

文章编号:1673-1255(2008)03-0062-03

箔条云极化特性与雷达散射截面测量研究

胡守军, 刘丽君

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:从最一般的电磁波椭圆极化方程出发, 分析了线极化波和圆极化波的构成条件、极化分解和极化的合成方式; 探讨了箔条云的散射特性和极化特性; 重点研究了箔条云与测试雷达之间的极化特性匹配关系对散射截面测量结果的影响. 最后, 指出了箔条云雷达截面测量方式对箔条工程实践的作用.

关键词: 箔条散射; 极化特性; 雷达散射截面; RCS 测量

中图分类号: TN972'.41

文献标识码: A

Research on Chaffs' Polarization Characteristic and Radar Cross Section Measurement

HU Shou-jun, LIU Li-jun

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Based on the ellipse equation of electromagnetic waves, the composing conditions of linear and circular polarization wave, the decompounded and compounded polarizations of electromagnetic waves are analyzed. The scattering characteristic and polarization characteristic of chaff clouds are discussed; the influences for RCS measurements relating with polarization matching between chaff clouds and measure radar are detail discussed. Finally the RCS measurement methods of chaff clouds for design, test and application of chaff engineering are important.

Key words: chaffs' scattering; polarization characteristic; radar cross section (RCS); RCS measurement

箔条干扰是重要的雷达无源干扰手段, 箔条云对不同极化体制雷达的干扰效果是不同的, 已在 RCS 测量和实际应用中得到证实. 主要体现在 2 个方面: (1) 箔条云姿态分布与入射波极化特性的匹配程度; (2) 接收雷达的极化特性与箔条云散射波极化特性的匹配程度. 研究箔条云极化特性和雷达散射截面(RCS)测量之间的相关性, 对于箔条工程设计和检验具有重要的应用价值.

1 电磁波的极化理论

极化特性表征电场矢量的指向. 电磁波的极化分为线极化(水平极化和垂直极化)和圆极化, 最一般的情形是椭圆极化. 电偶极子是最自然的场源, 因

此线极化是最基本的极化形式, 圆极化是由线极化合成的^[1].

1.1 两极化波的合成场特征

电磁场由幅度、相位和极化方向所表征. 2 束入射波传播方向为正 Z 方向, 其合成矢量为

$$\vec{E}(\omega t + \phi) = \vec{E}_1(\omega t + \phi_1) + \vec{E}_2(\omega t + \phi_2) \quad (1)$$

$$\vec{E}(\omega t + \phi) = \hat{x} E_x(\omega t + \phi_x) + \hat{y} E_y(\omega t + \phi_y) \quad (2)$$

$$E_x(\omega t + \phi_x) = E_{1x} \cos(\omega t + \phi_1) + E_{2x} \cos(\omega t + \phi_2) \quad (3)$$

$$E_y(\omega t + \phi_y) = E_{1y} \sin(\omega t + \phi_1) + E_{2y} \sin(\omega t + \phi_2) \quad (4)$$

显然, E_x, E_y 满足一般化椭圆方程

$$AE_x^2(\omega t + \phi_x) + BE_x(\omega t + \phi_x) \cdot E_y(\omega t + \phi_y) + \\ CE_y^2 \cos(\omega t + \phi_y) + D = 0 \quad (5)$$

其中, A, B, C, D 为相应系数. 从式(5)可知:

(1) 两矢量空间相互垂直, 振幅不等, 相位差 $\neq n\pi/2$, 为椭圆极化波;

(2) 两矢量空间相互垂直, 振幅不等, 其相位差 $= \pi/2$, 为椭圆极化波;

(3) 两矢量空间相互垂直, 振幅相等, 其相位差 $= \pi/2$, 为圆极化波;

(4) 两矢量相位相同或相反, 不论幅度、空间关系, 为线极化波;

(5) 两矢量平行, 不论幅度、相位关系, 为线极化波.

1.2 极化分解与极化合成

可以证明, 2 个正交的线极化或圆极化波可以合成一个椭圆极化波, 反之一个椭圆极化波可以分解为 2 个正交的线极化或圆极化分量.

圆极化波既可以看成 2 列正交、等幅且相位相差 $\pi/2$ 的线极化波, 也可视为 1 列随时间旋转的线极化波, 依分析方便与否而定, 但其本质是由线极化合成的.

