

文章编号 1005-0388(2007)06-0928-05

厚介质罩深腔内双天线共口径设计*

宗显政¹ 王军² 聂在平¹ 杨峰¹

(1. 电子科技大学电子工程学院, xz_zong@163.com, 四川 成都 610054;
2. 中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 对在载体平台上带介质罩的深腔内实现双天线共口径的可行性进行了研究。四绕螺旋天线(QHA)被采用以实现载体定位;环状地板上的竖直单极振子或二元阵则用于遥测。实验研究了腔体对天线及两副天线之间的影响。结果表明这种方案中的两副天线能够同时很好地工作,QHA 天线窗口法向右旋圆极化(RHCP)辐射,遥测天线口径面掠射,同时相互的耦合还展宽了遥测天线的工作带宽。

关键词 双天线, 共口径, 腔体, 介质罩

中图分类号 TN82 **文献标识码** A

Design of dual antennas with a shared aperture in a deep cavity covered by a thick radome

ZONG Xian-zheng¹ WANG Jun² NIE Zai-ping¹ YANG Feng¹

(1. School of Electronic Engineering, UEST of China, xz_zong@163.com,
Chengdu Sichuan 610054, China; 2. Institute of Electronic Engineering,
CAEP, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract The feasibility of making two antennas work within a shared aperture on a platform was investigated. The aperture was formed by a deep cavity with a dielectric radome. A quadrifilar helix antenna(QHA) was adopted for platform positioning and a vertical monopole or an array of two vertical monopoles on a ring shaped ground was utilized for telemetring. The effects of the cavity on the two antennas and the interaction of the two antennas were studied through experiments. The results show that the two antennas of the overall arrangement perform simultaneously well in the cavity. The QHA has a right hand circular polarized (RHCP) pattern normal to the upside of the radome and the main lobe of the array is in the grazing direction of the aperture. Moreover, the mutual coupling effects expand the bandwidth of the array.

Key words dual antennas, shared aperture, cavity, radome

1 引言

载体平台在某些特殊的工作环境下要求将某些天线放置于开在载体表面下方的深腔内,并将口面用较厚的介质罩覆盖,这样的腔体横向尺寸非常有

限,但是在纵深方面则相对较为宽松。为实现综合化、集成化以及便于维护保养,还提出了两副甚至多副天线共口径的要求。例如要求同时在一个窗口内实现射频定位及遥测任务,其中定位天线要求实现口径法向的右旋圆极化(RHCP)宽波瓣方向图而遥

* 收稿日期:2006-06-12.

基金项目:自然科学基金——中国工程物理研究院联合基金(10476005)资助项目

测天线要求实现沿口径面掠射的线极化方向图,两天线中心工作频率分别为 f_{01} 、 f_{02} (对应波长 λ_{01} 、 λ_{02}),工作频带相互隔离。

腔体虽纵深较大但口面狭小、介质罩较厚,腔内放置的两副天线存在相互遮挡及近区紧耦合的问题,定位天线要求宽波瓣圆极化而遥测天线希望在深腔内实现波束沿口径掠射,这些要求给共口径方案的提出带来了巨大的挑战,国内外鲜有相关文献报导。

按照波导理论,口面尺寸处于定位天线工作频率的截止区,腔体自身不宜于直接辐射;考虑到定位天线宽波瓣、遥测天线掠射等方向图要求,用贴片天线实现所需方案亦有一定的困难。因此,这里提出用细线结构实现双天线共口径的目的。定位天线拟采用长径比较大的四绕螺旋天线(QHA),而掠射遥测任务则希望通过腔内偏置的竖直单极振子或二元阵列实现。

