

电离层雷达天线的计算机模拟与设计

林晨 宁百齐

(中国科学院武汉物理与数学所, 430071)

摘要 利用计算机进行天线系统的辅助设计及分析已有很长的时间了, 早期的工作主要是对于天线设计中大量复杂的电磁理论公式的计算, 编制一些程序来进行数值计算。近年来, 随着计算机软硬件技术的发展, 天线的计算机辅助设计有了很大的飞跃。本文介绍了一种利用天线模拟软件来进行电离层相干散射雷达天线阵设计的方法, 对设计原理、步骤作了较为详细地说明, 并给出其设计结果。

关键词 计算机辅助设计 天线模拟 NEC-2

1. 引言

天线是所有需要接收和辐射电磁波的无线电设备中不可缺少的组成部分。例如广播、通讯、雷达、电视等设备都离不开天线装置。因此, 如何设计合理的天线并有效地利用天线来实现其各种功能, 一直是一个非常重要的问题。

在天线的设计过程中, 我们一方面要注意天线的电特性, 另一方面也要注意天线的机械特性, 即是根据天线的电参数, 如工作频率、增益、带宽、输入阻抗等, 来确定天线的结构参数。由于天线的结构参数对电性能的影响不同, 数学计算比较复杂, 以往设计天线是先根据天线理论及经验公式估算结构参数, 然后通过大量实验反复调整, 最后予以确定^[4]。因此, 研制一副天线要耗费大量人力与物力, 研制周期相当长。

随着计算机技术的发展, 已大量应用计算机来辅助设计天线。所谓天线的计算机辅助设计, 是利用计算机进行模拟实验, 以快速、省力、经济的计算代替繁重的实验, 来确定天线满足电参数所需的结构参数。

早期的计算机辅助设计天线只是单纯地利用一些编译的程序来代替人工计算^[5]。现在, 随着计算机软件技术的发展, 出现了许多模拟天线的软件。本文中, 我们利用天线模拟软件 *EZNEC 3.0* 来模拟并设计电离层相干散射相控阵天线, 介绍天线模拟的原理和方法, 给出最后的设计结果。

2. 基本原理

近年来, 在分析电磁场的问题时广泛应用了计算机技术^[2], 由此而产生了许多用来设计和分析天线的软件, 如W7EL's *EZNEC*、VE2GMI's *NEC4/WIN*、SM5BSZ's *YOLIN*和WA7RAI's *Quickyagi*等。这些软件不再是单纯地计算数值, 它们可以显示天线的二维或三维的构型, 使数值计算结果形象化、易于理解, 同时还可以对天线系统的工作过程作一完整的描述, 大大简化了天线的设计工作。

这里我们选用的是*EZNEC 3.0*, 该软件是以天线设计的世界标准代码 **NEC Code** (Numerical Electromagnetic Code) 为核心的。**NEC Code**是一种用于分析天线和其它金属结

构的电磁响应的计算代码，它通过计算电磁场的一些积分等式来数值化分析天线周围的电磁场^[1]。这种方法避免了其它分析电磁场的方法中对大量假设的简化，为电磁场的分析提供了一个准确度高、用途广泛的好工具。经过几十年的发展，NEC Code产生了BRACT、AMP、NEC-1和NEC-2等一系列代码，每一种代码都是在前一种代码的基础上发展而来的，其中最新的NEC-2，其应用也最广。NEC-2在保留NEC-1各种功能的同时，又增加了一些新的内容，其中最重要的是用数值化的格林函数来求解分块矩阵以及对地面损耗的处理，这对于分析那些比较接近地表的天线是很有用的^[3]。

NEC-2用于分析天线的模式很多，主要有天线元模式、馈源模式、地面模式等^[2]。在天线元模式中，对于线天线，NEC-2是将天线元分割成若干个直线段来模拟上面的电流分布，并由此获得近场和远场的辐射；若是面天线，则将整个面分割成若干个小块进行分析。在馈源模式中，NEC-2既可以模拟电流源，也可以模拟电压源，并且对各种源的大小、相位、馈入位置作出准确分析。在地面模式中，NEC-2利用了Sommerfeld积分式来精确模拟各种地面情况，不管是理想地面还是真实地面，又或是自由空间，都可得到很好的结果。

