

低频双波段天线研究

孙文玲 邢瑾琪 匡 勇 杨生海 刘恩德

(中国航天科工集团二院二十三所, 北京, 100854)

摘要: 本文介绍了一种低频双波段天线, 采用结构嵌套的方式实现了双频段共用口径的阵列天线的功能。文章用矩量法计算分析了两个频段的方向图的相互影响, 并给出了天线的测试结果作为比较, 为我们在设计大型双频段阵列天线阵时提供了分析思路。

关键词: 双波段天线, 矩量法, 相互影响

Research on the Dual-Band Antenna

Sun Wenling Xingjinqi Kuangyong Yangsheng Hai Liuende

(Institute No. 23 of the Second Academy of CASIC, Beijing 100854, China)

Abstract: A dual-band antenna is introduced. Two antennas in different bands were embedded. MoM method was adopted to analyse the interaction between two antennas. Finally, the measurement results of the antenna were compared to the theory calculations.

Keywords: Dual-Band; antenna; MoM method; interaction influence

1 引言

在现代雷达系统中, 随着系统集成和功能需求的提高, 一部天线往往必须同时工作在多个频段, 这是雷达发展的一个新趋势。另外, 随着移动通信业的发展, 移动体上使用的设备越来越多, 使用的天线数也在相应的增加。在使用多个频段的情况下, 为降低成本和减小占用空间, 天线的多频化便成为必要的手段。因此, 多频段天线在民用和军用领域的市场潜力越来越大。

某雷达标校车为实现多个频段信号向多个指定方向上的雷达站发送信号, 在其雷达车上需要集成大量天线。如果不采用天线集成的方式, 天线体积和重量都很大, 这样会造成整车超宽超高。所以, 为了节省设备及安装空间, 多个频段的天线都采用频段共用的方式, 来减小整个天线的尺寸。其中低频部分有 P 和 L 两个波段天线, 采用频段嵌套方式, 既缩小了天线尺寸, 又提高整个雷达车结构安全性。

P 和 L 波段天线都采用 2×2 个单元阵列形式, 单元间距都是 0.5λ , P 波段天线要求为 45° 极化, L

波段天线为垂直极化。天线实物照片为图 1。



图 1

P 波段和 L 波段相差仅一倍, 因此两个波段的单元排列在一起, 需要研究它们相互之间的影响。

2 双频天线的矩量法分析

P 和 L 两个频段的单元都是线极化振子天线形式, 一般常用矩量法对此类天线进行分析。

应用 Rumsey 引入的反应概念和 Schelkunoff 的

表面等效原理所建立的一般反应积分方程^[1] 表达式可写为:

$$\oint_s (E^m \cdot Js - H^m \cdot Ms) ds = - \iiint_{Vi} (E^m \cdot Ji - H^m \cdot Mi) dv \quad (1)$$

式中: E^m 、 H^m ——检验源产生的场,

Js 、 Ms ——由等效原理得到的天线振子表面的等效电流和等效磁流, Vi 表示源 (Ji , Mi) 所占的体积。假设振子是由理想导体构成, 则 $Ms=0$, 馈源采用磁流环模型, 则 $Ji=0$, 这样, 式 1 可简化为

$$\oint_s (E^m \cdot Js) ds = \iiint_{Vi} (H^m \cdot Mi) dv \quad (2)$$

采用分域正弦基的 Galerkin 算法来求解该积分方程。选取分段正弦函数为展开基函数, 此时电流的展开式为

$$I(z) \approx \sum_{n=1}^{N-1} I_n \sin k(h - |z' - nh|) \quad [(n-1)h \leq z' \leq (n+1)h] \quad (3)$$

将 (3) 式代入 (2) 式, 化简得

$$[Z][I] = [U] \quad (4)$$

求解该线性方程组, 可求出 I_n , 计算出天线的参数。

空间任意两振子位置关系见图 2。

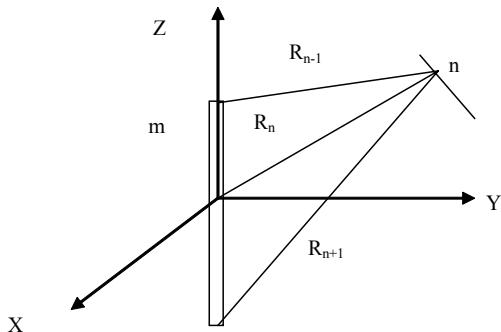


图 2

空间任意两个振子的互阻抗由式 (5) 计算。

$$Z_{mn} = - \left[\int_{z_{m-1}}^{z_{m+1}} \frac{\sin k(z - z_{m-1})}{\sin(k\Delta z_m)} + \right. \\ \left. + \int_{z_m}^{z_{m+1}} \frac{\sin k(z_{m+1} - z)}{\sin(k\Delta z_m)} \right] \cdot \frac{j30}{\sin(k\Delta z_n)} \\ \times \left[\frac{e^{-jkR_{n-1}} - 2\cos(k\Delta z_n)}{R_{n-1}} \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} + \frac{e^{-jkR_{n+1}}}{R_{n+1}} \right] dz \quad (5)$$

在已知电流分布后, 可以计算天线阵的远区辐射场。把阵中各单元上的分段正弦部分看成小的元

天线, 计算出它产生的远区辐射场, 再应用迭加原理计算出天线阵的辐射场。对线性电流, 矢量位的积分为:

$$\oint_s (E^m \cdot Js) ds = \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \int I(l) e^{jk(x'\sin\theta\cos\varphi + y'\sin\theta\sin\varphi + z'\cos\theta)} dl \quad (6)$$

