

二维复杂目标电磁散射的计算机仿真

张晨新, 王积勤, 王光明, 童创明

(空军工程大学 导弹学院制导雷达工程系, 陕西 三原 713800)

摘要: 采用点线模型法建立二维复杂目标的几何模型,运用 MoM-CGM-FFT 相结合的混合技术,结合可视化编程技术,形成“二维复杂目标的电磁极化散射的建模与仿真”软件。这使得几何模型的建立和仿真的速度有了很大地提高,大大降低了内存需求和仿真时间。最后运用该软件对一个复合柱体进行了仿真,给出了仿真结果。

关键词: 二维目标;极化散射;建模;仿真

分类号: TN011 **文献标识码:**A **文章编号:** 1009-3516(2000)01-0050-05

目前目标电磁散射特性,特别是极化特性的获得,往往采用实测和仿真计算两种手段。实测方法包括实物远场测试和在微波暗室用缩比模型测量两种方法,其优点是测量的结果直接,主要缺点是费时费力,特别是要耗费大量财力。为了克服实测方法的缺点,可采用计算机仿真计算的方法。

复杂目标的电磁散射计算仿真的关键在于雷达散射截面的计算。目前国际上流行的雷达散射截面计算软件有麦道公司的 CADDSCAT、西班牙的 RANURBS 和 GRECO、英国的 RESPECT 以及美国的 XPATCH 等,它们采用的是 PO、GO 分析方法^[4]。这些软件中,有些算法加以改进可以计算有雷达吸波材料涂层的目标。这些方法以及 GTD、PTD 等方法大多应用于金属目标或有雷达吸波材料涂层的金属目标^[1],而对一般非金属目标则失效。FDTD^[22]等方法对于时域的分析是有效的(由于计算量的原因目前也只能用于小型目标),对于频域问题则采用频域分析方法更直接。复杂目标的电磁极化散射计算仿真的另一主要方面在于如何建立目标的几何模型,目前大多采用平面三角元拟合和 NURBS 曲面拟合,而后者的拟合精度高,耗费计算机内存少。采用何种拟合方式也和电磁极化散射计算的算法有关。

目前国内 207 所建立了目标仿真库用于目标的识别,西电、西工大、成电、北航等也对大型金属目标的雷达散射截面进行研究^[3,4],利用 NURBS 曲面拟合结合物理光学法研制了软件,能够对金属目标的雷达散射截面进行较有效的仿真。但所有这些都是对金属目标进行的,并且只能计算单站 RCS,这主要是由其所选用方法决定的。

电磁散射计算方法的研究在国内外一直都是研究的热点,各种计算方法包括从高频方法到低频方法,以及关于计算各种媒质散射特性的方法,都被广泛的研究着^[1~22]。目前我们采用矩量法、共轭梯度法和快速傅立叶变换(MoM-CGM-FFT)相结合的混合技术和复杂二维目标的点线模型法开发了“二维复杂目标的电磁极化散射的建模与仿真”软件,使得二维电磁问题的处理变得简单方便,处理结果明晰实用。该软件能够计算仿真包括由金属、介质构成的目标或由二者组合形成的复杂目标的电磁散射极化特性,包括电流分布和各种参数变化下的单站、双站 RCS。可以大大地节约人力、物力、财力,费用仅为原来实验测量费用的 1%~0.01%,而且还可以为电磁环境分析和目标隐形的设计提供有力的基础保证,在军用目标识别、飞行器隐身设计和军用及民用通信方面有很大的应用前景和价值。

1 电磁散射分析方法

电磁散射特性的分析方法可分为高频方法、中频方法和低频方法。高频方法是用于高频区(又称光学区,

收稿日期:1999-12-17

基金项目:国防科技预研基金资助(94J1A. 2. 1. JB2202)