多个极化波形成的极化合成, 可将各极化波在同一坐标下分别分解为 2 个正交(水平和垂直, 左旋和右旋)分量, 再合成为 2 个正交的总场分量, 依其振幅大小及相位关系确定总场的极化特性.

2 箔条云散射特性和极化特性

箔条在受到雷达波照射时, 导体表面沿着长度方向产生感应电流分布. 这一感应电流产生二次辐射(称为散射), 向空间散射电磁波. 根据边界条件, 箔条散射对入射能量再分配, 不仅改变场强而且改变空间分布规律, 即是箔条的散射特性.

2.1 单根箔条斜入射的散射特性

箔条取任意姿态, 箔条中心位于原点, 电场入射方向与箔条轴向确定的平面与 E 面构成的夹角为 ϕ , 箔条接收的电场为^[2]

$$E = E_0 \cos(\phi) \sin(kl) \quad (6)$$

式中, kl 为沿箔条上各点的相位分布.

入射场幅度通常被简化为常量, 而相位变化与波长有关, 不能简化为常量. 根据电场边界条件, 单根箔条雷达散射截面为^[3]

$$\sigma(\Psi) = \frac{k^2 \eta^2}{4\pi} \cos^2 \phi \cos^2 \Psi \int_{-\frac{\lambda}{4}}^{\frac{\lambda}{4}} I(z') e^{ikz' \sin \Psi} dz' \quad (7)$$

在谐振状态下, 箔条上的电流分布满足正弦规律, 故有

$$\sigma_{\frac{1}{2} \max} = 0.86 \lambda^2 \quad (8)$$

2.2 平均有效雷达散射截面

当大量箔条投放到空间时, 箔条间距离较近, 相互耦合强烈, 箔条上感应电流分布复杂. 由于箔条数量巨大且箔条的姿态和位置变化不定, 其总散射截面必须经过简化才能够计算. 简单而实用的方法是: 假定箔条间距大于一定值后, 因为相互作用减弱, 各自独立贡献其散射能量. 将各种姿态箔条的散射转化为单根箔条各种姿态下的平均散射能力, 即等效为点源(全向)散射. 如此, N 根箔条的总有效散射截面为

$$\sigma_N = \sum_{i=1}^N \sigma_i = \alpha \bar{\sigma} \quad (9)$$

式中, $\bar{\sigma}$ 为单根箔条的平均雷达散射截面; α 为有效系数, 各种效应的影响, 由试验测定.

单根箔条的平均有效雷达截面为

$$\bar{\sigma}_{3, \frac{1}{2}} = 0.43 \lambda^2 \int_0^{\pi} \sin \Psi \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} \sin \Psi \right) d\Psi = \\ 0.15 \lambda^2 \quad (10)$$

2.3 单根箔条和箔条云的极化特性

单根箔条散射的极化特性是线极化. 当箔条处于 Z 轴姿态时, 其远场电场的极化方向始终处于经线方向(而磁场矢量始终处于纬线方向). 无论照射波为何种极化特性, 只有与箔条轴向平行的场分量产生感应电流, 其远场电场矢量方向不能发生改变. 圆极化入射波的场矢量是旋转的, 但散射场的矢量并不会旋转.

由于箔条云在空中杂乱无章的分布, 不满足圆极化波的构成条件, 箔条云的极化特性仍然是线极化. 箔条云对入射电场进行矢量分解, 产生出各种极化方向的线极化波. 有多少根箔条就有多少个独立散射源. 箔条的姿态和位置决定了它们的回波具有不同的幅度、相位和极化方向, 是线极化波的集合. 总散射场是各独立场的矢量迭加. 分 2 类 4 种情形:

(1) 入射场线极化(水平或垂直极化), 箔条云散射场为线极化. 因箔条长度、位置、姿态不同, 各独立场分解为水平和垂直 2 个正交分量, 分别进行代数迭

加.根据前面的讨论,水平和垂直分量都是线极化场.

(2)线极化雷达接收机对箔条散射场的线极化分解.雷达接收机对箔条的散射场按着自身的极化特性再次分解,满足投影关系,所接收到的能量有可能进一步降低.