远区场 \vec{E} 与 \vec{A} 之间的关系为

$$\vec{E} = -j\omega\mu\vec{A} \quad (7)$$

3 L 波段天线对 P 波段天线的影响

L 波段天线振子单元位于 4 个 P 波段振子单元的内侧中心, L 波段振子的高度是 P 波段振子高度的一半, 长度小于 P 波段振子长度的一半。在 P 波段天线单元馈电工作时, L 波段单元产生感应电流, 会对 P 波段天线方向图产生影响。通过计算, 由于 L 波段单元长度是 1/4 P 波段波长, 产生的感应电流较小, 所以, 它们对 P 波段天线方向图的影响不大。测试结果和计算结果比较见图 3。

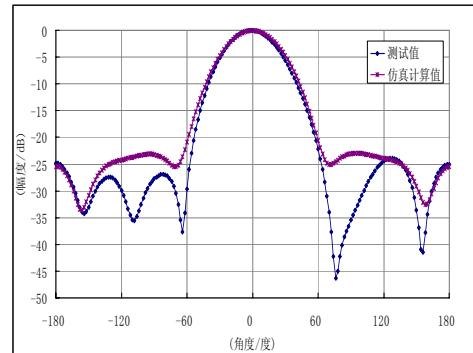


图 3

4 P 波段天线对 L 波段天线的影响

P 波段天线振子单元位于 L 波段振子单元外围四周, P 波段单元长度约为 1 个 L 波段波长。从计算结果来看, 在 L 波段单元馈电时, P 波段单元有较大感应电流, 使得 L 波段远场方向图产生平顶现象。见图 4。

5 结果分析

从以上结果比较来看, 当单元周围的金属高度

低于 $\lambda/8$ ，长度小于 $\lambda/4$ ，则影响比较小，当金属物长度大于 $\lambda/4$ ，则对方向图的主瓣和副瓣区均产生影响。

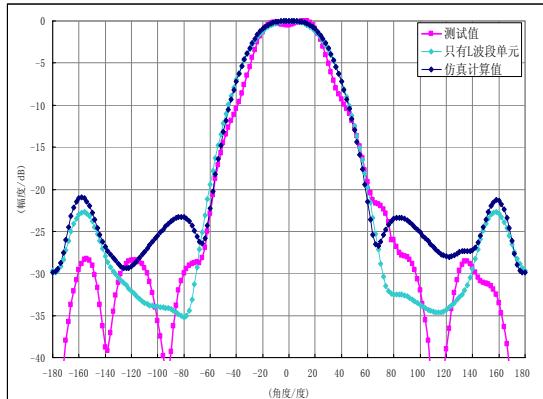


图 4

此外，还对 P 波段振子为不同极化方向时对 L 波段振子方向图的影响作了仿真计算，计算结果见图 5。从图 5 中可以看出，当 P 波段和 L 波段天线单元极化相互正交时，P 波段天线对 L 波段天线影响最小，这一点也可以从电磁场的边界条件解释。当 P 波段和 L 波段天线单元同极化时，P 波段天线对 L 波段天线影响最大。

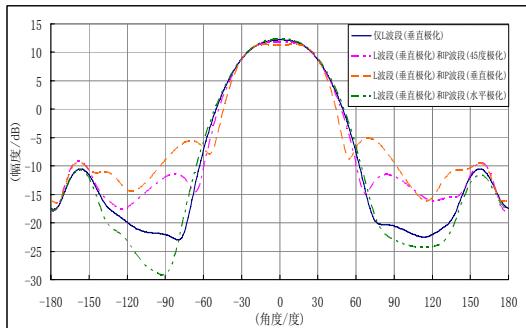


图 5

两个波段的天线共用口径，对天线的驻波会有一定影响。图 6、图 7 是 L 波段和 P 波段天线的驻波

测试值。P 波段天线 12% 带宽内驻波小于 1.5，L 波段天线 20% 带宽内驻波小于 1.5。

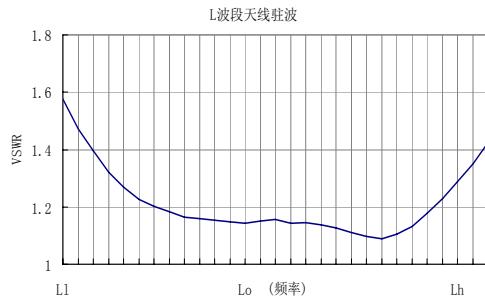


图 6

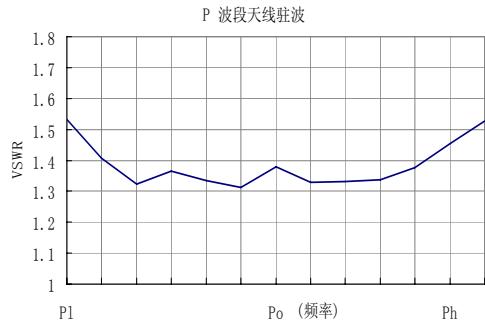


图 7

6 结束语

用矩量法计算和有限元分析方法与测试结果比较，结果比较吻合，这为我们在设计大型双频段阵列天线阵时提供了分析方法。

在天线的研制过程中课题组成员得到了姜新发研究员和匡勇研究员的指导，在此特向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 刘圣民. 电磁场的数值方法. 华中理工大学出版社. 1991
- [2] 魏明理. 对称振子和 V 型振子单元极低副瓣相控阵天线互耦的理论研究. 研究生论文. 1990.
- [3] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法. 电子工业出版社. 1985.

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>