

天线三维方向图的绘制方法

刘国玺, 毛贵海
(中国电子科技集团公司第 54 研究所)

摘要 反射面天线设计中数值计算与三维方向图的可视化输出是一个难点, 该文介绍了分析反射面天线辐射场的方法, 并进行了比较。给出了表面电流法的基本原理。运用 MATLAB 语言对反射面天线的辐射场进行了数值计算, 得到了天线的二维和三维方向图, 直观清楚地表现出辐射方向图的特点。

关键词 反射面天线; 表面电流法; MATLAB; 三维方向图

0 引言

MATLAB 是 MathWorks 公司的产品, 是一个为科学和工程计算而专门设计的高级交互式软件包。MATLAB 环境集成了图示与精确的数值计算, 是一个可以完成各种计算和数据可视化的强有力工具。MATLAB 已经成为一种十分灵活的、便于使用的工具。

天线的辐射方向图是表征天线性能的一个主要指标, 是天线的辐射参量随空间方向变化的图形表示。所谓辐射参量包括辐射的功率通量密度、场强、相位和极化, 在通常情况下, 辐射方向图在远区测定, 并表示为空间方向坐标的函数。天线方向图通常是用两个互相垂直的主平面的方向图表示, 称为平面方向图。天线的立体方向图形象、直观, 但画起来复杂。随着计算机及数值计算软件的发展, 使概念直观化, 理论结果可视化成为可能。

1 反射面天线理论

抛物面天线的分析方法一般有两种: 表面电流法和口径场法。根据等效原理, 如果已知任一包围场源的封闭面上的电磁场, 且封闭面外无场源, 就可用这个封闭面上的场作为二次源来替代原场源, 来唯一地确定封闭面外任一点的场。表面电流法和口径场法都是基于这一原理。①表面电流法: 根据馈源辐射到反射面的电磁场求出反射面上的感应电流分布, 再沿反射面进行积分来求辐射场; ②口径场法: 先利用几何光学原理求出抛物面口径面上的内场分布, 然后用波动光学的基尔霍夫绕射公式计算其辐射场。对于常用的抛物面天线, 在方向图主瓣和近副瓣区域, 两种方法算出的结构比较一致。但是, 对于远离主瓣的旁瓣以及后瓣, 口径场法就不准确了, 这时表面电流法却比较准确。基于这种原因我们采用表面电流法来计算反射面天线的辐射场。

馈源所辐射的电磁波激励抛物面, 在其表面上感应起表面电流, 于是抛物面上的任一面元都是一个辐射源。在一般情况下, 若已知馈源的方向图为 $G_f(\xi, \psi)$ 时, 则可按下式计算抛物面上的电流分布:

$$J = \frac{1}{120\pi} \sqrt{60P_i G_f 0} \frac{G_f(\xi, \psi)}{G_f(0, \psi)} \vec{n} \times [\vec{r}_i \times \vec{E}_i] e^{-jkr} \quad (1)$$

式中: P_i 为馈源的辐射功率; G_0 为在 $\xi=0$ 方向上馈源的增益; $G_f(0, \psi)$ 为在 $\xi=0$ 时 $G_f(\xi, \psi)$ 的值; \vec{r}_i 为由馈源向抛物面投射的入射线方向的单位矢量; \vec{E}_i 为沿入射线的 E 矢量方向的单位矢量; \vec{n} 为沿抛物面法线方向的单位矢量; R 为从焦点到抛物面上任一点的距离。

带有电流的抛物面上的任一面元, 都可以认为是能在远区产生电磁场的源。沿整个抛物面的表面积分, 即可得到总的辐射场:

$$E = \int_0^{D/2} \int_0^{2\pi} dE \quad (2)$$

2 MATLAB 数值计算

目前, 关于电磁仿真软件有很多种如: HFSS 高频结构电磁场仿真软件, CST 微波仿真软件等。但它们只能对一些微波器件方面进行仿真, 对于电大尺寸, 将给建模和计算带来很大的困难。Matlab 作为一个数学计算软件, 不仅在数值分析处理上独占鳌头, 而且其具有强大的图形绘制能力, 这为工程技术人员进行科学的研究提供了极大的方便。Matlab 可以绘制二维、三维乃至四维图形, 而且能对图形

进行线型、色彩、渲染、光线、视角等控制。

Matlab 进行数值计算的基本处理单位是复数数组，并且数组的维数是自动按照规则确定的，这样可使用户对程序更加易写易读。有些数学问题对一般的计算语言来说，必须采用多层循环才能得到结果，不但程序复杂，而且循环十分费时。Matlab 处理这类问题则简洁快捷得多，它只需直截了当的一条指令，就可获得同样的计算结果。利用 Matlab 能把许多复杂的函数计算变成数组运算，通过其强大的数组运算来简化运算过程。

在天线的方向图计算中，如果用其他计算机语言进行编程计算，则程序十分复杂，一般也只能输出二维的方向图图形。若要输出三维的方向图图形，就必须具备很高的编程技巧，而这对于天线工作者来说是比较困难的。运用 Matlab 进行编程，只需几条语句即可解决问题。

在编程过程中所用到的主要语句格式及功能有以下几个：

① $\text{Polyfit}(x, y, n)$ ——用最小二乘法对输入的数据 x 和 y 用 n 阶多项式进行逼近，函数返回多项式的系数。

② $[X, Y] = \text{meshgrid}(x, y)$ ——用于生成 xy 平面节点矩阵。其中， x 和 y 都是向量， X 和 Y 都是矩阵， X 的每行都是由向量 x 构成，而 Y 的每列则由向量 y 构成，这样， xy 平面就按照 X 和 Y 矩阵分割成了一些小矩形单元。

