

## 飞行器目标的双站散射特性研究

黄沛霖, 姬金祖, 武哲

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为研究飞行器目标双、多站电磁散射特性和隐身、反隐身原理,通过固定双站角、旋转目标的方法对不同双站角下目标的雷达散射截面进行了测试分析,避免了多次定标,效率较高。通过比较不同双站角下的飞行器目标的雷达散射截面,发现了其双站电磁散射的对称性、相似性和弱耦合性3大主要特性,并得出如下结论:单站隐身技术通过改变电磁散射能量的空间分布,将强散射波峰控制在重点探测方向之外实现隐身,而双站雷达主要通过截获重点探测方位(相对单站)之外的强散射波峰实现反隐身要求。因此判定目标的双站隐身特性需结合主要威胁双站角和整机所有强散射波峰进行。

**关键词:** 飞行器;隐身;电磁散射

**中图分类号:** V218 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2008)01-0140-04

## Research on the bistatic RCS characteristic of aircraft

HUANG Pei-lin, JI Jin-zu, WU Zhe

(School of Aeronautic Science and Technology, Beijing Univ. of Aeronautics  
and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The RCS of aircraft at different bistatic radar angles is gained to investigate the electromagnetism scattering characteristic of the multi-station and bistatic radar. This method uses an efficient method for revolving the target and fixing bistatic radar angle to avoid multiple picketage. Three bistatic RCS characteristics, which are symmetry, similarity and weak coupling, are found by comparing the target RCS with different bistatic radar angles. Some results are obtained as follows: stealth technology of monostatic radar could realize the stealth purpose by changing the electromagnetism scattering space distribution and making the intense wave crest go out of the important detect region, while techology of bistatic radar that intercepts the intense wave crest which is out of the important detect region is mainly used to meet the anti-stealth requirement. Both of the main threatening bistatic radar angles and the entire intense wave crest should be considered to estimate the target bistatic stealth characteristic.

**Key Words:** aircraft; stealth; electromagnetic scattering

隐身兵器在实际战争中的突出表现已充分证明了武器装备隐身化的军事价值,谋求武器装备的隐身化已成为各军事强国角逐军事高新技术的热点之一。飞行器雷达隐身技术可显著降低敌方的探测概率,大幅提高飞行器隐蔽突防的能力和作战效能。

目前的飞行器隐身技术,主要考虑减缩头向附近角域内的雷达散射截面(RCS),以提高隐身飞机朝向攻击目标前进时的突防能力。对于单站雷达的探测,飞行器外形隐身主要就是将飞行器截获的入射电磁波能量中的绝大部分反射到雷达接收方向(对于单站雷达即为照射方向的反向)以外,如图1(a),只有很小一部分反射电磁能量沿接收方向传播,从而达到降低主要姿态角范围内(飞机头向附近)的RCS的目的,这也是目前隐身外形设计师最关心的问题<sup>[1,2]</sup>。

对于隐身飞行器,如果使用双(多)站雷达,则有可能在某些方向上捕捉到较强的雷达回波,从而达到反隐身的需要<sup>[3,4]</sup>。如图1(b)所示,多部接收雷达布置在远离照射雷达的位置,则可能接收到较强的散射波束,

收稿日期:2007-04-13

基金项目:国家部委预研基金重点项目资助(6140510)

作者简介:黄沛霖(1975-),男,北京航空航天大学讲师,博士 E-mail: peilin\_h@buaa.edu.cn.

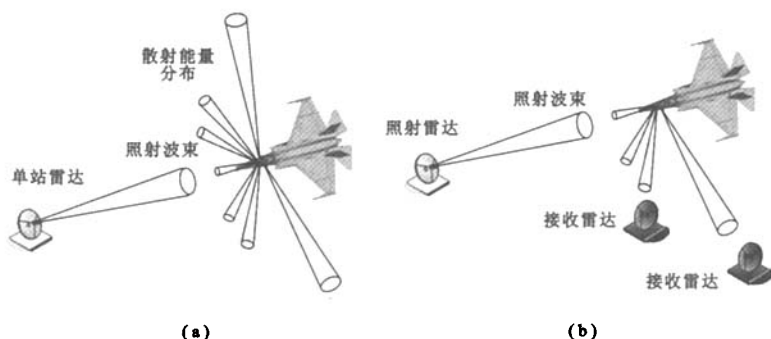


图1 单站雷达隐身及双站雷达反隐身示意图

可以在较远距离上发现隐身飞机。

目前隐身技术发展,对于飞行器目标单站散射特性分析和单站隐身布局设计是成熟有效的,但对于飞行器目标的双(多)站散射特性及隐身设计原理尚无定论,国外相关资料主要在算法上进行了探讨<sup>[5,6]</sup>,而对于飞行器类复杂目标没有发布其测试研究结果。笔者针对上述问题,通过测试手段对整机目标进行了分析研究。

