

文章编号: 0255 - 8297(2004)01-0046-04

# 电磁相似性在计算基本散射体 RCS 方面的应用

胡 艳, 时振栋, 唐 璞, 刘宏伟

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 610054)

**摘要:** 从基本散射体散射特性的普适表达式出发, 分析其中各参数单独变化时 RCS 的变化规律。这不仅使散射体 RCS 的模型测量结果经相似性关系缩放后能得到原型散射体的 RCS, 同时对于因工作条件限制而使理想缩比条件不满足时也能计算出原型值。后者为散射体频率特性曲线的外推奠定了理论基础, 也为 RCS 缩比测量设备的频率扩展提供了新的方法和途径。

**关键词:** 雷达散射截面; 电磁相似性; 频率特性; 缩比测量

中图分类号: TN011 文献标识码: A

## The Application of Electromagnetic Similarity in the Calculation of RCS of the Basic Scatterer

HU Yan, SHI Zhen-dong, TANG Pu, LIU Hong-wei

(The University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** With the general expression for an arbitrarily simple-shaped scatterer's scattering characteristics as a starting point, the RCS varieties during the respective change of each parameter are analyzed. By these we can get the RCS of the prototype scatterer not only after the scaling of the RCS values in model measurement by means of the similarities, but also when the ideal scaling relation are not satisfied because of the limitation of experimental conditions. The latter result has established an academic basis for the extrapolation of the scattering frequency characteristic curves, and provided a new approach to the frequency range expansion of the RCS scaling measurement equipments.

**Key words:** RCS; electromagnetic similarity; frequency characteristics; scaling measurement

作者曾在本刊介绍过电磁系统的相似性<sup>[1]</sup>, 现在着重介绍电磁相似性在 RCS 缩比测量和计算方面的应用, 重点介绍用于计算在测试频段以外的 RCS 值。这些工作可以作为雷达目标散射特性的分析以及由散射特性来识别雷达目标的依据, 也为 RCS 缩比测量设备的频率扩展提供了新的方法和途径。

## 1 模型散射体和原型散射体

文献[2]指出, 基本散射体的 RCS 可表示为

$$\sigma/\lambda^2 = A(l/\lambda)^n \text{sinc}^2(Bl/\lambda) \text{sinc}^2(Cl/\lambda) \quad (1)$$

式中  $l$  是散射体的代表长度, 它表示散射体的尺度大小。 $A, B, C$  和  $n$  是与散射体形状、电波传播方向以及极化方向有关的量, 但它们与工作波长无关。

由电磁相似性原理和式(1)可见<sup>[1,3]</sup>, 对于理想导电散射体, 只要让工作波长与散射体代表长度同步缩放, 缩比模型的 RCS 测量结果经相似比例的缩放, 就能计算出原型散射体的 RCS 值。

但有时由于工作条件的限制, 电磁波波长不能随散射体的代表长度同步缩放, 或者模型散射体的

大小不能随意改变,为了得到原型散射体的 RCS,我们认为采用由式(1)获得的如下计算方法也可获得满意的结果.

### 1.1 工作波长不变,只变散射体的大小

设模型散射体的代表长度为  $l_m$ , 原型散射体的代表长度为  $l_p$ , 则按相似性, 散射体间的几何缩放率为  $p = l_p/l_m$ , 再令  $x = l_m/\lambda$ , 则由式(1), 模型散射体的雷达散射截面和原型散射体的散射截面可分别表示为

$$\sigma_m/\lambda^2 = Ax^n \operatorname{sinc}^2(Bx) \operatorname{sinc}^2(Cx)$$

$$\sigma_p/\lambda^2 = Ap^n x^n \operatorname{sinc}^2(pBx) \operatorname{sinc}^2(pCx)$$

或  $\sigma_p = p^n \frac{\operatorname{sinc}^2(pBx)}{\operatorname{sinc}^2(Bx)} \frac{\operatorname{sinc}^2(pCx)}{\operatorname{sinc}^2(Cx)} \sigma_m$  (2a)

若选取模型散射体的代表长度  $l_m = \lambda$ , 即  $x = 1$ , 则上式为

$$\sigma_p = Kp^n \operatorname{sinc}^2(pB) \operatorname{sinc}^2(pC), \text{ 当 } l_m = \lambda \quad (2b)$$

式中  $K = \frac{\sigma_m}{\operatorname{sinc}^2(B) \operatorname{sinc}^2(C)}$ ,  $K$  和参数  $A, B, C, n$  均可由若干次不同缩放率的模型测试结果计算得到. 也就是说, 用这种方法计算  $\sigma_p$  时必须事先制作 4 个大小不同但几何相似的模型, 由它们的测试结果计算出  $A, B, C$  和  $n$ , 然后代入式(2a)或(2b)便可推算出任意缩放率  $p$  时的原型值.

