

# 曲面型遮光罩的研制

章令晖 周宏志 夏英伟 李明珠 王琦洁

(北京空间机电研究所,北京 100076)

**文 摘** 介绍了一种曲面型蜂窝夹层结构遮光罩的研制技术,基于遮光罩的结构特点和技术要求,重点对材料选择、工艺方法、模具设计、技术难点及解决措施进行了讨论。结果表明:按照由内到外的胶接顺序采用两步固化工艺,能够解决曲面型遮光罩的成型问题,并满足各项设计要求。

**关键词** 曲面型,蜂窝夹层结构,遮光罩,研制

## Development of Curved Surface Baffle

Zhang Linghui Zhou Hongzhi Xia Yingwei Li Mingzhu Wang Qijie

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100076)

**Abstract** The manufacture processing for curved surface baffle of honeycomb sandwich structure is introduced in this paper. Material selection, technique, die design, technical difficulties and its solutions are discussed mainly based on the structure characteristic and requirement of baffle. The results show that secondary curing can resolve the forming of curved surface baffle, its performance is able to meet all design requirement.

**Key words** Curved surface, Honeycomb sandwich structure, Baffle, Development

### 0 引言

遮光罩是卫星光学遥感系统的重要部件,主要用于遮挡和吸收外界杂散辐射或者减小窗口的温度梯度,以提高成像质量或者探测性能。遮光罩除了要经受卫星运输和发射过程严酷的力学环境,如静力过载、动载荷冲击、随机振动等,有时还直接暴露在太空中,因此对遮光罩的材料和工艺具有较高的要求<sup>[1-4]</sup>。

遮光罩一般采用固定式结构或者固定段结构之外附加一加长段,底部通过法兰与卫星窗口结构相连接。随着向“功能化”和“轻量化”方向的发展,越来越多的光学遥感器遮光罩采用各种复合材料。例如,遮光罩主体采用纤维(碳纤维、芳纶纤维)增强树脂基复合材料或者蜂窝夹层结构,法兰采用碳纤维或者玻璃纤维增强树脂基复合材料<sup>[2-4]</sup>。

本文介绍了一种用于可见光及红外谱段的扫描辐射计遮光罩的研制技术。

### 1 遮光罩结构特点及技术要求

曲面型遮光罩为双层蜂窝夹层结构,通过底部的法兰与太阳电池壳的腰形口框对接,外形尺寸为 840 mm×483 mm×473 mm,如图 1 所示。其主体分为上下两部分,上部为对称的类椭圆形横截面的筒形结构,两端为两个圆柱面,中间为两个矩形平面;下部为对称的类圆锥形结构,两端为两个不规则曲面,中间

为两个矩形平面,上述不规则曲面横截面为直径从上到下渐变的圆弧,所有圆弧的圆心都在对称面上。

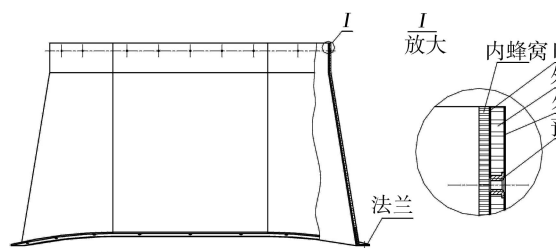


图 1 遮光罩示意图

Fig. 1 Schematic of baffle

遮光罩除了要满足空间环境工作温度和力学性能外<sup>[5]</sup>,主要技术要求如下:

- (1) 蜂窝消光要求,如蜂格表面不得封闭,无胶瘤、气泡等多余物;
- (2) 尺寸及形位精度要求,如通光口长、短半轴尺寸偏差 0 ~ 1.0 mm;
- (3) 电磁兼容性要求,如喷涂层前搭接电阻不大于 1 k $\Omega$ ,内壁表面电阻不大于 1 G $\Omega$ /m<sup>2</sup>;
- (4) 质量小于 3 kg;
- (5) 所用材料真空中总质损(TML)小于 1%,收集的可凝挥发物(CVCM)小于 0.1%。

### 2 选材和材料性能试验

遮光罩内、内蒙皮皆采用厚度为 0.15 mm 的 LF2-

Y 铝合金箔材。蜂窝的选择不仅要满足力学性能,还要易于实现复杂曲面的成型,因此内层消光蜂窝和外层结构蜂窝分别采用规格为 3-LF2Y-0.03 R 及 5-LF2Y-0.03 R 的铝蜂窝芯材,具体性能如表 1 所示。

