

平面波谱理论在紧缩场干扰源分析中的应用

全绍辉, 何国瑜, 徐永斌

(北京航空航天大学电子工程系, 100083)

摘 要: 紧缩场(CATR)是近代高精度天线和雷达散射截面测量广泛采用的一种测试场地, 紧缩场研制的一个重要问题是机械装调后的电气测试调整. 根据平面波谱理论, 对静区空间场做反傅里叶变换, 可以在角度域反演出干扰波分布规律, 从而为排除干扰源提供理论依据. 本文给出了一系列干扰波和多列干扰波存在时静区幅相曲线和角域干扰波分布的仿真结果, 并介绍了工程应用的一个具体实例. 分析中采用副瓣电平可调的切比雪夫窗函数.

关键词: 紧缩场; 平面波谱; 雷达散射截面; 切比雪夫窗

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 12-1794-03

CATR Extraneous Source Analysis Using Plane Wave Spectrum Approach

QUAN Shao-hui, HE Guo-yu, XU Yong-bin

(Department of Electronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Compact Antenna Test Range (CATR) has become a popular alternative to conventional high accuracy antenna and RCS measurements. One of the key problems in CATR research and manufacture is electrical readjustment after mechanical installation and adjustment. According to Plane Wave Spectrum (PWS) theory, distribution of extraneous waves in angular domain will be obtained by making inverse Fourier transform to test zone field, which provides the guidance for eliminating them. In this paper, simulation results assuming there exist one or more extraneous waves are presented. An actual example in CATR engineering is also given. Chebyshev window, whose sidelobe level is adjustable, is adopted.

Key words: Compact Antenna Test Range (CATR); Plane Wave Spectrum (PWS); Radar Cross Section (RCS); Chebyshev window.

1 引言

紧缩场(CATR)是近代高精度天线和雷达散射截面(RCS)测量广泛采用的一种测试场地, 其基本原理是通过采用单反射面或双反射面系统, 将馈源发出的球面波在近的距离上“校正”成平面波.

紧缩场研制难度很大, 涉及到很多相关学科领域的尖端技术. 在紧缩场研制过程中的重要一环是机械装调结束后的电气测试调整. 在此过程中, 要通过分析静区幅相测试数据, 进行必要的电气设计和机械设计调整以及必要的环境改造, 以排除影响静区场性能的干扰源, 提高紧缩场的电气性能.

紧缩场干扰源泛指除反射面反射主波以外所有通过其它途径到达静区的电磁波. 干扰源的存在会在很大程度上影响紧缩场的技术指标, 并在紧缩场使用时造成测量误差, 因而必须在紧缩场电气调整中予以控制和排除.

根据射线光学理论, 紧缩场静区场可以认为是由以下几部分组成: (1)反射面反射主波; (2)缝隙、边缘绕射场; (3)暗室杂散散射场; (4)馈源直漏; (5)馈源与馈源支撑系统自身耦合二次辐射场; (6)馈源系统与反射面耦合二次辐射场. 在紧

缩场电气性能检测中, 由于需要在静区中安装测试支架, 影响测试结果的另一部分干扰还包括: (7)由探头后瓣和侧瓣方向接收到的支架系统散射场(广角); (8)由探头主瓣方向接收到的支架系统(包括探头)与紧缩场系统耦合场(近轴). 静区场结构的示意图如图 1 所示.

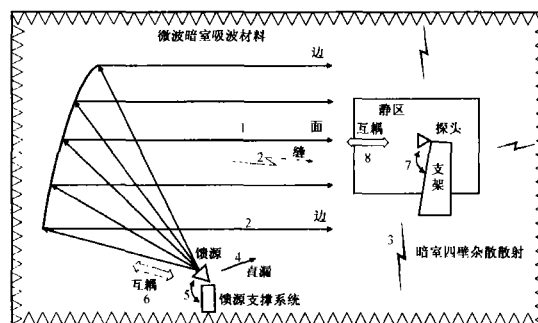


图 1 紧缩场静区场结构示意图(不成比例)

在确定干扰源的过程中, 需要定量判断干扰波的人射方向和大小, 以便最终确定干扰场来源及其产生机理. 这一方面要靠大量工程实践经验积累, 另一方面也需要进行理论和数

收稿日期: 2001-08-20; 修回日期: 2002-03-11

值分析.

根据平面波谱理论,假设静区是由来自空间各个方向平面波叠加而成,对静区场做反傅里叶变换,可以在角域上得到各个方向入射波分布规律.采用适当的窗函数,可以在角域上观察到 -60dB 乃至更低的干扰杂波分布.

