

文章编号: 1001 - 893X(2010)08 - 0125 - 04

S/Ka 双频段馈源新型喇叭罩设计*

梁志平, 李世平, 梁 蓉

(中国电子科技集团公司第三十九研究所, 西安 710065)

摘要: 论述了一般喇叭罩的设计原则和思路, 提出了采用 B 夹层结构的聚四氟乙烯 S/Ka 双频段馈源喇叭罩的设计思想, 及喇叭罩的具体设计方法。实验证明, 该喇叭罩性能优良, 已成功应用到某大型 S/Ka 双频段工程中。

关键词: 天线馈源; S/Ka 双频段; 喇叭罩; B 夹层结构; 聚四氟乙烯; 一体化设计

中图分类号: TN957 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.08.026

Design of a Novel Radome of Horn for S/Ka Dual Bands Feed

LIANG Zhi - ping , LI Shi - ping , LIANG Rong

(The 39th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Xi'an 710065, China)

Abstract: This paper describes the principle and idea to design a radome of feed horn, presents the radome for an S/Ka dual bands feed horn in a type of B - type structure manufactured with PTFE (Polytetrafluor Ethylene), and provides the design method. Experiment proves that the technical performance of the radome is excellent. The radome has been successfully applied in an S/Ka bands antenna.

Key words: antenna feed; S/Ka dual bands; radome of horn; B - type structure; polytetrafluor ethylene (PTFE); integrated design

1 引 言

喇叭罩是用来保护馈源喇叭的一种非金属材料, 可以起到密封隔离的作用, 避免使喇叭端口直接暴露于外界环境下, 防止雨雪、沙尘等杂物进入馈源系统对其可能造成的结构以及电气性能的影响和损坏。同时, 还可以实现馈源系统的结构密封以便对其进行充气, 从而达到赶潮、加压的目的, 以增大系统的功率容量, 满足大功率发射的需要。

尽管喇叭罩可以起到保护馈源系统的功能, 但是它的存在必然会影响到馈源的性能。因为微波信号会在喇叭罩表面产生反射, 在介质中产生吸收衰减、折射等现象, 导致馈源系统的驻波比恶化, 系统的损耗增加。以上对馈源系统的这些影响构成了喇叭罩的电磁特性, 通过对喇叭罩的优化设计, 使其在

馈源工作条件下造成的影响不超过规定的限度, 满足馈源系统要求。

2 S/Ka 双频段馈源喇叭罩的设计

2.1 喇叭罩设计原则

在喇叭罩设计时采用类似天线罩的设计思想及方法。与天线罩类似, 喇叭罩的电磁性能参量也决定于馈源系统和喇叭罩的某些变量, 这些变量可分为约束变量和设计变量两大类。受使用喇叭罩系统所约束的变量称为约束变量, 设计时不能随意改变, 例如馈源系统辐射的频率、极化和口径分布等。很明显, 对于较高的工作频段, 喇叭罩的厚度也是受约束的变量。此外, 馈源即天线所处的环境条件也会影响到喇叭罩的具体设计。设计变量是指设计中为达到(或接近)所希望的喇叭罩性能而可以自由选择的一些附加

* 收稿日期: 2010 - 06 - 02; 修回日期: 2010 - 07 - 15

变量,如喇叭罩的厚度、材料的介电常数等。

喇叭罩设计时,一般应当满足以下的设计规范和要求^[1]:

(1)电磁性能:满足馈源系统所要求的驻波比、插入损耗等指标要求,以保证喇叭罩的引入不会严重影响系统的性能;

(2)结构性能:保证具有一定的结构强度,尤其是对一些具有特殊要求如密封、充气、加压等的系统而言;

(3)环境要求:能够抵御外界恶劣环境,如风负荷、温度、湿度、雨雪、沙尘及昆虫、霉菌等污染物的侵害。

2.2 喇叭罩设计思想

常用的介质天线罩主要包括单层介质壁结构、A夹层结构、B型夹层结构、C夹层结构、多夹层结构等几种形式^[2]。

常用的喇叭罩一般多采用单层介质壁结构,其壁厚远小于介质中的波长,一般为 $(1/10 \sim 1/20) \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon}}$ 。这种结构形式只适合于低频段工作波长较长的馈源,对于高频段需采用足够薄的单层结构才不至于影响馈源的电气性能,但这势必满足不了结构要求的强度。为了提高结构强度,高频段喇叭罩可以采用半波整数倍厚的多层结构。

