

文章编号:1671-0576(2012)03-0033-04

## 基于 FEKO 的天线罩瞄准线误差分析

吴秉横, 顾昊, 冯红全, 余兴

(上海无线电设备研究所, 上海 200090)

**摘 要:**对于雷达导引头而言,天线罩的存在会造成单脉冲天线的差方向图零深位置产生偏移,该偏移量称为瞄准线误差。瞄准线误差直接影响制导系统的跟踪精度,是天线罩的重要指标之一。本文利用基于多层快速多极子算法的 FEKO 软件对天线罩的瞄准线误差进行了分析,并与实测结果进行了比较。测试结果与仿真结果吻合良好,验证了仿真方法的正确性,有效解决了传统的高频近似算法分析天线罩电性能时自身具有的精度偏低等问题。

**关键词:** 天线罩; 瞄准线误差; 电性能仿真

**中图分类号:** TN 820.81

**文献标识码:** A

## Radome Boresight Error Analysis Based on FEKO

WU Bing-heng, GU Hao, FENG Hong-quan, YU Xing

(Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** In radar seeker system, the existence of the radome will make the electrical null position of the monopulse antenna difference pattern shifted, and the shifted angle is called boresight error (BSE). BSE is one of the most important specifications of radome, as it directly affects the tracking accuracy of guidance system. In this paper, the FEKO software based on the Multilevel Fast Multipole Method (MLFMM) is used to simulate radome's boresight error and the simulation results are compared with the measured results. The good coincidence between simulation and measured results proves the validity of the simulation method, which can effectively resolve the problem of low calculation precision which is existed in the traditional high-frequency algorithm when used in analyzing the electric property.

**Key words:** radome; boresight error; electric property simulation

### 0 引言

天线罩是航空器中广泛采用的天线保护装置

置,其引入会影响天线的方向图等电磁特性,其中最主要的是其将会使天线的波束指向发生偏移,产生瞄准误差。由于天线罩仿真计算规模较大,计算机的硬件配置难以满足要求,长期以来对天线罩瞄准线误差的分析一直局限在光学范畴内,计算精度难以保证,成为天线罩设计的重要瓶颈之一。随着计算机的硬件配置不断更新以及仿真软件的普及,天线罩的电性能分析步入了一个崭

**收稿日期:** 2012-08-17

**作者简介:** 吴秉横(1982—),男,工程师,博士,主要从事导弹天线罩设计与分析。

新的领域,借助电磁仿真软件的天线罩电性能设计成为研究热点之一。

目前,微波领域中几种常用的仿真软件主要有基于有限元算法(Finite Element Method, FEM)的 ANSYS HFSS 软件<sup>[1]</sup>、基于时域有限积分方法(Finite Integration Method in Time Domain, FIMTD)的 CST Microwave Studio 和基于矩量法(Method of Moment, MOM)的 FEKO 软件等<sup>[2-3]</sup>。在这些软件中,FEKO 软件以经典的矩量法(MOM)为基础,采用了多层快速多极子(MLFMM)算法在保持精度的前提下大大提高了计算效率<sup>[4]</sup>,在计算电大问题时展现出独有的速度优势<sup>[5-7]</sup>。除此之外,利用 FEKO 软件可以首先计算得到天线的口径场<sup>[8]</sup>,将此口径场作为激励代入天线罩模型进行瞄准线误差的分析,在减小计算模型、加快计算速度的同时保证了天线辐射的一致性。

本文应用 FEKO 软件对天线罩的瞄准线误差进行了仿真分析,分别给出了天线罩的建模和仿真流程,并与实测结果进行了对比分析。

## 1 天线罩瞄准线误差的概念及形成原理

### 1.1 天线罩瞄准线误差

天线罩引起的单脉冲天线的差波束零值位置的偏移量称为瞄准线误差<sup>[9]</sup>。

天线罩的瞄准线误差通常是用分来表示目标视在方向和真实方向之间的角间隔,即在无限远处由天线-天线罩综合体确定的目标角位置与单独由天线确定的目标角位置之间的差值。因此,天线罩的瞄准线误差一般是通过对天线远场差方向图进行处理后获得。

天线罩的瞄准线误差与天线罩的材料特性、结构外形、罩内天线类型、尺寸和相对位置、罩壁厚度等因素有关,并随着天线扫描角的变化而变化。

### 1.2 天线罩瞄准线误差形成原理

电磁波穿过天线罩的罩壁会造成幅度和相位的变化,而对于不同的入射角和罩壁的法向厚度,幅度和相位的变化是不同的。由于天线罩引起的相位变化导致通过天线罩后电磁波的波前不再是

距离天线口面等距离的平面,波前发生倾斜,波束指向发生偏移,形成瞄准线误差。

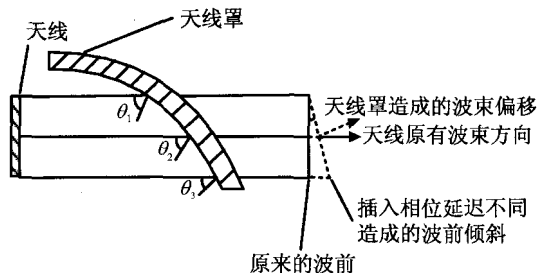


图 1 天线罩瞄准线误差的形成原理

图 1 为天线罩瞄准线误差的形成原理图。从图中可以看出,当从天线口面发出的平面波穿过天线罩时,天线罩的介电常数高于空气,会导致电磁波产生相位延迟,即插入相位延迟。而插入相位延迟量与入射角、电磁波入射点对应的法向壁厚以及天线罩的材料有关。

