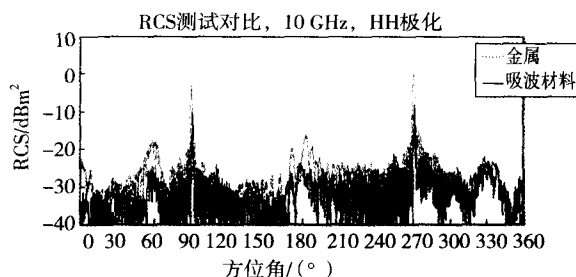


图4 金属与吸波材料旋翼RCS对比(10 GHz, 极化HH)

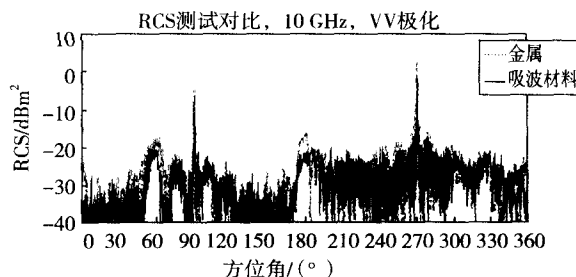


图5 金属与吸波材料旋翼RCS对比(10 GHz, 极化VV)

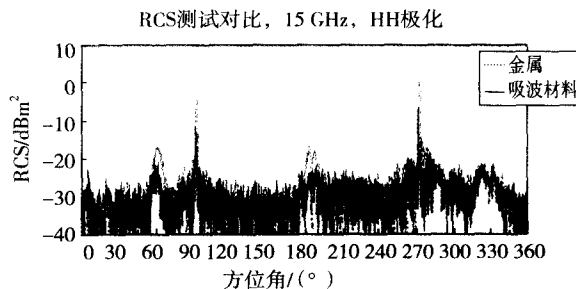


图6 金属与吸波材料旋翼RCS对比(15 GHz, HH极化)

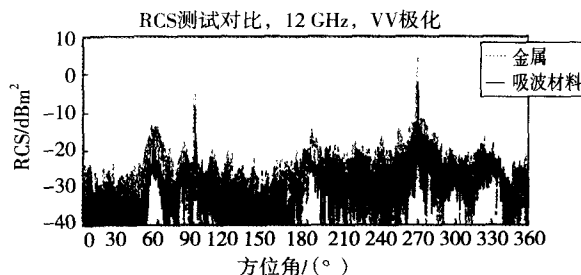


图7 金属与吸波材料旋翼RCS对比(12 GHz, 极化VV)

2.2 试验分析

从吸波材料平板的试验曲线(图8)看, 当垂直入射时, 吸波材料在12 GHz的反射率最低, 接近-11 dB, 而在两端的8 GHz和18 GHz反射率最大, 只有-8~-9 dB。

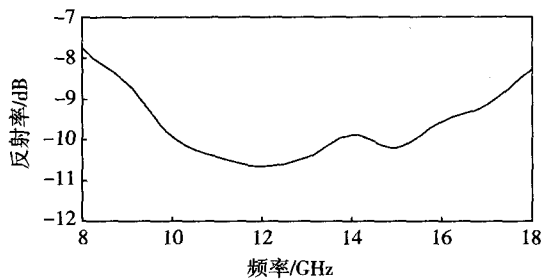


图8 吸波材料平板法向反射率

整个旋翼的RCS在其前缘法向和后缘法向具有峰值, 因此下面主要研究这两个方向的RCS减缩情况, 其它方向的RCS减缩则用360°周向的算术均值来考虑。

(1) 旋翼前缘法向RCS减缩

从测试数据中将旋翼前缘法向RCS数据取出画成曲线如图9、图10, 可见在8~18 GHz, HH极化下RCS减缩量在5~8 dB之间, VV极化下RCS减缩量在3~5 dB之间。

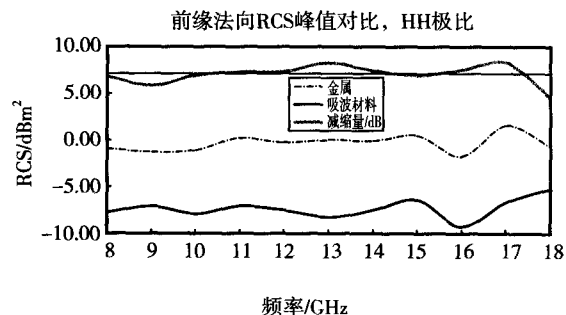


图9 旋翼前缘RCS峰值减缩对比 (HH极化)

