

雷达户外复合材料机箱制造工艺技术

Manufacturing Process Technology for Radar Composites Cabinet

中国电子科技集团公司第 38 研究所 佟文清 江海东



佟文清

中国电子科技集团公司第 38 研究所工程技术部高级工程师,主要从事复合材料及胶粘剂在雷达产品中的应用研究工作。

现代化雷达的发展对雷达的高机动性要求越来越高,雷达的研制趋于小型化、轻型化,本所研制的某型号雷达高频机箱是天馈系统的重要组成部分,该电子设备机箱除要适应野外的恶劣环境要求外,还要满足产品高机动及电磁屏蔽的要求,从而保证该电子设备在恶劣环境下最大程度发挥电子器件的性能,满足电讯指

通过对雷达复合材料机箱的轻型化及电磁屏蔽性能优化等一系列设计,论述了某型号雷达大尺寸高频户外复合材料机箱的研制过程,该复合材料机箱具有重量轻、结构强度高、屏蔽效能好的特点,经受住了高低温存储、温度冲击、机械振动、淋雨和整机跑车等考验,工作性能良好,满足性能指标要求,目前已设计定型装备部队使用。

标要求。

为满足电子设备机箱的高机动要求,必须有效减轻天馈系统的总重量,同时为了满足该电子设备电磁屏蔽要求,决定高频机箱采用碳纤维复合材料制作。

本文对某型号雷达的电子设备高频机箱的设计、制作过程和成型工艺进行了详细介绍,最后通过环境试验对复合材料机箱的各项性能进行了验证。

设计思路

1 复合材料机箱的主要技术指标

工作温度: $-40^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$;
 存储温度: $-45^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$;
 防雨蚀要求: 在喷淋压力

375kPa 下,淋雨 1h,箱体无漏水现象;

箱体尺寸: $2010 \times 796 \times 397\text{mm}$;

箱体重量要求: $\leq 40\text{kg}$;

箱体承重要求: $\leq 80\text{kg}$;

箱体屏蔽要求: 全频段不低于 40dB。

2 复合材料机箱屏蔽设计

所谓屏蔽,就是利用金属材料或其他材料将发射源限定在某个范围之内,使之不向外扩散,或使屏蔽体内电子电路不受外部电磁场干扰。传统的金属机箱通过切断电磁能量的传播路径来提供电磁屏蔽,随着复合材料机箱的广泛应用,电磁屏蔽问题日渐突出,通常机箱内电子器件产生的磁场主要是通过机箱的孔洞

和电缆泄漏。本所以前研制的小型复合材料机箱由于成本等方面的原因,没有采用电磁屏蔽设计,箱体和箱盖之间缺少电磁兼容的考虑,尤其是缝隙处没有屏蔽措施,在高频环境下极易影响元器件的正常工作,国军标 GJB1126-91 中规定,电磁屏蔽分 3 级: I 级: 在 0.15~10000MHz 频率范围内电磁波衰减为 60dB; II 级: 在 0.15~10000MHz 频率范围内电磁波衰减为 40dB; III 级: 无电磁屏蔽要求。

根据本所复合材料机箱的特点,其电磁屏蔽的设计思路如下:

(1) 首先通过正确的电路设计来控制机箱内电子器件产生较高电磁场,除正确布置走线方式外,最常用的方法是在信号线上添加信号线滤波器。其次是对整个机箱及输出电缆进行有效的屏蔽处理。

(2) 屏蔽结构中,任何情况下都应使缝隙长度远小于所要抑制的电磁波波长 λ ,一般应小于 $\lambda/100$ 波长,至少不大于 $\lambda/20$ 波长。

(3) 当电磁波入射到箱体上时,若箱体上有缝隙存在,则机箱上的感应电流是不连续的,在箱体内部喷涂导电漆,缝隙处使用导电衬垫并加宽屏蔽条的宽度,改善接缝处的电接触,从而提高箱体的屏蔽效能。