3. 天线设计方法

在武汉电离层观象台电离层雷达相干散射相控阵天线的设计中，我们利用天线模拟软件，使设计过程得到了很大简化。

3. 1. 设计要求：

- * 较窄的波束（半功率主瓣宽度：方位角上在10°以内，仰角上在25°以内）
- * 波束在水平方向实现±20°的相位扫描
- * 工作频率为50MHz，频带宽度为2MHz
- * 波束仰角为45°

3. 2. 设计步骤：

* 单天线的设计：

根据设计要求，我们选用了八木引向天线，因为它不仅有较高的方向性增益，而且结构简单，制作方便。在确定单天线的尺寸参数时，我们是先由天线理论、经验公式和常用尺寸范围导出，然后利用*QuickYagi*，对单天线的尺寸进行优化，直到得出最佳的参数。此外，还可直接由*QuickYagi*得出单天线的尺寸参数。

* 天线阵的设计：

由于天线阵可以有效地提高天线的方向性，而我们希望得到较窄的波束并且能够实现一定空间范围内的相位扫描，所以将多个引向天线组成一个相位扫描天线阵^[4]。在充分考虑天线个数、排列方式以及天线馈电和地面情况后，我们选择了天线阵的一组结构参数，并由此来计算天线的电特性。将计算得到的电参数与要求值比较，如果不符设计要求，重新选定一组结构参数进行计算，直到满足给定的电参数要求为止。最后，将满足电参数要求的结构参数进行微小的调整，确定天线的最终参数。

3. 3. 设计结果

在上述的设计过程中，我们利用了EZNEC 3.0来对多种构型的天线阵进行计算和模拟，并对计算结果作了比较，如表1、表2、表3所示。表1中我们比较了天线与地面平行和与地面成45°夹角的两种情况；表2中比较的是由5单元的单天线排成的2*12、2*11、2*10

和 2*9 的四种阵列；表 3 中比较的是分别由 5 单元的单天线和 4 单元的单天线所排成的 2*12 的天线阵。此外，我们还对不同的地面情况也进行了模拟，均得到了较好的结果。通过比较发现：天线与地面成 45° 夹角时，天线波瓣存在较大的副瓣；少于 2*12 的天线阵则在方位角上主瓣宽度不能满足要求；另外，5 单元的单天线排成的天线阵比 4 单元的单天线所排成的天线阵具有更大的辐射功率前后比。综合这些因素，我们最终选定了由 5 单元的单天线排成的 2*12 的阵列，且天线与地面平行，如图 1 所示。将设计的天线结构参数输入 *EZNEC 3.0*，软件计算得出的天线方向图如图 2 和图 3 所示。图 2 显示的是仰角和方位角上的二维的天线阵方向图；图 3 显示的是波束进行了 $\pm 20^\circ$ 偏转的二维天线阵方位角上的方向图。设计的主要参数如表 2 第 1 列所示，均能满足设计要求。

4. 结论

计算机天线模拟不仅能节约大量人力和物力，缩短设计周期，并且能取代繁重的人工计算和实验模拟。此外，新的数值方法使得结果更准确和可靠，还能将设计结果进行可视化处理，直观的显示出设计结果，并模拟天线的实际工作情况，这将为天线系统的设计、分析及功能的模拟仿真提供一种有价值的方法。

	2*12 4-Element Array	
	(zero tilt)	(45° tilt)
Gain	23.58 dBi	22.32 dBi
Take off	46 deg	48 deg
3dB Elevation	24.3 deg	25 deg
3dB Azimuth	8.6 deg	9 deg
Front / Back Ratio	14.72	16.48

表 1：由 4 单元的单天线与地面平行排阵和与地面呈 45° 排阵所得结果的比较

	5-Element Array			
	2*12	2*11	2*10	2*9
Gain	23.38 dBi	23.01 dBi	22.6 dBi	22.16 dBi
Take off	46 deg	46 deg	46 deg	46 deg
3dB Elevation	23.5 deg	23.5 deg	23.6 deg	23.6 deg
3dB Azimuth	8.6 deg	9.4 deg	10.2 deg	11.4 deg
Front / Back Ratio	21.9	21.93	21.96	21.99

