

# 利用 HFSS-IE 快速设计大口径卡塞格伦天线

刘元云

(上海无线电设备研究所 上海 200438)

**摘要:** 本文综述了 HFSS-IE 软件的技术特点, 并采用该软件快速设计了一个 2m 口径的单脉冲卡塞格伦天线。事实证明, HFSS-IE 采用矩量法技术, 适合计算开域问题。

**关键词:** HFSS-IE 卡塞格伦天线 单脉冲

## Design Large Cassegrain antenna With HFSS-IE

Liuyuanyun

(Shanghai Radio Equipment Research Institute, shanghai, 200438)

**Abstract:** This paper describe HFSS-IE's features, and use it, design a large monopulse Cassegrain antenna quickly. It prove HFSS-IE is an optional, add-on solver that uses the method of moments (MoM) technique to solve for the sources or currents on the surfaces of conducting and dielectric objects in open regions.

**Key words:** HFSS-IE Monopulse Cassegrain antenna

### 1 引言

卡塞格伦天线通常由主反射面、副反射面和馈源三者组成, 是广泛应用于卫星通信、微波中继通信、雷达和射电天文设备中的一种双反射面天线。

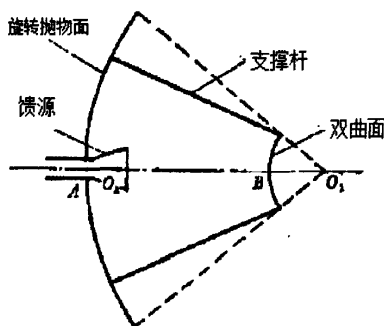


图 1 卡塞格伦天线组成示意图

主反射面是一个旋转抛物面, 副反射面是一个旋转双曲面, 通常用三或多根支撑杆把它固定在抛物面上, 馈源则可以采用多种多样的天线形式, 例如喇叭、波导辐射器、振子等。整个天线系统相对位置的剖面示意图见图 1。图中双曲面有两个焦点, 凹面对应的焦点  $O_1$  于抛物面的焦点重合,

凸面对应点的焦点一般于馈源的相位中心重合。

现今在一般的卡塞格伦天线设计中,大都采用几何光学法,市场上比较成熟的商业软件有 FEKO、GRASP 等。但是几何光学属于高频算法,计算精度不如 FEM、MOM、FDTD,尤其是在高性能单脉冲天线设计中,对天线副瓣、增益、差波束性能进行精确的预测是相当必要的。

HFSS-IE 是 Ansys HFSS 12.1 版本中可选基于矩量法的求解器,用于求解在开放区域中传导介质目标的表面电流等特性,计算大尺寸结构的效率很高。

HFSS-IE 拥有与 HFSS 一样的工业标准界面,能够与 HFSS 之间共享几何模型、材料特性,具有同样精确的求解技术。如同 HFSS,自适应网格剖分技术用于产生最佳的网格,给予用户精确的计算结果。求解器采用 ACA (Adaptive cross approximation) 方法与迭代矩阵求解器相互协同减少对复杂模型的内存需求,使得 HFSS-IE 适合于巨大模型的计算问题。

本文主要用 HFSS 与 HFSS-IE 协同设计一个 2m 的卡塞格伦天线。馈源在 HFSS 中建立,在 HFSS-IE 中通过数据链接的方式将 HFSS 中设计的馈源作为近场激励源,进行大口径天线的数值仿真。

## 2 单脉冲卡塞格伦天线设计

### 2.1 抛物面基本参数计算

本次设计中天线主反射面口径为 2000mm,工作在 X 波段,焦距为 800mm,焦距直径比  $F_m/D_m = 0.4$ ,放大率 M 为 6,次反射面  $D_s = 300mm$ 。首先根据卡塞格伦天线七大参数的几何关系计算。

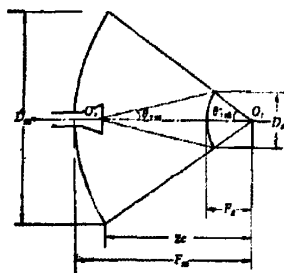


图 2 卡塞格伦天线几何参数

图中:  $D_m$  为主反射面直径;  $F_m$  为主反射面焦距;  $\theta_{1m}$  为抛物面的半张角;  $D_s$  此反射面直径;  $F_s$  为双曲面顶点于临近焦点的距离,也就是“焦距”;  $\theta_{2m}$  为馈源对副面的半张角;  $2c$  是实虚焦点之间的距离。