作者简介:张晨新(1969-),男,博士研究生。

$ka > 20$) 目标的单站雷达散射截面计算, 主要有: 几何光学方法^[8]、几何绕射理论^[11,18]、物理光学方法^[7]、物理绕射理论^[10]、射线方法^[15]、等效电流法^[9]、边值问题精确解法、高频渐近法^[19]和各种高频混合方法。中频方法是用于谐振区($0.5 \leq ka \leq 20$) 目标的雷达散射截面计算, 主要是指求解各种积分方程、微分方程和微积分方程的方法, 包括解析法^[14]、矩量法^[5,12]、边界元法、表面吸收边界条件法^[17]、有限元法^[20]、差分法^[21]、时域有限差分法^[22]、直线法、等效电流法^[12]以及各种中频混合方法^[18]。另外, 为了加速求解过程和减少对计算机的内存要求, 又有了各种加速迭代算法^[13]。其优点是计算结果精确, 可以用于双站 RCS 的计算, 缺点是计算速度慢。低频方法是用于瑞利区($ka < 0.5$) 目标的雷达散射截面计算, 主要是运用静态场的方法^[24]求解电荷、电流分布或等效电偶极子、等效磁偶极子, 然后再求解近场和远场。

本文采用的方法是 MoM-CGM-FFT 相结合的混合技术^[1]。所选方法具有较高的计算精度和很好的适应性, 能够计算多种介质和金属的电磁散射特性。这种混合技术一方面吸收了中频方法计算精度高的优点, 另一方面又运用 CGM、FFT 提高了计算速度节省了计算内存需求, 内存需求由 $O(N^2)$ 降到 $O(N)$, 计算时间由 $O(N^2)$ 降到 $O(N \log N)$ 。

如图 1 所示可建立一个二维矩形柱包围散射体, 并将其进行剖分, 用一系列电流元和磁流元来代替原散射体, 用所选法计算电流元和磁流元, 然后再计算散射场和六自由度极化散射矩阵 $S_0^{[2]}$ 。任意极化的平面波以任意入射角入射时, 等效电流 J^e 的积分方程为

$$E^s = \frac{1}{j\omega\epsilon_0\mu_0} \iint_S (J^e \cdot \nabla) \nabla G ds - j\omega \iint_S G J^e ds = \frac{J^e}{j\omega(\epsilon - \epsilon_0)} - E^i \quad (1)$$

式中 $G(r, r')$ 是二维格林函数

$$G(r, r') = \frac{\mu_0}{4j} H_0^{(2)}(k|r - r'|) \quad (2)$$

将柱形体用一个矩形包围, 并将该矩形离散, 采用点匹配技术, 在每个小矩形中心点进行匹配, 根据式(1)则得 J_x^e, J_y^e, J_z^e 互耦的矩阵方程

$$\begin{cases} M_x J_x^e + M J_y^e = E_x^i \\ M J_x^e + M_y J_y^e = E_y^i \\ M_x J_x^e = E_z^i \end{cases} \quad (3)$$

这里 M, M_x, M_y, M_z 为 $N_x \times N_y$ 阶矩阵, 其矩阵元素容易根据式(1)得到, 这里就不再给出。但应强调各矩阵元素计算的精确性, 以保证计算结果的精度; $J_x^e, J_y^e, J_z^e, E_x^i, E_y^i, E_z^i$ 分别为 $N_x \times N_y$ 维未知向量和已知向量。

式(3)中的矩阵 M, M_x, M_y, M_z 是由 Λ 对角阵和双重 Toeplitz 矩阵组成, 因此用 MoM-CGM-FFT 混合技术^[1]求解该矩阵方程。这样就可以仅存储各矩阵的一列元素; 存储费用仅为原来的百分之一到万分之一以下, 大大地节省了计算机存储单元。再加上 CGM-FFT 算法, 就可以快速地求解该方程, 可以在微机上实现求解电大尺寸柱形体的极化散射问题。式(3)是一个耦合方程, 准确地讲是一个张量矩阵方程, 将文献[1]中的算法加以改进扩展, 求得等效电流 J^e 后代回式(1)就可得出散射场。分别求出某一入射角下垂直和平行极化的散射场, 进而求出六自由度极化散射矩阵 $S_0^{[2]}$, 再求出各种 RCS。

