近距离散射测量用 Ka 波段紧凑型阵列天线

王 辉 苗俊刚 姜景山

(北京航空航天大学 电子信息工程学院，北京 100191) (中国科学院空间科学与应用研究中心，北京 100190)

摘 要：设计了一种工作于Ka波段的、用于近距离散射测量的四单元紧凑型阵列天线，在阵列近场实现了较均匀的幅相分布.辐射单元由角锥喇叭天线和E面金属板透镜天线组成.馈电网络由魔T、弯波导组成，为各辐射单元提供等幅同相馈电.采用阵列形式和采用透镜调节喇叭口面相位，都较大程度地减小了阵列的纵向尺寸，且电性能也有明显改善.给出了阵列天线近场的测试结果，并对测试结果进行了分析.在距离阵列口面0.5 m处，在与阵列宽度相同的范围内，幅度和相位波动分别在±2.5 dB和±25°左右.

关 键 词：天线；阵列；透镜；散射；近场

中图分类号：TN 820.1+5

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2010)11-1378-04

Compact array antenna in Ka band for near-field scattering measurements

Wang Hui Miao Jungang

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Jiang Jingshan

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A four-element compact array antenna was designed operating in Ka band for near-field scattering measurements, and an approximately uniform amplitude and phase distribution in the near fields of array antenna was achieved. The radiating element consists of pyramidal horn antenna and E-plane metal-lens antenna. The feed network consists of magic T and bend waveguides, providing equal magnitude and phase signals for radiating elements. The lengthways length of the array is significantly reduced by employing array and E-plane metal-lens antenna, and the electrical performance is also improved. The near fields of array antenna was tested, and the test results were analyzed. In the plane 0.5 m from the aperture of the array with width equal to that of the array, the amplitude and phase ripples are around ±2.5 dB and ±25° respectively.

Key words: antennas; arrays; lenses; scattering; near field

在电磁散射测量中，理想的入射波是平面波.一般产生平面波的方法有远场法、紧缩场法[1]和阵列近场方法.但在有限定尺寸的空间进行电磁散射测量时，常常需要在近距离内实现一定尺寸的平面波分布.大尺寸平面波区生成，可用紧缩场的方法；而小尺寸平面波区生成，则常用喇叭天线加介质透镜构成.但是为了提高口径的利用率，喇叭天线常常需要较大的纵向尺寸.

为了解决在狭窄空间进行电磁散射测量时，对产生较大尺寸平面波区的需求，本文对在阵列天线近场区域产生平面波分布进行了研究.由于空间的限制，阵列应具有紧凑的结构形式.虽然一些学者对在阵列近场产生平面波进行了研究[2-4]，但主要采用阵列综合的方法，在阵列布局一定的情况下，对激励的幅度和相位进行优化.本文采用透镜调节阵列口面相位实现较均匀的口面

收稿日期：2009-10-13

基金项目：航天科技创新基金资助项目(CAST)；国家863计划资助项目(2007AA12Z122)

作者简介：王 辉(1981—)，男，山东泰安人，博士生，hwang@ee.buaa.edu.cn.

分布,天线阵列工作于 Ka 波段,由 2×2 角锥喇叭天线阵列和 E 面金属板透镜构成.

其馈电网络由魔 T、弯波导组成.采用阵列形式和采用透镜调节喇叭口面相位,都较大程度地减小了阵列的纵向尺寸,且电性能也有明显改善.

1　辐射单元

辐射单元由角锥喇叭天线和 E 面金属板透镜[5-7]组成,见图 1.喇叭天线采用前部具有伸出段的结构,是为了易于透镜的固定和阵列的装配.喇叭天线作为金属板透镜的馈源,金属板透镜置于喇叭的前端,透镜的焦点与喇叭天线的相心重合.E 面金属板透镜属于加速型透镜[8],它是由与电场极化方向平行的、具有合适间隔的一组金属导体板组成,金属板的边缘构成了透镜轮廓,板间的空间形成了波导,金属板间为空气.对于限定主模 TE_{10} 传播的情况,板间隔 a 的范围为 $\lambda_0/2<a<\lambda_0$(λ_0 为空气中的波长),此时 TE_{10} 在导体板间的传播相速为

$$v=\frac{v_0}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} \tag{1}$$

其中,v_0 为空气中的传播相速.金属板透镜的等效折射率为

$$n=\frac{v_0}{v}=\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2} \tag{2}$$

