

低轨道小卫星通信中谐振式四臂螺旋天线的应用研究

王家勇¹, 王昌复², 梁旭文³, 杨根庆³

(1. 广州海格通信有限公司 广东广州 510656 2. 上海卫星工程研究所 上海 200090 3. 中国科学院上海小卫星工程部 上海 200050)

摘要: 谐振式四臂螺旋天线由于不需要参考地、能产生赋形方向图且重量轻、尺寸小, 在空间通信中得到广泛的应用。本文从低轨道小卫星通信系统的要求出发, 设计了两种实际的谐振式四臂螺旋天线, 天线采用了新颖的 90°自相移结构及平衡馈电结构。最后采用有限元方法对其辐射特性进行分析, 计算结果与测试数据的一致性好。

关键词: 谐振式四臂螺旋天线; 赋形波束; 90°自相移结构; 平衡馈电; 有限元法

中图分类号: TN82 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2002)12-1865-02

An Application Study of the Resonant Quadrifilar Helix Antenna in Low Orbit Micro-Satellite Communication

WANG Jia-yong¹, WANG Chang-fu², LIANG Xu-wen³, YANG Gen-qing³

(Guangzhou Hege Communications Co Ltd, Guangzhou, Guangdong 510656, China;

2. Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 200090, China;

3. Micro-satellite R&D Dept, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: The resonant quadrifilar helix antennas have been widely applied to space communication links because of its relatively small volume and light weight plus its capability of providing shaped-conical beam end-fire radiation without requiring a ground plane. The paper designs two actual resonant quadrifilar helix antennas with a novel 90°self-phased feed structure and a special infinite balun. The actual antennas are simulated by the finite element method. The simulation result well fits the measured data.

Key words: resonant quadrifilar helix antenna; shaped-conical beam; 90°self-phased structure; infinite balun; finite element method

1 引言

宽波束($> 90^\circ$)圆极化天线现在广泛地应用在空间通讯中, 可同时作为卫星天线及非跟踪式地面天线。在 UHF 频段和 VHF 频段的低端, 宽波束圆极化天线主要有: 圆锥螺旋天线、行波双线螺旋天线、十字交叉倾斜振子天线、微带贴片天线、谐振式四臂螺旋天线等。其中 C. C. Kilgus 在 1968 年提出的谐振式四臂螺旋天线引人注目的特点是能通过选择适当的物理尺寸以形成不同的辐射方向图来满足不同空间应用的需要。此外它还具有重量轻、尺寸小、不需要参考地的优点, 而且在低仰角时, 其圆极化性能也满足系统要求[1~7]。

本文根据低轨道小卫星通信的特殊要求, 设计出实际的谐振式四臂螺旋天线, 并采用有限元法进行了分析计算, 与实测数据进行了比较。

2 谐振式四臂螺旋天线结构

2.1 基本结构^[2]

谐振式四臂螺旋天线形式如图 1 所示。它由四根螺旋臂组成, 每根螺旋臂长度为 $M\lambda/4$ (M 为整数)。四根螺旋臂馈电端电流相等, 相位两两相差 90° ; 非馈电端开路 (M 为奇数时) 或短路 (M 为偶数时)。

四臂螺旋天线可以看作由两个双臂螺旋组成, 这两个双臂螺旋需要以 90° 相位差馈电。

谐振式四臂螺旋天线的结构参数可由下式确定^[3]:

$$L_{ax} = N \sqrt{(1/N^2)(L_{ele} - Ar_0)^2 - 4\pi^2 r_0^2}$$

其中 L_{ax} 为螺旋的轴向长度 (mm), L_{ele} 为螺旋臂的长度 (mm), r_0 为螺旋的半径 (mm), N 为螺旋的圈数。

$$A = \begin{cases} 1 & M \text{ 为奇数时} \\ 2 & M \text{ 为偶数时} \end{cases}$$

2.2 90°相移结构

为了产生 90°相移, 传统可以采用下列两种形式 (1) 通过馈电网络, 一般采用 3dB 定向耦合器 (2) 通过自相移结构, 双臂螺旋 1 的单元要调长于谐振长度以产生一个相角为 $+45^\circ$ 的输入阻抗, 双臂螺旋 2 则调短以产生 -45° 的相角^[3]。

自相移结构的四臂螺旋天线, 尽管结构简单, 但由于相位控制需要结构同时满足很多条件, 实现起来相对困难, 而且该结构的带宽较窄。而采用 3dB 定向耦合器进行馈电, 虽然结构复杂, 但能很好的实现相位控制。

为了满足低轨道通信小卫星结构、体积及重量的要求, 本文提出了一种新颖的便于调试的自相移馈电结构, 就是四根螺旋臂长度不变, 而在其中一个双臂螺旋的馈电处并联一段开路同轴线, 通过该段同轴线阻抗变化达到 90°相移的馈电要求。该方法的带宽介于(1) 和(2)之间。这样通过简单的调整开路同轴线的长短, 便可以达到 90°相移的馈电要求。

2.3 平衡馈电

谐振式四臂螺旋天线馈电结构除了产生 90°相移的, 还需

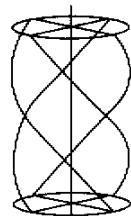


图 1 谐振式
四臂螺
旋天线
示意图

要考虑平衡馈电,几种不同形式的平衡馈电结构已经应用在谐振式四臂螺旋天线中,如 U型管、开槽线等^[3]。为了节省重量和降低结构的复杂度,本文采用一种精巧的无限巴伦结构:同轴馈电电缆内导体延伸至螺旋臂 1 内,在天线顶部内导体连接到对面的螺旋臂 3 上,螺旋臂 3、4 之间以及螺旋臂 1 的外导体与螺旋臂 2 之间焊接在一起,如图 2 所示。