由于腔内和口径边缘的散射异常复杂,两线天线间相互耦合严重,对天线性能的分析及进一步优化必须结合载体一体化考虑。

2 天线布局

电大尺寸载体对伸出其外的天线的影响在载体尺度达到一定规模后便较为稳定,因而对这类问题的研究,不论是理论计算或实验研究往往将载体进行截断^[1~3]。若将天线埋藏在较厚介质罩下方的深腔内,这种影响将更为有限,仅需截取载体在窗口附近一个较小范围即可,这里截取包围天线罩约 $1.57\lambda_{01} \times 1.57\lambda_{01}$ 的区域以替代整个飞行器载体,如图1所示。

在图1、2中给出了腔体及介质罩结构。 z 向为口径法向, xoz 面为掠射方向与口径法向所成平面。

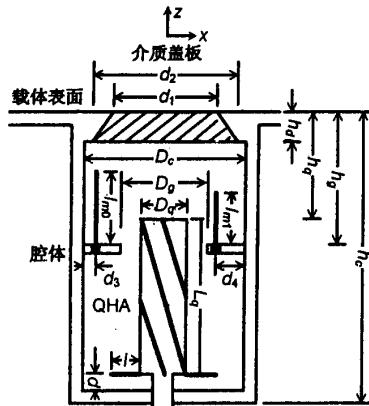


图1 腔内双天线布局剖面图

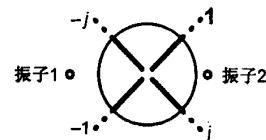


图2 双天线腔内俯视图

腔体及介质罩各项尺寸用定位天线中心工作频率对应波长表示如下:圆柱腔体内径 $D_c = 0.41\lambda_{01}$,底部至窗口的高度为 h_c , h_c 随QHA的长度及其与窗口距离 h_g 变化;锥台形介质罩上表面直径 $d_1 = 0.32\lambda_{01}$,下表面直径 $d_2 = 0.36\lambda_{01}$,厚度 $h_d = 0.09\lambda_{01}$,母线与下表面倾角 12° ,介电常数 $\epsilon_r = 3.8$ 。

选用QHA天线首先因其宽波束、圆极化轴比特性好的特点更合乎要求,其次利用这类长径比较大的几何结构更能节省横向空间,便于遥测天线的架设。传统QHA的设计可参见文献[4]~[6]。对置于腔内的QHA而言,可进一步利用腔体的底盖,在天线末端设计一段水平支节,优化其长度 l 及其与底盖间距 d 以调节与后者所形成的电容,能够更容易改善天线的阻抗特性,而不需要借助于任何匹配网络。

用以实现遥测任务的竖直单极振子或二元单极子阵置于腔内的环状地板上,QHA在环中心穿过。采用环状地板一方面是从结构的对称角度考虑减小对QHA天线两端口平衡性的破坏,另一方面则是提供相对较大的地板面积以利于振子的阻抗匹配。单个竖直振子可偏置于环状地板在腔内的某一侧,利用QHA及口径边缘的散射提供口径外掠射,而对于二元阵列,更进一步利用阵元间的干涉叠加以改善掠射特性。地板外缘与腔体内壁充分电接触、内径 D_s ,与口径表面距离 h_g 。图1中给出的仅是二元阵的情况,QHA天线置于腔体正中,两振子分置QHA天线两侧并与腔体中心轴线共面,长度分别为 l_{m0} 、 l_{m1} ,与腔体侧壁距离分别为 d_3 、 d_4 ,对两个单元的馈电通过地板下方侧壁引入的同轴电缆进行,图中略去。