2 平面波角谱

沿某一方向传播到静区的平面电磁波的电场复振幅表示式为

$$\text{场 } E(k) = E(k)e^{-k \cdot r} \quad (1)$$

式中 $k = (2\pi/\lambda)\hat{k}$ 为传播波矢量.建立如图 2 所示坐标系,则式(1)可以表示为

$$E(k_x, k_y) = E(k_x, k_y)e^{-j(k_x x + k_y y + k_z z)} \quad (2)$$

对于研究空间某一点 (x, y, z) ,总场振幅为通过该点的各个方向平面波的迭加,即

$$E(x, y, z) = \sum_{k_x, k_y} E(k_x, k_y)e^{-j(k_x x + k_y y + k_z z)} \quad (3)$$

写成积分形式

$$E(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(k_x, k_y)e^{-j(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y \quad (4)$$

对 $z=0$ 的平面

$$E(x, y, 0) = E(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(k_x, k_y)e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \quad (5)$$

根据傅立叶变换关系

$$F(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, 0)e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (6)$$

$F(k_x, k_y)$ 即为平面波角谱,为口径场的反傅立叶变换.

考虑到不同极化

$$E_x(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F_x(k_x, k_y)e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \quad (7)$$

$$E_y(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F_y(k_x, k_y)e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \quad (8)$$

$$E_x(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_x(x, y)e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (9)$$

$$E_y(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_y(x, y)e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (10)$$

3 仿真结果

在空中中,可将紧缩场系统看成一个非完善角谱滤波器,理想的紧缩场产生单一均匀平面波,平面波角谱为 δ 函数.存在干扰时,平面波谱在对应角度上将出现干扰分量.以下通过一组数值仿真结果来具体说明.在分析中假定电磁波工作

频率为 4.9GHz,采用副瓣电平可调的切比雪夫窗,以便根据不同需要调节窗函数副瓣电平.在观察近轴干扰场分布时,适当提高副瓣电平,提高近轴干扰分辨率;在观察广角干扰场分布时,为防止较弱干扰场淹没在副瓣中,可以降低副瓣电平.

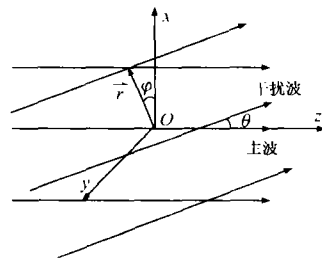


图 2

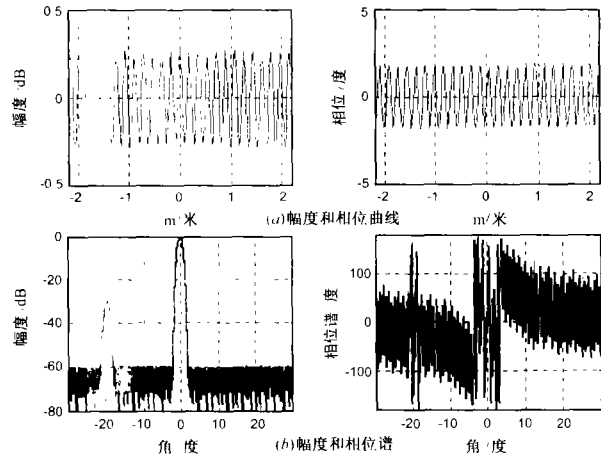


图 3

3.1 存在一列干扰波

假设干扰波的入射方向和电平分别为: $\theta = -20^\circ, E_r = -30\text{dB}$.静区场仿真结果如图 3 所示.图 3a 是由于干扰波存在形成的空间驻波幅度和相位曲线,纵坐标为幅度或相位,横坐标表示相对于静区中心的距离.图 3b 是对应的幅度谱和相位谱,纵坐标为幅度或相位,横坐标为角度.粗线为存在干扰的情况,细线为不存在任何干扰的理想情况.

3.2 存在多列干扰波

假设干扰波的入射方向和电平分别为: $\theta_1 = +5^\circ, E_{r1} = -20\text{dB}, \theta_2 = +20^\circ, E_{r2} = -25\text{dB}, \theta_3 = -10^\circ, E_{r3} = -18\text{dB}, \theta_4 = -25^\circ, E_{r4} = -30\text{dB}$.

图 4a 是存在这些干扰波时形成的空间驻波幅度和相位曲线,图 4b 是对应角谱分析结果,粗线表示有干扰情况,细线表示无干扰理想情况.

在远离主波方位,即干扰波入射角度增大时,根据谱分析计算的干扰角度与干扰波实际入射角度会略有差异,这是因为此时 $\theta \approx \sin\theta$ 近轴近似已不成立, θ 和 $\sin\theta$ 差别增大.

