

复合材料天线设计及实验结果分析^{*}

徐亚茹

(中国电子科技集团公司第 20 研究所, 陕西 西安 710068)

摘要 介绍了复合材料天线的设计思路, 对复合材料天线在设计中的参数选定、模型建立、网络划分及连接处应注意的问题作了全面的阐述, 并通过风洞实验及振动实验, 对设计结果进行了验证。

关键词 复合材料; 天线; 风洞实验

中图分类号 TN957.2 文献标识码 B 文章编号 1008-5300(2003)03-0028-03

Design of Composite Material Antenna and the Analysis of Experimental Results

Xu Yaru

(The 20th Research Institute of CETC, Xi'an 710068, China)

Abstract This paper introduces the design method of composite material antenna, exposes the problems of parameter selection, modeling, network distribution, and joints which should be paid attention to during the design, and verifies the design results with the wind tunnel experiment and vibrations experiment.

Key Words Composite; Antenna; Wind tunnel experiment

1 概述

在进行天线设计时,首先根据雷达系统对天线系统提出的要求,进行天线结构总体方案设计,并为天线选择合适的材料。

天线结构技术要求,主要由以下几个方面组成:

(1) 精度要求

精度包括型面精度和定位精度。

主要工作是根据目前设备及工艺能达到的加工水平,进行合理的精度分配。

(2) 机械性能要求

机械性能要求包括:抗风性能、抗振性能、温度特性等要求。

a. 抗风性能:在 40m/s 风速下,天线能正常工作;在 54m/s 风速下,天线不破坏。

b. 抗振性能:系统要求,该天线固有频率 $f_0 > 70\text{Hz}$ 。

c. 温度特性:天线在 $-40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 环境下能

正常工作。

(3) 三防要求

防潮、防盐雾、防霉菌。

(4) 重量要求

系统要求该天线总重量 $< 20\text{kg}$ 。

综合分析了以上系统要求,确定结构方案,选定复合材料,因复合材料性能受原材料及工艺规程影响比较大,在初定材料型号和结构类型后,先制做实验样板,对其进行性能参数测定,确定工艺规程,以测出的力学数据作为计算分析参数(见表 1 和表 2)。在分析计算的基础上进行天线结构设计,加工成型后,进行风洞、振动实验,对设计进行了全面的验证。

2 天线设计分析及结果

2.1 结构形式与材料性能

2.1.1 结构形式

雷达天线反射器和罩子均为蜂窝夹层结构,不

同的是反射器采用碳纤维面板——铝蜂窝夹层。天线罩采用玻璃纤维面板——玻璃布蜂窝夹芯。为了加强反射器的4个支座传递载荷的能力,将支座所在的圆形带的蜂窝夹芯改为填充胶蜂窝夹芯,结构示意如图1所示。

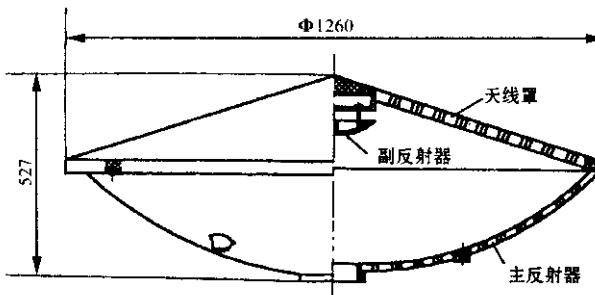


图1 雷达天线反射器天线罩结构示意图

2.1.2 材料性能

(1) 天线罩结构材料性能见表1

表1 E 玻璃/玻璃布蜂窝夹层板及其他材料力学性能

力学性能	符号	单位	数值
玻璃布增强树脂面板模量	E ₁₁	GP _a	17.2
	E ₂₂	GP _a	14.6
剪切弹性模量	G ₁₂	GP _a	5.6
面内泊松比	ν_{12}		0.3
玻璃布蜂窝芯模量	E ₃₃	GP _a	0.48
	G ₁₃	GP _a	0.078
	G ₂₃	GP _a	0.033
蜂窝夹芯板面内拉伸强度	σ_{1b}	MP _a	98.5
	σ_{2b}	MP _a	96.4
蜂窝夹芯板面外拉伸强度	σ_{3b}	MP _a	0.988
蜂窝夹芯板密度	ρ_c	kg/m ³	300
玻璃蜂窝密度	ρ_h	kg/m ³	57
玻璃布面板密度	ρ_l	kg/m ³	2000
玻璃布面板热胀系数	σ_g	10 ⁻⁶ /K	5.0
铝合金密度	ρ_t	kg/m ³	2700
铝合金热胀系数	α_L	10 ⁻⁶ /K	10.0