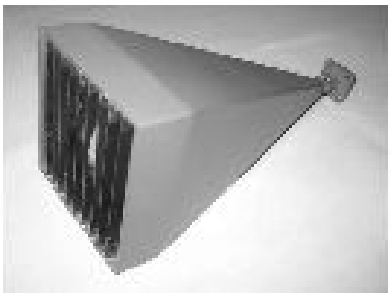

图 1　角锥喇叭和金属板透镜

2　馈电网络

馈电网络的作用是分离输入信号,采用由魔 T 功分器、弯波导等分离元件组成的波导形式馈电网络,如图 2 所示.各输出端口提供等幅同相信号输出,各输出端口的相位差测试结果如图 3 所示.

由图 3 可知,在 33～37 GHz 的频率范围内,各输出端口相位差在 11°以内.分析产生相位差的原因,主要是因为各分离元件装配误差,引起了各输出端口未能等电长度馈电.另外各输出端口的传输系数测试结果在－6.5 dB 左右.

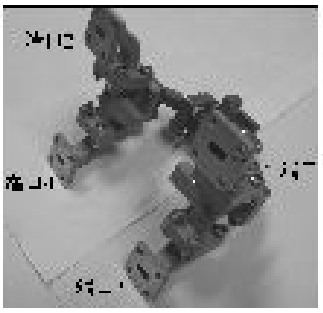

图 2　一分四波导形式馈电网络

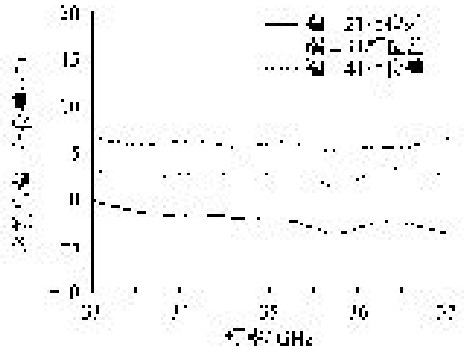

图 3　各输出端口相位差(测试)

3　2×2 阵列天线

由喇叭天线和金属板透镜(图 1)、馈电网络(图 2)构建的 2×2 阵列天线如图 4 所示,4 个阵列单元紧贴并排放置,单元口面位于同一平面上.在相同口面尺寸和口面相差条件下,采用阵列形式与采用单个喇叭天线相比,天线纵向尺寸缩短了 4/5 左右.在喇叭天线前端放置透镜,在相同口面相差条件下,相对于未加透镜情况,减小喇叭天线纵向尺寸超过 2/3 以上.所以采用阵列形式和采用透镜调节喇叭口面相位,都较大程度地缩短了天线的纵向尺寸.阵列的横向尺寸为 13.5 cm×13.5 cm,纵向尺寸为 24 cm.



图 4　四单元紧凑型阵列天线

4　测试和计算结果

单喇叭天线加透镜前、后的驻波比测试结果

如图5所示.由于透镜金属片反射的影响,加透镜后会使驻波比有所增加.但是在33～37 GHz频率范围内,加透镜后驻波比也都小于1.5.

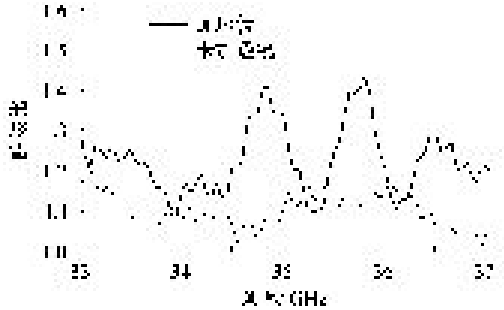

图5 单喇叭天线加透镜前后驻波比(测试)

对于单喇叭天线加透镜前后,在天线口面处,过口面中心、沿垂直方向的相位计算结果(35 GHz)如图6所示.

