

多夹层平板天线罩的研究

刘梦媛¹ 韩华龙² 李 昂²

(1. 中航复合材料有限责任公司, 北京 101300; 2. 北京无线电测量研究所, 北京 100086)



摘要: 采用热压罐固化工艺方法研制了多夹层平板天线罩, 测试了多夹层平板天线罩电气性能、厚度及随炉件滚筒剥离强度, 多夹层平板天线罩满足用户使用要求。
关键词: 平板天线罩; 多夹层; 滚筒剥离强度; 电气性能

Study of Multilayer Sandwich Flat Radome

Liu Mengyuan¹ Han Hualong² Li Ang²

(1. AVIC Composite Corporation LTD, Beijing 101300;
2. Beijing Radio Measurement Research Institute, Beijing 100086)

Abstract: The flat radome was manufactured by autoclave processing method in this paper. The flat radome was tested by electric properties, thickness, and climbing drum peel strength. The results show that the flat radome fit some terra-air recovery arming.
Key words: flat radome; multilayer sandwich; climbing drum peel strength; electric properties

1 引言

雷达天线罩是功能结构件, 一方面保护天线免受环境暴露之害和气动载荷的直接影响, 满足气动外形、结构强度和重量等要求; 一方面为天线电波提供发射和接收的电磁窗口, 满足电气性能要求^[1]。高性能雷达天线罩的结构一般采用蜂窝夹层结构, 夹层结构比刚度、比强度好, 重量轻, 多夹层结构能满足天线罩宽频带的要求^[2]。

本文根据某型平板天线罩要求频带宽、重量轻、双频段工作的特点, 对平板天线罩进行结构及电性能设计, 采用热压罐固化工艺方法进行平板天线罩研制, 研制的多夹层平板天线罩满足用户使用要求。

2 试验

2.1 平板天线罩材料选择

平板天线罩蒙皮材料为中温固化玻璃纤维织物/3218 环氧树脂预浸料, 该预浸料使用温度-55~70℃, 芯材材料为 NH-1-2.75-72Nomex 蜂窝, Nomex

蜂窝使用温度-55~160℃, 蒙皮材料和芯材材料^[2, 3], 蒙皮材料和芯层材料的电性能(9.375GHz, 谐振腔法)见表 1。

表 1 材料的电气性能

材料名称	介电常数 ϵ	介电损耗角正切 $\tan\delta$
SW-280A/3218 预浸料	4.2~4.4	<0.021
NH-1-2.75-72 蜂窝	1.07~1.13	0.003~0.005

蒙皮材料与芯层材料的胶接材料为 SY-24C-300 胶膜^[4], 该胶膜适应于中温固化, 满足大型平板天线罩的工艺要求, 其主要性能见表 2。

表 2 SY-24C-300 胶膜性能

项目	指标值
单位面积质量/g m ⁻²	300±30
130℃挥发份含量/%	≤1
拉剪强度(室温)/MPa	≥30.6
金属-金属滚筒剥离强度(室温)/(N mm) mm ⁻¹	≥267
铝蜂窝滚筒剥离强度(室温)/(N mm) mm ⁻¹	≥74.3

作者简介: 刘梦媛(1964-), 高级工程师, 高分子材料专业; 研究方向: 功能复合材料。
收稿日期: 2013-11-29

2.2 平板天线罩结构设计

根据选定的蒙皮材料和芯层材料的电气性能的数值，进行平板天线罩结构设计，为了满足频带宽且双频段工作的要求，平板天线罩结构设计成多夹层蜂窝结构，由四层蒙皮和三层蜂窝组成。其结构见图 1。

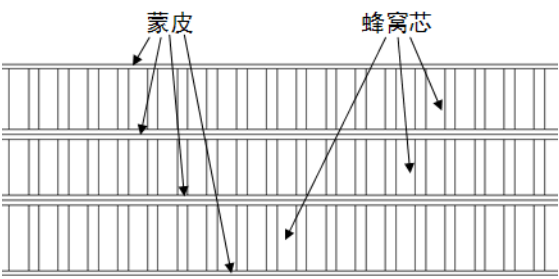


图 1 结构示意图

2.3 平板天线罩研制总体思路

平板天线罩采用热压罐固化工艺方法一次共固化，即四层蒙皮和三层蜂窝一次固化完成，研制工艺流程见图 2，首先，根据平板天线罩的结构尺寸及四层蒙皮的厚度要求进行蒙皮材料裁剪、铺贴并室温下抽真空预压实，同时将蜂窝裁剪缝合成需要的尺寸并修型；其次，进行预压实好的蒙皮和蜂窝组合，并进行固化工艺组合，最后将组合好的平板天线罩在热压罐中进行一次共固化。