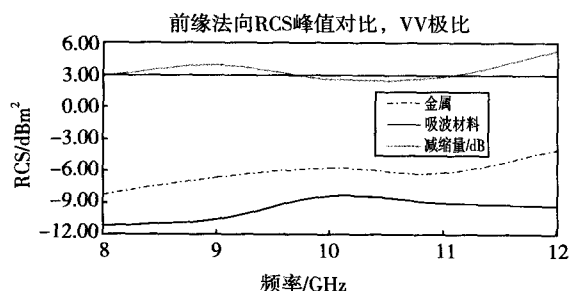


图10 旋翼前缘RCS峰值减缩对比 (VV极化)

在HH极化, 金属旋翼前缘的RCS随频率变化呈现起伏变化的特点, 可见其散射特性是介于镜面散射和边缘绕射之间。由于镜面散射随频率增加而增大, 边缘绕射随频率增加而降低, 本旋翼模型是薄翼型(相对厚度12.5%), 因此从散射曲线随频率变化而呈现波动的情况看, 其散射似乎是镜面散射与边缘绕射的叠加。

在VV极化, 金属旋翼前缘的RCS随频率增加而增大, 这与其散射主要呈现镜面散射特性、边缘绕射极弱是一致的。

吸波材料对翼型前缘的作用除了在18 GHz附近有明显差别(HH极化减缩量偏小, VV极化减缩量偏大)外, 其RCS减缩量随频率变化而变化不大。而HH极化的减缩量要比VV极化的减缩量3 dB。

(2) 旋翼后缘法向RCS减缩

金属旋翼后缘法向的雷达散射特性应该是边缘绕射, 如图11、图12所示, 但其RCS在HH极化下与频率关系不大, 保持着-5 dBm²的散射水平; 在VV极化下, 随频率从8 GHz增大到12 GHz, 其RCS从-17 dBm²波动地增大到-11 dBm²。

旋翼后缘的RCS减缩效果在HH极化下与频率无关, 在8~18 GHz在5~8 dB之间。在VV极化下, 随频率从8 GHz增大到12 GHz, RCS减缩量从-3 dB(增加)波动地增大到+2 dB(减缩)。可见在VV极化下, 在某些频率吸波材料可能会增大翼型后缘的RCS。

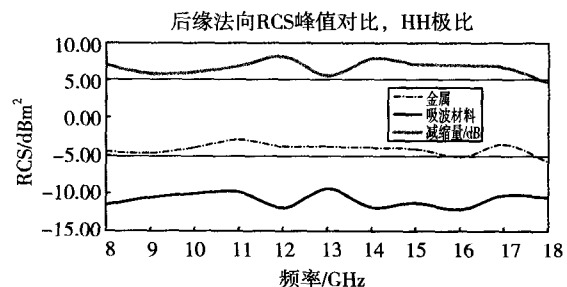


图11 旋翼后缘减缩前后RCS峰值对比 (HH极化)

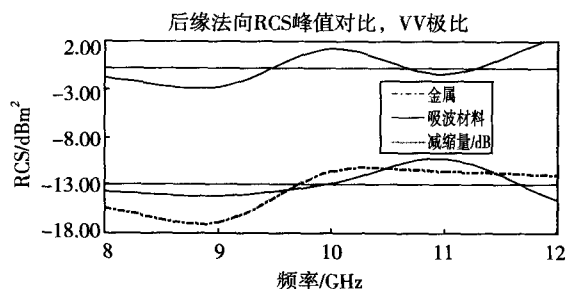


图12 旋翼后缘减缩前后RCS峰值对比 (VV极化)

(3) 旋翼周向RCS均值减缩

周向 $0^\circ \sim 360^\circ$ RCS算术平均值反映的是旋翼总的散射水平。对于金属旋翼,在HH极化、8~18 GHz频率,该均值为 -24 dBm^2 ,随频率变化的起伏量约为1 dB;在VV极化、8~12 GHz频率下,该均值为 -27 dBm^2 ,起伏量约为0.5 dB。金属旋翼的RCS在HH极化比VV极化大约4 dB,原因就是其前缘和后缘均有比较强的边缘绕射回波。

RCS减缩量(图13、14),在HH极化、8~18 GHz频率下约为5 dB,随频率增加略微呈现下降的趋势。这个减缩量显然不能与法向入射时9 dB左右的减缩量相比。在VV极化、8~12 GHz频率下,RCS减缩量约为1 dB,随频率增加略微呈现上升的趋势。

