

中国分类号 :O451

文献标识码 :A

文章编号 :CN51-1418(2002)01-0023-04

# 计算细理想导电圆柱 RCS 的物理模式基矩量法

夏新仁 邓发升

(空军工程大学导弹学院,陕西三原·713800)

**摘要** 根据 GTD—MOM 技术给出一种物理模式基的概念,并用之分析细理想导电圆柱的电磁散射,求解其雷达散射截面(RCS)。圆柱表面上的电流假设由三部分组成:入射波的感应电流和圆柱两端的反射电流。该方法较传统的全域基矩量法减小了计算机内存,加快了计算速度,而且数值计算结果与全域基的结果吻合较好。

**关键词** 物理模式基 雷达散射截面

## Physical Model Basis MOM for Calculating Radar Cross Section of The Perfectly Conducting Thin Cylinder

XIA Xin-ren ,DENG Fa-sheng

(The Missile Institute , Air Force Engineering University. , ShanXi SanYuan. 713800 ,China)

**Abstract** Physical model basis is given out on the basis of GTD-MOM technique in this paper ,and the scattered field and radar cross section of a perfectly conducting thin circular cylinder are calculated by using this method .The currents in the cylinder consist of three components :the current induced by the incident field and the reflected currents from the cylinder terminations . In comparison with MOM of entire domain basis ,this method consumes less memory and fewer computing time ,and results are in good agreement with those of MOM .

**Keywords** Physical model basis ,Radar cross section

## 0 引言

用矩量法处理电磁场问题时,首先要解决的问题之一就是选择基函数。通常使用的有两种

基:全域基和子域基<sup>[1,2,3]</sup>。相对子域基来说,全域基能减少广义阻抗矩阵的维数,一般减少到 $1/2$ 至 $1/3$ 。但在求解电大尺寸的散射体的电磁散射问题时,这两种基都不能胜任,它们面临同样的两

个难题:计算机的速度与计算机的内存。所以,寻找一种适当的基函数来求解电大尺寸散射体的电磁散射问题仍是矩量法研究的关键问题。

高低频混合 GTD—MOM 技术<sup>[7,8]</sup>可以说是为具有劈的理想导电散射体找到了一种最优基函数。GTD—MOM 技术是在劈的附近区域利用子域基(一般是脉冲基函数)来展开未知电流,而在其它区域里,目标表面的电流用已知电流和由劈的绕射而引起的绕射电流。这绕射电流就表示为 GTD 形式,它的绕射系数是未知数,然后再通过相应的积分方程利用矩量法求得未知电流和绕射系数。因为这种基函数最接近目标表面上的真实电流,所以收敛速度显著增加,计算量显著减小,计算速度显著加快。受这种方法的启迪,我们给出了一种适合求解细理想导电圆柱的基函数:物理模式基。即对任一给定的散射体,如能正确分析它的散射机理,找到决定其散射场的量的物理模式,再利用矩量法求解未知量,最后能快速、准确地得到其散射场。本文就是利用这种思想分析了细理想导电圆柱的电磁散射问题。

## 1 理论分析

图 1 所示即为所求的细理想导电圆柱。 $a$  为圆柱的半径, $l$  为圆柱的长度, $\vec{k}_i$  为入射波单位波矢量, $\vec{k}_s$  为散射波单位波矢量, $\theta_i$  为入射角, $\theta_s$  为散射角,故入射场可以表示为:

$$\vec{E}_z^i = \vec{\theta}_i E_i^i e^{jk(z \cos \theta_i + x \sin \theta_i)} = (x \cos \theta_i - z \sin \theta_i) E_i^i e^{jk(z \cos \theta_i + x \sin \theta_i)} \quad (1)$$