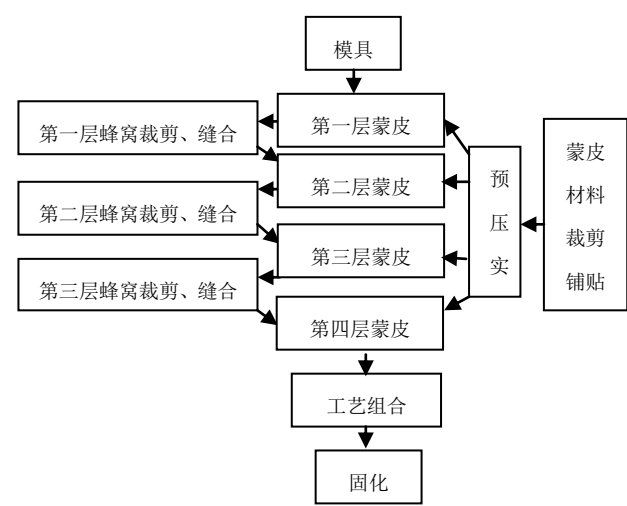


图 2 工艺流程

2.4 固化工艺

平板天线罩选用的材料是中温固化体系材料^[2~4]，根据平板天线罩结构尺寸为 2500mm×4000mm，选用结构强度刚度好、温度均匀性好的金属平板模具为平

板天线罩固化模具。固化工艺为室温下抽真空至 -0.095MPa 以下，以罐温小于 4℃/min 的升温速度加热升温，空气温度升至 (85±5)℃ 时保持恒定，然后继续升温，当最高模具温度升至 (80±5)℃ 时加压至 (0.3±0.02) MPa，然后继续升温至最低模具温度为 (130±5)℃，保温保压 (120±10) min；带压冷却至模具最高温度 60℃ 以下出罐。

2.5 性能测试

平板天线罩电气性能测试设备有矢量网络分析仪、频谱仪、无线测试转台及信号源等。

按照 ASTM D1781—93 标准进行滚筒剥离强度随炉件试样制备，在 NSTRON MODE 1185 材料试验机进行测试。

3 结果与讨论

3.1 滚筒剥离强度随炉件

滚筒剥离强度是夹层结构用滚筒剥离试验测得的面板与芯子分离时单位宽度上的抗剥离力矩，进行多夹层结构平板天线罩制备时，进行滚筒剥离强度夹层结构随炉件制备，测试随炉件滚筒剥离强度来表征蒙皮材料与芯材的固化胶接质量。表 3 是蜂窝夹层结构平板滚筒剥离强度测试结果平均值，滚筒剥离强度在 61.7(N mm)/mm 与 74.3(N mm)/mm 之间，表明固化工艺参数满足平板天线罩制备要求，SY-24C-300 胶膜与 SW-280A/3218 预浸料及 Nomex 蜂窝固化工艺匹配，平板天线罩固化胶接质量可靠。

表 3 随炉件滚筒剥离强度

测试项目		实测单个值	平均值	指标值
滚筒剥离强度 /(N mm) mm ⁻¹	上板	66.7 61.7 68.8 67.3 69.8	66.9	≥40
	下板	73.1 73.6 68.9 67.3 74.3	71.4	≥40

3.2 平板天线罩厚度

平板天线罩总厚度检测结果见表 4，总厚度满足设计要求。平板天线罩电气性能厚度由天线罩总厚度来控制。通过严格控制四层蒙皮材料的单层压厚；通过对三层蜂窝设计厚度进行补偿，制备的蜂窝实际厚度比理论设计厚度增加 0.5mm；通过固化时严格控制固化工艺参数来实现天线罩总厚度满足要求。平板天线罩厚度均匀性好，证明平板天线罩电气性能均匀性好，且电气性能稳定。