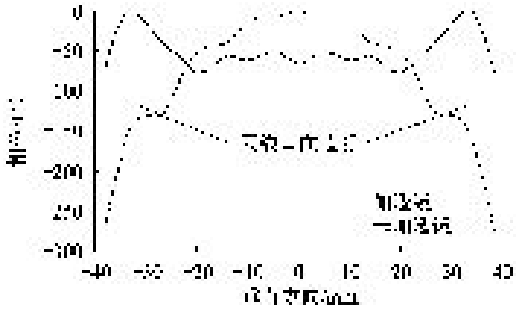

图6 过喇叭天线口面中心垂直方向相位分布(35 GHz)

由图6可知,在喇叭天线口面放置透镜,确实起到了调节相位的效果.但在垂直方向对相位的调节较明显,而在水平方向对相位的调节并不明显(未列出).这是因为E面金属板透镜沿电场极化方向(垂直方向)的轮廓是连续的,而沿与电场极化垂直的方向(水平方向),由于空气的间隔透镜的轮廓是不连续的.所以透镜对垂直方向的相位分布改善较大,对水平方向的相位分布改善较小.

对未加透镜和加透镜两种情况阵列近场进行了测试,电场沿垂直方向极化.加透镜前后,距离阵列口面0.5 m处,与阵列轴线相交,沿水平方向、垂直方向的幅度分布(35 GHz)分别如图7和图8所示,相位分布(35 GHz)分别如图9和图10所示.

由图7可知,在未加透镜时,由于波的叠加和干涉形成了多个峰值,波动超过了10 dB.由图8可知,加透镜后幅度分布是锥削形式的,只有一个较大的峰值,波动在7 dB左右.在阵列轴线上幅度有较大的峰值,这是因为各辐射单元的同相馈电,在阵列轴线上距离口面一定距离处幅度同相叠加,从而产生峰值.另外距离口面越远,阵列轴线上和阵列边缘的相位差越小,峰值的相对值越大.在垂直方向幅度分布波动较小,而在水平方向幅度分布波动较大.这是因为在口面处垂直方向上,幅度为均匀分布和透镜对相位的调节较明显;而在口面处水平方向上,幅度为锥削分布和透镜对相位的调节不明显.在与阵列宽度相同的范围内,幅度波动在±2.5 dB左右.

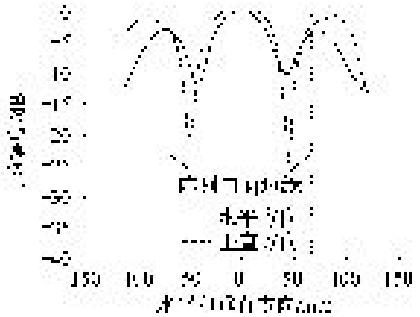

图7 沿水平方向和垂直方向幅度分布(测试,未加透镜)

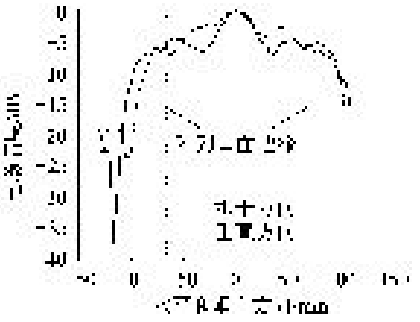

图8 沿水平方向和垂直方向幅度分布(测试,加透镜)

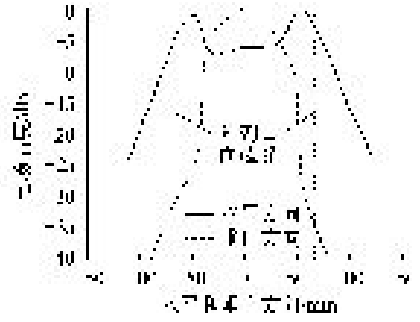

图9 沿水平方向和垂直方向相位分布(测试,未加透镜)