电磁波在介质中的传播可以等效为传输线,在多层结构介质板情况下每层界面均存在反射,因而计算多层介质的总反射和传输系数的公式很繁琐。

在多层介质喇叭罩设计时,依据文献^[2,3]运用四端口网络理论推导的公式计算介质平板的电性能,从而对喇叭罩进行理论设计。

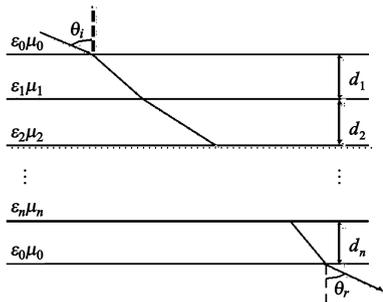


图1 多层介质平板的传输和反射

Fig.1 Transmission and reflection of the multi-dielectric board

如图1所示,与n层介质板等效的n级四端口网络级联,网络的矩阵为

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $A_i = D_i = \cosh(j\gamma_i d_i)$, $B_i = Z_{0i} \sinh(j\gamma_i d_i)$, $C_i = \sinh(j\gamma_i d_i) / Z_{0i}$ 。 $\gamma_i = 2\pi \sqrt{\epsilon_i - \sin^2 \theta_i} / \lambda$ 为第i层

的传播常数, d_i 是第i层的厚度, ϵ_i 是第i层的复相对介电常数, θ_i 是入射角,满足 $\cos \theta_i = \hat{s} \cdot \hat{n}$, \hat{n} 为入射点处的单位外法向矢量, \hat{s} 为入射点平面波的传播方向单位矢量, Z_{0i} 是第i层对自由空间归一化特征阻抗,对平行极化有

$$Z_{0i} = Z_{//} = \sqrt{\epsilon_i - \sin^2 \theta_i} / (\epsilon_i \cos \theta_i) \quad (2)$$

对垂直极化有

$$Z_{0i} = Z_{\perp} = \cos \theta_i / \sqrt{\epsilon_i - \sin^2 \theta_i} \quad (3)$$

罩壁对电波的透过系数和反射系数为

$$T = \frac{2}{A + B + C + D} = T_0 \exp(-j\varphi_t) \quad (4)$$

$$R = \frac{A + B - C - D}{A + B + C + D} = R_0 \exp(-j\varphi_r) \quad (5)$$

插入相移为 $\varphi = \varphi_t - \frac{2\pi d \cos \theta}{\lambda}$, $d = \sum_{i=1}^N d_i$ 。

2.3 S/Ka 双频段馈源喇叭罩设计

S/Ka 双频段馈源为组合馈源,它由外围4个S频段喇叭及中间的Ka频段喇叭组成,其结构形式如图2所示。因此,S/Ka 双频段馈源喇叭罩可以分别对S频段和Ka频段独立设计,然后再一体加工而成。

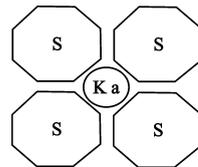


图2 S/Ka 双频段馈源结构

Fig.2 Configuration of the S/Ka dual bands horn

Ka频段由于频率高,喇叭罩对电气性能影响大,采用B夹层结构,其原理结构如图3所示。它由3层组成,最内层介质的介电常数较高,两个外表层介电常数较低,外表层厚度约为波长的四分之一,与内层匹配。这种结构类似于光学薄膜,它的外表层起着四分之一波长阻抗变换器的作用,使高介电常数的夹芯层与空气介质良好匹配。



图3 高介电常数芯层的B夹层结构

Fig.3 The B-type of center ply with high dielectric constant

为了得到所期望的介电常数以及最终的 B 型结构, Ka 喇叭罩的外层采用介质板打盲孔的形式,通过对孔径、孔间距等参数的适当选择,可以实现所期望的优良性能,具体电气结构如图 4 所示。

