

六端口技术在雷达目标散射截面分析中的新应用

孙 稼

(电子科技大学微波中心,成都)

摘要 本文分析了在普通实验室内用六端口技术测量目标散射截面(RCS)的一种新方法,并给出了其误差修正模型。同时对六端口反射计测量RCS的实验结果进行了讨论。

关键词 微波测量;六端口技术;雷达散射截面

1. 引言

测量雷达目标散射截面(RCS)对电磁理论、电磁工程方面的实际应用都具有十分重要的意义。要精确测量RCS的一个重要问题是如何消除测量数据中不需要的信号。以往的方法是把目标放在微波暗室中来进行测试,利用微波暗室的特性来严格控制背景干扰电平。然而要建立一座微波暗室是非常昂贵的,并非每个研究目标RCS特性的单位都有能力建立微波暗室。因此研究如何不在微波暗室中消除背景的干扰电平,对目标RCS进行扫频分析具有重要的理论意义和现实意义。本文将目前微波测量技术中新兴的六端口技术应用用于不在微波暗室内测量目标RCS。六端口技术在微波网络分析中已呈现出巨大的优越性,广泛应用于微波计量和微波工程测量。本文从理论上分析了用六端口反射计进行RCS测量的可行性。建立了用六端口反射计构成的测量系统。通过计算机软件功能和六端口技术的矢量分析功能,可以较好地消除不在微波暗室内测量时背景干扰电平的影响。提出了一种新的误差修正模型,推导了六端口测量系统不在微波暗室中的校准和测量RCS的公式。

2. 六端口技术测量目标RCS的新方法

目标RCS可以根据雷达方程

$$\sigma = \frac{(4\pi)^3 R_1^2 R_2^2 P_r}{G_r G_t P_0 \lambda^2} L_p \quad (1)$$

导出,式中, P_0 是发射天线的输出功率; P_r 是接收到的目标散射功率; G_r 和 G_t 分别是发射和接收天线在目标方向上的增益, R_1 和 R_2 分别是目标到发射和接收天线的距离; L_p 是极化失配系数。根据(1)式可以很容易地导出各种测量目标RCS的方法。例如驻波比法,空间分离法,连续波法,调频连续波法,多普勒位移法和扫频网络分析仪法等等。六端口技术测量目标RCS的系统电路如图1所示。该系统不用传统的矢量网络分析仪作

为接收机, 而用高性能价格比的单六端口反射计。这样既可以有高的测试精度和完善的测试功能, 又可以简化系统和降低成本。两路信号的分配采用高方向性的 10dB 定向耦合器。扫频信号发生器选用美国惠普公司的 HP8350B。系统中所有波导元件均采用普通国产商品。扫频六端口反射计在文献[1]中已有详细介绍, 控制系统选用长城 0520CH 微机。

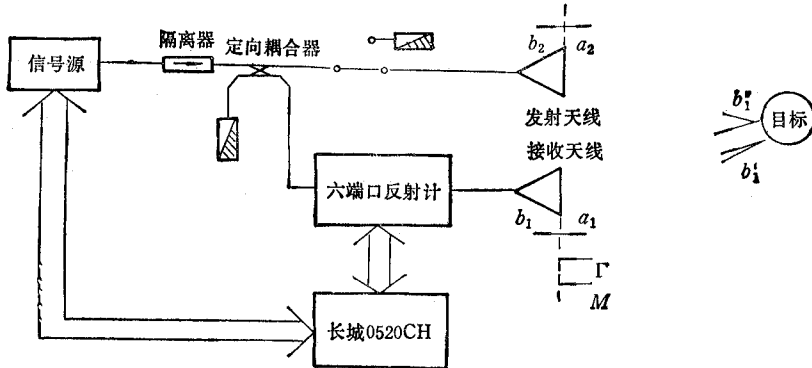


图1 六端口反射计测量目标 RCS 电路

在图1中, a_2 是发射天线的输出电压波; a_1 是接收天线的输出电压波; b_1 是接收天线的输入电压波; b_1' 是 a_1 经目标散射至接收天线的电压波; b_1'' 是 a_2 经目标散射至接收天线的电压波。六端口反射计的功能就是测量复反射系数^[2]。因此, 可以得到

$$\Gamma = (b_1/a_1)|_{a_2=0} = b_1'/a_1 \quad (2)$$

$$M = b_1/a_1 = (b_1' + b_1'')/a_1 \quad (3)$$

式中 Γ 是发射天线无源时六端口反射计测量出的反射系数; M 是发射天线有源时六端口反射计测量出的反射系数。可近似认为接收天线对 a_2 的反射可以忽略, 目标与天线之间的高次反射, 以及背景与天线之间的高次反射都予以忽略。

根据(1)式, 有

$$\sigma = k|b_1''/a_2|^2 = k|b_1'/a_1|^2 \quad (4)$$

式中 $k = (4\pi)^3 R^4 L_p / (G_r G_t \lambda^2)$ 。由于接收天线和发射天线彼此相邻, 近似认为 $b_1'' \approx b_2'$ 。

由(2)式和(3)式, 有

$$|M - \Gamma| = |b_1''/a_1| = |a_2/a_1| |b_1''/a_2| = |a_2/a_1| \sqrt{\sigma/k} \quad (5)$$