工艺上的具体措施及效果如下。

本文所研制的复合材料机箱箱体采用碳纤维 / 铝蜂窝 / 碳纤维的铺层形式,因箱体尺寸较大,本所已有的化学镀工艺不适合本机箱,所以采用在箱体内部整体喷涂导电漆,缝隙处使用导电衬垫并加宽屏蔽条的宽度、开口处加装导电密封橡胶条的方式,对整个机箱进行了屏蔽处理。通过天线法和探头法对该机箱在工作频段和全频段进行了电磁屏蔽测试,其屏蔽效能在全频段和工作频段满足指标要求,装机工作后未发现元器件相互干扰的现象(图 1)。

3 复合材料机箱减重设计

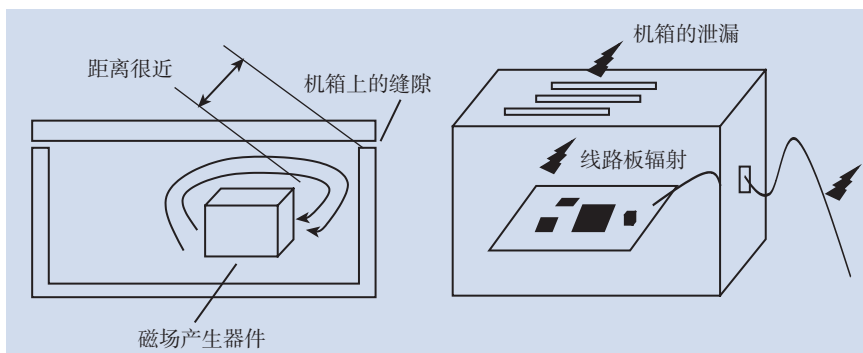


图1 电磁屏蔽示意图

根据总体要求,高频机箱分配的总重量指标为 $\leq 40\text{kg}$,为了保证机箱的强度并有效减轻重量,选用碳纤维 / 铝蜂窝 / 碳纤维的夹层结构做箱体材料。由于该复合材料机箱箱体上需安装大量组件,机箱整体承重要求为 $\leq 80\text{kg}$,那么每个组件安装在机箱壁板上的部位就需承受较大的力,因此必须要在机箱箱体局部受力部位进行增强处理。为保证局部安装强度,采取在复合材料箱体内部预埋金属预埋件的方式,同时由于组件之间安装位置有一定的精度要求,为保证在成型过程中能够在复合材料机箱上精确定位预埋件的位置,在复合材料机箱成型模具上精确设置定位孔,通过销钉精确定位预埋件在箱体上的位置,并尽量将预埋件的尺寸减到最小,最大限度的减轻箱体重量,整个箱体预埋件多达 150 多件。成型后的复合材料机箱安装精度符合结构设计要求,并通过了后期的环境震动试验及产品的整机跑车试验。成型后的复合材料机箱箱体重 29.3kg,两个门重 8kg,机箱总重 37.3kg,符合指标要求,实现了减重目标。

制作过程

1 选材

复合材料机箱的制作除良好的设计外,材料的优选也很重要,下面分别阐述制作复合材料机箱所需材料的性能。

1.1 蒙皮材料

碳纤维与其他纤维相比强度高、模量高、密度小,耐高温、耐腐蚀性,同时具备热膨胀系数低、抗蠕变性能和抗疲劳性能较好的优点,且热电传导性优良,是制作复合材料机箱的首选。本所常用的 MTM28/HTA3K 碳纤维预浸料工艺性能优良,性价比较好,其性能见表 1。

表1 MTM28/HTA3K碳纤维预浸料性能

层间剪切强度	22℃	72MPa
	90℃	46MPa
弯曲强度	22℃	1100Mpa
	80℃	690MPa
弯曲模量	22℃	60MPa
	80℃	59MPa

1.2 夹芯材料

复合材料常用的芯材有牛皮纸蜂窝、玻璃布蜂窝、Nomex 蜂窝和铝蜂窝等,根据本所机箱要求重量轻、强度高和成本低的特点,选用铝蜂窝。

1.3 胶膜材料

为了保证预浸料和铝蜂窝的胶接强度,选用胶接强度高、韧性好、耐湿热老化和抗疲劳、蠕变性能优良的 SY-24C 环氧胶膜,SY-24C 胶膜粘接铝及铝蜂窝的性能见表 2。