③ $\text{Int}(\text{function}, \text{var}, \text{积分下限}, \text{积分上限})$ ——用于求解函数在积分上下限间的积分值。

④ $\text{Besselj}(n, z)$ ——计算 n 阶第一类贝塞耳函数的值。

⑤ $\text{Log10}(x)$ ——对 x 取以 10 为底的对数。

⑥ $\text{Plot}(x, y)$ ——用于绘制自变量 x 向量对函数值 y 向量的二维图形。

⑦ $\text{Mesh}(X, Y, Z, C)$ ——由 3 个矩阵 X, Y, Z 绘制空间网线图，即以矩阵元素为空间坐标在空间描点作图，点与点之间用线段连接。 C 为颜色矩阵，表示在不同高度下的颜色范围，这样得到的三维图形层次比较清楚。

运用 Matlab 绘制反射面天线方向图流程图如图 1 所示。

3 算例

根据以上算法，对某工程用 4.5m 天线进行了实际验算。该天线的主要技术指标有：天线口径：4500mm；中心频率：1.5GHz；焦距：1485mm；馈源照射角：149°。通过计算得出了天线的二维和三维方向图，分别如图 1～图 3 所示。

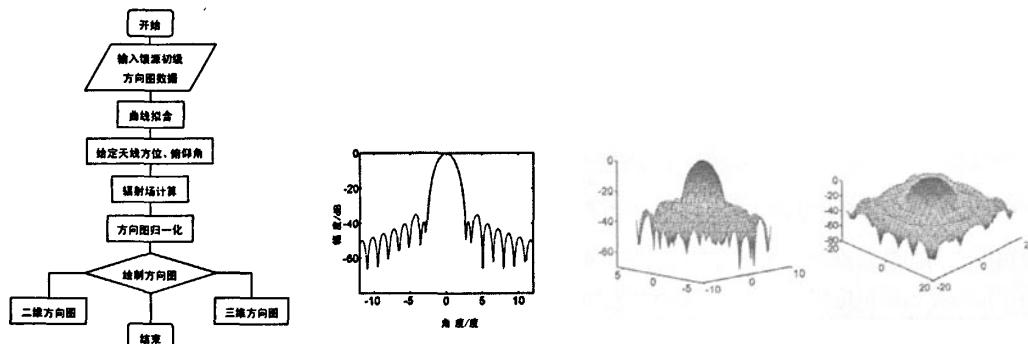


图 1 天线方向图绘制流程图

图 2 天线的二维方向图

图 3 天线的三维方向图

4 结束语

本文讨论了使用 Matlab 辅助分析反射面天线辐射方向图的方法。从抽象的参数方程到三维方向图，清晰地展示了天线的辐射场随空间的变化，使概念直观化，理论结果可视化。天线技术涉及到大量的数学公式和抽象的概念，辐射场的方向图以三维图形描述比二维形式更加形象，给人的印象更加深刻。

天线设计中，如果能合理使用 Matlab 语言，可以达到事半功倍的效果。当然，本文对 Matlab 语

言在天线中的运用，还只是一种初步的尝试，希望能起到抛砖引玉的作用。

参考文献

- [1] 何仁斌. MATLAB 6 工程计算及应用 [M]. 重庆, 重庆大学出版社, 2001.
- [2] 魏文元等. 天线原理 [M]. 北京, 国防工业出版社, 1985.
- [3] 任朗. 天线理论基础 [M]. 北京, 人民邮电出版社, 1980.
- [4] 朱崇灿等. 天线 [M]. 武汉, 武汉大学出版社, 1996.
- [5] 许波等. MatLab 工程数学应用 [M]. 北京, 清华大学出版社, 2000.
- [6] 张立东. MATLAB 语言在天线设计中的运用 [J]. 制导与引信, 2004, 25 (1): 34-37.
- [7] 王曼珠等. MATLAB 在天线方向图中的应用与研究 [J]. 电气电子教学学报, 2004, 24 (4): 24-27.

作者简介

刘国玺 (1970-), 男, 中国电子科技集团公司第 54 研究所高级工程师, 硕士, 主要从事天线设计。

毛贵海 (1970-), 男, 中国电子科技集团公司第 54 研究所高级工程师, 主要从事天线及相关电磁理论研究。

(上接第 327 页)

表 2 场地法测量地球站最大 EIRP 的均方根误差

主要误差源	误差 (dB)
标准喇叭天线增益误差	± 0.10
频谱仪读数误差	± 0.10
接收电缆校准误差	± 0.10
有限测试距离引起的误差	- 0.15
地面反射引起的误差	± 0.15
极化失配引起的测量误差	- 0.05
阻抗失配引起的测量误差	± 0.05
天线指向误差	- 0.10
均方根误差	± 0.30

4 结束语

本文简述了利用场地法对地球站系统最大 EIRP 测量的原理和方法, 给出了 EIRP 计算公式, 对地球站最大 EIRP 测量的误差进行了分析和估算, 其均方根误差 $\pm 0.30\text{dB}$ 之内。结合具体工程实例给出了 L 波段 16 米天线地球站最大 EIRP 值的测量结果, 其测量结果和系统最大 EIRP 理论计算比较吻合, 在地球站最大 EIRP 的测量中具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] INTELSAT SSOG 210, Earth station verification tests[S], 14 February , 2000.
- [2] 秦顺友, 许德森编著. 卫星通信地面站天线工程测量技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [3] 殷琪编著. 卫星通信系统测试[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [4] 毛乃宏, 俱新德等编著. 天线测量手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987.
- [5] INTELSAT Earth Station Technology. Revision 5, June, 1999.

作者简介

王小强 男, (1974-), 工程师。主要研究方向为: 天线测量技术及软件编程、天线电参数测试精度研究、微弱信号检测等。曾获部级科技进步一等奖 1 项。

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、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)，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>