为了验证式(1)、(2a)、(2b), 并说明它们的使用方法, 图 1 显示了 4 个彼此几何相似的金属平板在频率  $f = 9.37\text{GHz}$  时的散射截面的实测值. 这些平板的尺寸分别是

*A 板*:  $(900 \times 600 \times 8)\text{mm}^3$     *B 板*:  $(450 \times 300 \times 4)\text{mm}^3$

*C 板*:  $(225 \times 150 \times 2)\text{mm}^3$     *D 板*:  $(112.5 \times 75 \times 1)\text{mm}^3$

各板相对于 *D* 板的几何缩放率是  $p_A = 8, p_B = 4, p_C = 2, p_D = 1$ . 实验时入射角  $\theta$  在垂直于边缘  $b$  的平面内改变, 所以式(1)中取  $c = 0, \operatorname{sinc}^2(cl/\lambda) = 1$ . 把 *B, C, D* 板作为模型测量出它们的散射截面随入射角  $\theta$  的改变值后, 代入式(1)可计算出各入射角下的 *A, B* 和  $n$ . 最后将这些值以及 *A* 板的尺寸代入式(1), 便可获得各入射角下 *A* 板散射截面的计算值.

图 2 展示了 *A* 板散射截面计算值与实测值间的比较, 由于计算时以原始实验值作为依据, 计算过程难免引进误差, 但是总体来说两者基本吻合.

### 1.2 散射体的大小 $l$ 不变, 只改变工作频率 $f$

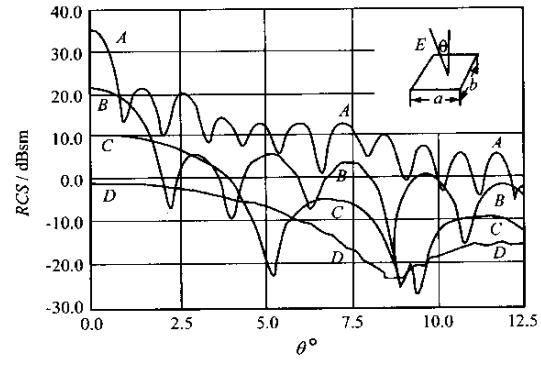


图 1 金属平板 A、B、C、D 的后向散射截面实测值

Fig. 1 Experimental values of back-scattering RCS of metal-plate A, B, C, D

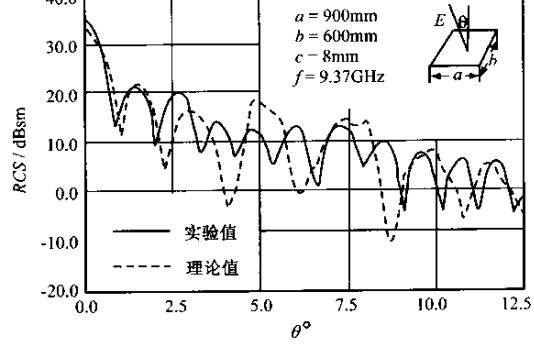


图 2 *A* 板散射截面计算值与实测值的比较

Fig. 2 RCS theoretical values comparing with experimental values of metal-plate A

设模型测量的工作波长为  $\lambda_m$  (工作频率为  $f_m$ ), 原型测量的工作波长为  $\lambda_p$  (工作频率为  $f_p$ ), 则按相似性, 工作频率的缩放率为  $p = \lambda_m/\lambda_p = f_p/f_m$ . 令  $y = l/\lambda_m$ , 即  $y = lf_m/v$  ( $v$  为电磁波速度), 则由式(1)得

$$\begin{aligned} \sigma_m/\lambda_m^2 &= Ay^n \operatorname{sinc}^2(By) \operatorname{sinc}^2(Cy) \\ \sigma_p/\lambda_p^2 &= Ap^n y^n \operatorname{sinc}^2(pBy) \operatorname{sinc}^2(pCy) \\ \text{或 } \sigma_p &= p^{n-2} \frac{\operatorname{sinc}^2(pBy)}{\operatorname{sinc}^2(By)} \frac{\operatorname{sinc}^2(pCy)}{\operatorname{sinc}^2(Cy)} \sigma_m \end{aligned} \quad (3a)$$