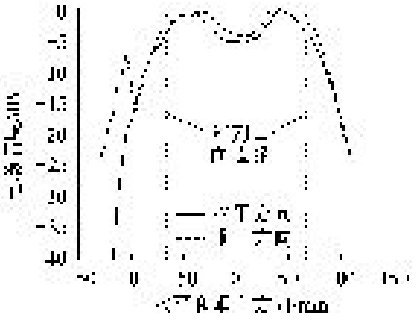

图10 沿水平方向和垂直方向相位分布(测试,加透镜)

由图 9 可知,在未加透镜时,由于口面相位差较大,形成的近场相位分布波动也较大.由图 10 可知,由于透镜对口面相位的调节,减小了口面相差,从而减小了近场相位波动.在加透镜后,在阵列轴线附近相位出现了滞后.这是因为在阵列近场,主要表现为单喇叭的特征.对于单喇叭,在单喇叭的轴线上波程较短,而在阵列轴线上波程较长,所以在阵列轴线附近相位是滞后的.另外距离口面越远,阵列逐渐等效为一个天线,阵列轴线上相位逐渐超前.在与阵列宽度相同的范围内,相位波动在±25°左右.在距离阵列口面 0.5 m 处,不同区域范围内的幅度和相位波动如表 1 所示.由于测试仪器和周围环境的影响,实际波动要小于测试结果.

表 1　不同区域范围内幅度和相位波动(测试)

区域大小/mm	幅度波动/dB	相位波动/(°)
±10	1.3	8.5
±20	4.0	25.5
±30	6.5	32.4

5　结 束 语

本文研究了一种具有纵向紧凑型的阵列天线,由 2×2 角锥喇叭天线阵列和 E 面金属板透镜构成.馈电网络由魔 T、弯波导组成.采用阵列形式和采用透镜调节喇叭口面相位,都较大程度地减小了阵列的纵向尺寸.给出了阵列天线近场的测试结果,并对测试结果进行了分析.由于各辐射单元的同相馈电,在阵列轴线上距离口面一定距离处幅度同相叠加,从而产生峰值.由于在阵列近场,单个角锥喇叭轴线和口面边缘波程差的原因,在阵列轴线附近相位是滞后的.

在距离阵列口面 0.5 m 处,在与阵列宽度相同的范围内,幅度和相位波动分别在±2.5 dB、±25°左右.引起幅相波动较大的原因有:由于各分离元件的装配误差,使各单元未能同相馈电;金属板透镜对与电场极化垂直方向的相位调节不明显;未能调节角锥喇叭天线口面电场幅度的锥削形式分布;阵列口面处有限尺寸平面波的截断效应.

致　谢　衷心感谢薛永博士、王正鹏博士在天线研究和文章写作过程中给予的建议和帮助.衷心感谢郝立强在天线测试中给予的帮助.

参考文献(References)

[1] Johnson R, Ecker H, Moore R . Compact range techniques and measurement[J]. Antennas Propagat, IEEE Transactions on ,1969,17(5):568－575

[2] Hill D A, KoepkeG H. A near-field array of Yagi-Uda antennas for electromagnetic-susceptibility testing[J]. Electromagn Compat, IEEE Transactions on, 1986, 28(4):170－178

[3] Excell P S, Jackson N N, Wong K T. Compact electromagnetic test range using an array of log-periodic antennas[J]. Microwaves, Antennas and Propagation, IEEE Proceedings H, 1993, 140(2):101－106

[4] Haupt R. Generating a plane wave with a linear array of line sources[J]. Antennas Propagat, IEEE Transactions on, 2003, 51(2):273－278

[5] Kock W E. Metal-lens antennas[J]. Proceeding of the IRE and Waves and Electrons, 1946, 34(11):828－836

[6] Henry Jasik. Antenna engineering handbook[M]. New York: McGraw-Hill, 1961:14(31)－14(39)

[7] Lengyel Bela A. Reflection and transmission at the surface of metal-plate media[J]. Journal of Applied Physics, 1951, 22(3):265－276

[8] Kraus J D, Ronald J. Marhefka antennas: for all applications[M]. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2008:607－625

(编　辑:娄　嘉)