(3)入射场圆极化,箔条云散射场为线极化.圆极化波经箔条的极化分解和散射,不再满足圆极化波幅度/相位关系,因为合成场的振幅是不确定的,旋转与否,旋转方向也是不确定的.

(4)圆极化雷达接收机对箔条线极化散射场的分解,有2种分解方法.①每根箔条的散射场均可分解为2个等幅但旋向相反的圆极化波分量,但各箔条的圆极化波分量之间的幅度、起始相位可能有所不同.将同一旋向的圆极化场代数叠加,得到2列旋向相反的圆极化波总场分量.②各散射场分解为正交(水平和垂直)的线极化分量并代数叠加,得到2个线极化总场分量.2个总场分量再圆极化分解,得到1列左旋圆极化波和1列右旋圆极化波,总散射功率一分为二.2种分解方法,其结果是相同的.

3 箔条云雷达散射截面测量

雷达发出的电磁波,遇到不连续介质发生反射(散射),遇电介质(或电导体)电场反向,遇磁介质(或磁导体)磁场反向.但是,电场和磁场不能同时反向.箔条云RCS实际测量时采用比较法.在雷达和被测箔条云位置的连线之间放置标准定标球,定标球通常是由系留气球升空的,也可以采用直升机吊挂定标球.测试定标球的雷达回波功率或电压之后,撤收定标球于雷达波束之外.投放箔条弹形成箔条云,测试箔条云的雷达回波功率或电压以及形成时间.如此循环得到多组数据.将两者进行比较计算得到箔条云的雷达截面.要求测试过程中雷达信号稳定一致,气象条件良好.

雷达散射截面的定义是雷达目标向接收雷达方向散射的功率与雷达发射到目标所在位置的功率密度之比^[4].即要求在同一平面界定场强,见图1.

箔条云RCS测量实际上是对不同极化特性的测量,箔条云和雷达的极化特性不匹配,测量结果必然出现很大差异.极化特性不同,或者极化特性相同,但极化方向不同均可造成差异.如前所论,箔条云的散射总场是线极化场,可以分解为2个正交的线极化波分量或2个正交的圆极化波分量.总散射

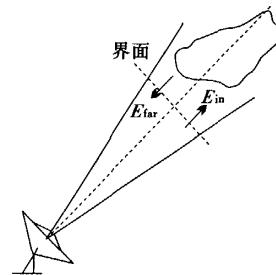


图1 箔条云RCS测量示意图

场中只有与雷达相同极化的分量被雷达所接收.根据定义,雷达散射截面包含箔条散射到指定方向上各种极化分量的散射效果,而实际测量只接受了一部分散射能量,这就造成了测量与理论的偏差.

3.1 水平极化RCS测量

雷达水平极化发射与水平极化接收,箔条云中处于水平状态的箔条接受的功率最大,产生的散射场功率最大;而其散射场也是水平极化,雷达接受的功率也最大,对雷达截面的贡献也最大.反之则相反.

3.2 垂直极化RCS测量

雷达垂直极化发射与垂直接收,箔条云中处于垂直状态的箔条接受的功率最大,产生的散射场功率最大;而其散射场也是垂直极化,雷达接收的功率也最大,对雷达截面的贡献也最大.反之则相反.

3.3 交叉极化RCS测量

雷达水平极化发射与垂直极化接收,箔条云中处于倾斜状态的箔条所形成的雷达截面相对最大.这种测量用于特殊情形.

3.4 圆极化RCS测量

飞机和舰船等雷达目标的表面由大尺寸的金属板组合而成,圆极化电磁波经1次反射其极化旋向相反.圆极化雷达要发现它们,雷达收发极化旋向设计是相反的.雷达圆极化发射与圆极化接收,箔条只接收与其姿态相同的极化分量,且其散射场为线极化.不管箔条何种姿态,线极化波分解为左/右旋等幅的2列圆极化波,其中一列被雷达所接收,而另

(下转第68页)

系统是否有数据返回,如果有返回数据,启动接收程序模块,按照接收命令通信表接收数据,将数据命令传送到网络接口板中指定的子地址数据缓冲区中,同时停止计时器,并且根据数据接口协议要求进行检查,检查应答数据是否正确,并判断响应时间是否