式中  $k$  是自由空间的波数。

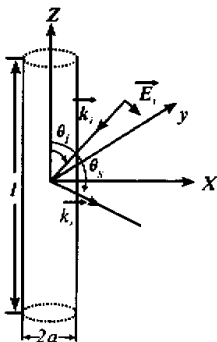


图 1 细理想导电圆柱的散射示意图  
万方数据

当圆柱的几何外形满足: $l/a \gg 1, a \ll \lambda$  时,我们可以近似地认为圆柱表面的电流沿  $z$  方向分布<sup>[4]</sup>。这样我们可以认为圆柱上的电流由三部分构成,即由于入射波引起的感应电流  $I_1(z)$  和圆柱两个末端引起的反射电流  $I_2(z)$  及  $I_3(z)$ , 设它们的形式分别为:

$$I_1(z) = T_1 e^{jkz \cos \theta_i} \quad (2)$$

$$I_2(z) = T_2 e^{jkz} \quad (3)$$

$$I_3(z) = T_3 e^{-jkz} \quad (4)$$

所以,圆柱中的总电流为:

$$I = \sum_{i=1}^3 T_i e^{jB_i z} \quad (5)$$

式中  $T_i (i=1, 2, 3)$  为所要求的未知量,  $B_i$  分别为:  $B_1 = k \cos \theta_i, B_2 = k, B_3 = -k$ 。

要求的未知量  $T_i$  由下面的积分方程和理想导电体的边界条件确定。

$$E_z^i|_{x=a} = jk\eta_0 \int_{-1/2}^{1/2} K(z') [1 + \frac{1}{k^2} \frac{d^2}{dz dz'}] \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dz' \quad (6)$$

式中  $R = \sqrt{(z - z')^2 + a^2}$ ,  $\eta_0$  是自由空间特征波阻抗。把式(5)代入式(6)可得

$$E_z^i|_{x=a} = jk\eta_0 \int_{-1/2}^{1/2} \sum_{i=1}^3 T_i e^{jB_i z'} [1 + \frac{1}{k^2} \frac{d^2}{dz dz'}] \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dz' \quad (7)$$

选用  $W_i = e^{-jB_i z}$  为其检验函数,并用之对式(7)作内积可得一个 3 阶线性方程组,可写成如下矩阵形式:

$$[Z_i][T_i] = [V_i] \quad (8)$$

$$\text{其中 } V_i = \frac{E_i^i \sin \theta_i \sin(k \cos \theta_i - B_i) e^{jk a \sin \theta_i}}{k \cos \theta_i - B_i} \quad (9)$$

$$Z_{ij} = \frac{j\eta_0 (k^2 - B_i B_j)}{4k\pi} \overline{Z}_{ij} \quad (10)$$

$$\overline{Z}_{ij} = \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{e^{-jkR} e^{j(B_i z - B_j z')}}{R} dz dz' \quad (11)$$

为了简化起见,对式(11)进行坐标变换可得

$$\overline{Z}_{ij} = \begin{cases} \frac{4\sqrt{2}}{B_i - B_j} \int_0^{2\sqrt{l}} \frac{\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 e^{-jkR}}{\varphi_1 R} dw & \text{当 } B_i \neq B_j \text{ 时} \\ \int_0^{2\sqrt{l}} \frac{(l' - w) \cos(\sqrt{2} B_j w) e^{-jkR}}{R} dw & \text{当 } B_i = B_j \text{ 时} \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{式中 } \varphi_1 = \frac{B_i - B_j}{\sqrt{2}}, \varphi_2 = \frac{(B_i - B_j)(\sqrt{l} - w)}{\sqrt{2}},$$

$$R=\sqrt{2w^2+a^2}$$

由上面的分析可以解出未知量  $T_i$  ,从而得到圆柱表面的电流分布。当已知电流分布后 ,可用下式算出它的散射场<sup>[5]</sup>。

$$E_{\theta}^s=\frac{j\omega\mu_0e^{-jkR}}{4\pi R}\theta\sin\theta\int_{-1/2}^{1/2}K(z')e^{jkz'\cos\theta}dz' \quad (13)$$

把式(5)和未知量  $T_i$  代入式(13)就可得到散射场 ,即

$$E_{\theta}^s=\frac{j\eta_0l\sin\theta_s e^{-jkR}}{4\pi R}\sum_{i=1}^3\frac{2\sin[(k\sin\theta_s+B_i)l/2]}{(k\sin\theta_s+B_i)l} \quad (14)$$