2 几何模型的建立

复杂二维目标几何模型的建立采用的是点线模型法。该方法对二维模型的建立是行之有效的, 具有简便、易于计算和实现的优点。复杂二维目标几何模型的建立, 关键是形成对目标的几何截面的描述。我们的点线模型法可用图 2 来说明。

如图 2 所示, 点线模型法的最底层为 Shape(单形), 是由基本的点连线构成的单连域的围线; 第四层为 Shapes(复形), 是由多个不相交的 Shape 构成; 第三层为 Object(体), 是由多个不相交的 Shapes 所构成;

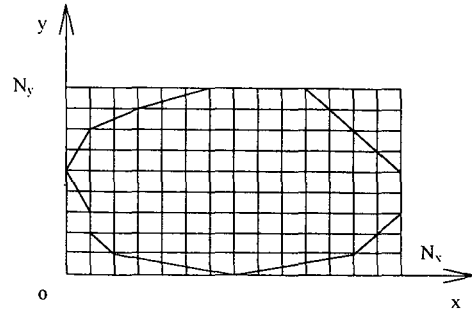


图 1 柱体模型截面剖分图

Object 结合介质或金属参数(介电常数 ϵ 、电导率 σ) 形成第二层 EObject(物体);最后单个或多个 EObject 形成 EObjectList(组合物体)。其中的五个层次结构示意图如图 2 左侧所示。用这样的层次结构便于进行图形的 BOOL(布尔操作)和组合物体的自动剖分以及矩阵元素的形成,从而提高了模型的建立和计算的速度。

3 电磁仿真

由点线模型法建立几何模型,再运用 MoM-CGM-FFT 混合技术算法求解得到模型的散射电流、散射场、极化散射矩阵 S 。以及双站、单站 RCS 等结果,最后通过图形技术将其显示、打印出来。仿真软件所用算法的正确性在文献[1]中给予了验证。下面给出一个玻璃柱状容器盛纯水的二维目标的仿真结果。这里取玻璃的相对介电常数为 4,纯水的相对介电常数为 80。一般的算法很难计算相对介电常数大于 40 的目标,而这里采用的混合技术则可以计算相对介电常数很大的目标。图 3 给出了仿真软件的界面和显示的柱状目标的截面图,图 4 给出了其双站 RCS 的仿真结果,图 5 给出了其电流分布的仿真结果,图 6 给出了其单站 RCS 随频率变化的仿真结果。

