

# 复合结构大尺寸天线罩的制备及其性能

刘 妍 李德里 闫欣怡

(航天特种材料及工艺技术研究所,北京 100074)

**文 摘** 选用玻璃纤维织物/环氧树脂,采用湿法手糊成型工艺研制了复合结构大尺寸天线罩。经过电性能测试和静力试验,结果表明,该罩体的选材、结构设计和工艺过程可行;天线罩最小透波率为 87%;天线罩通过了 120% 设计载荷的加载。

**关键词** 大尺寸天线罩,电性能,强度

中图分类号:V261.97

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2017.05.005

## Preparation and Properties of Composite Structured Large Radome

LIU Yan LI Deli YAN Xinyi

(Research Institute of Aerospace Special Materials and Processing Technology, Beijing 100074)

**Abstract** By applying wet hand lay-up process with glass fabric reinforced epoxy, a kind of composite structured large radome was developed. The results of electric property testing and static testing show the selection of material, structure design and process are feasible. The minimum power transmission efficiency of the radome is 87%; The 120% designing load testing was successful.

**Key words** Large radome, Electrical performance, Strength performance

### 0 引言

天线罩是航天产品雷达系统的重要组成部分,保护雷达导引头不受外部环境的影响,保证导引头天线接收电磁波的要求,使导引头能在使用环境中正常工作。同时,作为产品结构的重要组成部分,对产品外形具有整流作用,在产品起吊、运输、挂飞、弹射、飞行过程中要能承受各种静、动、热载荷作用以及雨雪侵蚀而不受损害<sup>[1]</sup>。

本文研制的大尺寸船型天线罩位于飞机腹部、局部要求透波功能,并具有一定的强度和刚度。要满足这些机载带飞要求,应选用低损耗角正切值和低介电常数的天线罩材料,以减少天线罩对雷达波的吸收和反射,最终达到“最大传输”和“最小反射”的目的<sup>[2]</sup>。同时设计天线罩结构时采用 A 夹层罩

壁结构,使得雷达波尽量接近零反射。

本文所研制天线罩工作在高中低三种频段,位于飞机的腹部,根据气动要求天线罩外型为船型,因此研制的天线罩具有大尺寸、多频段透波的特点。整罩由透波区(A 夹层蜂窝结构)和非透波区(玻璃钢单层结构)组成,采用一体化成型。对于这样一个大尺寸、局部夹层结构的天线罩的制备,及时总结其中的关键技术和工艺设计指导思想将为后续大尺寸天线罩的研制积累经验。

### 1 实验

#### 1.1 原材料

NH-1-2.75-72 型 Nomex 蜂窝,SY-24C 型胶膜,环氧树脂/0.17 mm 平纹玻璃布,氟塑料磁漆。材料的介电性能见表 1。

收稿日期:2017-04-09

第一作者简介:刘妍,1982 年出生,硕士研究生,主要从事树脂基复合材料的工艺研究。E-mail: liuyan\_0132@126.com

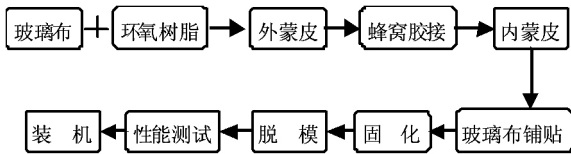
表1 选用材料的介电性能(经验值)

Tab.1 Dielectric properties of selecting materials (experience)

材料	$\epsilon$	$\text{tg}\delta$
环氧树脂玻璃钢	4.2	0.02
Nomex 蜂窝	1.1	0.002

### 1.2 大尺寸船型天线罩制备工艺流程

透波区采用真空袋压成型,非透波区采用手糊成型方法。复合结构天线罩成型工艺如下。



### 1.3 天线罩的制备工艺

按比例配好环氧树脂胶液和玻璃布,铺贴外蒙皮,室温凝胶后放入烘箱 80℃ 固化 2 h,将胶膜及蜂窝按顺序贴在外蒙皮内表面设计要求的透波位置,对透波区采用真空袋法 120℃ 固化 2 h(真空负压 0.07~0.1 MPa)。拆掉真空袋,紧贴蜂窝四周边缘铺贴玻璃布条以过渡蜂窝和外蒙皮内表面的高度差,室温凝胶后在蜂窝上粘贴大小相同的胶膜和预浸料 2 层,对透波区进行真空袋法 120℃ 固化 2 h。拆掉真空袋,非透波区铺贴厚 3.5 mm 玻璃布,室温凝胶后 80℃ 固化 2 h。待模具冷却后卸下模具销钉和锁紧螺栓,顶出产品,用细砂纸打磨、修整内外型面、毛刺。

### 1.4 性能测试

按照 GB/T1447—2005<sup>[3]</sup> 测试玻璃钢结构拉伸性能,按照 QJ1403A—2004<sup>[4]</sup> 测试压缩性能,样品 5 个取平均值。采用宽频谱高温介电性能测试系统高 Q 谐振腔法测试天线罩电性能,测试波段为 Ku 波段,测试件为与透波区结构一致的等效平板。采用静力试验测试天线罩整罩强度。

## 2 结果与分析

### 2.1 力学性能

采用与天线罩相同工艺制作的玻璃钢平板测试试片的力学性能,结果见表 2。罩体厚度和均匀性是天线罩成型工艺中的重要指标<sup>[5]</sup>。由表 2 看到采用接触压糊成型的玻璃钢的力学性能较好、离

