

室内 UHF 波段高精度 RCS 测试方法 及定标技术研究

李南京, 胡楚锋, 张麟兮

(西北工业大学无人机特种技术国家重点实验室, 陕西 西安 710072)

摘要: 针对 UHF 波段的 RCS 测试在室内精度较差的问题, 给出了一种采用步进频率体制实现室内 UHF 波段高精度 RCS 测试的具体方法。基于高分辨能力的步进频率信号, 依托高性能吸波材料和低散射泡沫支架优化测试背景环境, 采用宽带对数周期天线作为收发天线进行准单站模式测量, 运用多种数字信号处理技术校准测试误差, 利用金属球在非光学区的频率特性进行定标, 实现了室内 UHF 波段高精度 RCS 测试。通过实验验证, 该方法可获取整个 UHF 波段的有效数据, 对于直径为 15 cm 的金属球, 全角域测试误差小于 ± 1 dB。

关键词: 雷达散射截面积; 步进频率系统; UHF 波段; 定标

中图分类号: TN 958

文献标志码: A

Indoor accurate RCS measurement and scaling technique on UHF band

LI Nan-jing, HU Chu-feng, ZHANG Lin-xi

(National Key Lab. of UAV Special Technique, Northwestern Polytechnic Univ., Xi'an 710072, China)

Abstract: A detailed method for obtaining an accurate RCS measurement on UHF band is given by using stepped-frequency systems. Based on the stepped-frequency signal, the quasi-monostatic measurement is carried out by relying on high performance absorbers and low scattering supports and employing two log-periodic dipole antennas, and many DSP techniques are applied to reduce the error. After scaling at the Rayleigh region of a metal sphere, the indoor accurate RCS measurement is completed on UHF band. Experimental results show that the valid data can be got in the whole UHF band, and the full angular measuring error is less than ± 1 dB for a metal sphere with a diameter of 15 cm.

Keywords: RCS; stepped-frequency system; UHF band; scaling

0 引言

众所周知, 同一目标对于不同的雷达频率呈现不同的雷达截面特征^[1], 对于一定尺寸的目标, 这一现象在低波段表现得更为明显, 因而寻找其随频率的变化规律, 无论对于隐身还是反隐身都具有重要的意义。

RCS 测量技术是研究目标雷达散射截面的一个重要手段。通过对各种目标的实际测量, 不仅可以取得对基本散射现象的了解, 检验理论分析的结果, 而且可以获得大量的目标特征数据, 建立目标特性数据库。RCS 测试根据测试场地的不同可分为外场测试和室内测试。外场测试容易受到环境气候的影响, 获得超宽带、高分辨、高精度测量值代价相当大。室内测试使得研究人员能够在可控、可测的电磁环境中工作, 设备代价小, 测试精度高, 而且减少了 1/3

以上的测试时间^[2-7]。

目前, 室内 RCS 测试主要采用紧缩场^[8-10], 其优点是将发射的球面波以空间滤波的方式转化为平面波, 使测试能够在近距离下满足远场条件, 避免了球面波照射引起的散射畸变。但当测试的频率较低时, 紧缩场存在严重的边缘绕射, 极大地影响了测试精度, 如何获取室内低频段高精度散射数据是 RCS 测试中的一个难点。本文尝试采用步进频率系统, 结合高性能硬件平台及多种数字信号处理技术, 实现 UHF 波段室内高精度 RCS 测试。

1 测试系统设计

测试系统的构成如图 1 所示。矢量网络分析仪发射步进频率信号, 经过功率放大器后, 通过宽带对数周期天线发射和接收, 测量采用准单站模式, 即收发天线在小双站角的

情况下等效于单站模式。主控计算机通过网线控制转台的转速及采样间隔,转台转动的同时给矢量网络分析仪发射触发信号,然后矢量网络分析仪进行测量,通过比较定标体和目标的回波电平值,确定目标的RCS大小。

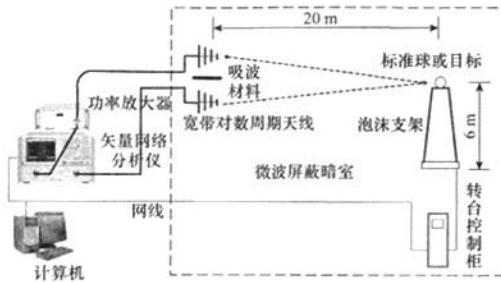


图1 系统构成图

2 信号处理技术

在室内进行UHF波段RCS测量时,由于吸波材料的性能下降,使得暗室里的杂波能量增强。另外,收发天线之间的耦合及转台转动带来的影响,都限制了测试的精度。本文使用一些信号处理技术^[2],减小这些因素所带来的影响。