2 工艺流程设计

相关的工艺流程设计如图 2 所示。

表2 SY-24C胶膜粘接铝及铝蜂窝的性能

性能	测试条件/℃	指标	典型值
拉伸剪切/MPa	23 ± 2	29	36.5
	-55 ± 2	26	30.1
	70 ± 2	25	28.6
浮滚剥离强度/(kN·m ⁻¹)	23 ± 2	6.0	8.69
	70 ± 2	4.5	8.68
蜂窝爬鼓剥离强度/(N·mm·mm ⁻¹)	23 ± 2	80	91.3
蜂窝平面拉伸强度/MPa	23 ± 2	6.0	7.6

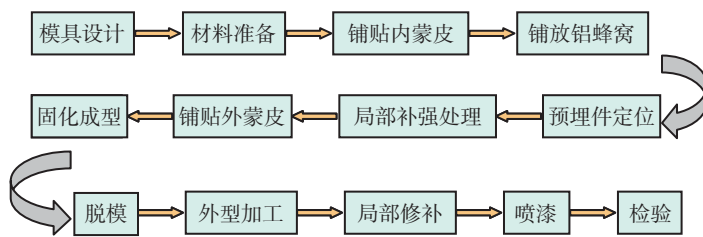


图2 工艺流程图

3 成型工装设计

复合材料机箱尺寸较大,内部结构形式较为复杂,若整体成型该机箱则模具太复杂且成型后脱模困难。为保证机箱箱体结构强度,减少模具的复杂程度方便脱模,并最大限度地降低模具的制造成本,减少加工周期,对复合材料机箱的结构进行了分解。主箱体采用10mm厚的铝板做凸模进行整体成型,确保其结构强度;内部隔板采用分块成型,最后通过与事先在主箱体上精确预置的预埋件进行组装连接,从而使复杂结构简单化,达到结构设计要求。

4 整体成型工艺

4.1 夹层板的边缘处理与局部增强

复合材料成型工艺方法多种多样,应根据结构特点及现有的工艺技术进行综合考率,既要满足结构使用要求,又要兼顾本所复合材料机箱的使用环境及承载要求,综合考虑选用中温固化整体成型工艺。

考虑到夹层结构连接端的作用是将拉伸和压缩载荷从夹层件的蒙皮传递出去,所以成型过程中尽量减小端部连接处的应力集中,通过加密蜂窝芯、填充蜂格、增加局部蒙皮厚

度等手段进行局部增强。

4.2 成型工艺参数

复合材料成型工艺参数的制定关系到制件性能的好坏,具体工艺参数应根据结构使用性能要求而定,同时固化工艺参数应与所选的材料相匹配。该复合材料机箱成型工艺参数如下:

- 真空压力: ≥ 0.095MPa;
- 升温速度: 1.5~2℃/min;
- 固化时间: 80℃ / 0.5h+ (120~

130)℃ / 2~2.5h。

试 验

对成型后的复合材料机箱进行了高温、低温、高低温存储、机械振动、淋及整机跑车等性能指标测试,测试结果表明,该复合材料机箱能够承受70℃的高温 and -45℃的低温环境,机箱箱体在喷淋压力375kPa下,淋雨1h,箱体无漏水现象,在500km整机跑车上试验后机箱箱体未出现结构和器件等损坏的异常现象,顺利通过试验验证。

结束语

通过对雷达复合材料机箱的轻型化及电磁屏蔽性能优化等一系列设计,论述了某型号雷达大尺寸高频户外复合材料机箱的研制过程,该复合材料机箱具有重量轻、结构强度高、屏蔽效能好的特点,经受住了高低温存储、温度冲击、机械振动、淋雨和整机跑车等考验,工作性能良好,满足性能指标要求,目前已设计定型装备部队使用。同时该复合材料机箱的设计思路为本所其他产品的复合材料机箱的研制提供了良好的借鉴,目前本所已实现复合材料机箱的系列化生产(图3)。



图3 系列化生产的复合材料机箱

(责编 良辰)