## 2 计算结果

根据雷达散射截面定义就可由散射场求出

该圆柱的雷达散射截面( RCS )。计算结果如图 2 所示。把用本文的方法算出的结果与文献 [6] 中算出的结果相比( 图中实线是本文方法算出的结果 ,虚线是全域基矩量法算出的结果 ) ,两种方法的结果吻合较好 ,这说明了本文提出的方法是正确的。本文方法的优点在于它仅需计算 9 个积分 ,求一个  $3\times 3$  矩阵的逆( 而传统的全域基矩量法根据分段的不同需进行几百个甚至是几千个积分 ,求一个几十阶矩阵的逆 ) ,从而减小对计算机内存的需求 ,提高了计算速度。

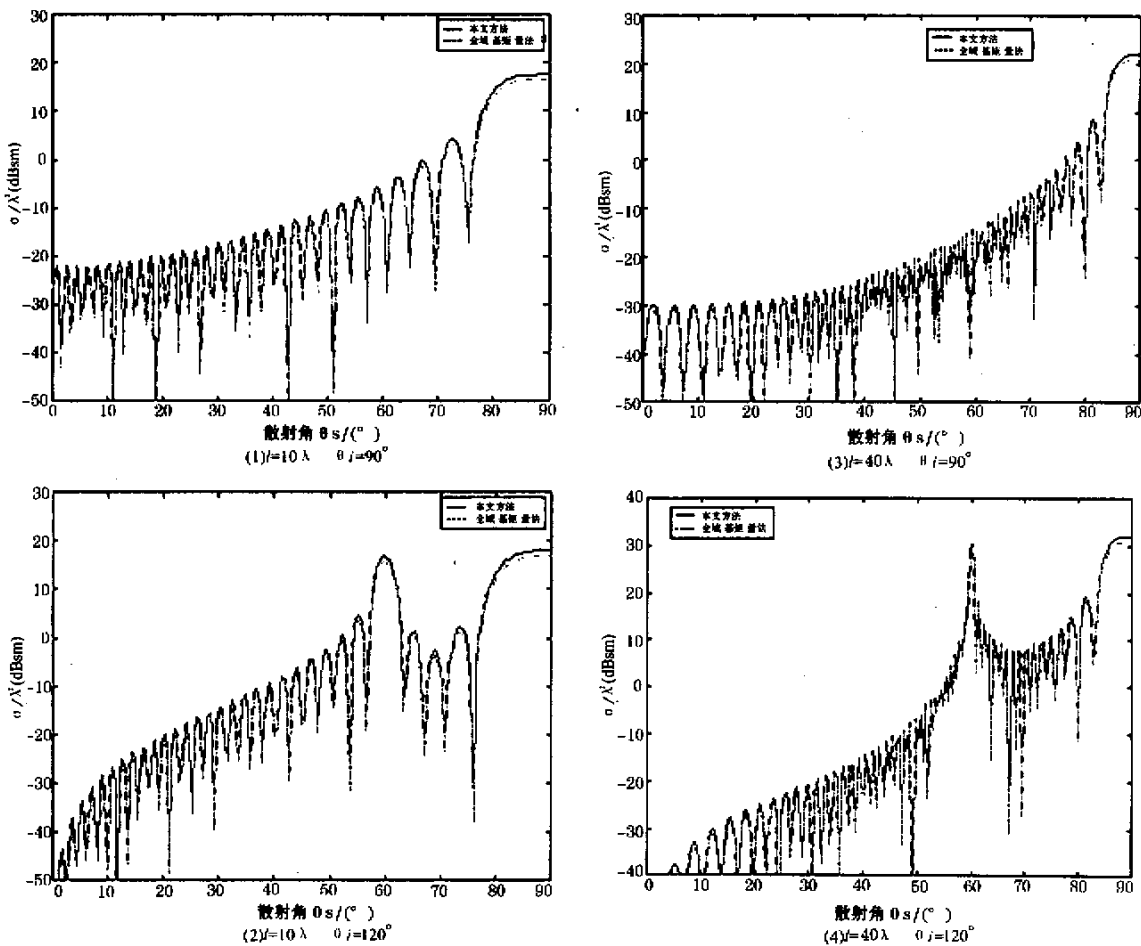


图 2 细理想导电圆柱的 RCS

### 3 结束语

本文方法实际上是一种全域基矩量法与伽辽金匹配的矩量法,但是这种基函数不同于以前的其他基函数,它具有一定的物理意义,因此它具有计算速度快,减小对计算机内存需求的优点。我们下一步的工作是进一步分析其他电大尺寸散射体的散射机制,从而寻求出它们的物理模式基。