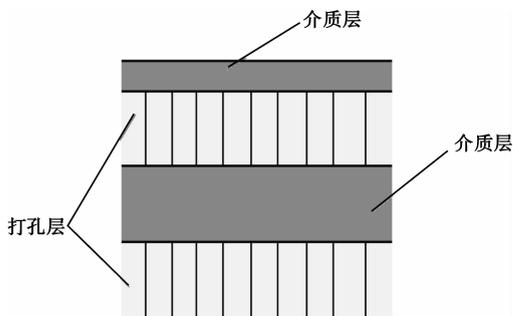


图 4 Ka 喇叭罩的结构形式

Fig.4 Structure of the radome for Ka band horn

S 频段喇叭罩由于频率较低,可以通过在一定厚度的介质板上打盲孔,实现低介电常数来保证 S 频段电气性能,其结构如图 5 所示。

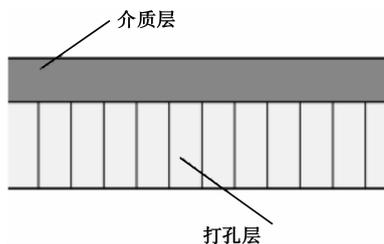


图 5 S 喇叭罩的结构形式

Fig.5 Structure of the radome for S band horn

应用 Ansoft 公司的 HFSS11.0 电磁仿真软件进行参数优化,电气指标得到良好的改善:

(1)S 频段喇叭罩在工作频带内,反射系数小于等于 -28.4 dB,并且在 $0.5 \sim 4.0$ GHz 的宽频带内反射系数小于等于 -24.2 dB;

(2)Ka 频段喇叭罩在工作频带内,反射系数小于等于 -26.3 dB,并且在 $18.0 \sim 33.0$ GHz 的宽频带内反射系数小于等于 -20.8 dB。

图 6~9 为 S、Ka 喇叭罩的仿真模型及最终仿真结果。

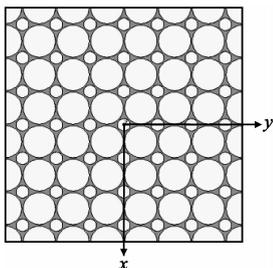


图 6 S 喇叭罩的仿真模型

Fig.6 Simulation model for the radome in S band

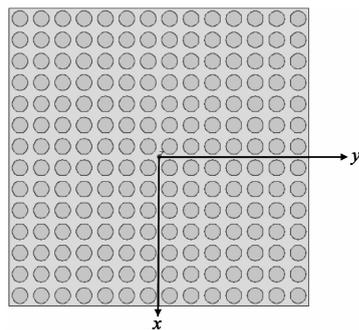


图 7 Ka 喇叭罩的仿真模型

Fig.7 Simulation model for the radome in Ka band

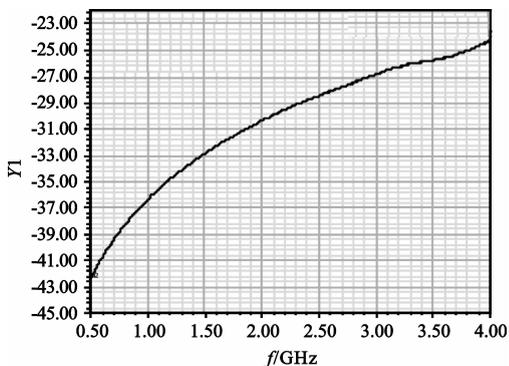


图 8 S 喇叭罩的反射系数仿真结果

Fig.8 Simulation result of the reflective coefficient in S band

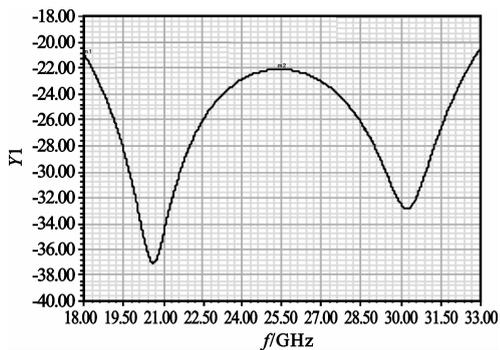


图 9 Ka 喇叭罩的反射系数仿真结果

Fig.9 Simulation result of the reflective coefficient in Ka band

3 实测结果

为保证喇叭罩的结构完整性, S、Ka 喇叭罩采用一块完整的介质板加工而成,实现了结构一体化设计,实物如图 10 所示。反射系数的测试结果如图 11 所示。

针对 Ka 频段进行了喇叭及喇叭罩反射系数的测试,测试结果表明:这种 6.7 mm 厚度的喇叭罩对 Ka 频段喇叭性能影响很小,在工作频带内整个馈源系统的反射系数小于等于 -19.07 dB, Ka 喇叭罩的