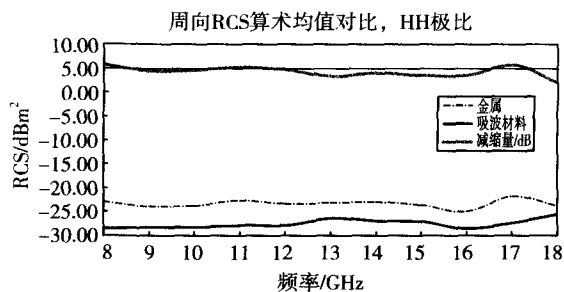


图13 旋翼周向RCS算术均值对比 (HH极化)

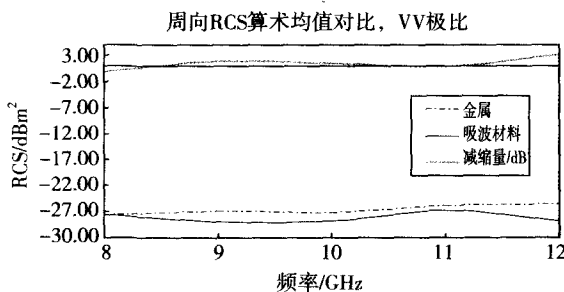


图14 旋翼周向RCS算术均值对比 (VV极化)

3 结束语

翼面类部件的RCS减缩始终是飞行器隐身研究的重要课题,也是难题。通过对直升机金属旋翼模型表面涂敷1 mm厚度吸波材料,可以在8~18 GHz、HH极化(这也是许多警戒雷达所采用的极化方式)下,将其RCS的峰值减缩5~8 dB, 360° 周向均值减缩约5 dB,充分利用了所用材料平板试件的法向减缩量8~11 dB的性能,减缩效果十分明显。而在VV极化,除了前缘RCS峰值的减缩量

能达到3~5 dB外,后缘RCS峰值的减缩量和周向均值减缩量均很小。

但涂敷型吸波材料在实际应用中存在两个问题。一是附着强度问题,按其附着强度应用在固定翼飞机以上是有可能的,但应用于直升机旋翼上则比较困难。二是增重问题,涂敷型吸波材料的面密度为 4.16 kg/m^2 ,对于一架F-22飞机,如果 78 m^2 机翼上全部使用这种吸波材料,则增重将达到约650 kg,约占其最大有效载重的6%。此质量代价能换来飞机机翼RCS减缩5 dB以上的效果,应该还是值得的。

根据经验,吸波材料减缩RCS主要依靠机翼前缘、侧缘和后缘的吸波材料,后续研究可以考虑仅应用于这些部位,以大大减少吸波材料引起的增重,还可减少大量使用吸波材料所带来的维护工作量。

参 考 文 献

- [1] Tard I, Piau G P, Chabrat P, et al. Computational and experimental analysis of the scattering by rotating Fans[J]. IEEE. Trans. on Antennas and Propagation, 1996, V44(10):1414-1421.
- [2] Pouliguen P, Lucas L, Muller F, et al. Calculation and analysis of electromagnetic scattering by helicopter rotating blades [J]. IEEE. Trans. on Antennas and Propagation, 2002, V50(10):1396-1408.
- [3] Pouliguen P, Damiens J F, Moulinet R. Radar signatures of helicopter rotors in great bistatism [C]. IEEE, 2003. 536-539.
- [4] 马东立. 翼型几何参数对机翼散射特性的影响[J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(2): 35-39.
- [5] 张云飞, 马东立, 武哲, 等. 两种隐身飞机模型的雷达散射特性测试与分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29(2): 17-19.
- [6] 高瑜忠, 张云飞. 共轴式直升机旋翼、桨毂雷达散射特性研究 [A]. 北京: 北京航空航天大学研究生论坛, 2007.
- [7] 吴良超, 汪茂光. 涂覆吸波材料飞行器机翼的RCS计算[J]. 电子学报, 1995, 23(6): 23-25.
- [8] 马东立, 武哲. 金属目标表面涂敷吸波材料减缩雷达散射截面的研究[J]. 系统工程与电子技术, 1996, 18(8): 40-44.
- [9] 张云飞, 武哲. 金属平板涂敷吸波材料的RCS计算研究[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(5): 5-10.
- [10] 马东立, 武哲. 机翼涂敷吸波材料减缩雷达散射截面的研究 [J]. 航空学报, 2000, 21(3): 19-23.
- [11] 黄爱凤, 余雄庆, 姚卫星. 翼面隐身结构电磁散射特性的数值模拟[J]. 航空学报, 2005, 26(4): 31-37.

作 者 简 介

刘军辉(1984—), 男, 硕士研究生。

张云飞(1964—), 男, 教授, 研究方向: 飞机总体设计、隐身、飞行效能分析。

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/>