

小背射天线阵的设计

李连辉 杨文彩

(北京遥测技术研究所 北京 100076)

文 摘 介绍一种S频段四元小背射天线阵,它由四个小背射天线和单通道单脉冲馈源组成,用于遥测自跟踪。该天线阵在原设计四元背射天线阵的基础上,将工作带宽扩展为200MHz,并在结构上作了重大改进。馈源盒为一方形腔体,既用于安装四个天线,又用于放置馈电网络,结构十分紧凑,便于密封、维修。

主题词 小背射天线 天线单元 天线阵

前 言

背射天线是从上个世纪60年代初期开始发展起来的,它具有副瓣电平低、增益高、波束轴对称、结构和馈电方式简单等优点。它是集谐振腔、反射面、镜像等多种原理于一体的天线型式,比起相同尺寸的天线,其增益可高出5~6dB,因此使用价值很大。这种天线比较适用于作卫星通信地面站天线、飞行器天线、遥测天线以及卫星跟踪天线。鉴于背射天线的多种优点,我们在第一代S频段背射天线的基础上新研制成了尺寸稍小的一种小背射天线,并将工作带宽扩展至200MHz。之后又在原设计四背射天线阵的基础上,在结构上作了重大改进,将天线安装和馈电网络组合集于一体,成功地研制出性能优良的用于遥测自跟踪地面站的小背射天线阵。这样,在四元背射天线阵系列中就有了两种不同尺寸的背射天线阵,为用户增加了一种选择,也为我所增加了一种技术储备。

1 天线阵的组成与工作原理

小背射天线阵由四个小短背射单元天线和微带结构的单通道单脉冲馈源组成。图1和图2分别为该天线阵的正视图和背视图,其中馈源盒设计成一个正方形腔体,单脉冲馈源的所有网络,极化电桥、和差器、调制相加器、相位调节电缆以及低噪声放大器、滤波器等都集中于其中。

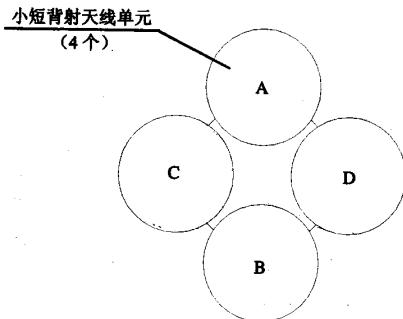


图1 小背射天线阵的组成(正视)

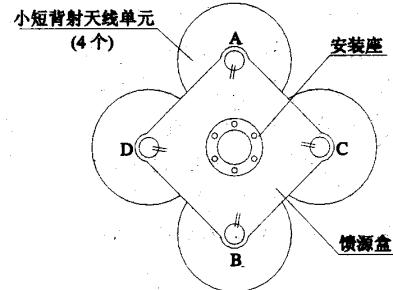


图2 小背射天线阵的组成(背视图)

四单元天线呈菱形布阵,电气上,每个单元背射天线经极化电桥后同时输出右旋圆极化(RHCP)和左旋圆极化(LHCP)信号。以RHCP信号为例,四个单元天线的RHCP输出端经四根等长半刚性电缆与和

差器的相应输入端连接,其中 A、B 天线的信号输入到和差器的 1、2 端,从和差器的一个“差”端口产生 RHCP 的俯仰差信号 $(\Delta EL)_R$;C、D 天线的信号输入到和差器的 3、4 端,从和差器的另一个“差”端口产生 RHCP 的方位差信号 $(\Delta AZ)_R$;和差器的和端口产生四个天线的 RHCP 和信号 Σ_R 。 $(\Delta EL)_R$ 和 $(\Delta AZ)_R$ 信号,经等长半刚性电缆输入到调制相加器的对应输入端,通过相加器后,得到 $(\Delta EL + \Delta AZ)_R$ 。 $(\Delta EL + \Delta AZ)_R$ 再通过定向耦合器与 Σ_R 相加,成为一路输出 $[K \cdot (\Delta EL + \Delta AZ) + \Sigma]_R$, 这就是既含有方位、俯仰差信号,又含有和信号的单通道单脉冲信号。同样,由另外一组和差器和调制相加器可以得到左旋圆极化(LHCP)的一路输出 $[K \cdot (\Delta EL + \Delta AZ) + \Sigma]_L$ 信号。