由于测试系统的微波硬件是固定的, 在某一特定频率下, 发射支路和接收支路的功率分配是恒定的, 即 $|a_2/a_1| = \sqrt{c}$ 。那么, 目标 RCS 可以表示为

$$\sigma = (k/c) |M - \Gamma|^2 \quad (6)$$

(6)式说明, 目标散射截面 σ 是六端口反射计测量出的有源反射系数 M 和无源反射系数 Γ 的函数。因此, 只要能想法校准测试系统的常数 k/c , 通过测量出有源和无源反射系数 M 和 Γ 就可以确定出目标散射截面 σ 。

由于不在微波暗室进行目标 RCS 的扫频测试, 势必存在背景对消问题。为了充分利用六端口反射计的矢量分析和计算机软件处理功能, 首先对环境散射截面进行校准。

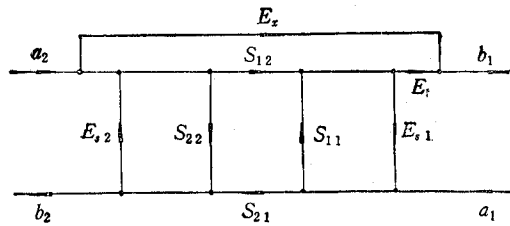


图2 一种新的测量 RCS 误差修正模型

(包括发射天线和接收天线之间的功率互漏,室内背景场地的散射,支架的散射等因素.) 为此,本文提出了六端口技术测量目标 RCS 的误差修正的新模型. 其信号流图如图 2 所示. E_x 是隔离误差因子, E_i 是参考目标跟随因子, $E_{i,1}$ 和 $E_{i,2}$ 是天线源匹配误差因子. 其中 E_x 用来修正室内的背景干扰和天线间的信号串扰. E_i 是根据参考目标特性来定标的. 为简单起见,假设 $E_{i,1}$ 和 $E_{i,2}$ 为零. 根据上面提出的六端口技术测试 RCS 的误差修正模型,作者编写了一套用于目标 RCS 分析的系统校准和测量的软件,步骤是:

(1) 利用文献[1]的方法校准扫频六端口反射计系统;

(2) 在普通实验室内,移去目标(但保留放置目标的支架),测量空房间的有源和无源反射系数 M_x 和 Γ_x , 以确定隔离误差因子 E_x ;

(3) 放置一已知 RCS 的标准目标 σ_0 (如金属球或金属板等), 分别测量出有源和无源反射系数 M_0 和 Γ_0 , 以确定目标跟随误差因子 E_i ;

$$\frac{k}{c} = \frac{\sigma_0}{|(M_0 - \Gamma_0) - (M_x - \Gamma_x)|^2} \quad (7)$$

(4) 放置任意待测目标,分别测量出有源和无源反射系数 M 和 Γ , 解出待测目标的 RCS

$$\sigma = (k/c)|(M - \Gamma) - (M_x - \Gamma_x)|^2 \quad (8)$$

3. 实验结果

根据图 1, 在扫频六端口反射计的基础上,建立了一套六端口技术测量目标 RCS 的实验系统. 利用天线测量最小测试距离的准则, 考虑到实验室面积的限制, 取测试距离 $R = 3.8\text{m}$. 目标采用尼龙绳悬挂. 校准散射标准采用正方形金属板. 由于喇叭天线带宽的限制, 仅在 9—10GHz 的范围进行了实验. 测量对象是两块金属板 ($15 \times 15\text{cm}^2$ 和 $20 \times 20\text{cm}^2$). 测试数据见表 1. 通过测试值和理论的计算值比较, 发现实验最大测试偏差为 $\Delta\sigma = 0.5\text{dBsm}$. 由于实验室背景散射截面 σ_b 已经很大(约 -20dBsm), 所以测试结果说明, 本文提出的用六端口技术不在微波暗室内测量目标 RCS 的方法是可行的. 本文提出的六端口技术测量目标 RCS 误差修正模型是正确的. 本测试系统对消除背景干扰电平的影响是成功的.

测试结果出现误差的主要原因有: (1)背景场地 σ_b 太大; (2)扫频信号源输出功率随时间有一定起伏; (3)实验室场地太狭小, 测试距离 R 不够理想; (4) 六端口反射计测量误差的传递.

表 1 六端口反射计测量目标 RCS 结果

频率 (GHz)	金属板 I (dBsm)			金属板 II (dBsm)		
	计算值	测试值	偏差	计算值	测试值	偏差
9.0	7.58	7.55	.03	12.58	12.82	-.24
9.2	7.77	7.48	.29	12.77	13.18	-.41
9.4	7.96	7.94	.02	12.96	12.48	.48
9.6	8.14	7.85	.29	13.24	13.04	.10
9.8	8.32	8.01	.31	13.32	13.74	-.42
10.0	8.50	8.38	.12	13.50	13.25	.25

4. 结论

把六端口技术应用到目标 RCS 分析中,是在普通实验室内进行目标 RCS 扫频测试的新途径。这一新方法具有测试精度高,处理速度快,自动化程度高,使用方便等优点。同时也是对六端口技术的新开发应用。

参 考 文 献

- [1] 孙稼,六端口技术的理论及其在隐身反隐身技术应用中的研究,电子科技大学博士论文,1989年9月。
 [2] S.H.Li, R.G.Bosisio, *IEEE Trans. on MTT*, MTT-30 (1982), 1085—1090.

THE NEW APPLICATION OF THE SIX-PORT TECHNIQUE TO MEASURE THE TARGET'S RADAR CROSS-SECTION

Sun Jia

(University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu)

Abstract A new method for measuring target's radar cross-section (RCS) in general laboratory by means of six-port technique and a new error correcting model are given. The six-port reflectometer circuit for testing RCS and some experimental results are also presented.

Key words Microwave measurement; Six-port technique; Radar cross-section