(2) 主反射器结构材料性能见表2

2.2 计算模型及网格划分

2.2.1 模型建立

计算采用SAP-91(ALGOR)大型商用结构分析有限元程序中的复合材料分析模块,由于主反射

表2 T300/铝蜂窝夹层板及其他材料力学性能

力学性能	符号	单位	数值
蜂窝板面板弹性模量	E ₁₁	GP _a	55.9
	E ₂₂	GP _a	58.63
	E ₃₃	GP _a	0.32
蜂窝板面板面内泊松比	ν_{12}		0.29
蜂窝板面板面内泊松比	ν_{21}		0.30
面板剪切弹性模量	G ₁₂	GP _a	21.5
芯子剪切弹性模量(1)	G ₁₃	GP _a	0.205
芯子剪切弹性模量(2)	G ₂₃	GP _a	0.113
蜂窝面板面内压缩强度	σ_{1b}	MP _a	104.1
蜂窝面板面内压缩强度	σ_{2b}	MP _a	106.5
蜂窝面板面外压缩强度	σ_{3b}	MP _a	1.41
芯子剪切强度(1)	τ_{13b}	MP _a	0.96
芯子剪切强度(2)	τ_{23b}	MP _a	0.679
充填胶模量	E ₀	GP _a	2.5
充填胶拉伸强度	σ_c	MP _a	40
钛合金模量	E	GP _a	112.0
蜂窝板密度	ρ_h	kg/m ³	300.5
铝蜂窝密度	ρ_{lh}	kg/m ³	39
充填胶密度	ρ_f	kg/m ³	670
碳纤维面板密度	ρ_g	kg/m ³	1600
钛合金密度	ρ_t	kg/m ³	4592
碳纤维面板热胀系数	α_c	10 ⁻⁶ /K	2.4
钛合金热胀系数	α_t	10 ⁻⁶ /K	9.7
充填胶热胀系数	α_m	10 ⁻⁶ /K	20.0

器及天线罩结构均为复合材料蜂窝夹层结构,因而采用程序中的夹层板单元进行计算。计算时,所有夹层板部分全部按三层板简化,即上、下面板和芯子各为一层,由于夹层板两方向的弹性常数相差不大,各向异性特性不明显,为了简化计算,将面板和芯子均视为各向同性,材料性能均取试验数据低值,主反射器和天线罩的翻边按4层板简化,4个螺钉连接点按简支简化。另外,反射器4个支点处局部取为25mm厚板,其中上、下面板为0.5mm碳纤维层压板,中间层为树脂。为了达到传递载荷目的,支点处增加了5根梁单元,每个支点处还各加了三个边界单元,反射器底部金属圆环按梁单元简化。

2.2.2 网络划分

由于反射器和罩子均为旋转体,因此周向每单元按 10° 均匀划分,加上纬向划分,形成4节点板元。共有板元792个,梁元56个,边界元12个,共有860个单元815个节点。

2.3 计算结果分析

2.3.1 天线风载变形

天线变形图如图2所示。

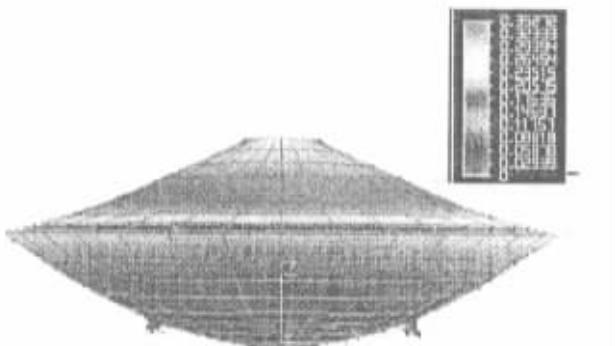


图2 天线变形图

主反射器的最大变形在翻边的层压板处为:

$$\Delta Z = -0.12 \text{ mm} \quad (\text{工况 } 40 \text{ m/s 风速正风吹})$$

天线罩的最大变形在边缘距中心孔边约 $1/3$ 处为:

$$\Delta Z = -0.32 \text{ mm} \quad (\text{工况 } 40 \text{ m/s 风速正风吹})$$

天线罩支撑筒根部最大位移为:

$$\Delta Z = -0.24 \text{ mm}$$

该天线各部分强度值均满足设计要求。

2.3.2 天线温度变形

工况由常温 23°C 变到 -40°C 时的变形量。

主反射器轴向最大变形在填充胶圆环附近为:

$$\Delta z_{\max} = 0.05 \text{ mm}$$

横向最大变形在法兰翻边处为:

$$\Delta X_{\max} = 0.15 \text{ mm}$$

天线罩轴向最大变形在填充胶圆环附近为:

$$\Delta Z_{\max} = 0.21 \text{ mm}$$

横向最大变形在法兰翻边处为:

$$\Delta x_{\max} = \Delta y_{\max} = 0.15 \text{ mm}$$

2.3.3 抗振设计

(1) 用天线罩支撑副面,整体刚性好,抗振性能好。

(2) 经计算得知,该天线系统的一阶固有频率 $f_1 = 119.39 \text{ Hz}$ 。

2.3.4 结果分析

(1) 电气设计要求,副反射面轴向位移 $\Delta Z \leq 0.6 \text{ mm}$ 。

由计算分析得知,副反射面轴向位移为:

$$\Delta Z_{\max} = 0.12 + 0.24 = 0.36 \text{ mm}$$

$$\Delta Z_{\max} \leq 0.6 \text{ mm}$$

满足设计要求。

(2) 总体要求,该天线系统固有频率 $f_0 \geq 70 \text{ Hz}$ 。

由计算得知:

$$f_{\text{设}} = 119.39 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{设}} > 70 \text{ Hz}$$