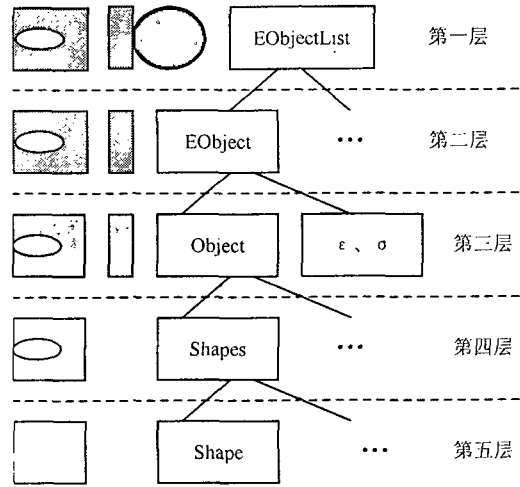


图 2 几何模型建立的点线模型法

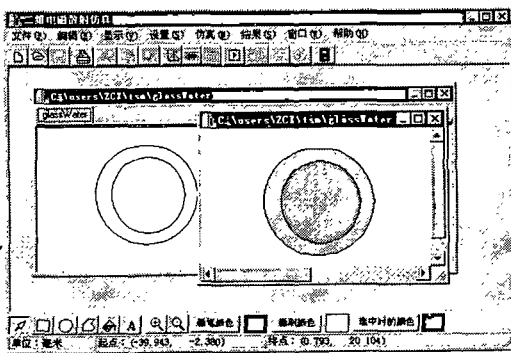


图 3 仿真软件显示的二维目标的截面图

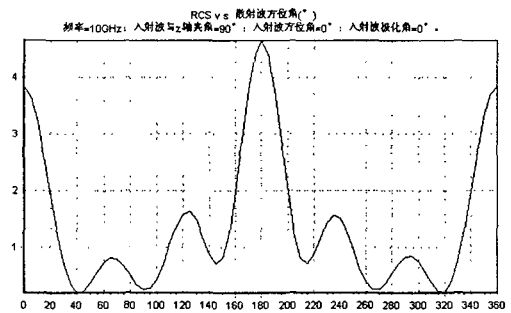


图 4 复合柱体(玻璃与纯水)的双站 RCS ($f=10\text{GHz}$,垂直入射,平行极化波)

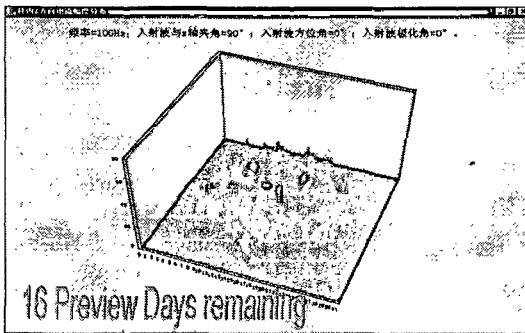


图 5 复合柱体(玻璃与纯水)的电流幅度分布 ($f=10\text{GHz}$,垂直入射,平行极化波)

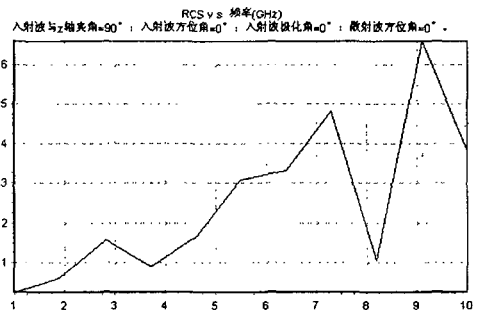


图 6 复合柱体(玻璃与纯水)的单站 RCS 随频率变化的结果(垂直入射,平行极化波)

4 结束语

我们利用点线模型法构建二维目标的几何模型,再运用 MoM-CGM-FFT 混合技术算法对复杂二维目标的电磁极化性进行软件仿真,给出的仿真例子,说明了仿真的可行性和实用性,使得对二维目标的电磁散射极化特性研究变得简便易行。有关学者可运用此仿真软件对二维目标的电磁散射极化特性进行更深入的