图 3 为小背射天线阵和馈电网络的完整方框图。

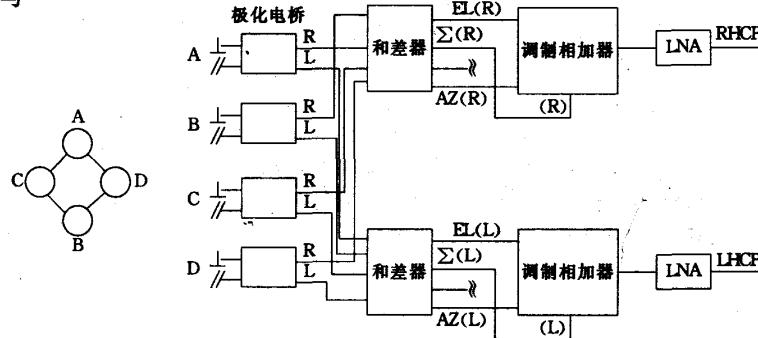


图 3 小背射天线阵方框图

2 天线单元

新设计的小背射天线在原有的背射天线基础上,压缩了天线尺寸、减轻了重量,并有效地将工作频带展宽了一倍,变为 200MHz。由于小背射天线口径减小,其轴向增益比原背射天线的略低,但综合考虑小背射天线的性能,其带宽、体积、重量以及密封性能等所带来的优势完全可以弥补增益的不足。小背射天线外形及部分尺寸如图 4 所示。在设计过程中,充分汲取原背射天线的成功设计经验并考虑其存在的缺陷,将放大器、馈电网络和连接电缆安装在一个高放盒内,使之外观简洁、使用方便,而且密封性能更好。图 4 是单独使用时的状态,在组阵时,需将安装座和高放盒拆掉。天线部分的重量不到 2kg。

小背射天线工作频带取决于馈电振子,主要是通过改善馈电振子的匹配和增加振子臂的直径来实现。为实现圆极化,馈电振子选用对称正交的两组。

原则上,小背射天线的增益、方向图由腔体的直径和高度决定,但图 4 中二个寄生片的 r_1, r_2, d_1, d_2 等几何尺寸对天线电气性能指标起着关键作用,需通过反复实验调整才能获得。计算机软件优化设计也可以得到相关尺寸,但必须进行实验验证。

小背射天线的部分实测指标如列于表 1。

表 1 部分实测数据

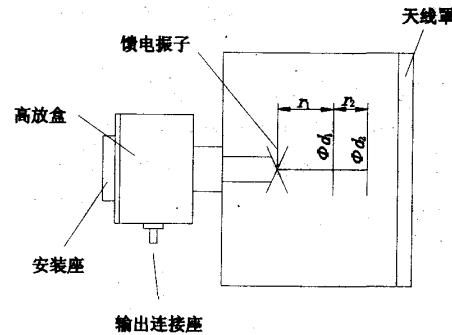


图 4 小背射天线外形及部分尺寸

频率 f (GHz)	2.2	2.25	2.3	2.35	2.4
驻波比 λ/λ	1.41/1.36	1.30/1.29	1.21/1.14	1.17/1.13	1.29/1.27
$2\theta_{0.5}(\text{度})R/L$	30.4/31.8	30.4/30.4	28.4/30.4		29/29.7
旁瓣电平(dB)R/L	18/19.8	18.4/19.4	16.8/18.2		16.4/22.2
增益(dB)	14.92	15.39	15.21		15.1