## 1 研究方法

多站雷达散射特性可以简化为双站雷达散射特性研究,通过调整发射、接收天线之间的夹角和目标姿态角来获取目标的双站 RCS 特性。双站 RCS 曲线的测试可以通过两种方案完成:(1)发射、接收天线固定,待测目标旋转;(2)待测目标固定,发射天线固定,接收天线旋转。如采用测试方案(2),根据目前的暗室测试手段,由于每次改变发射和接收天线间夹角(双站角)后都必须要进行重新定标,每次定标后只能获取一个测试数据点,因此效率太低。如采用测试方案(1),发射、接收天线相互位置固定后,无须反复定标,将待测目标转动即可得到一整条测试曲线,测试效率明显提高。因此选择方案(1)进行测试研究,每得到一条测试曲线后改双站角,经重新定标后测试下一条 RCS 曲线,如图2。

对于双站角的选取,并没有相关资料给出一定原则。因此,笔者对双站角进行均匀变化(每测得一条曲线双站角增大 $30^\circ$ ),以研究不同双站角下目标的散射特性规律。

由于一般飞行器目标具有左右对称性,因此双站角的变化范围保证覆盖 $0^\circ\sim 180^\circ$ 即可。

## 2 测试结果及分析

图3为某飞行器目标电磁测试缩比模型,图4显示了该模型不同双站角下的 RCS 测试结果曲线。在极坐标系中,发射天线始终位于 $0^\circ$ 方向,接收雷达以 $30^\circ$ 为间隔沿逆时针方向转动。模型平放(俯仰角 $0^\circ$ )。测试频率 $10\text{GHz}$ ,极化方向 HH(入射电场平行于地面)。测试场背景电平为 $-35\text{dB}$ 。对测试数据进行了平滑处理,平滑窗口 $2^\circ$ ,步长 $0.25^\circ$ 。

在实际测试中发现:在目前的测试条件下,双站角大于 $120^\circ$ 之后,如图4中双站角为 $150^\circ$ 的情况,从发射天线中辐射的电磁能量有部分未经目标反射直接进入接收天线,造成强烈干扰,导致测试曲线迅速上扬,无法进行散射特性分析,因此在测试中一般应保持双站角不大于 $120^\circ$ 。