2.1 傅里叶变换

傅里叶变换是一个十分重要的工具,无论是在一般的科学的研究中,还是在工程技术的应用研究中,它都发挥着基本工具的作用。步进频率系统利用矢量网络分析仪,测量处在起始频率和终止频率中间的各个离散点的频率响应,然后通过快速逆傅里叶变换得到其对应的时域响应,它显示的是不同时间(或距离)下目标的反射。通过时域响应精确地观察哪个距离上有反射,从而能及时地找出反射的原因,采取补救性的措施来改善暗室的测试环境,减小环境对测量造成的影响,提高测试的精度。

2.2 时域对消

低散射目标的回波能量往往淹没在噪声背景中,传统的方法是采用一个硬件对消系统,耦合一部分发射信号经移相器和衰减器,通过调节这一取样信号的幅度和相位与暗室的回波信号进行对消,从而减小杂波的影响,但这种对消器只适合于点频工作的情况。对于步进频率测试系统,可以通过时域对消来完成。它采用的方法是对暗室的频率响应作傅里叶变换,得到时域响应,将其存储于矢网中,然后利用对复数测量数据的矢量相减,从当前的测量数据中减去存储器中的数据,消除了收发天线之间的直接耦合波,以及来自暗室墙壁和目标支架的反射波,优化了测试的背景环境。

2.3 频域对消

时域对消针对一定角度下的杂波的去除非常有效,因而对于静态目标的测试比较实用。但随着转台转动,支架及附近的环境将产生变化,时域响应也会改变,将无法与存储器中的数据进行对消,因而对于全角域的RCS测试,主

要采用频域对消。该方法是先记录暗室每个角度下的频率响应,然后在不改变暗室背景的条件下,测量相同起始角度被测目标的频率响应,将所得到的两个频率数据进行复数值相减,从而消除测量目标时背景噪声变化所带来的影响。

2.4 距离波门

对步进频率系统测得的频域数据做傅里叶逆变换后,得到整个暗室的时域响应,通过时间与距离一一对应的关系,可以将时域信息转换至空域,即暗室内所有反射随空间位置的分布关系。于是,通过选择合适距离波门截取目标的回波能量,能够有效去除背景杂波(如天线之间的耦合)的干扰,提高频域数据的测试精度。

2.5 窗函数

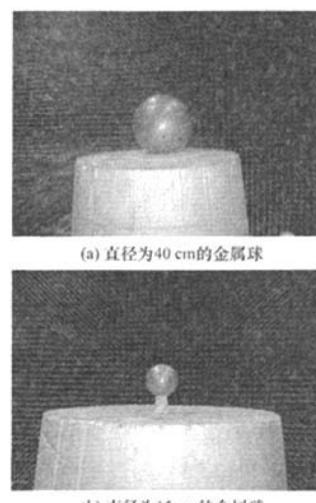
采用距离波门截取部分时域信息,相当于原信号频谱与窗函数频谱进行卷积,造成了恢复频谱的带内波动,减少了有效的频域数据,并且门的宽度越窄,接近真值的数据范围越小。对原信号频谱选择合适的窗函数,可以减少这种由数据截短所带来的影响。

3 定标方法

不论在瑞利区、谐振区或光学区,金属导电球是最有用的定标体^[11-12]。与光学区不同,在瑞利区或谐振区的散射主要由金属球的镜面反射和爬行波绕射构成,因而在时域上的等效路径会比较长,为了截取所有的回波能量,需要选择较宽的距离波门,导致了信噪比的降低。因此,在非光学区定标时,需要目标区的背景电平足够好,才能准确获得定标体的散射特性。

4 实验结果及分析

实验采用200 MHz~1 200 MHz的宽带对数周期天线作为收发天线,极化方式均为水平极化,频率步进点数为201,测试目标为直径40 cm和15 cm的金属球(见图2)。