3 天线性能及相互影响

考虑到理论分析的困难及数值计算的繁琐,建立灵活的实验平台进行研究对于分析与优化更为便利。

分别制作了QHA天线及遥测天线,其中遥测天线先后研究了单个竖直振子及二元阵以便于进行

比较。QHA 天线 $D_q = 0.13\lambda_{01}$ 、 $L_q = 0.36\lambda_{01}$ ；匹配支节长 $l = 0.10\lambda_{01}$ 、与底盖距离 $d = 0.01\lambda_{01}$ 。环状地板内径 $D_g = 0.23\lambda_{02}$ ，为利于能量的掠射， h_g 的设计要尽量使得振子接近口径表面。当采用单个振子时，长度 $0.23\lambda_{02}$ ，距离腔壁 $0.06\lambda_{02}$ ，振子直径 $1.12 \times 10^{-2}\lambda_{02}$ 。二元阵的振子 1 长 $l_{m0} = 0.22\lambda_{02}$ 、距腔壁 $d_3 = 0.09\lambda_{02}$ ，振子 2 长 $l_{m1} = 0.17\lambda_{02}$ 、距腔壁 $d_4 = 0.12\lambda_{02}$ ，两振子直径均为 $1.12 \times 10^{-2}\lambda_{02}$ 。QHA 与遥测天线中心工作频率间的关系为： $f_{02} = 1.41f_{01}$ 。

3.1 两天线电压驻波比(VSWR)

对 QHA 的研究往往等效为两个耦合的双绕螺旋天线，用同轴电缆结合四分之波长短路巴伦及功分器实现两个端口的等幅度、相位正交馈电最终形成圆极化。实测显示，在自由空间中 QHA 天线的两个端口能够实现很好的匹配，且两端口 VSWR 的一致性较好。将其置于腔体内，不论遥测天线采用单个振子或二元阵，谐振谷点均在频谱上明显下移而在数值上有所提高。由于腔体对 QHA 的影响，需进一步改变 QHA 天线的 L_q 、 D_q 及优化匹配支节以更好地与馈线匹配。腔体内外 QHA 天线两端口 VSWR 如图 3 所示。

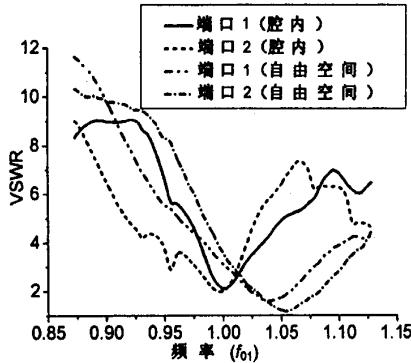


图 3 QHA 分别位于腔体内外时两端口 VSWR 的比较

实验结果同时表明，QHA 天线馈电区四个水平臂必须与竖直振子和腔体中心轴线所在平面成 45° 或 135° 夹角，参见图 2(图中还给出了 QHA 四个臂的馈电步进方式)，否则 QHA 在腔内的对称性被破坏，造成两个端口的 S 参数有较大偏差，从而直接影响圆极化轴比。

腔体尺寸、介质罩材料、环状地板内径、QHA 与口面距离 h_g 等对遥测天线的阻抗特性具有显著影响。如果天线采用单个振子，影响因素还包括振子长度、与腔壁的距离；而对于二元阵，重要的优化参数是两振子各自的长度 l_{m0} 、 l_{m1} ，与腔壁的距离

d_3 、 d_4 ，端口的配幅配相等。

环状地板上的竖直单极振子在自由空间中能够比较容易地获得大于 8.9% 的驻波工作带宽，但置于腔体后则须依靠与 QHA 的相互耦合来实现调谐。如图 4 所示，随 QHA 与口面距离 h_g 的逐渐减小，单极振子的驻波谷点在频谱上逐渐降低同时频带有所展宽。

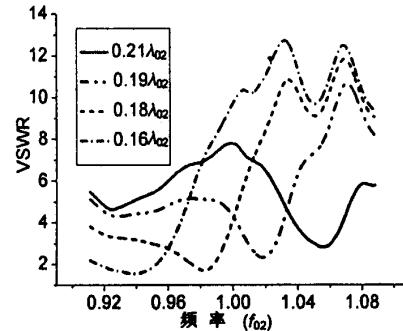


图 4 QHA 与口面距离 h_g 对单个振子 VSWR 的影响

二元阵能够获得更好的驻波特性。由于两振子长度及距腔壁位置不同，因而在腔内的阻抗特性具有相互补偿的特点，再利用与 QHA 天线的耦合作用，能够进一步拓展天线的工作带宽。在图 5 中，两振子等幅同相馈电，随 QHA 逐渐向介质罩靠近，遥测天线的驻波谷点逐渐向高频方向移动，同时带宽

