

短波雷达目标散射截面的计算^{*}

杨正龙¹ 倪晋麟¹ 熊 邺²

(1. 南京电子技术研究所 南京 210013)

(2. 南京理工大学毫米波技术研究室 南京 210094)

【摘要】 利用矩量法(MOM)仿真计算了短波波段小型飞行器的雷达散射截面(RCS),为了快速获得大型舰船的短波 RCS ,则利用了图形电磁计算方法(GRECO)。通过对仿真结果分析和解释 ,计算结果是符合实际情况的 ,所开发的 GRECO 软件在大尺寸目标的 RCS 计算中是准确、高效的 ,可以为短波雷达系统的研究提供可信的仿真数据。

【关键词】 短波雷达 ,雷达散射截面 ,矩量法 ,图形电磁计算

RCS Calculation of Radar Target in Short Wave Band

YANG Zheng-long¹ NI Jin-lin¹ XIONG Ye²

(1. Nanjing Research Institute of Electronics Technology Nanjing 210013)

(2. Millimeter Wave Technique Lab. , Nanjing University of Sci. & Tech. Nanjing 210094)

【Abstract】 In short wave band , the Method of Moment(MOM) is used to calculate the Radar Cross Section(RCS) of a small aircraft. To obtain the RCS of large target quickly , the Graphical Electromagnetic Computing(GRECO) is used to calculate the RCS of large ship in almost real-time. The results are credible and can be used for the study of short wave radar system.

【Key words】 short wave band radar , RCS , MOM , GRECO

1 引言

在短波雷达系统研究中 ,需要仿真计算一些目标的雷达散射截面 RCS。在此波段内 ,有些目标处于低频区(瑞利区)或谐振区 ,如小型飞行器 ;而有些目标则处于高频区(光学区) ,如舰船目标。当目标处于低频区或者谐振区时 ,利用矩量法可以准确地求得 RCS^[2]。当目标处于光学区时 ,虽然理论上矩量法也可以计算出电大尺寸目标的 RCS ,但由于计算机速度和内存的限制 ,利用矩量法来获得大型目标的 RCS 变得非常困难 ,需采用高频预估方法来快速获得目标的 RCS ,常用的高频预估方法有物理光学法(PO)、几何光学法(GO)、物理绕射理论(PTD)及几何绕射理论(GTD)等^[1]。

RCS 一般定义如下^[1]

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2}$$

该定义方法消除了距离 R 的影响 ,使得 RCS 不取决于目标和雷达之间的距离。为表征散射回波与入射波的相位关系 ,可参照文献[1]将 RCS 重新定义如下

$$\sqrt{\sigma} = 2 \sqrt{\pi} \lim_{R \rightarrow \infty} R \frac{E^s}{E^i}$$

这样定义的具有复数特性的 RCS 可以用于获得目标的一维、二维雷达像 ,以及目标识别等方面的研究。

本文利用 MOM 计算了小型飞行器(电小尺寸)的 RCS ,利用图形电磁计算方法 GRECO^[3,4] 计算了舰船目标(电大尺寸)的 RCS ,在较低的频率范围内 ,比较了舰船在两种方法下所得的计算结果。在获得了舰船目标频率响应的基础上 ,进行了舰船一维距离像的仿真 ,从结果来看 ,仿真是符合实际情况的 ,可以为后续的研究提供比较可信的数据。

2 小型飞行器 RCS 的计算

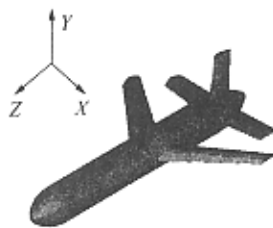


图 1 飞行器外形模型

所计算的目标模型如图 1 所示 ,其侧视图和俯视图分别如图 2、图 3 所示。 θ 为俯仰角 , φ 为方位角 ,在短波波段内 ,此目标处于低频区和谐振区 ,散射体的每一部分都会影响另外的部分 ,散射体各部分

间的相互影响的总效果决定了散射体上的最终电流密度分布,求得电流密度分布后,可以得到目标的 RCS。利用矩量法可以获得目标在雷达波照射情况下的表面电流密度分布,进一步获得目标的 RCS^[2]。

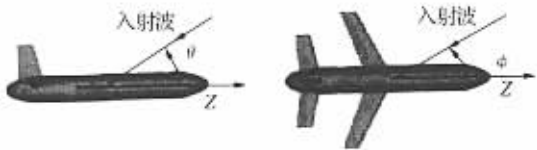
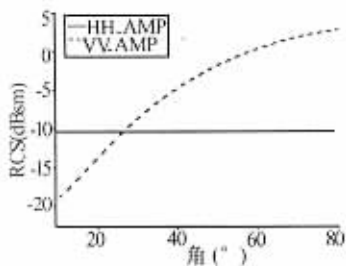