若取  $\lambda_m = l$ , 即  $y = 1$ , 于是上式为

$$\sigma_p = Kp^{n-2} \operatorname{sinc}^2(pB) \operatorname{sinc}^2(pC), \text{ 当 } \lambda_m = l \quad (3b)$$

式中  $K = \frac{\sigma_m}{\operatorname{sinc}^2(B) \operatorname{sinc}^2(C)}$ .

按照这种方法计算  $\sigma_p$  时不必制作很多个模型, 只需测得同一模型散射体在某个频段上的 RCS 值, 据此由不同频率下的 RCS 值计算出此散射体的  $A, B, C$ , 和  $n$ , 然后按式(3a)或(3b)就能外推出此频段

外任意频率的  $\sigma_p$ .

不难看出,式(3)与我们用其他方法所得的结果是一致的<sup>[4]</sup>.

## 2 基本散射体 RCS 频率特性曲线的外推过程

若把  $f_p$  和  $\sigma_p$  分别简写为  $f$  和  $\sigma$ , 则由式(3b)可得

$$\sigma = K_m f^{n-2} \operatorname{sinc}^2(fB_m) \operatorname{sinc}^2(fC_m) \quad (4)$$

式中  $B_m = B/f_m$ ,  $C_m = C/f_m$ ,  $K_m = K/f_m^{n-2}$  均与  $f$  无关. 由此可见,为了由散射体在某频段下的 RCS 计算出此频段外其他频率时的 RCS 值必须经过如下过程:

### (1) 散射频率特性的拟合

由给定的某段频率特性曲线拟合出式(1)中的  $A, B, C$  和  $n$ , 这是获得外推值的关键;

### (2) RCS 频率特性曲线的外推

将  $A, B, C, n$  及某组作为模型值的  $(f_m, \sigma_m)$  代入式(4), 计算出测试频段以外的其他频段的 RCS 频率特性;

### (3) RCS 值的反演

根据给定的频率值,从外推曲线中查出该频率值下的 RCS. 这个过程与模型测试的过程相反,而且也最简单,但它反映了这个过程的本质和目的.

## 3 相似性在 RCS 缩比测量方面的应用

理想的雷达目标散射缩比测量要求雷达波的波长按原型目标缩小到模型目标的几何比例同步地缩短,但实际上由于测量设备的限制,模型测量波长往往不能满足这种理想缩比要求. 特别对大型目标的缩比测量,由于测量设备空间的限制,往往要求测试波长有大比例的缩短,这在很多情况下是达不到的. 因此为了获得原型目标的 RCS,原则上可采用以上任一种方法,即工作波长不变,只变散射体大小,或模型散射体不变,由频率特性曲线进行拟合、外推和反演. 第一种方法要求制作几个大小不同的模型,测试工作比较困难和麻烦<sup>[5]</sup>; 实际上,当两种方法中取模型散射体的代表长度相同时,对同一种散射体而言,各参数  $A, B, C, n$  是对应相同的,因而可以用第二种方法,即扫频测试的方法来获得第一种方法所

需的这些参数,也就是说,可以在原型目标 RCS 所定的频段上测试一个模型的 RCS 频率曲线,由此拟合计算出各参数后反演出原型目标的 RCS 值. 这种方法能弥补测量设备的不足并缩短测试过程.