研究,避免重复性劳动。此仿真软件有重要的使用和参考价值,为复杂三维目标的电磁极化特性的计算仿真奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] 张晨新,洪伟,陈忆元,等.用 MoM-CGM-FFT 解决二维电磁散射问题[J].电子学报,1994,22(12):74~77.
- [2] ZHANG Chen-xin, WANG Ji-qin. EM Polarization Scattering Matrix for Cylinder. Proceedings of 1998 China-Japan Joint Meeting on Microwaves, Beijing, China, 1998.
- [3] 李建辉,苏东林,吕善伟.局部涂覆 RAM 复杂目标的电磁散射特性计算[J].北京航空航天大学学报,1998,24(6):256~258.
- [4] 朱贤阳,杨儒贵,陈益邻.复杂目标雷达散射截面计算方法的新进展[J].电波科学学刊,1998,13(3):322~327.
- [5] ROGER F. HARRINGTON. Field Computation by Moment Methods[M]. New York: The Macmillan Company, 1968.
- [6] T. K. SARKAR, E. ARVAS, S. M. RAO. Application of FFT and Conjugate Large and Small Conducting Bodies[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986,34(5):635~640.
- [7] LOULS N. MEDGYESI-MITSCHANG DAU-SING WANG. Hybrid Solutions for Large-Impedance Coated Bodies of Revolution[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986,34(11):1319~1329.
- [8] JOHN M. DUNN. High-Frequency Scattering from a Cylinder Coated with a Rarefied Dielectric Layer[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1988,36(9):1252~1259.
- [9] YEHUDA LEVIATAN, AMIR BOAG, ALONA BOAG. Analysis of Electromagnetic Scattering from Dielectrically Coated Conducting Cylinders Using a Multifilament Current Model[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1988,36(11):1602~1607.
- [10] HASNAIN H. SYED, JOHN L. VOLAKIS. Multiple Diffractions Among Polygonal Impedance Cylinders [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1989,37(5):664~672.
- [11] HYO-TAE KIM, NAN WANG. UTD Solution for Electromagnetic Scattering by a Circular Cylinder with Thin Lossy Coatings[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1989,37(11):1463~1472.
- [12] KORADA UMASHANKAR ALLEN TAFLOVE, SADASIVA M. RAO. Electromagnetic Scattering by Arbitrary Shaped Three-Dimensional Homogeneous Lossy Dielectric Objects[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986,34(6):758~766.
- [13] CHING-CHUAN SU. Calculation of Electromagnetic Scattering from a Dielectric Cylinder Using the Conjugate Gradient Method and FFT[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1987,35(12):1418~1425.
- [14] RICHARD W. ZIOLKOWSKI, DIANE P. MARSLAND, JR. GUY E. PISANE. Scattering from an Open Spherical Shell Having a Circular Aperture and Enclosing a Concentric Dielectric Sphere[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1988, 36(7):985~999.
- [15] ROBERTO G. ROJAS PRABHAKAR H. PATHAK. Diffraction of EM Waves by a Dielectric/Ferrite Half-plane and Related Configurations[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1989,37(6):751~763.
- [16] ERIC ARVAS, ROGER F. HARRINGTON JOSEPH R. WAUTZ. Radiation and Scattering from Electrically Small Conducting Bodies of Arbitrary Shape Above an Infinite Ground Plane[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1987,35(4):378~383.
- [17] A. HAMIT SERBEST. Diffraction of a TM Whispering Gallery Mode by the Edge of a Nonperfectly Conducting Spherically Curved Shell[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986,34(6):833~837.
- [18] ROBERTO G. ROJAS. Wiener-Hopf Analysis of the EM Diffraction by an Impedance Discontinuity in a Planar Surface and by an Impedance Half-Plane[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1988,36(1):71~83.
- [19] KOHEI HONGO, AKIHIKO HAMAMURA. Asymptotic Solutions for the Scattered Field of Plane Wave by a Cylindrical Obstacle Buried in a Dielectric Half-Space[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986,34(11):1306~1312.

- [20] RUEY-BEEI WU, CHUN HSIUNG CHEN. Variational Reaction Formulation of Scattering Problem for Anisotropic Dielectric Cylinders[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986, 34(5): 640~645.
- [21] MICHAEL A. MORGAN, DEAN L. FISHER, EDMUND A. MILNE. Electromagnetic Scattering by Stratified Inhomogeneous Anisotropic Media[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1987, 35(2): 191~197.
- [22] ANDREAS C. CANGELLARIS, CHUNG-CHI LIN, KENNETH K. MEI. Point-Matched Time Domain Finite Element Methods for Electromagnetic Radiation and Scattering[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1987, 35(10): 1160~1173.

Computer Emulating on EM Scattering of Composite Two-Dimensional Targets

ZHANG Chen-xin, WANG Ji-qin, WANG Guang-ming, TONG Chuang-ming
(Dept. of Guided Radar Engineering of the Missile Institute, AFEU., Sanyuan 713800, China)

Abstract: Computer emulating of EM scattering of composite two-dimension targets has been dealt with in this paper, and the computer emulating software has been built with Point-Line-Model (PLM) and MoM-CGM-FFT hybrid technique on visual programming platform. Using these techniques, the speed of model building and EM emulating can be efficiently increased, and the computer memory and CPU time are reduced sharply. Finally, the EM emulating on a composite column is made, and the EM emulating results are presented.

Key words: Two-dimensional targets; Polarization scattering; Modeling; Emulating