(a) 直径为40 cm的金属球

(b) 直径为15 cm的金属球

图2 金属球照片

具体的测试步骤如下：

步骤 1 测量空暗室, 进行时域对消, 减小杂波影响。

步骤 2 测量目标, 将其变换到时域, 用距离波门截取高于背景的目标区, 然后反变换回频域, 记录数据。

步骤 3 测量定标体, 在相同距离波门内记录其频域数据。

被测目标的 RCS 由下式计算

$$\sigma_{\text{dRCS}} = S_{21} - S'_{21} + \sigma'_{\text{dRCS}} \quad (1)$$

式中, σ_{dRCS} 为被测目标的 RCS 真实值; σ'_{dRCS} 为标准球的 RCS 理论值; S_{21} 、 S'_{21} 分别为被测目标和标准体测试值。

若将直径为 40 cm 的金属球作为定标体, 直径为 15 cm 的金属球在某一角度下随频率的变化曲线如图 3 所示。

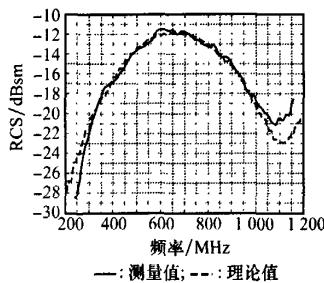


图 3 某一角度下的随频率变化曲线

从图 3 中可以看出, 在 300 MHz~1 000 MHz 的频率范围内, 测量值与理论值吻合较好。由于距离波门的影响, 导致频谱信息部分丢失, 因而频谱的两端起伏较大。

图 4 给出了中心频点处随角度变化的曲线, 图中幅度的起伏优于 ± 1 dB, 它反映了全角域内测试的误差。这两幅图说明了该系统能在整个 UHF 频段获得高精度的 RCS 测量数据。

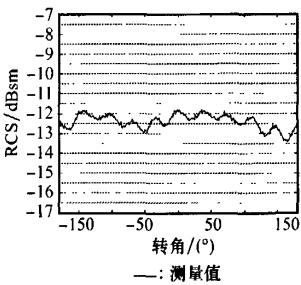


图 4 中心频率点(650 MHz)随角度变化曲线

5 结束语

通过上面的分析可知, 本文所采用的步进频率系统是一种具有高分辨率 RCS 测试系统, 通过改善背景环境扩大系统的动态范围, 增加发射信号的功率及频率稳定度提高测试的信噪比, 采用多种校准技术减小系统测试误差, 从而实现室内 UHF 波段高精度测试。同时, 改变收发天线后, 该系统及测试方法也可应用于更高频率的波段, 获得高精度的测试数据。

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.
- [2] 李南京, 张麟兮, 许家栋, 等. 远场 RCS 的精确测试方法研究 [J]. 现代雷达, 2006, 28(7): 70~73.
- [3] 李南京, 许家栋, 张麟兮, 等. 基于时域扫频法测量的 RCS 外推技术研究 [J]. 微波学报, 2007, 23(4): 24~27.
- [4] 刘密歌, 张麟兮, 李南京. 基于矢量网络分析仪的 RCS 测量系统及应用 [J]. 电子测量与仪器学报, 2007, 21(2): 82~85.
- [5] 薛元松, 许家栋. 提高测量 RCS 的扫频方法精度研究 [J]. 计测技术, 2006, 26(6): 29~31.
- [6] 王校辉, 许家栋. 扫频 RCS 测量技术及应用 [J]. 计测技术, 2006, 26(2): 39~41.
- [7] Hu Chufeng, Xu Jiadong, Li Nanjing. Application of DSP in the stepped-frequency RCS measurement system [C] // PIERS Online, 2008, 4(1): 77~80.
- [8] 何国瑜, 卢才成, 洪家才, 等. 电磁散射的计算和测量 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [9] Brumley S S. Extending the low-frequency limits of the compact-range reflector [J]. IEEE Trans. on Antennas & Propagation Magazine, 1996, 38(3): 81~85.
- [10] 刘继斌, 毛钩杰, 李高升, 等. 时域超宽带紧缩场雷达目标特性测量系统研究与开发 [J]. 国防科技大学学报, 2007, 29(2): 94~97.
- [11] 黄培康. 雷达目标特征信号 [M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [12] 宗有德, 黄培康. 散射截面测量 [J]. 系统工程与电子技术, 1987, 9(7): 1~17. (Zong Youde, Huang Peikang. Measurement of scattering cross section [J]. Systems Engineering and Electronics, 1987, 9(7): 1~17.)

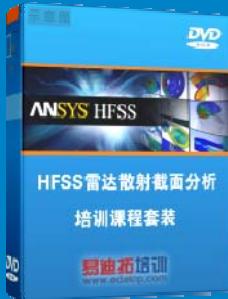
雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

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/>