对大型目标进行缩比测量时,因缩比倍数过大有可能增加计算误差,为解决这个问题,计算可分两部分进行. 即先按可能提供的最短波长的测试设备测量模型的 RCS 频率曲线,然后由曲线外推到理想缩比所要求的频率点上,例如,为了测量身长为 20m 的导弹在  $\lambda=3\text{cm}$  时的 RCS,如果在 3cm 测试设备上只能进行身长为 1m 的缩比模型测量,那么直接用频率外推方法反演到原型导弹时可能因缩比跨度 ( $P=20$ ) 过大而增加计算误差. 但是若同时有 8mm 波长的 RCS 测试设备,它的最大测试空间长度也是 1m,那么可以在 8mm 频段上测量 1m 长导弹模型的 RCS 频率特性后,外推到理想缩比所需的  $\lambda_m = 3\text{cm}/20 = 1.5\text{mm}$ , 这时外推跨度仅为  $P = 8/1.5 = 5.3$ , 最后由 1.5mm 波长处的 RCS 乘以  $p^2 = 400$  就是导弹原型在 3cm 处的 RCS 值. 这种方法的实质是把大的波长缩比跨度分成两段进行,第一段利用可能提供的实验手段,第二段利用频率外推的方法完成,显然这样分两步走的方法并不增加工作难度,却充分发挥了设备的潜能,同时又克服了设备的不足.

毋庸讳言,本文讨论的是电磁相似性在计算基本散射体 RCS 方面的应用,而常见散射体的形状往往是复杂的,但是这并不影响讨论本题的重要性. 因为任何复杂散射体都是由很多基本散射体构成的,而且这些基本散射体之间的相互作用仍然具有某种基本散射体的散射特性,因而可以用另外的基本散射体来表示它,所以只有对基本散射体有了深刻的认识,才能真正掌握复杂散射体的变化规律. 事实上已有很多方法计算复杂散射体的 RCS,这些方法通常没有探求组成复杂散射体的基本成分的共同特点,从而往往使问题复杂化. 本文的主要目的正是为了避免这个缺点,以便为寻求复杂散射体 RCS 的更加简明的变化规律打下良好的基础.

### 参考文献:

- [1] 时振栋. 有耗电磁系统的相似性[J]. 应用科学学报, 1991, 9(1): 24-28.
- [2] 时振栋, 唐璞, 刘宏伟, 等. 基本散射体 RCS 的分析和综合[J]. 应用科学学报, 2003, 21(4): 331-333.

- [3] 时振栋,等.有耗雷达目标散射截面的缩比计算[J].  
应用科学学报,1993,11(2):109-113.
- [4] Shi Zhendong, et al. Frequency dependance of the  
RCS of an arbitrarily shaped scatterer [J]. Mi-  
crowave and Optical Technology Letter, 1994, 7(9):  
412-418.
- [5] 陆柱蕙.飞机的频率特性研究[R].北京:北京航空航天大学,1993, 8.

\*\*\*  
※下期发表论文摘要预报※  
\*\*\*

## PDP 扫描驱动芯片的新型 200V P 沟功率 MOSFET 及工艺研究

易扬波, 孙伟锋, 孙智林, 陈 畅, 陆生礼

(东南大学 国家专用集成电路系统工程研究中心,江苏 南京 210096)

**摘要:** 提出了一种适合 PDP 扫描驱动芯片的高压 P 沟道 ED-LDMOS 器件结构,源漏击穿电压及栅耐压均达到 220V 以上。通过添加 P 型扩展阱,能够有效降低 P+漏极边缘电场 60%,减轻漏极电流汇聚效应,抑制寄生双极型晶体管开启,从而原器件开启态耐压(180V)提高了 40V;同时设计了能与 0.6 μm 标准低压 CMOS 工艺完全兼容的制备工艺,特别提出一种厚栅氧与多晶栅的刻蚀方法——余量刻蚀法,有效防止由于光刻误差引起的栅源短路击穿。

## 时空调制扩频通信定位系统抗多径测角测距方法

史庭祥, 宋茂忠

(南京航空航天大学 信息科学与技术学院,江苏 南京 210016)

**摘要:** 在时空调制扩频通信系统基础上,针对多径环境提出一种抗码片内多径干扰的测角测距方法。首先分析了时空调制信号在多径下的接收和解调信号,接着就解调表达式采用冲激响应估计和多径分量提取算法,实现了码跟踪误差和多径分量的联合估计,再利用换算关系得到方位角和距离。仿真结果表明,在多径下系统的测角测距性能得到很大的改善。

## 雷达散射截面（RCS）分析培训课程

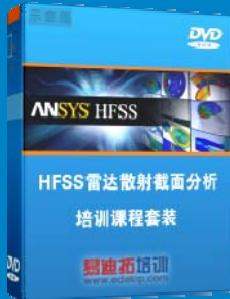
易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

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/>