

# 一种翼身融合体飞行器外形的RCS计算与实验

万顺生<sup>1</sup>, 罗屹洁<sup>1</sup>, 周一帆<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学无人机研究院, 南京, 210016; 2. 海军驻兴平地区军事代表室, 陕西 兴平, 713107)

**摘要:** 飞行器隐身技术是当代军事技术中的一项重大突破, 低雷达散射截面(RCS)的飞行器外形是专业人员努力追寻的研究目标。本文采用Toplitz变换和混合迭代的算法, 对新设计的一种鸭式布局翼身融合体飞行器外形进行了RCS计算, 并在微波暗室内对模型进行了测试。实验结果与理论值基本吻合, 误差在1 dB之内, 证明此算法行之有效, 优化设计的翼身融合体飞行器具有良好的隐身性能。

**关键词:** 飞行器; 翼身融合体; 雷达散射截面; 微波暗室

**中图分类号:** V22; V211. 73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-2615(2005)04-0485-03

## Calculation and Experiment of Radar Cross Section (RCS) for Blended Wing Body Aircraft Configuration

WAN Shun-sheng<sup>1</sup>, LUO Yi-jie<sup>1</sup>, ZHOU Yi-fan<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Unmanned Aircraft,

Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China;

2. Military Representatives Office of Navy in Xingping, Shanxi Xingping, 713107, China)

**Abstract:** The stealth technology for the aircraft is an important break-through in military affairs. It needs more perfect electromagnetic scattering characteristics of the pilotless aircraft. This paper uses an algorithm for the Toplitz transformation and mixed-iteration for calculating the RCS for the blended wing body aircraft with a duck-like overall arrangement. The models are tested in an anechoic chamber. Experimental results agree well with the numerical analysis. It proves that the algorithm is effective and the blended wing body aircraft is of good stealth characteristics.

**Key words:** aircraft; blended wing body; radar cross section; anechoic chamber

飞行器的隐身技术是多种技术手段的综合运用, 目前无人驾驶飞行器正更多地采用翼身融合体<sup>[1]</sup>的结构外形。这种飞行器不仅气动布局先进, 而且具有电磁散射小, 不易捕捉的优势。由于融合体表面凹凸有致, 起伏平滑, 其凹面上的表面电流分布仍会受到多次反射和表面行波的影响, 与一般的物理光学电流有较大的区别, 因此用常规的物理光学加边缘绕射算法<sup>[2~4]</sup>来处理融合体的散射不合适。通过实验证实, 一种基于Toplitz变换和混合迭代的新算法<sup>[6]</sup>来处理二维和三维融合体的雷达

散射截面(RCS)是行之有效的。

### 1 研究对象

经总体优化设计的一种鸭式布局翼身融合体飞行器, 其三维视图见图1, 据此而按比例制作的一个实体模型见图2。在风洞实验中, 经过多次纵横向测力实验, 气动特性得到了良好的验证<sup>[6]</sup>。这里主要介绍研究对象的电磁反射特性的理论计算与实验测试的结果比较。

收稿日期: 2005-01-26; 修订日期: 2005-05-21

作者简介: 万顺生, 男, 副研究员, 1950年9月生, E-mail: wsssw@nuaa.edu.cn; 罗屹洁, 女, 硕士研究生, 1981年11月生; 周一帆, 男, 工程师, 1974年6月生。

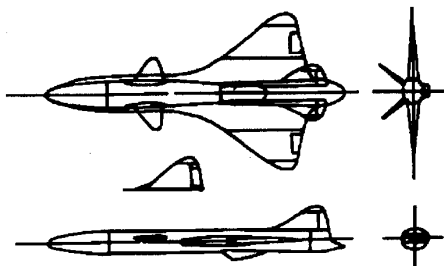


图1 翼身融合体飞行器的三维视图

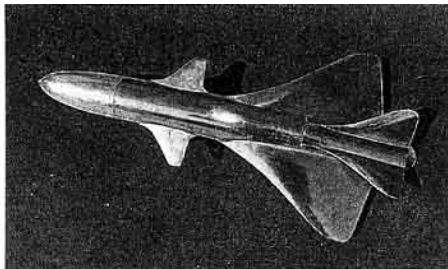


图2 翼身融合体飞行器的缩比模型

## 2 三维融合体的计算

从 Toplitiz 变换和混合迭代的算法可引出, 导体的三维散射积分方程如下

$$\hat{n} \times \bar{E}^i = \frac{1}{4\pi j\omega\epsilon} \hat{n} \times \int_s (-\omega^2 \mu \epsilon \bar{I}_s \varphi + \nabla' \cdot \bar{I} \nabla' \varphi) ds' \quad (1)$$

$$\bar{I}_s = 2\hat{n} \times \bar{H}^i + \frac{1}{2\pi} \hat{n} \times \int_s \bar{I}_s \times \nabla' \varphi ds' \quad (2)$$

式中:  $\varphi = \frac{e^{-jk|\rho-\rho'|}}{|\rho-\rho'|}$ ;  $\hat{n}$  为表面单位法向矢量。

在计算三维融合体的散射时, 由于通常遇到的是电大物体, 因此仅考虑照明面的电流分布。通常融合体凹面区沿机身纵轴方向的变化分以下两种情况: (1) 凹面区形状基本不变, 只是纵向呈圆弧弯曲; (2) 凹面区逐渐缩小, 但截面的曲率半径基本不变。对于电大物体, 局部场原理的应用使得注意力集中到凹面的电流分布上。