表 2：由 5 单元的单天线排成的四种不同阵列所得结果的比较

	2*12 5-Element Array	2*12 4-Element Array
Gain	23.38 dBi	23.58 dBi
Take off	46 deg	46 deg
3dB Elevation	23.5 deg	24.3 deg
3dB Azimuth	8.6 deg	8.6 deg
Front / Back Ratio	21.9	14.72

表 3：分别由 5 单元的单天线和 4 单元的单天线排阵所得结果的比较

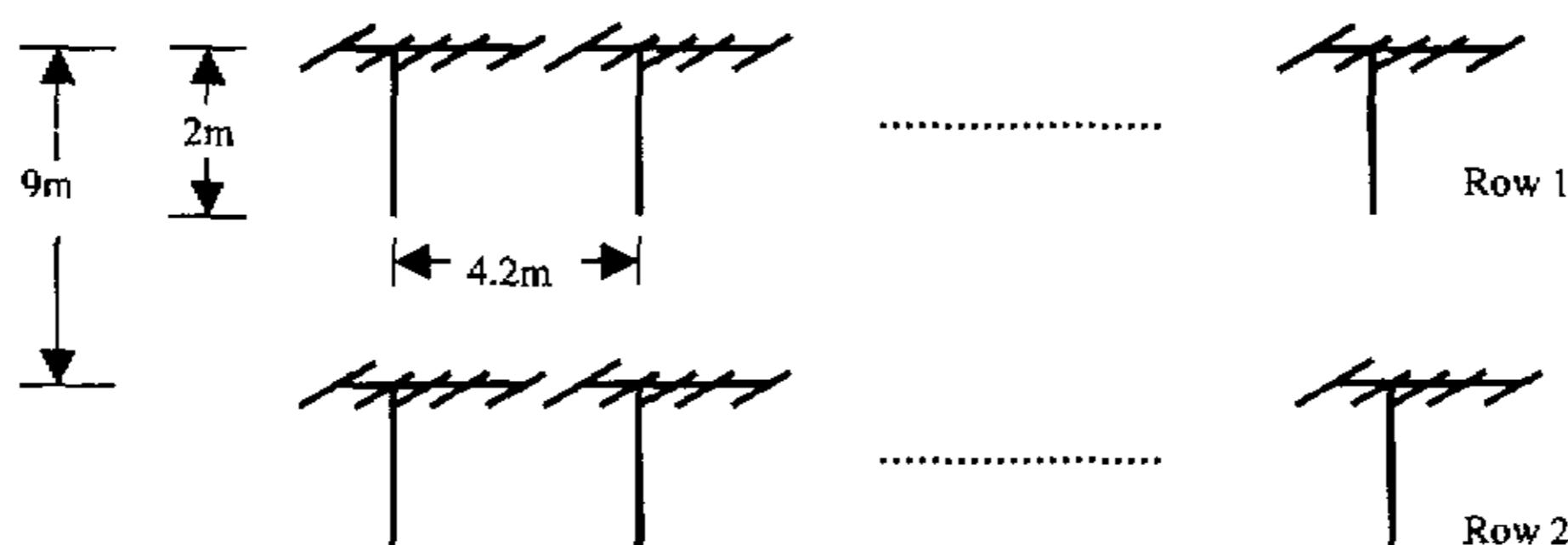


图 1 天线阵构型图

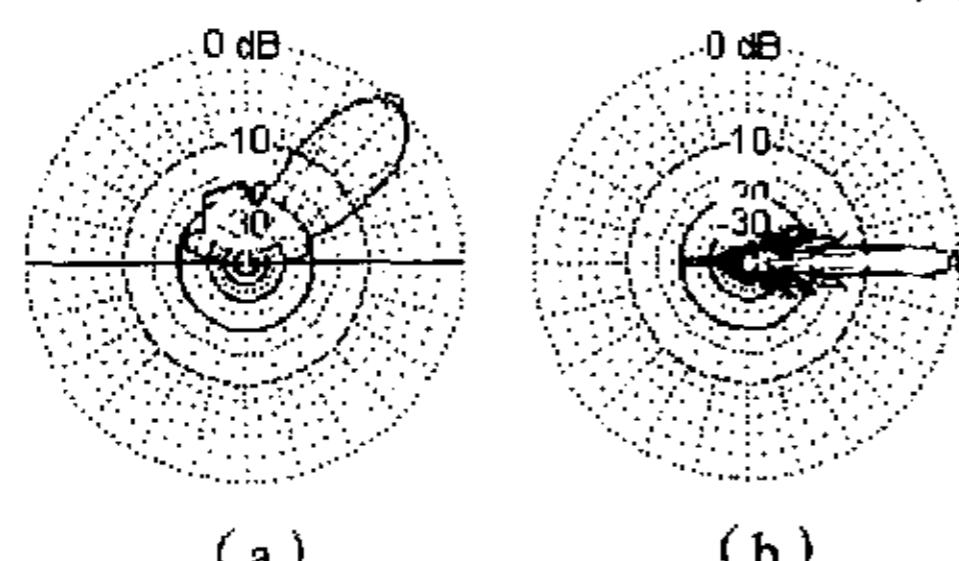
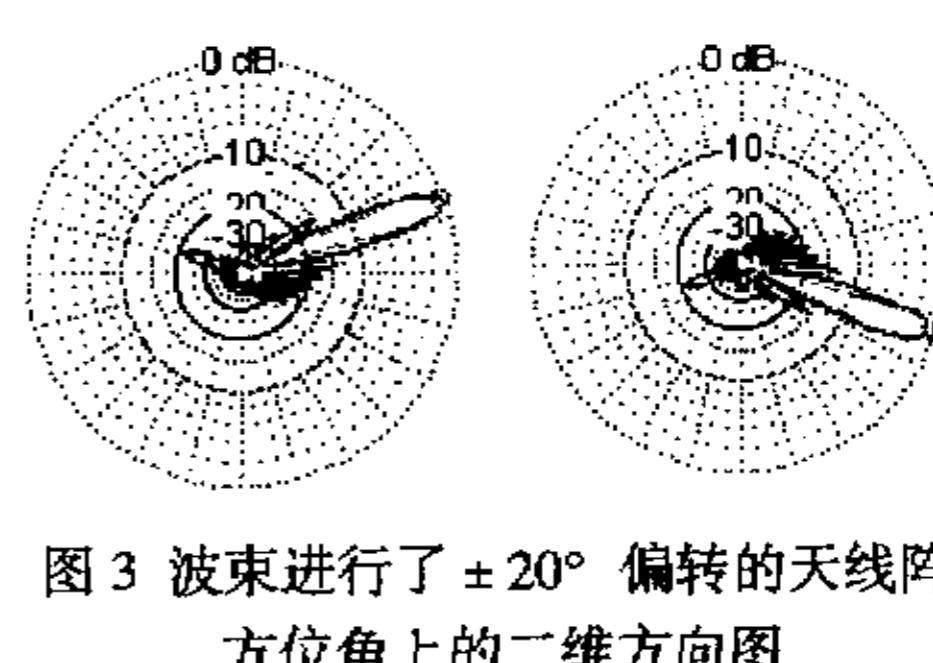


图 2 天线阵的二维方向图
(a) 仰角上的, (b) 方位角上的

图 3 波束进行了 $\pm 20^\circ$ 偏转的天线阵
方位角上的二维方向图

参考文献

1. G.J.Burke and A.J.Poggio, "Numerical Electromagnetic Code (NEC) - Method of Moments," Naval Ocean Syst.Center, San Diego, CA, NOSC Tech.Document 116, Jan.1981.
2. Todd H.Hubing, "Survey of Numerical Electromagnetic Modeling Techniques," University of Missouri-Rolla, Electromagnetic Compatibility Laboratory, Sep.1991.
3. N.Recrosio, G.Fine and M.Helier, "Analysis of Radiation Characteristics of Distribution Line Carriers with the NEC Code," IEEE Trans.Electromagn.Compat., vol.35,no.1,pp.55-68, Feb.1993.
4. 朱崇灿、黄景熙、鲁述编著.天线.武汉: 武汉大学出版社, 1996.10
5. 刘其中、宫德明编著.天线的计算机辅助设计.西安: 西安电子科技大学出版社, 1988.12

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>