### 参考文献

- 1 阮颖铮等.雷达截面与隐身技术[M].北京:国防工业出版社,1998
- 2 米克拉,E.F 著.雷达散射截面—预估、测量与减缩[M].阮颖铮,陈海,韩明英,等译.北京:电子工业出版社,1988
- 3 R.米拉特等.计算机技术在电磁学中的应用[M].金元松译.北京:人民邮电出版社,1983
- 4 李世智.电磁辐射与散射问题的矩量法[M].北京:电子工业出版社,1985
- 5 汪茂光.几何绕射理论[M].西安:西安电子科技大学出版社,1994
- 6 L. N. Medgyesi-Mitschang, John M. Putnam. Electromagnetic scattering from extended wires and two-and three-dimensional surfaces [J]. IEEE Trans Antennas Propagate, 1985, Vol. AP-33, 1090~1100
- 7 C.W. Chuang and W.D. Burnside. A diffraction coefficient for a cylindrically truncated planar surface [J]. IEEE Trans Antennas Propagate, 1980, Vol. AP-28, 177~183
- 8 W.D. Burnside, C.L. Yu, R.J. Marhefha. A technique to combine the geometrical theory of diffraction and the moment method. IEEE Trans Antennas Propagate, 1975; Vol. AP-23, 551~558
- 9 J.N. Sahalos, G.A. Thiele. On the application of the GTD-MM technique and its limitations. IEEE Trans Antennas Propagate, 1981, Vol. AP-29, 780~786

## 美国空军研制单片 GPS 接收机

在一项美国空军研制具有抗干扰性的单片全球定位系统(GPS)接收机的实验中应用了 Peregrine 半导体公司的通信合成电路技术。

美国空军研究实验室(AFRL)空间电子及防护技术分公司的技术顾问斯科特·泰森说:“该成果”标志着在发展用以空间导航和通信的小型化高性能 RF 混合信号电子装备方面迈出了关键性的下一步”。

Peregrine 半导体公司的空间及防御产品市场部主管 Chuck Tabbert 称其公司同 AFRL 的合作是一项限期三年的小生意革新研究合同的第一部分。

现在的 GPS 装置很容易被干扰,联邦航空管理局的领导正计划借助于 GPS 技术实现飞机导航及飞机着陆。赋予 GPS 抗干扰性能非常重要,这已不仅仅局限于军队的需求。所以 Peregrine 公司引入了这项技术。

Peregrine 公司用“蓝宝石上长硅”的工艺生成了高度线性化器件,这些器件具有极大的动态范围。高度线性化也使其自身能被用于抗干扰的应用。

## 哈里斯(Harris)公司为美国陆军研制轻型战术卫星终端

美国陆军通信官们需要为其常规部队和特种部队配备移动的、牢固的轻型卫星通讯终端(GCSD)。陆军通信电子司令部(CECOM)授予 Harris 公司 \$ 2.22 亿的合同,为其研制 205 套轻型的多波段卫星终端(LMST)。LMST 是一种非研制性的商业成品(COTS)化的三波段终端,用于与前线部队的长途通信。LMST 可以和所有美国的、北约的 X 波段及商用 C 波段和 Ku 波段的卫星协同工作;具有同时双波段和双卫星工作能力;以每秒 8.216Mbit 的高速率传输多信道数据;并且可以部署在 C-130、C-141、C-5 和 C-17 运输机上使用。哈里斯公司的负责人称:“该终端还给前线部队提供了使用军用 X 波段和 Ka 波段及商用 C 波段和 Ku 波段与司令部进行基于卫星的、语音的、视频及数据方式的通信联络。”

## 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/>