满足设计要求。

(3) 系统对温度变形未做定量要求,此计算是为了对天线温度变形做定性了解。

3 风洞实验结果分析

风洞实验是在某翼形研究中心的NF-3风洞中进行。NF-3风洞是一座直流式闭口风洞。它有三个可更换的实验段:二元段、三元段和螺旋桨实验段。实验是在三元实验段中进行的。

将天线与高频箱相连。高频箱体固定在由14#槽钢铆焊成的支架上。支架简称为后支架。

当测量天线负反射面变形时,将位移传感器安装在天线前方约300mm处的坐标架上(简称前支架),传感器探头可沿坐标架上、下移动。坐标架通过上、下端板固定在风洞上、下洞壁上。移动坐标架在端板间的位置,就可改变传感器探头左右测量位置。由此实现了对天线负反射面Y、Z两个方向的测量。由于雷达天线负反射面为锥形型面,为了保证测量准确,采用自行设计的多自由度转动机构,使传感器探头比较准确地位于测量点的法线方向。传感器测出的位移中包含了前、后支架轴向变形,以及所测点天线罩的变形。

用位移传感器对天线进行了塑性变形测量试验,试验结果表明:

(1) 天线在风速 $V \leq 54 \text{ m/s}$ 下,天线主、副反射面没有产生塑性变形,只产生较小的弹性变形,这表明天线具有良好的强度和刚度特性(总体要求,天线在 54 m/s 风速下,不破坏)。

(2) 天线在风载作用下,副反射面弹性变形比

(下转第43页)

来了齿轮支架结构复杂的问题,但与提高齿轮精度相比要容易解决一些。此外,为减小摩擦噪声,除最后一级传动之外,其他各级齿轮精度定为JGMA-3~4级,通过模具制造和精密注塑来保证。

对于塑料齿轮而言,各级传动的齿轮材料遵循“软硬搭配”的原则,可有效降低噪声,尤其是对高速传动级。在本例中,蜗杆采用了刚性较好的POM,因此选用一种能有效降低噪声的蜗轮材料就显得十分重要。实验表明,在开门机构中采用不同材料制作的蜗轮,噪声水平差距可达3dB。通过衡量材料的强度、硬度、尺寸稳定性及价格等多方面因素,确定尼龙12可以较好地满足要求。

5 结果

经过精心设计并配合精密的模具制造,XL-

(上接第30页)

主反射面的大,且变形随风速的增大而增加。

(3) 由于副反射面为一锥形型面,其刚度要比平板好,故在 $V=40\text{m/s}$ 整个副反射面的平均弹性变形量仅为 0.328mm ,沿径向变化的大致趋势是在边缘距中心孔($\Phi 160\text{mm}$)边约三分之一处,天线罩变形略大。天线罩支撑筒根部最大位移 $\Delta Z_{\text{测max}}=0.37<0.6\text{mm}$ 。

由此可见实测变形规律与计算结果相符。

(4) 试验重复精度为 0.002mm 。

4 动态模拟实验结果分析

根据某雷达环境试验大纲,天线随整机进行了随机振动应力筛选,分机宽带振动检查试验,实验结果表明天线完全满足使用要求。

5 结论

由风洞实验和振动实验结果可以得知,天线设计思路、设计方法及设计分析结果是正确的。

3500的CD开门机构达到了预期的设计要求,实测的CD仓门开关门噪声为 45dB ,耐久性测试结果达到了30000次开合。

参考文献

- 唐水兴. 录像机机芯用S带盘座的模具设计. 通信与广播电视, 1996
- VTR塑料齿轮设计基准. 松下电器商品技术二部, 1993
- JGMA标准116-02(1983). 日本齿车工业会, 1983
- 黄锡恺, 郑文纬. 机械原理. 北京:高等教育出版社, 1989

作者简介 吴祎,男,工程师,主要从事家用音响产品的结构设计工作。

参考文献

- 陈绍杰. 复合材料设计手册. 北京:航空工业出版社, 1990
- 谢鸣九. 复合材料连接手册. 北京:航空工业出版社, 1994
- 叶尚辉. 天线结构设计. 北京:国防工业出版社, 1979

作者简介 徐亚茹,女,陕西人,高级工程师,主要从事雷达天线结构设计。

竭诚欢迎各界人士刊登广告,这里是您展示商品的最佳窗口。

联系电话 025-3772577

《电子机械工程》广告部

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>