散系数较小,表明力学性能均匀且一致性较好,能够满足该天线罩的使用要求。

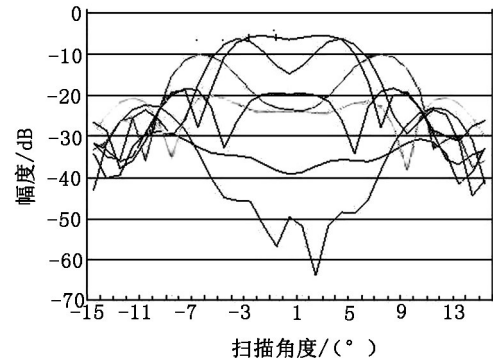
表2 玻璃钢结构的力学性能

Tab.2 Mechanical properties of glass fiber reinforced plastics

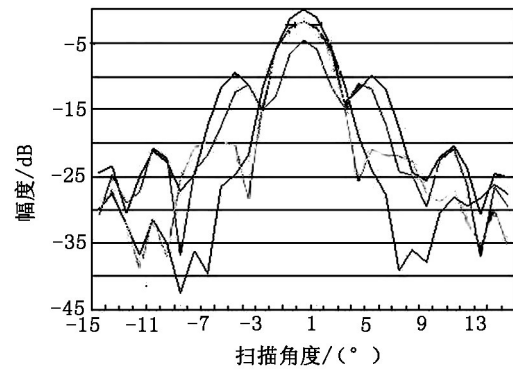
数据	拉伸强度	拉伸模量	压缩强度	压缩模量
	/MPa	/GPa	/MPa	/GPa
平均值	238	16.9	242	16.0
离散系数	5.7	6	5.4	2.6

### 2.2 电性能

采用等效测试方案,取天线罩等效透波段。图 1 给出了不同频率下天线方向图的变化规律。A 夹层蜂窝结构全波段的透波性能高于 87%。



(a) 15~16.5 GHz



(b) 16.7~17.5 GHz

图1 不同频率下天线方向图

Fig.1 Antenna pattern of different frequency

### 2.3 静载荷作用下的整罩强度

对没有喷漆的天线罩整罩,采用胶布带法进行静力试验。通过飞行时具有代表性的 10 种状态的载荷数据比较,选取载荷最为苛刻的某一状态作为宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2017 年 第 5 期

测试状态。

正式试验共进行三次,逐级加载、逐级测量。前两次加载到使用载荷(67%设计载荷)后卸载,卸载后测量残余变形。第三次加载到使用载荷后不再卸载,继续逐级加载、逐级测量,在加载至100%设计载荷时保持3 s,测量位移和应变;然后不卸载,继续加载至120%设计载荷并保持3 s,然后逐级卸载,卸载后测量残余变形。

试验过程中未见异常现象。67%设计载荷时,试件完好;100%设计载荷时,试件完好;120%设计载荷时,试件通过考核未破坏。

试验测量了天线罩前、中、后等不同位置的位移和应变。

#### (1) 位移

位于天线罩平直段的中部位置测得的位移值最大。结构在这个部位刚度较小,在垂直向下的集中载荷作用下,产生了较大的Y向变形,在加载至67%设计载荷时位移达到7.32 mm,加载至100%设计载荷时,位移值为11.27 mm,加载至120%设计载荷时位移为13.51 mm。

各点位移基本上随载荷的增加呈线性变化,且在卸载后各点位移测量值均归零,即卸载后结构没有产生残余变形。

#### (2) 应变

对比不同位置的应变的测量结果可看出,位于天线罩中后部测得的应变值最大,加载至67%设计载荷时应变值为 $414.6 \mu\varepsilon$ 、100%设计载荷时为 $623.7 \mu\varepsilon$ ,120%设计载荷时为 $749.4 \mu\varepsilon$ 。其余各

位置的应变值均小于此。可以看出,结构在120%设计载荷作用下,整体应力水平仍然较低。

### 2.4 验证

将研制的船型天线罩与载体匹配对接,并进行带飞试验。按照预定速度的0.5、1、1.5倍逐次提高飞行速度进行单体性能检测,雷达系统工作正常、接受发射电磁波效率满足使用要求。天线罩带飞试验多次,单体无目测变形、无损伤及破坏现象。

### 3 结论

选择玻璃纤维织物增强环氧树脂及蜂窝材料,采用真空袋负压及手糊成型工艺可以较好的控制天线罩厚度均匀性。复合结构大尺寸船型天线罩电性能在有效透波频率范围内的透波率均大于87.7%。强度试验中在加载到使用载荷并卸载以后,未产生残余变形,并且在100%设计载荷下保载3 s,试验件未发生破坏。天线罩在使用过程中各项性能正常,表明该单体的选材、结构设计及工艺方法是可行的,研制的天线罩完全满足使用要求。

#### 参考文献

- [1] 彭望泽. 防空导弹天线罩[M]. 北京: 宇航出版社, 1991.
- [2] 敖辽辉. 天线罩技术的发展[J]. 电讯技术, 2000(2): 14-15.
- [3] GB/T1447—2005. 纤维增强塑料拉伸性能试验方法.
- [4] QJ1403A—2004. 纤维增强塑料薄板压缩性能试验方法.
- [5] 杨鲜锋. 影响天线罩性能的主要工艺因素[J]. 纤维复合材料, 2007, 24(2): 30-33.