表 1 铝蜂窝芯性能

Tab. 1 Properties of aluminum honeycomb core

规格	密度 /kg·m <sup>-3</sup>	平压强度 /MPa	纵向剪切 强度/MPa	横向剪切 强度/MPa
5-LF2Y-0.03 R	27	0.52	0.44	0.24
3-LF2Y-0.03 R	44	1.13	0.89	0.52

蒙皮与蜂窝芯子的界面是夹层结构的薄弱区域,胶接质量直接影响到载荷的有效传递及分配等<sup>[6]</sup>。此外,胶黏剂的质损和可凝挥发物对光学系统的影响也是必须考虑的因素。目前常用的经历飞行试验考核的

表 2 胶黏剂力学性能

Tab. 2 Mechanical properties of adhesives

胶黏剂	胶接剪切强度 /MPa	夹层结构弯曲刚度 (纵向)/N·mm <sup>2</sup>	夹层结构剪切刚度 (纵向)/N·mm <sup>2</sup>	夹层结构平压强度 /MPa	板-蜂窝剥离强度 (纵向)/N·cm <sup>-1</sup>	板-板剥离强度 /N·cm <sup>-1</sup>
J-47 B+C	27.5	7.89	2.43	0.61	21.98	39.61
J-47 B	19.7	7.51	2.18	0.57	16.80	35.71

底部的法兰则采用比刚度和比强度高、阻尼特性优良的碳纤维增强树脂基复合材料。其中基体材料采用 F46 酚醛多环氧树脂与三氟化硼单乙胺络合物固化剂组成的 4211 基体;增强材料采用 T300 平纹织物,在兼顾面内强度、刚度的同时,简化操作工艺,又能提高制件的冲击损伤容限。织物复合材料的纤维体积分数为 57%、拉伸强度为 389 MPa、弹性模量为 44.2 GPa、泊松比为 0.12。

### 3 工艺方案

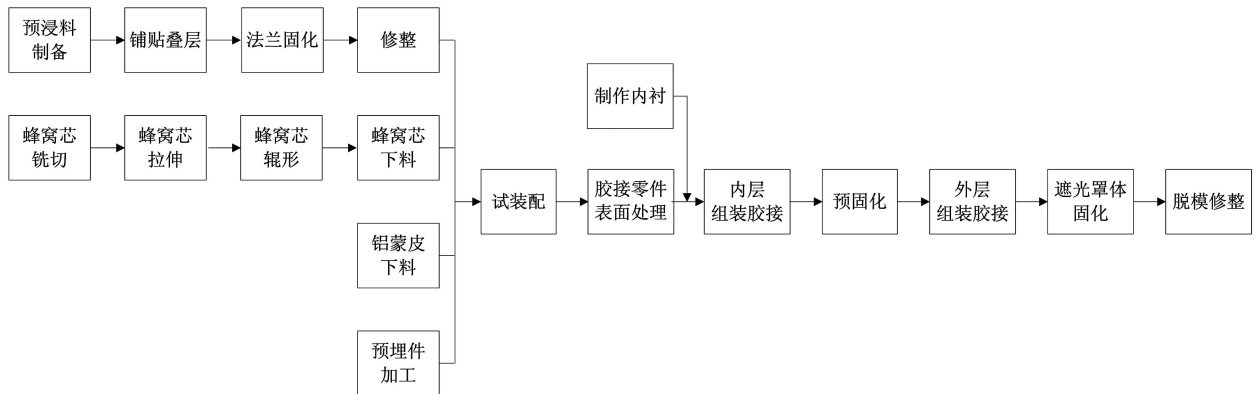


图 2 遮光罩工艺流程

Fig. 2 Manufacture process chart of baffle

### 3.2 工装模具设计

为了保证通光口的尺寸及形位精度,按照遮光罩从内到外的胶接顺序,胶接成型模具采取阳模形式,由曲面筒和底座两部分组成,如图 3 所示。曲面筒为了便于加工与脱模,采取花瓣组合结构。法兰模具为组合式结构,为了简化模具,采用硅橡胶条辅助加压,