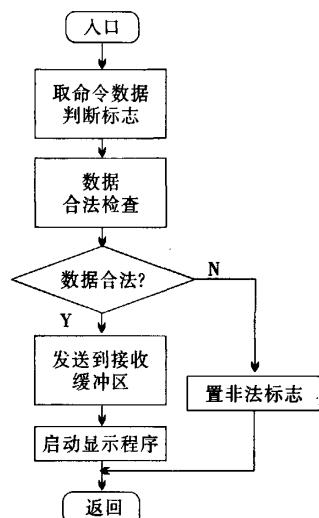


图 7 接收模块流程图

(上接第 64 页)

一列被雷达所排斥. 单根箔条散射场 $E_c = 0.707E_1$ 、 $P_c = 0.5 P_1$, 从相位中心点计算, 则箔条云 $\Sigma P_c = 0.5 \Sigma P_1$. 可见, 实测箔条云的雷达散射截面是其理论值的一半. 上述结论已经得到试验证明.

3.5 3 种极化 RCS 测量的差异

理想情况下箔条云为随机分布, 水平极化和垂直极化的 RCS 测量值没有明显差别. 由于箔条自身形状和大气流体力学的作用, 箔条云瞬间扩散时箔条姿态分布基本均匀, 雷达截面迅速增大. 之后, 水平姿态箔条比例逐渐增大, 水平极化 RCS 明显大于垂直极化 RCS, 低仰角测量时这种现象会更明显. 箔条云充分散开后, 不论箔条姿态是否均匀分布, 对圆极化 RCS 测量值影响不大. 上述结论已经得到试验证明.

4 研究结论

箔条云对 3 种极化雷达的测量结果是不同的. 稳定状态下, $RCS_{\text{水平}} > RCS_{\text{垂直}} \geq RCS_{\text{圆}}$. 箔条云垂直

符合要求. 通过 2 项测试为正常, 否则有故障. 其工作流程如图 7 所示.

4 结束语

随着传感器综合控制系统的广泛应用, 测试系统的研究越来越重要, 开放式结构测试系统会使系统的故障诊断、定位能力显著增强, 提高系统的维护能力. 本文介绍的传感器测试系统采用了开放式结构, 是目前较为普遍应用的测试系统设计方法, 其最大的优点是设计灵活、便于系统改造升级.

参考文献

- [1] 于劲松, 李行善. 美国军用自动测试系统的发展趋势 [J]. 测控技术, 2001(12): 1-3.
- [2] 孙柏林, 靳大安. 外军建模与仿真综述 [J]. 计算机仿真, 2002, 19(1): 7-8.
- [3] 乔立岩, 彭喜元. 开放式自动测试系统体系结构研究 [J]. 测试技术学报, 2004, 6(18): 206-208.
- [4] 王晓军, 徐志宏. 微机原理与接口技术 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.

极化 RCS 低于水平极化 RCS, 这是箔条自身姿态分布不均匀造成的; 箔条云圆极化 RCS 测量明显低于理论值, 这是雷达圆极化接收过滤造成的, 测量偏差需要纠正.

箔条云 RCS 测量结果反映了箔条云与测量雷达之间极化特性的匹配程度. 从理论角度, 应严格按照雷达散射截面定义确定箔条云的 RCS. 但在实际应用中, 箔条云所干扰的是具体的雷达, 其极化特性无法预知, 以 3 种极化中 RCS 最小者为设计和检验标准较为可靠. 实测时 3 种极化的 RCS 也不便于全部进行测量, 应根据一种测量结果为参照数据加以修正, 作为设计和检验的依据, 用于指导工程实践.

参考文献

- [1] [美] 克拉特. 雷达散射截面——预估、测量和减缩 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1988: 32-40.
- [2] 林象平. 电子对抗原理(下册) [M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 51-53.
- [3] 胡守军. 毫米波多散射单元线散射体的雷达截面计算 [J]. 毫米波与红外学报, 1999(4): 164-166.
- [4] 黄培康, 殷红成, 许小剑. 雷达目标特性 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 12-18.

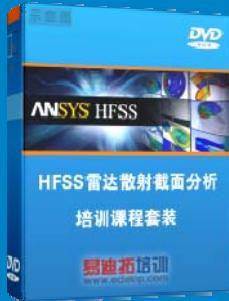
雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

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/>