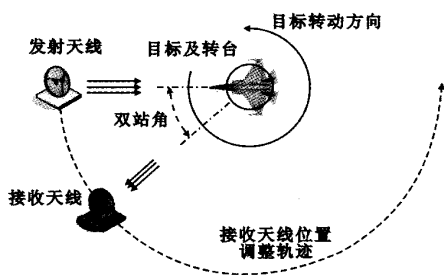


图2 目标双站 RCS 测试方案示意图

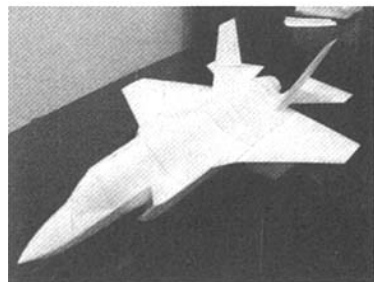


图3 某飞行器缩比测试模型

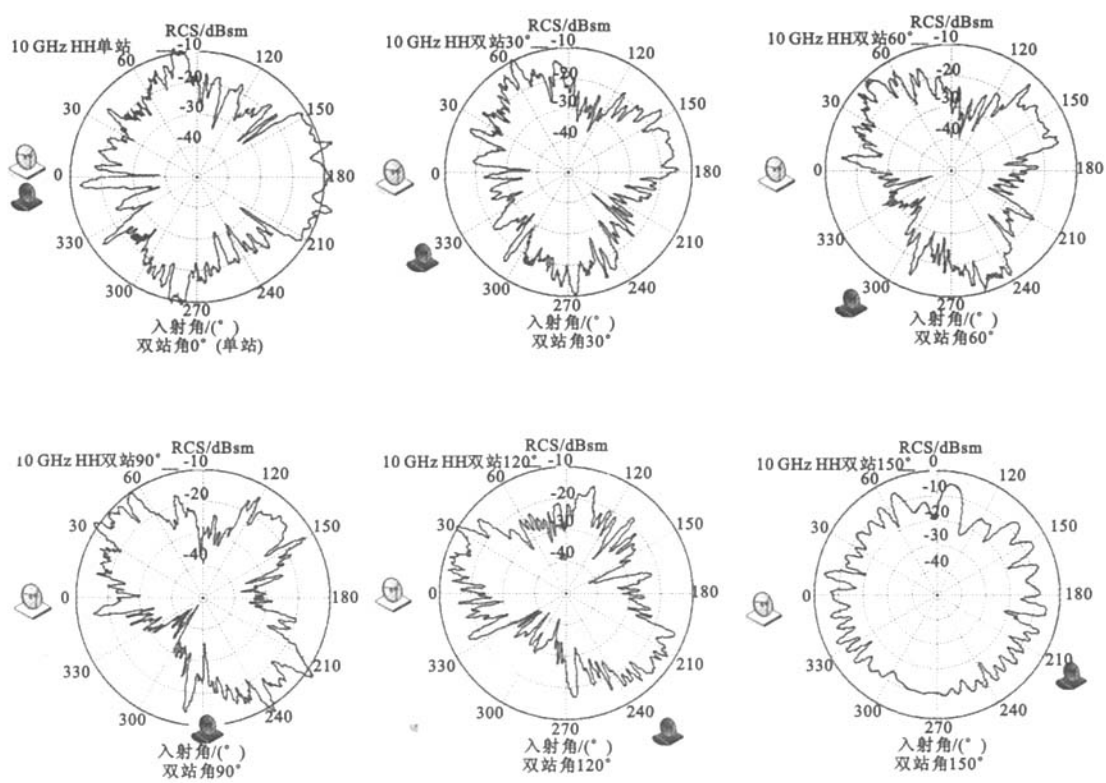


图 4 飞行器目标缩比模型双站 RCS 测试结果(10 GHz, HH 极化)

图 4 显示的该目标单站散射分布具备以下特点:头部双进气道的散射明显低于尾部单尾喷管的电磁散射,原因是头部进气道为 S 弯构形,有效地降低了腔体耦合散射效应;尾部喷管为直筒形,因此有强而宽的电磁散射贡献;机身后部的尾翼、后机身与尾喷管的耦合,使尾部电磁散射进一步增强、变宽;机翼、机身过渡区在侧向、前侧向均产生稳定的强散射,甚至与机翼前后绕射波峰相当。

对于飞行器目标双站散射特性,根据测试结果,可以得到以下结论:

(1) 对称性:与单站散射特性类似,对于左右对称布局,双站散射图形关于双站角平分线对称,说明发射天线与接收天线位置互换对测试结果影响不大。

(2) 相似性:双站散射图形与单站散射图形相比,形状基本不变,而幅度发生一定变化。即双站散射与单站散射相比,在散射机理上并未发生明显改变,目标在各个方向上的散射分布也基本不随双站角发生变化。因此如对目标的双站隐身能力提出要求,则必然要求该布局具有高的单站全方位隐身能力。

(3) 弱耦合性:腔体类耦合散射效应有较明显降低。图 5 为该飞行器缩比模型的全向( $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ) RCS 均值、头向 $\pm 30^{\circ}$  RCS 均值及尾部 $\pm 30^{\circ}$  RCS 均值随双站角变化的规律曲线(头向和尾向均参照飞行器目标,在不同双站角下包含的角域不同)。从图 5 可发现在上述 3 个角域范围内,双站 RCS 都明显低于单站 RCS。此外,在  $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$  双站角内,全向、头向和尾向 RCS 均值均随双站角的增大有明显下降;在  $60^{\circ}\sim 120^{\circ}$  范围双站角内,头向 RCS 均值先下降后上升,尾向 RCS 均值依然下降。分析两者在较大双站角下( $90^{\circ}$ 以上)有不同特性的主要原因是:头向、尾向 RCS 均值主要取决于头部的 S 弯双进气道和尾部的直简单尾喷管,两者构型的不同导致了双站散射特性的不同。从整体的角度而言,飞行器目标的双