胶黏剂有黑龙江石化院生产的 J-47、J-78 系列胶黏剂和 Hexcel 公司生产的 Redux 312UL 等。J-47 和 Redux 312UL 系中温固化结构胶,J-78 固化温度略低大致为 90℃。Redux 312UL 胶的厚度均匀性和力学性能略优,J-78 胶高温剪切强度低于 J-47 胶,但 Redux 312UL 和 J-78 尚需其他底胶与之配套使用。因此采用 J-47 (B+C) 作为蒙皮与蜂窝芯子的粘接胶,其中内蒙皮与内层蜂窝的粘接仅采用 J-47B 底胶以减少胶黏剂的起泡、爬升现象,具体性能如表 2 所示。

蒙皮与蜂窝用 J-47B 底胶粘接,采用真空袋-烘箱法于 125℃ 固化后,蒙皮和蜂窝表面光洁、平整,无明显胶瘤与气泡,胶液的爬升量小于 1 mm,满足消光要求。

### 3.1 成型工艺方法

采用两步固化法,即先完成内层蜂窝与内蒙皮的胶接,再安装法兰、外层蜂窝及预埋件等并完成遮光罩的固化成型,具体流程如图 2 所示。遮光罩底部的法兰是一个关键零件,对于传递载荷、保证结构刚度及响应特性具有很大影响,因此采用模压工艺一次成型。法兰上的连接孔待模压成型后根据太阳电池壳腰形口框的孔配制,确保二者的安装精度。

具体如图 4 所示。

为了保证制品的形位精度以及降低固化应力,复合材料成型模具应尽可能采用与制品线胀系数相近的材料<sup>[2]</sup>。因此,遮光罩胶接成型模具的曲面筒采用铸铝,底座属于两套模具共用零件采用铸铁,法兰成型模除底座和硅橡胶条之外的零件采用碳钢。

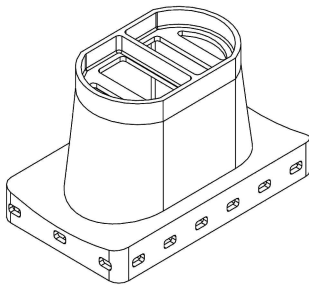


图3 遮光罩胶接模具示意图

Fig. 3 Schematic of bonding mold for baffle

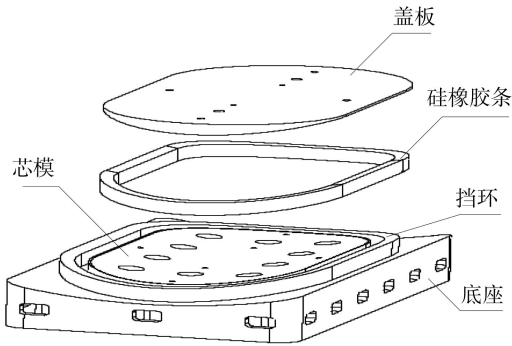


图4 法兰成型模具示意图

Fig. 4 Schematic of forming mold for baffle

#### 4 工艺过程若干问题探讨

遮光罩的成型工艺与一般蜂窝夹层结构板的成型工艺相比,共同点是二者都需要由蒙皮、蜂窝芯以及预埋件等通过胶黏剂复合成一体,即通常所说的“分体成型、组装连接”,也都可以采用真空袋法、烘箱法、热压罐法等实现制品的最终固化成型。区别处主要由于光学遥感器的特殊要求及自身的结构特点所决定,如遮光罩的蒙皮,无论是采用树脂基复合材料还是铝合金箔材,都需要采取分瓣搭接的形式<sup>[7-8]</sup>。正确认识和处理遮光罩成型工艺中的这些问题,是确保制品质量的前提。

##### 4.1 法兰的成型

法兰形状较为复杂,翻边表面为圆柱面,立面则包含了多个曲面,且翻边和立面厚度也不同。因而每一层均无法采用整张碳布铺叠,需要依据曲面形状分段铺叠,如图5所示。铺叠过程沿周向依次进行,相邻两片坯料之间沿中线搭接,外沿翻折在模具底座上。下一层的起始铺叠位置根据上一层的起始位置沿周向移动一段距离,铺完若干层后预压实。