小背射天线的方向图和驻波比示于图 5。

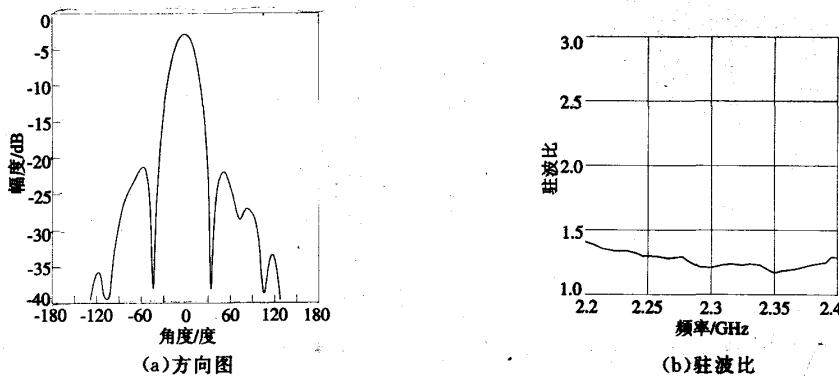


图 5 小背射天线方向图和驻波比曲线

3 天线阵结构

小背射天线阵的外形结构已示于图 1 和图 2。

但鉴于原设计的四背射天线阵的不足之处, 我们对小背射天线阵的结构做了如下几处大的改动。

①减小口径。减小单元小背射天线口径使小背射天线阵的外尺寸得以压缩。

②一体化设计。原引导天线阵采用十字架安装座, 半刚性连接电缆暴露在外, 左右旋馈电网络用两个独立的馈源盒分别挂在十字架上, 不便于安装。在本设计中, 只用一个正方形腔体部件完成三种功能, 即腔内放置所有的网络、电缆以及放大器、滤波器等; 腔的一侧用以安装四个天线; 腔的另一侧有安装法兰可, 与天线座直接连接。整个小背射阵的外观紧凑、简洁、轻便, 其总重量仅为 13kg, 原设计四背射天线阵为 18kg, 但还有潜力可挖。

③密封措施。原设计的四背射天线阵裸露环节多, 容易出现漏水现象。在本设计中, 所有的连接螺钉孔均为盲孔, 只有正方形腔后盖板一处需要密封, 采用“O”型密封圈后效果显著, 也便于维修。

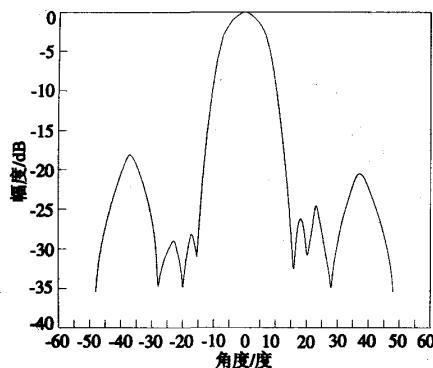
4 性能指标

小背射天线阵与原设计的四背射天线阵各种性能指标的对比列于表 2。从表 2 可以看出, 与原设计的四背射天线阵相比, 除小背射天线阵和通道增益比引导天线阵低约 1.5~2.0dB, 半功率波束宽度宽约 14°之外, 两种背射天线阵的电性能指标基本相同。而 200MHz 工作带宽、天线阵口径尺寸和重量的减小正是小背射天线阵的优势所在。

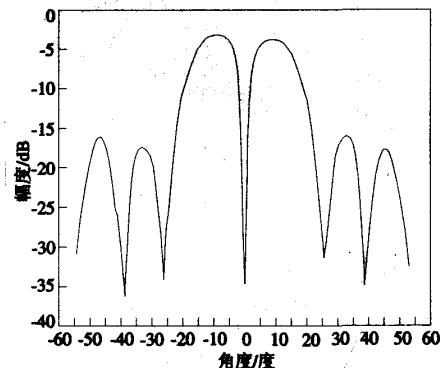
表 2 两种天线阵的对比

	原四背射天线阵	小背射天线阵
工作频段(MHz)	2200~2300	2200~2400
带宽(MHz)	100	200
和通道输出增益(dB)	≥22	≥20.5
半功率波束宽度(°)	≈11	≈14
差波束张角(°)	12	18
偏离轴向±5°时, 左、右旋输出调制度(%)	≥8	≥8
天线阵口径(mm)	850×850	550×550
天线阵重量(kg)	18	13

小背射天线阵的和差方向图示于图 6。



(a) 和方向图



(b) 差方向图

图 6 小背射天线方向图

5 结束语

在保证原有电气性能指标的情况下,新研制的小背射天线阵将带宽扩展至 200MHz,且天线阵一体化设计,使其外形简洁、密封性好。另外,由于减小了单元天线的口径,天线阵的口径和重量也大大减小,更便于使用和运输。

在研制过程中,得到了天线组全体同志的大力支持,在这里,向所有帮助和参加过该课题研制的同志表示感谢。

Design of Small Back-fire Antenna Array

Li Lianhui Yang Wencai

Abstract This paper describes a type of S-band four element small back-fire antenna array. It is consisted of four small back-fire antennas and single channel monopulse(SCM) feed. It is used for telemetry and auto-tracking. Compared with old one designed, its operating bandwidth is expanded to 200MHz and the structure improved greatly. The feed box is a quadrate cavity used to installing antennas and also used to integrating feed networks which makes the structure tight and lightweight. It is easy to seal and maintain.

Subject terms Small back-fire antenna Antenna element Antenna array

[作者简介]

李连辉 参见本期第 13 页。

杨文彩 1940 年生,1965 年毕业于北京航空航天学院无线电工程系,研究员,长期从事天线和微波方向的研究工作。

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)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>