这种平衡馈电结构,利用了同轴电缆的内导体外壁与外导体内壁上的电流大小相等、方向相反的特点。

这样前面所述的 90° 自相移结构与无限巴伦一起构成了谐振式四臂螺旋天线的馈电结构,该结构简单且便于调试。

3 设计与实验结果

由于低轨道通信小卫星的特点^[8],要求其天线满足下列条件:宽波束宽度内的圆极化性能好,简单、可靠的结构,体积小、重量轻。本文设计了两种 UHF 频段的谐振式四臂螺旋天线以满足不同应用要求,分别产生心型和赋形方向图。

3.1 设计 1

技术指标:UHF 频段,心型方向图,3dB 波瓣宽度为 120°;轴向增益不低于 5dBi,极化轴比在波瓣宽度内不大于 5dB。

选取天线结构参数为: $N = 1/2$; $L_{ele} = \lambda/2$; $L_{ax} = 0.287\lambda$; $r_0 = 0.085\lambda$ 。

本文采用有限元法对四臂螺旋天线进行分析计算^[9]。图 3 为辐射方向图的有限元法计算结果以及测试数据,图 4 为轴比测试数据。

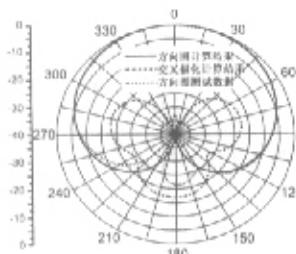


图 3 归一化辐射方向图

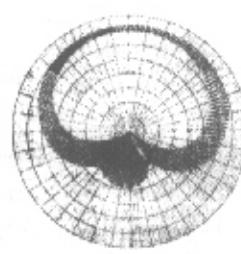


图 4 轴比方向图测试数据

从图 3 和图 4 可以看出,天线性能达到了技术指标的要求,测试数据与有限元法计算结果吻合很好。

3.2 设计 2

为了减小地面不同位置到卫星之间距离不同的影响,以便于通信系统的功率控制,需要采用赋形波束。技术指标为:UHF 频段,赋形方向图,轴向增益 -4dB,边缘增益为 5dB($\pm 60^\circ$)极化轴比在波瓣宽度内不大于 5dB。

选取天线结构参数为: $N = 2$; $P = 1.334\lambda$; $r_0 = 0.0253\lambda$ 。

图 5 是三维辐射方向图,图 6 为辐射方向图的有限元法计算结果以及测试数据。

由图 6 中可看出天线性能也达到了指标要求,实测数据

与有限元法计算结果的一致性好。

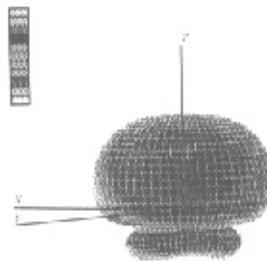


图 5 三维辐射方向图

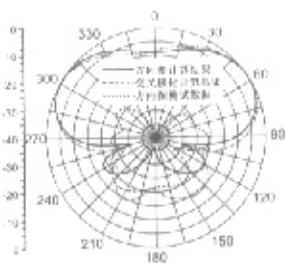


图 6 归一化辐射方向图

4 结论

本文根据低轨道小卫星通信系统对天线的要求,对谐振式四臂螺旋天线进行了研究。与其他形式的宽波束圆极化天线相比,谐振式四臂螺旋天线更易满足空间通信系统的要求。针对低轨道小卫星的特点,文中提出了一种新颖的馈电方式,大大简化了天线的结构。该馈电结构是由 90° 自相移结构与无限巴伦构成。本文最后采用有限元方法对分析了两种结构的四臂螺旋天线的辐射特性,计算结果与测试数据的一致性良好。该结构天线已应用于实际工程中。

参考文献:

- [1] C C Kilgus. Multi-element ,Fractional turn helices [J]. IEEE Trans ,1968 ,AP-16 :499 - 500.
- [2] C C Kilgus. Resonant quadrifilar helix [J]. IEEE Trans ,1969 ,AP-17 :349 - 351.
- [3] C C Kilgus. Resonant quadrifilar helix design [J]. Microwave Journal ,1970 ;49 - 54 .
- [4] A T Adams. Optimization of the quadrifilar helix antenna [J]. IEEE Trans ,1971 ,AP-19 :547 - 548.
- [5] A T Adams. The quadrifilar helix antenna [J]. IEEE Trans ,1974 ,AP-22 :173 - 178.
- [6] C C Kilgus. Shaped-conical radiation pattern performance of the backfire quadrifilar helix [J]. IEEE Trans ,1975 ,AP-23 :392 - 397.
- [7] J M Tranquilla ,S R Best. A study of the quadrifilar helix antenna for global position system applications [J]. IEEE Trans ,1990 ,AP-38 :1545 - 1550.
- [8] 李布凯,杨红俊.现代小卫星系统与技术[J].电讯技术,1997 ,特刊 2 :1 - 7.
- [9] 王家勇. Ansoft 软件在谐振式四臂螺旋天线设计中的应用[J]. Ansoft 2001 用户通讯 :10 - 13.

作者简介:



王家勇 男,1974 年生于贵州,1999 年毕业于西安电子科技大学,获工学硕士学位,2002 年 3 月在中国科学院上海微系统与信息技术研究所获工学博士学位,现在广州海格通信有限公司技术开发中心工作,研究兴趣为电磁场数值计算、天线设计等。

王昌复 男,1939 年生于浙江,1965 年毕业于西安交通大学,获工学学士学位,原上海卫星工程研究所天线室主任,风云 1 号、风云 2 号卫星天线设计师。

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>