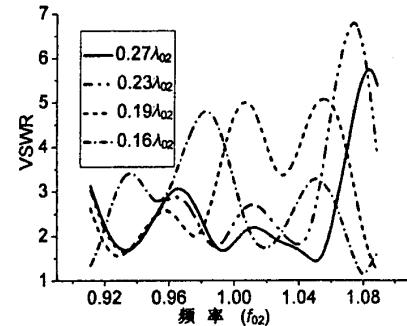


图 5 QHA 与口面距离 h_g 对二元阵 VSWR 的影响

也逐渐增大，经优化其带宽可达 6.2% 以上。如果不采用二元阵，仅将单个振子偏置于腔内一侧，结合 QHA 的耦合并适当优化仅能获得 1.8% 左右的工作带宽。

3.2 两天线方向图

QHA 天线在其两个正交面上的线极化实测方向图如图 6 所示。由于腔体及内部环状地板的束缚作用，QHA 波束宽度与其在自由空间中的结果相

比减小约30%，但仍优于贴片类天线。

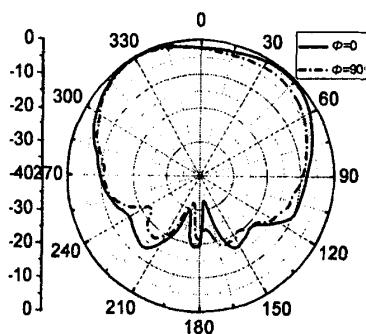


图6 QHA 腔内实测两正交面方向图

环状地板上的单个振子在上述设定的尺寸及位置下虽然在腔内偏置，然而并未明显体现出所希望的掠射特性。QHA 对其方向图影响较大，随 QHA 与口面间距 h_q 减小，法向零深逐渐被淹没，即使在 $h_q = 0.23\lambda_{02}$ 零深较大的情况下， xoz 面（E 面）内前后两个波瓣较为平均、也较窄，与定向遥测的要求有较大差距，具体可见图 7。

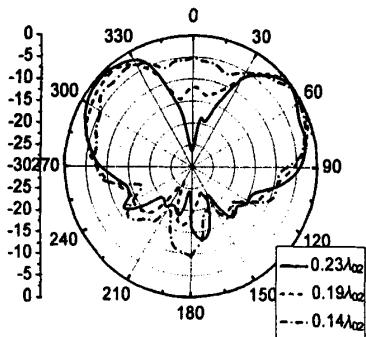


图7 不同 h_q 下，单个振子 xoz 面方向图

二元阵方向图与上述情况相比有明显改善。图 8、9 中 a、b 分别表示振子 2 与 1 相比相位滞后 205° 、 119° 。在两幅图中，相位差 205° 较相位差 119° 的结果具有更大的前后比，即更好的掠射特性。图 8 与图 9 结果相比，图 8 的结果具有更大的零深，然而波束宽度相对较窄，但仍好于图 7 结果。在二元阵条件下，利用两个单元的散射叠加并调节相关幅度、相位、位置等参数，天线的阻抗特性及辐射特性均优于单个振子。通过细致地优化能够得到更佳的掠射特性。