损耗大约为0.05 dB。

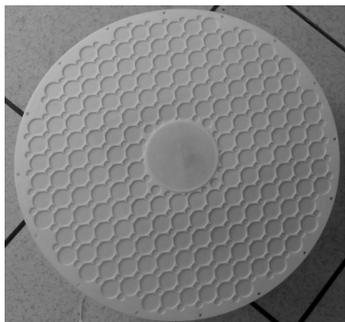
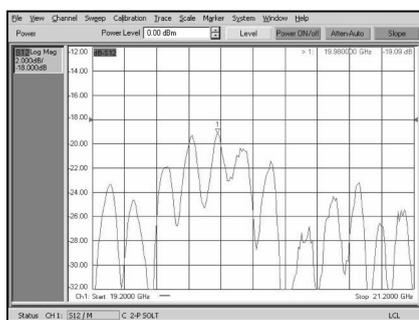
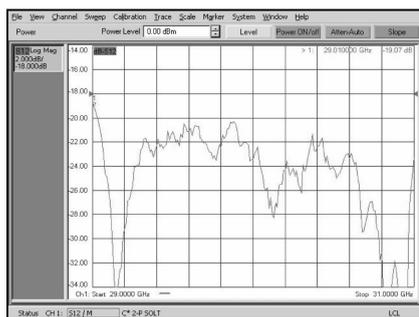


图10 S/Ka一体化喇叭罩实物

Fig.10 Photo of an integrated radome in both S and Ka band



(a) 19.2 ~ 21.2 GHz



(b) 29 ~ 31 GHz

图11 Ka频段馈源系统反射系数实测结果

Fig.11 Test results of the reflective coefficient of Ka band feed

4 结论

采用较高介电常数、环境适应性好的厚聚四氟乙烯介质板,通过打孔方式将其等效为低介电常数,降低了喇叭罩在Ka频段的热损耗和反射损耗。测试结果表明:S/Ka双频段馈源喇叭罩不仅性能优越,且结构强度高,其对Ka频段而言,喇叭罩的厚度几乎达到了3/4波长,非常适合作为大功率天馈系统的喇叭罩使用。该喇叭罩已经应用到某工程S/Ka双频段天馈系统中,其性能优良。

5 致谢

中国电子科技集团公司第三十九研究所微波与天线室梁蓉工程师完成了喇叭罩的电气尺寸仿真设计,李世平工程师完成了喇叭罩的结构设计,对他们的工作表示感谢。此外,本文的完成还得到了段玉虎研究员、邓淑英研究员的指导和帮助,在此也一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 林昌禄. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社出版, 2002.
LIN Chang-lu. Handbook of Antenna Engineering[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2002. (in Chinese)
- [2] 杜耀惟. 天线罩电信设计方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.
DU Yao-wei. Radome RF Design Method[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1993. (in Chinese)
- [3] 张祖稷, 金林, 束咸荣. 雷达天线技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
ZHANG Zu-ji, JIN Lin, SHU Xian-rong. Radar Antenna Technologies[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2005. (in Chinese)
- [4] 张德齐. 微波天线[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987.
ZHANG De-qi. Microwave Antenna[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1987. (in Chinese)
- [5] 刘克成, 宋学诚. 天线原理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1989.
LIU Ke-cheng, SONG Xue-cheng. Principle of Antenna [M]. Changsha: National Defense Science & Technology Press, 1989. (in Chinese)

作者简介:

梁志平(1953-), 男, 陕西淳化人, 高级工程师, 主要研究方向为雷达与测控;

LIANG Zhi-ping was born in Chunhua, Shaanxi Province, in 1953.

He is now a senior engineer. His research concerns radar and TT&C.

Email: yuelr505@sohu.com

李世平(1966-), 男, 陕西扶风人, 工程师, 主要研究方向为微波结构;

LI Shi-ping was born in Fufeng, Shaanxi Province, in 1966. He is now an engineer. His research direction is microwave structure.

梁蓉(1983-), 女, 陕西淳化人, 工程师, 主要研究方向为微波技术与天线。

LIANG Rong was born in Chunhua, Shaanxi Province, in 1983. She is now an engineer. Her research interests include microwave technology and antenna.