图2 模型侧视图



图3 模型俯视图

当方位角为 0° , 俯仰角 θ 从 10° 变化到 80° , 我们计算了 10MHz 频率范围目标的 RCS, RCS 的单位为 dBsm, 即 $\sigma_{\text{dBsm}} = 10\log_{10}\sigma$ 。图 4 为计算结果。当 $\varphi = 0^\circ$ 时, 目标沿水平极化方向的尺寸变化不大, 因此水平极化的 RCS 随着俯仰角几乎没有变化; 对于垂直极化, 随着俯仰角的增大, 极化方向与目标的轴向趋于一致, 激励产生的表面电流增大, 故 RCS 不断增大。

图4 频率 10MHz, RCS 与俯仰角之间的关系 $\varphi = 0^\circ$

当频率为 10MHz, 在不同的俯仰角下, 计算了飞行器 RCS 随方位角的变化情况, 如图 5。在 HH 极化方式下, 方位角为 90° 时, 由于极化方向与目标轴向一致, 且照射面积最大, 故 RCS 达到最大; 而在 VV 极化方式下, 方位角为 0° 和 180° 时, RCS 最大, 则是因为在俯仰角不为零时, 电场极化沿目标纵向, 方位角为 0° 和 180° 时所激励起来的电流达到最大。

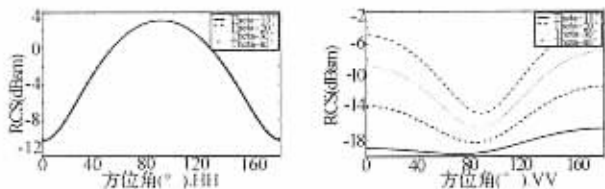


图5 频率 10MHz 时, RCS 与方位角之间的关系

飞行器 RCS 各个方位角平均值随频率的变化曲线, 如图 6 所示, 可以看出, 对于 HH 极化, $3 \sim 20\text{MHz}$ 属于低频区, 而 VV 极化率在 $3 \sim 35\text{MHz}$ 处于低频区, RCS 的幅度与频率的四次方成正比, 因此 RCS 的幅度随着频率的升高急剧上升; 其余部分则属于谐振区, RCS 的幅度随频率呈现出较大的起伏^[1]。

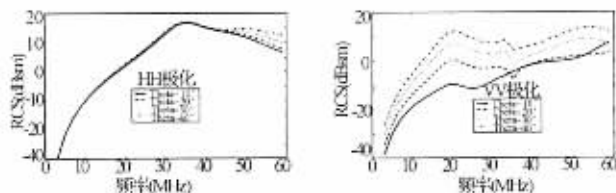


图6 飞行器 RCS 各方位角平均值随频率的变化

3 舰船目标 RCS 的计算

所要计算的舰船目标简化模型如图 7 所示。相对于短波波段的波长来说, 此目标属于电大尺寸目标, 即在所计算的波段内, $ka > 10$, $k = 2\pi/\lambda$ 为波数, a 为目标的最大尺寸。由于目标尺寸很大, 为了满足计算精度对剖分单元数的要求, 目标表面剖分单元的个数相应地增加, 导致数值计算中矩阵的规模急剧增大, 使得利用数值方法获得目标 RCS 非常困难, 因此应利用高频预估方法来获得电大尺寸目标的 RCS。

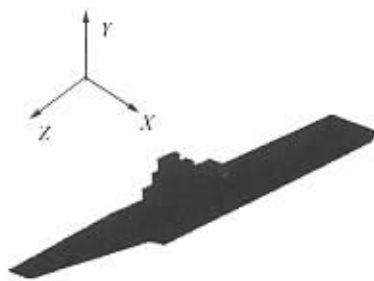


图7 简化的舰船模型

本文利用图形电磁计算方法来计算电大尺寸目标的 RCS, 这种方法充分利用了计算机显示硬件的图形加速功能, 巧妙地利用了不同的光照模式来获得目标表面上每一点处的法向量, 并且利用计算机图形加速卡的深度缓存 (Z-Buffer) 来获得目标表面上每一点处的深度信息, 利用此深度信息可以准确地计算出散射元之间的相位关系, 结合复杂目标在高频区的物理光学近似 (PO) 和物理绕射理论 (PTD), 可以准确地获得目标表面上每一点处的散射场及绕射场, 而目标的总散射场则可以由这些离散点处的散射场相干叠加而获得。这种方法具有以下特点:

1) 由于 PO 近似认为只有目标表面照明面上才会有感应电流, 而被遮挡面的感应电流为零, 在计算 PO 散射场时, 无需考虑被遮挡面, 这样就可以利用图形加速卡进行硬件消隐处理, 极其简便、省时, 对于边缘绕射场, GRECO 采用 PTD 方法, 此方法也可以利用图形硬件的功能来快速获得边缘的几何结构^[5], 总体上大大提高了计算效率, 几乎可以实时地获得电大尺寸目标在不同姿态和频率下的 RCS。

2)可以利用参数曲面、精细的三角面片来描述真实目标,逼真度高,并可利用现在的三维建模软件获得目标的三维模型文件。

3)GRECO 利用了显示屏幕上的像素作为处理单元,故用于计算的散射元很微细,可以很准确地表示散射元之间的相位关系。

4)对于固定大小的视窗来说,需要处理的像素数是一定的,因此计算时间、存储量与目标的大小及复杂性无关。

根据文献[3,4],我们开发了相应的图形电磁计算软件 GRECO,来快速计算电大尺寸目标的 RCS,虽然舰船目标在短波波段内并不是严格的属于光学区,但在忽略了舰船目标的细节结构之后,矩量法和 GRECO 的计算结果是比较吻合的,如图 8 所示。