4 工程应用实例

图 5a 是一组紧缩场静区幅度和相位的实测曲线,从幅相曲线可以看出,曲线存在着幅度很大、周期较长的振荡波纹,表明静区存在着很强的近轴干扰场.

对图 5a 所示结果进行空间角谱分析得到图 5b 幅度谱和相位谱,为了提高近轴观察分辨率,采用副瓣电平为 -35dB 的切比雪夫窗.粗线表示对实测数据分析结果,细线表示理想无干扰情况.

由图可见,在 -3 ~ -2 度范围内存在电平约为 -23dB 左右的近轴干扰场.进一步研究表明,此干扰是由于馈源与自身支架系统耦合而产生的.

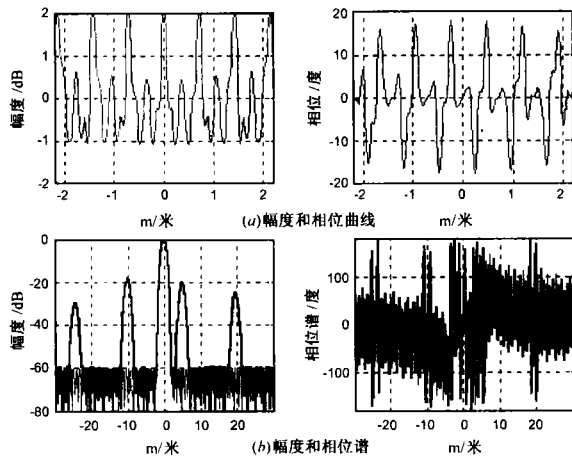


图 4

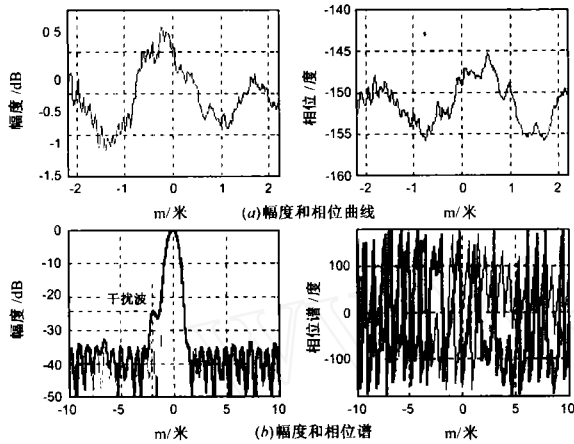


图 5

5 结论

紧缩场研制和使用过程中,为了提高紧缩场静区性能,必须尽量排除外来干扰场对测试静区的扰动.确定和分析干扰源方位和大小的一个有效方法是平面波谱理论.根据平面波谱理论,假设静区场是主波和空间各个方向干扰波的叠加,对静区场做反傅里叶变换可以得到干扰场角域的分布情况.数值仿真结果表明,平面波谱理论可以在角域精确预测干扰场的大小和方向.紧缩场工程实践也证明平面波谱理论对分析

干扰场的来源和产生机理有很好的指导作用.在平面波谱理论中作了平面波假设和小角度近似,因而在干扰波入射角度增大时,谱分析得到的干扰波入射角与实际会有偏差.尽管如此,谱分析能给出较好的近似结果,对进一步通过现场实验寻找干扰源方向是很有利的.平面波谱理论对近轴干扰的分析则更为有效.

参考文献:

- [1] E V 泽尔,邱文杰.口径天线的绕射理论[M].译,成都:成都电讯工程学院出版社,1987年.
- [2] McKay J P, Rahmat-Samii Y. Compact range reflector analysis using the plane wave Spectrum approach with an adjustable sampling rate [J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1991, 39(6): 746 - 753.
- [3] H G Booker, P C Clemmow. The concept of an angular spectrum of plane waves, and its relation to that of polar diagram and aperture distribution [J]. J Inst Elec Eng, 1950, 97: 11 - 17.
- [4] USNB AN: N82 - 15358 - 1981, Plane Wave Scattering Theory of Antennas and Antenna - Antenna Interactions [S].

作者简介:



全绍辉 男,1971年4月生于内蒙古赤峰市,讲师,北京航空航天大学电子工程系在职博士,感兴趣的研究领域为紧缩场技术、微波幅相测试技术、微波成像、微波精密测距等。



何国瑜 男,1938年7月生于浙江余姚,1960年毕业于北京航空学院,现任北京航空航天大学教授,博士生导师.目前主要从事大型紧缩场研制、微波成像、微波精密测距、新型微波-毫米波幅相测试系统研制等研究,国家科技进步二等奖和光华科技基金一等奖获得者,发表学术论文多篇。

徐永斌 男,1943年5月生于山东省招远市,高工,主要研究领域为紧缩场技术、微波精密测距技术等。