对于式(1,2)的解  $\bar{I}_s$  可以表示为两部分的叠加

$$\bar{I}_s = \bar{I}_{MM} + \bar{I}_{OP} \quad (3)$$

式中:  $\bar{I}_{OP}$  为物理光学电流;  $\bar{I}_{MM}$  为矩法(耦合感应)电流

$$\bar{I}_{OP} = \frac{\hat{n}}{2\pi} \times \int_s \bar{I}_{OP} \times \nabla' \varphi ds + 2\hat{n} \times \bar{H}_i \quad (4)$$

$\bar{I}_{MM}$  满足以下方程

$$\bar{I}_{MM} = \frac{\hat{n}}{2\pi} \int_{S_{MM}} \bar{I}_{MM} \times \nabla' \varphi ds' +$$

$$\frac{\hat{n}}{2\pi} \int_s \bar{I}_{OP} \times \nabla' \varphi ds' \quad (5)$$

在凸面上,  $S_{MM}$  可以取边缘部分和过渡区; 在凹面上,  $S_{MM}$  则应取整个表面。对  $\bar{I}_{MM}$  的严格求解其难度等同于求解积分方程(1,2)。对曲率半径一定的凹面,  $\bar{I}_{MM}$  随入射角及弧长相应变化, 其相速与  $\bar{I}_{OP}$  也不一样。因而对于区域变化的融合体, 可通过拟合, 给出形如式(6)的经验表达式

$$\bar{I}_{MM} = \frac{C + D\phi + E\phi^i}{A + B\sin\theta} e^{-jK_c l} \quad (6)$$

式中:  $A, B, C, D, E, K_c$  为拟合常数;  $\phi$  为弧长;  $\theta$  为入射角;  $l$  为距离。由此可以得到凹面区的近似电流分布, 从而求得融合体的散射场。

在大量的计算数据中, 表1 选择了目标在 X 频段上, 水平极化, 零度姿态角的一组典型角度计算数据及对应的一组实测数据采样值。

表1 迎头方向  $\pm 45^\circ$  扇区目标 RCS 计算值和测量值

角度范围/( $^\circ$ )	计算值/ (dB $\cdot$ m $^{-2}$ )	测量值/ (dB $\cdot$ m $^{-2}$ )	误差/ (dB $\cdot$ m $^{-2}$ )
-45	-15.27	-16.13	0.86
-20	-15.20	-15.46	0.26
-10	-19.44	-19.33	0.11
0	019.86	-19.72	0.14
+10	-19.44	-19.02	0.42
+20	-16.20	-14.78	0.42
+45	-15.27	-16.05	0.78

注: 测试频率  $f_0 = 9\ 375$  MHz。

## 3 电磁散射特性实验测试

为了验证计算结果以及从互补考虑, 由木质贴铝箔材料制作的缩比模型, 在南京航空航天大学微波暗室中进行了 RCS 测试。测试频率  $f_0 = 9\ 375$  MHz, 水平极化姿态角在俯仰和横滚方向均为  $0^\circ$ , 暗室净空尺寸为  $24\text{ m} \times 8.5\text{ m} \times 8.5\text{ m}$ , 暗室背景电平为  $-48\text{ dB/m}^2$ 。测试框图见图3, 测试结果见图4, 与表1 的计算数据比较, 发现理论计算值与实际测量结果比较接近, 误差在  $\pm 1\text{ dB}$  之内。

## 4 结 论

(1) 采用 Toplitiz 方法加混合松弛迭代可以求解电大尺寸的二维融合体剖面电流分布, 通过近似方法, 删繁就简地计算出三维融合体的散射值。

(2) 在满足气动特性的前提下, 优化设计的翼

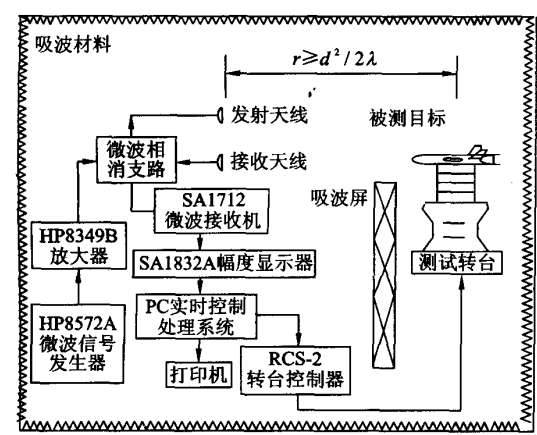


图 3 微波暗室测试系统框图

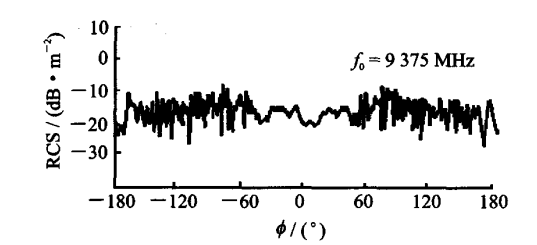


图 4 目标 RCS 测试结果曲线(水平极化)

身融合体的电磁反射具有较低的 RCS 值,达到了预期目的。

参考文献:

[1] 李 天,张 考,郭荣伟,等. 飞机隐身设计指南 [M]. 北京:航空工业出版社,1995. 106~121.

[2] Knott E F. Non specular radar cross section study [R]. AFAL-TR-73-70, University of Michigan, 1973.

[3] Knott E F. RCS reduction of dilcedral corners[J]. IEEE Trans Microwave Theory and Tech,1977,25 (9):406~410.

[4] 汪茂光. 几何绕射理论(第二版)[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1994. 20~36.

[5] 许家栋. 融合体电磁散射计算[J]. 隐身技术,1991, 12:4~15.

[6] 王 略. 低 RCS 无人驾驶飞行器的外形设计[J]. 南京航空航天大学学报,1995,26(1):22~26.

## 雷达散射截面 ( RCS ) 分析培训课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://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/>