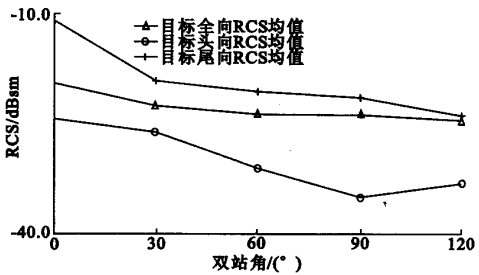


图 5 飞行器目标 RCS 均值随双站角变化规律

站散射与单站散射相比,多次耦合散射效应明显降低,而边缘绕射等“独立”散射源的幅值基本保持不变。

在以上分析基础上,对于双(多)站反隐身机理可作如下解释:双(多)站雷达探测使散射图发生偏转(双站角的一半),从而使原本不在重点探测范围内的散射波峰被接收雷达探测(如图4中双站角 $60^\circ$ 和 $120^\circ$ 的情况,照射雷达处于机头方向,而接收雷达却探测到机翼右前缘波峰)。而在目前测试的所有双站角内,未发现双站散射高于单站散射的现象。

此外,由于多站探测可能导致某些在单站散射中未处于重点姿态角内的波峰在散射图发生偏转的情况下进入重点探测范围,因此双站隐身能力的判定应结合主要威胁的双站角和整机全方位所有波峰位置进行。

### 3 结束语

笔者讨论了目标双站散射特性的测试方法。在此基础上对某飞行器布局进行了 RCS 测试,分析并揭示了有关飞行器目标双站散射特性的一些重要结论,如对称性、相似性及弱耦合性,更深入地测试表明在其他极化方向下上述结论仍成立,限于篇幅没有作过多的陈述。探讨了双站反隐身机理和双站隐身能力的判定原则,对于未来多站隐身及反隐身技术具有一定参考价值。

由于一些原因,未对大仰角下的双站散射特性进行分析,这也是本文不足之处。此外,对于较大双站角下的散射特性和机理,还需要进一步深入探索。

#### 参考文献:

- [1] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 254-255.
- [2] 张考, 马东立. 军用飞机生存力与隐身设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 54-70.
- [3] 吴丹. 隐身飞机探测技术研究[J]. 航空科学技术, 2005, (5): 36-39.  
Wu Dan. Research on Detecting Technique of Stealth Aircraft[J]. Aeronautical Science and Technology, 2005, (5): 36-39.
- [4] 刘启奎, 俞志强, 丁建江, 等. 双基地制导雷达反隐身性能建模与仿真[J]. 空军雷达学院学报, 2005, 19(4): 3-6.  
Liu Qikui, Yu Zhiqiang, Ding Jianjiang, et al. Modeling and Simulation of Bistatic Guidance Radar Performance on Antistealth[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2005, 19(4): 3-6.
- [5] Zaporozhets A A, Levy M F. Bistatic RCS Calculations with the Vector Parabolic Equation Method[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 1999, 47(11): 1688-1696.
- [6] Eigel R L, Temoli A J. Bistatic Scattering Characterization of a Complex Object[J]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 1999, 3(11): 1784-1787.

(编辑: 郭 华)

#### 简 讯

- ✧ IEEE 副主席 Peter Staecker 博士率 IEEE 微波理论与技术分会(MTT-S)代表团于2007年10月26日~27日对我校进行了访问。
- ✧ 美国中佛罗里达大学 Juin J. Liou 教授于2007年10月22日~25日对我校进行了学术访问。Liou 教授目前是 IEEE Fellow, IEEE EDS 副主席。主要研究领域为微/纳电子学计算机辅助设计, RF 器件的模型与仿真, 静电防护设计与仿真等。
- ✧ 加拿大多伦多大学李葆春副教授于2007年10月22日~26日来我校讲学。

摘自《西电科大报》2007.11.5

## 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/>