表 4 平板天线罩厚度

检测项目	检验结果	指标值
厚度/mm	24.4 24.5 24.4 24.3 24.4 24.3 24.4 24.3 24.5 24.3	24.3±0.3

3.3 等效平板电气性能

根据某型平板天线罩结构力学性能及电气性能的要求，利用电磁仿真软件 HFSS 对所设计的天线罩的电气性能进行验证计算，给出了天线罩的仿真模型，仿真模型（等效平板）结构为多夹层结构，三层蜂窝四层蒙皮，设计总厚度 24.3mm。在制备平板天线罩之前，为了验证所选材料及平板天线罩结构的正确性，进行尺寸 1200mm×1200mm 的等效平板试制，测试等效平板的电气性能。等效平板采用热压罐一次共固化工艺方法，测试等效平板（外表面没有涂层）在雷达主阵工作频率（高频）驻波 VSWR 小于 1.02，插入损耗 S 小于 0.003dB；测试等效平板在雷达敌我识别天线工作频率（低频）驻波 VSWR 小于 1.26，插入损耗 S 小于 0.06dB，等效平板的电气性能满足某型平板天线罩设计要求。

3.4 平板天线罩电气性能

选用等效平板的材料和结构，进行某型平板天线罩的制备，采用热压罐一次共固化成型工艺方法，平板天线罩表面进行了涂层防护，平板天线罩实物照片见图 3。



图 3 平板天线罩实物照片

天线罩的电气性能主要是天线罩的透波性能及天线驻波性能，天线罩的透波性能反映了功率传输性能，即天线罩对天线辐射能量的单程损耗，该单程损耗由材料热耗、层间反射损耗和相位失配损耗三部分组成，以传输系数来表征；天线罩的天线驻波反映了功率反射性能，即加装天线罩后反射波能量的大小变化，通过待测天线加装天线罩前后天线输入驻波比的变化来体现。

平板天线罩电气性能测试结果见表 5，表 5 中在 X 波段该天线罩的插入损耗 S 不大于 0.39dB，相应的传输系数大于 91.4%，在 X 波段该天线罩的插入损耗 S 不大于 0.25dB，相应的传输系数大于 94.4%；加装天线罩前后天线的电压驻波比变化很小，说明该天线罩对天线的驻波性能影响很小；从测试结果看出，该平板天线罩的电气性能良好，完全满足设计要求。

在某装备现场，进行平板天线罩安装，在使用频率下进行电性能测试，测试结果完全满足使用要求，可以替换电气性能指标已经不能满足要求的原有雷达天线罩，解决了用户的燃眉之急。

表 5 平板天线罩电气性能

	频率 /GHz	电压驻波比		插入损耗 /dB	传输系数 /%
		V0（无天线罩）	V1（有天线罩）		
X 波 段	F1	1.41	1.42	0.24	94.6
	F2	1.38	1.39	0.32	92.9
	F3	1.32	1.32	0.24	94.6
	F4	1.26	1.27	0.29	93.5
	F5	1.12	1.13	0.39	91.4
L 波 段	f1	1.22	1.26	0.25	94.4
	f2	1.44	1.44	0.18	95.9
	f3	1.45	1.53	0.19	95.7
	f4	1.05	1.07	0.17	96.1
	f5	1.20	1.21	0.22	95.0

4 结束语

- a. 多夹层平板天线罩选用的材料及结构满足设计技术要求；
- b. 多夹层平板天线罩采用热压罐一次共固化工艺方法进行制备满足结构和电气性能设计技术要求；
- c. 多夹层平板天线罩满足用户使用要求。

参考文献

1 Merrill I.Skolnil. 雷达手册. 王军, 林强, 米慈中, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003

2 刘梦媛, 白树成, 崔溢, 等. 超宽频带、高透波率机头天线罩研制. 探索 创新 交流 (第三集). 北京: 航空工业出版社, 2008: 575~581

3 刘梦媛, 蔡良元, 白树成. 某工程用单脉冲相控阵天线平板天线罩工程化研究. 中国航空学会 2007 年学术年会论文摘要汇编, 2007: 118

4 梁滨, 刘清方, 赵升龙. 可控流动性胶膜的研究. 北京国际粘接技术研讨会论文集, 2004: 28