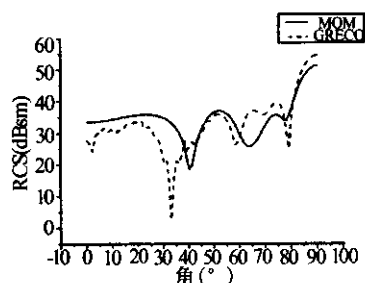


图 8 MOM 与 GRECO, $\theta = 0^\circ \sim 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$

在一台主频为 1.7GHz 的 PC 机上,我们对于 MOM 和 GRECO 的计算效率进行了比较,在频率为 6MHz 以下时,利用矩量法计算舰船在 θ 和 φ 在 180° 内的 RCS 曲线(角度步长为 1°)需要约 1h,而 GRECO 只需要约 60s,频率增加到 10MHz 以上时,利用 MOM 方法计算舰船目标所需的内存超过了 2G,这对于大多数计算平台来说,都是不现实的。当计算频率变化时, MOM 需要重新求取目标表面的电流分布,如果需要获得目标在特定姿态下的宽频散射特性,矩量法的效率是令人难以忍受的,有些方法可以进行目标 RCS 的频率外推,如渐进估计方法(AWE)^[6],但仍然有一些限制。而 GRECO 的计算速度与模型的大小和复杂度无关,仅仅需要一块比较高档的图形加速卡用于对三维目标进行快速渲染,在计算目标的频率散射特性时,只需要从显示硬件中读取一次数据就可完成频率特性的计算,因此, GRECO 是一种低成本、高效的电磁散射高频预估方法。

我们计算了短波波段内舰船目标在 $\theta = 30^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ 的频率响应,如图 9,并利用水平极化的频率响应获得了舰船的一维距离像,如图 10 所示。由一维距离像可以看出,目标的长度约为 240m,比较符合 $\theta = 30^\circ$ 时

目标的纵向尺寸。因此,利用图形电磁计算方法 GRECO 所获得的数据是可信的。

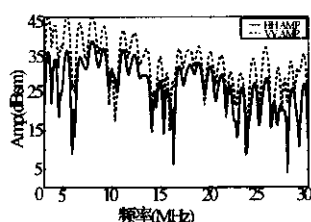


图 9 舰船的频率响应,
 $\theta = 30^\circ$, $\varphi = 0^\circ$

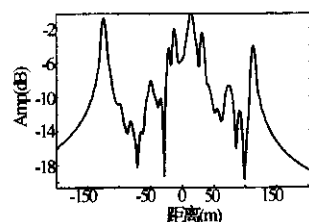


图 10 舰船的归一化
一维距离像

4 结 论

本文利用了两种方法计算了不同尺寸的雷达目标在短波波段的 RCS,对于处于低频区和谐振区的较小目标,采用了矩量法,对于处于高频区的大尺寸目标,采用了图形电磁计算方法,从计算的结果分析来看,结果是可信的,对短波雷达系统的仿真具有参考价值。尤其是图形电磁计算方法,可以实时地获得目标的 RCS,这对于雷达成像、目标特性等方面的研究具有很高的实用价值。

参 考 文 献

- 1 E. F. 克拉特,等. 阮颖铮,等译. 雷达散射截面-预估、测量和缩减. 北京:电子工业出版社,1987
- 2 Hohnson J. H. Wang. Generalized Moment Methods in Electromagnetics, Formulation and Computer Solution of Integral Equations. John Wiley & Sons, Inc., 1991
- 3 Juan M. Rius, Miguel Ferrando, and Luis Jofre. High-frequency RCS of complex radar targets in real-time. IEEE Trans. Antennas Propagation., 1993, 41(9): 1308 ~ 1318
- 4 Liu Tiejun and Zhou Yong. Geometrical modeling and graphical RCS computing simulation for complex objects. Journal of Electronics, 1997(2)
- 5 杨正龙,方大纲,等. 复杂目标电磁散射计算软件的改进. 系统工程与电子技术 2002, 24(4): 86 ~ 89
- 6 熊 邨,方大纲,等. 电磁场数值计算中的内插和外推. 电波科学学报 2002, 17(4): 325 ~ 330

杨正龙 男,1976 年生,博士,2002 年毕业于南京理工大学,现于南京电子技术研究所博士后工作站工作。在国内外杂志上发表论文数篇,参与了国防科工委、国家自然科学基金等项目的研究工作。研究方向为雷达成像、电磁散射计算等。

倪晋麟 男,1960 年生,研究员,博士生导师。主要研究领域为雷达信号处理,自适应阵列及微波成像等。

熊 邨 男,1978 年生,南京理工大学电磁场与微波技术专业在读硕士,主要研究方向为电磁散射数值计算与微带天线设计。

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/>