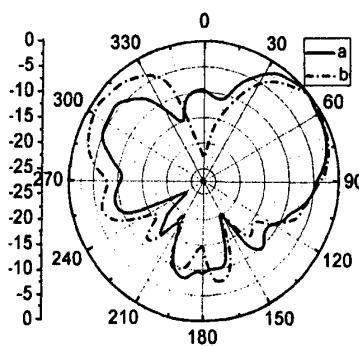


图8 $h_q = 0.20\lambda_{02}$ ，二元阵 xoz 面方向图

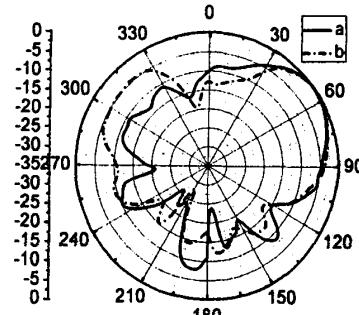


图9 $h_q = 0.23\lambda_{02}$ ，二元阵 xoz 面方向图

4 结论

给出了可应用于载体平台上埋于深腔中的定位/遥测双天线共口径方案，定位天线采用 QHA 天线，辐射 RHCP 圆极化波；遥测天线采用环状地板上的二元单极子阵，线极化、主波束沿口径面掠射。实验研究了耦合及载体对天线性能的影响，并将环状地板上偏置的单个振子的结果与二元阵的情况进行了对比，后者具有更大的驻波工作带宽及更显著的掠射特性。实测数据表明，QHA 与二元阵在腔内能同时实现各自的工作任务，因而所提的天线组合是一种很好的共口径搭配方案。

参考文献

- [1] 金显盛.再入飞行器天线[M].北京:国防工业出版社, 2000.
- [2] 毛康候,方振民.飞行器天线工程设计指南[M].北京:国防工业出版社,1989.
- [3] 丁晓磊,王 建,林昌禄.弹载天线载体截短对天线辐射特性的影响[J].电波科学学报,2001,16(1):49-53.

(下转第 951 页)

- [8] W Z Richard and D K Allison. Application of double negative materials to increase the power radiated by electrically small antennas [J]. IEEE AP., 2003, 51 (10): 2624-2640.
- [9] Per-Simon Kildal. Comments on "Application of double negative materials to increase the power radiated by electrically small antennas" [J]. IEEE AP., 2006, 54 (2): 766.
- [10] W Z Richard. Reply to 'Comments on "Application of double negative materials to increase the power radiated by electrically small antennas"' [J]. IEEE AP., 2006, 54(2): 766-767.



朱秀芹 (1971—),女,河南人,高级工程师,中国电子学会高级会员,现为西安电子科技大学电磁场与微波技术专业博士生。主要从事电磁场数值计算和雷达杂波特性分析的研究工作。



官伯然 (1955—),男,教授,博士生导师,校长助理。目前主要从事微波通信与天线、超导电子学等方面的技术工作。

(上接第 931 页)

- Ding X L, Wang J, Lin C L. The influence for the radiation characteristic of the antenna in missile due to truncation of the missile body [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(1): 49-53.
- [4] P K Shumaker, C H Ho, and K B Smith. A New GPS Quadrifilar Helix Antenna [C]. Proc of Antennas and Propagation Society International Symposium, 1996, 7, vol. 3: 1966-1969.
- [5] S Srinivas, R Sharma, T Balakrishnan, et al.. Printed Quadrifilar Helix: Development of a Novel Antenna for Measurement of Electromagnetic Interference [C]. Proc of International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility, 2003, 12: 349-352.
- [6] A Petros. "Folded" Quadrifilar Helix Antenna [C]. Proc of Antennas and Propagation Society International Symposium, 2001, 7, vol. 4: 569-572.



王军 (1978—),男,四川人,中国工程物理研究院电子工程研究所工程师,主要研究方向:宽带天线,飞行器天线。



聂在平 (1946—),男,四川人,教授,博士生导师,中国电子学会会士,IEEE 高级会员。先后获国家科技进步二等奖一项,省、部级科技进步一、二、三等奖共五项,在国内外发表学术论文 350 余篇,主要研究方向包括:计算电磁学、电磁散射与逆散射、非均匀介质中的场与波、新一代移动通信中的多天线技术等。



宗显政 (1979—),男,山西人,电子科技大学电磁场与微波技术专业博士生,主要研究方向:宽带天线,大型复杂载体平台上天线。

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>