由于天线口面垂直发出的电磁波在天线罩壁对应的人射角不同,也就造成了不同的插入相位延迟,进而导致原来的波前不在平行于天线口面,波前发生倾斜,垂直于波前的天线波束指向同样发生偏移,形成指向误差。

对于天线罩的电性能设计,往往通过改变天线罩不同位置的厚度以弥补插入相位的不同,降低天线罩的瞄准线误差。

## 2 电磁仿真模型的建立

### 2.1 天线口径场计算

在分析天线罩对天线辐射方向图的影响时,需要将天线的口径场分布作为激励进行计算,因此需要首先获得天线的口径场分布。考虑到分析天线罩的瞄准线误差需要获得天线在不同转角情况下的天线罩对其的影响情况,因此在计算天线口径场时选择计算天线的球面近场分布,即计算一个完全包围天线模型的球面上的电场和磁场。图 2 所示为天线口径场的计算模型,图中所示的球面即为求解天线近场分布的区域。

### 2.2 三维几何模型建立和导入

为了实现天线罩的电气性能分析,在确定了天线罩的法向壁厚之后,需要对天线罩进行建模。根



后计算带罩情况下天线口径激励旋转不同角度情况下的零深位置,得出该转角情况下的瞄准线误差,将该数值与技术指标做除法,得到归一化瞄准线误差。将不同天线口径激励转角情况下的归一化瞄准线误差以天线转角为横坐标、瞄准线误差为纵坐标绘制在一张图中,得到天线罩的归一化瞄准线误差曲线,如图 7 所示。

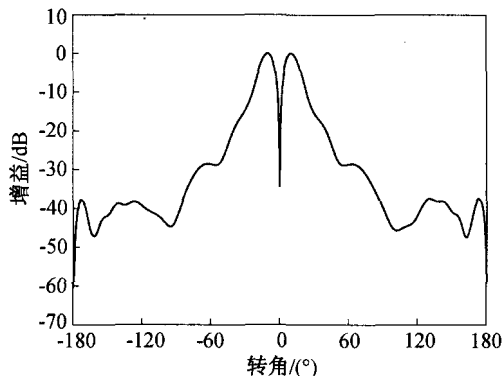


图 6 单脉冲天线的归一化差方向图

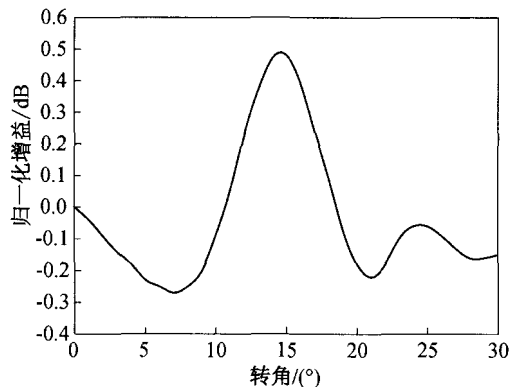


图 7 天线罩的归一化瞄准线误差曲线

将采用此方法计算的天线罩瞄准线误差曲线与实测结果对比,如图 8 所示的归一化瞄准线误差测试与仿真结果。从图中可以看出采用 FEKO 软件计算的天线罩瞄准线误差与实测结果吻合较好,具有较高的精度。

## 4 结论

本文以 FEKO 软件的口径激励技术和多层快速多极子算法为基础,对天线罩的瞄准线误差进行了仿真分析。仿真结果与实测结果吻合较

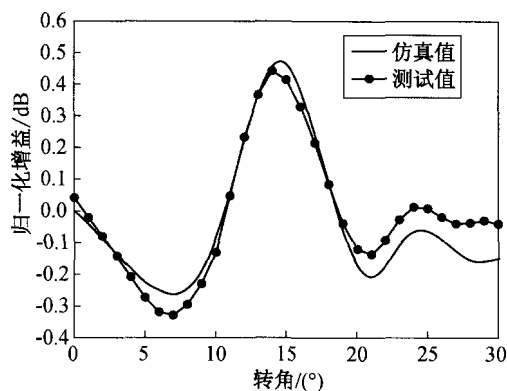


图 8 天线罩归一化瞄准线误差测试和仿真结果

好,说明采用该方法分析天线罩的瞄准线误差结果真实可靠,可以有效提高天线罩电性能设计的精度。

## 参考文献

- [1] M. V. K. Chari, P. P. Silvester(著), 史乃, 唐任远等(译). 电磁场问题的有限元解法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] T. Weiland. A Discretization Method for the Solution of Maxwell's Equations for Six-component Fields[J]. Electronics and Communication AEU, 1977, 31(7): 116-120.
- [3] R. F. 哈林登(著), 王尔杰等(译). 计算电磁场的矩量法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [4] 胡俊, 聂在平, 王军, 等. 三维电大目标散射求解的多层快速多极子方法[J]. 电波科学学报, 2004, 5(1): 18-20.
- [5] 肖运辉. FEKO 在汽车电磁问题仿真中的应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2010, 24(12): 102-105.
- [6] 孟雪松, 陈爱新, 王亚洲, 等. 利用 FEKO 仿真分析复杂载体对天线阵辐射特性的影响[J]. 中国制造业信息化, 2008, (12): 60-62.
- [7] 肖运辉, 李奕. FEKO 在航空航天天线仿真中的应用[J]. 系统仿真技术, 2008, 4(3): 203-207.
- [8] 李鹏, 郑飞, 季祥. 大型宽带反射面天线的机电耦合分析[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2009, 36(3): 473-479.
- [9] 张谟杰. 主被动复合天线罩瞄准线误差分析[J]. 制导与引信, 2003, 24(3): 33-37.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

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,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、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。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>