$$\theta_{1m} = 2 \arctan\left(\frac{1}{2(F_m/D_m)}\right) \quad \text{式 (1)}$$

$$M = \frac{\tan \frac{\theta_{1m}}{2}}{\tan \frac{\theta_{2m}}{2}} \quad \text{式 (2)}$$

$$2c = \frac{D_s}{2} \frac{\sin(\theta_{1m} + \theta_{2m})}{\sin\theta_{1m}\sin\theta_{2m}} \quad \text{式(3)}$$

$$F_s = 2c/(M + 1) \quad \text{式(4)}$$

根据式 (1)、(2)、(3)、(4) 分别计算出:

$$\theta_{1m} = 64^\circ; \theta_{2m} = 11.9^\circ; F_s = 112.2\text{mm}; 2c = 785.3\text{mm}.$$

根据以上设计参数可以在 HFSS-IE 中建立抛物面以及双曲面的模型。

## 2.2 单脉冲天线原理及馈源设计

单脉冲天线是一种用于精密跟踪制导的天线，而单脉冲体制只需要一个回波脉冲就能获得目标的距离和角坐标信息，其跟踪精度以及抗干扰能力相当优秀。

单脉冲体制天线的馈源要求能够辐射“和”、“差”方向图，其原理图见图 3。

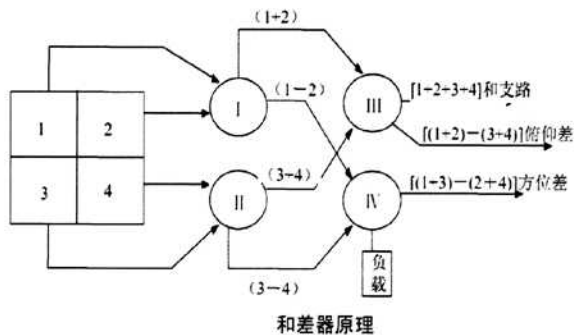


图 3 单脉冲体制天线原理图

本天线中采用小口径的缝隙天线作为馈源，实现良好的照射方向图，图 4 为馈源的方向图。

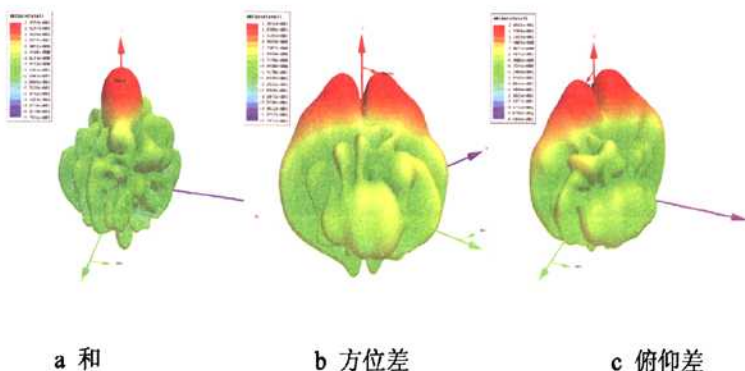


图 4 馈源的和差照射方向图

## 2.3 整体设计

根据前面设计的基本参数,在 HFSS12.1 中采用 HFSS 与 HFSS-IE 协同仿真的方式进行天线的整体仿真。首先在 HFSS-IE 中采用“Equation Based Curve”建立主、次反射面三维模型,如图 5。其中次反射面距离主反射面 687.8mm。

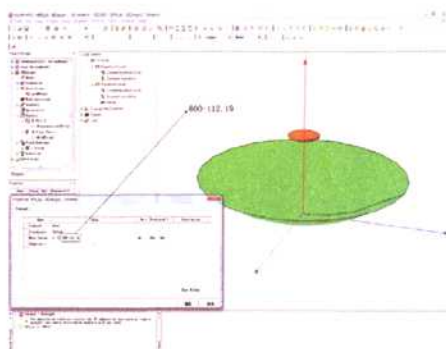


图 5 主、次反辐射面模型

然后在 HFSS-IE 中添加“Excitations-Incident wave-Near Field Wave”,如图 6,近场等效源设置为前一个馈源工程,馈源安装位置为 5.7mm。

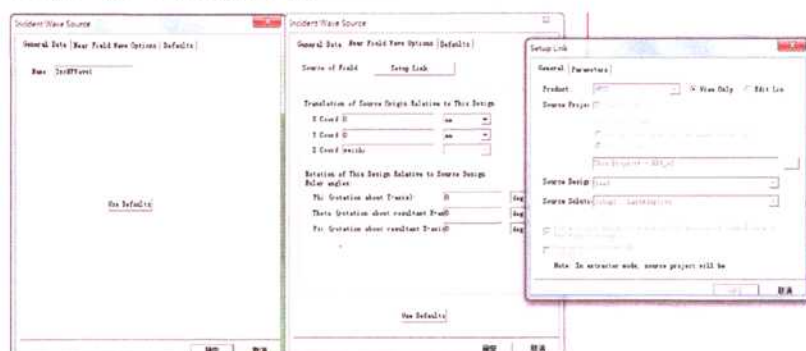


图 6 添加近场等效源

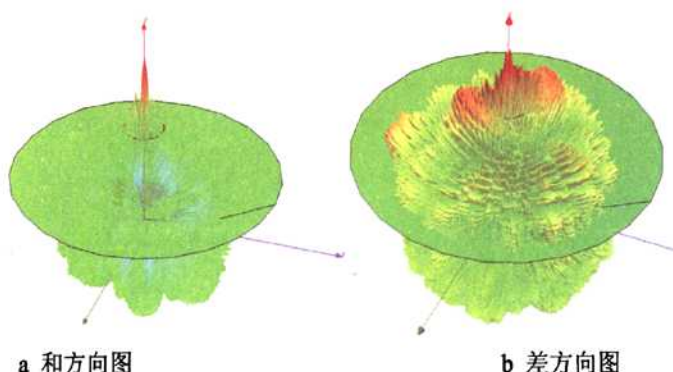


图 7 三维立体方向图

由计算出来的结果可以得出天线的副瓣电平为;天线 3dB 波束宽度为  $0.7^\circ$ ; 10dB 波束宽度为  $2.3^\circ$ 。单脉冲天线的相关计算参数见表 1。因在 HFSS-IE 采用等效源链接的方式进行天线的整体仿

真, 因此无法直接获取天线增益, 需要根据 3dB、10dB 波束宽度用式 (5) 计算, 然后减去馈源遮挡等影响。

$$Gain = 10 \log \left( \frac{\frac{31000}{\theta E_{3dB} \cdot \theta H_{3dB}} + \frac{91000}{\theta E_{10dB} \cdot \theta H_{10dB}}}{2} \right) \quad \text{式 (5)}$$

表 1 天线设计参数

指标	数值
天线增益	44.4dB
3dB 波束宽度	0.7
天线副瓣电平	-18dB
和差矛盾	3.6dB
零深	-35dB

## 2.4 结果及指标分析

在口径天线中, 通常采用式 (6) 来预测天线增益, 2m 口径 X 波段的的天线效率如果按照 60% 计算, 天线增益为 44.17dB, 可以看出与 HFSS-IE 计算得出的相当接近, 也直接证明了 HFSS-IE 计算的准确性。

$$G = \frac{4\pi S}{\lambda^2} \eta \quad \text{式 (6)}$$

图 7 的三维立体方向图表明, 卡塞格伦天线因受次反射面的遮挡影响, 天线的副瓣不会很好, 这也是为什么现在雷达制导单脉冲体制天线通常采用波导缝隙阵形式的原因之一, 但是卡塞格伦天线相对波导缝隙阵而言具有制造成本低, 结构简单。

关键还有一点在超过 1m 以上的大口径天线中, 采用波导缝隙阵天线是不现实的, 这个时候采用卡塞格伦天线就有相当大的优势。

## 3 总结

从这个工程设计过程中可以看出 HFSS-IE 相当适用于计算开域问题, X 波段的 2m 卡塞格伦天线计算时间仅耗时 36min, 消耗内存 5.76G, 如果采用 HFSS 的 FEM 算法, 64G 内存都不够。

HFSS-IE 继承了 HFSS 的自适应网格剖分技术, 优秀的网格剖分质量直接决定了计算精度。HFSS-IE 软件的推出, 以及与 HFSS 的动态链接, 为解决大口径天线的超大电尺寸计算提供了一种新的解决途径, 在抛物面、透镜等天线设计中具有很大的优势。

## 参考文献

- [1] 林昌禄, 天线工程手册, 2002.
- [2] 杨可忠, 现代面天线新技术.
- [3] ANSYS, HFSS online help.

## 作者简介

刘元云 (1978-), 上海华东师范大学毕业, 2001 年 7 月进入上海无线电设备研究所从事天线设计工作。

## 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>