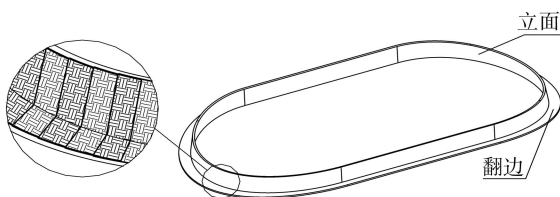


图5 法兰铺层示意图

Fig. 5 Laminating schematic of flange

就 T300 平纹织物/4211 层合材料而言,拉伸及压缩强度随树脂含量的变化尤为明显,且有相同的趋势,如图6所示。随着树脂含量的上升,拉伸及压缩强度均呈上升趋势;当树脂含量达到 40wt% 左右时,树脂含量增加强度反而下降。当然,模量随着树脂含量的不同也发生变化,但变化范围小于强度的变化。上述变化趋势及影响因素可以从复合材料的界面及基体的作用等方面来解释<sup>[9]</sup>。因此,工艺上需要依据制品最佳树脂含量来反推平纹碳布的浸胶量和硅橡胶的膨胀量。由于采用热膨胀橡胶辅助加压,法兰的成型采用传统的真空袋-热压罐法即可。

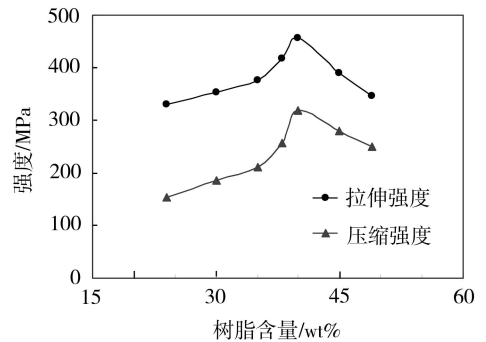


图6 强度与树脂含量关系

Fig. 6 Resin content versus strength

##### 4.2 曲面型蒙皮的制作

遮光罩的曲面形状必然要对蒙皮进行工艺性分解(即分瓣),但要求固化时各瓣能够均匀加压,经分解而削弱的部分均能实现结构补强,尽量减少表面的凸起或凹陷,避免产生胶接缺陷。

蒙皮的分瓣依据曲面的各组成部分而定。圆柱面和平面部分可以是一整张,不规则曲面部分沿周向分瓣,周向同一侧留 10~20 mm 的搭接余量,上端或(和)下端留 10~20 mm 的搭接余量。为了保证胶接质量,往往还需要将上、下端的搭接余量间隔一定距离剪开成裙状,如图7所示。

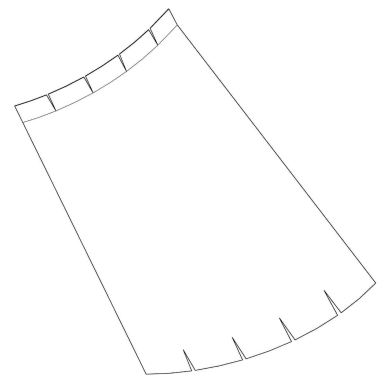


图7 蒙皮(一瓣)示意图

Fig. 7 Schematic of facings (one petal piece)

##### 4.3 内层消光蜂窝质量控制

内层的消光蜂窝,对质量有非常严格的要求,除了选择起泡和爬升量相对较小的胶黏剂作为蜂窝芯与蒙皮的粘接胶,对蜂窝的拉伸、定型以及拼接等环

节也要加强控制。

此外,遮光罩胶接成型模具为阳模形式,如果采用常规的涂刷液体脱模剂(如氟碳化合物)或者粘贴隔离膜(如单面带胶聚四氟乙烯玻璃布)作为脱模措施,内层蜂窝与模具或者隔离膜之间的滑动摩擦将会使蜂窝失稳或坍塌,进而影响消光效果。比较简单可行的方法是,在模具上糊制1~2层较薄的预浸玻璃布,然后固化成型作为内衬。这样,在遮光罩胶接成型后,连同内衬一起从模具上脱出,然后摘除轻薄、柔软的内衬即可。

#### 4.4 遮光罩的组装胶接

由于蒙皮的分瓣,使得组装胶接过程变得复杂。周向相邻两瓣之间、上下两瓣之间的装配顺序必须遵从一定规律:周向各瓣沿同一方向依次粘贴,并将搭接余量压在前一瓣上(图8);如果内蒙皮上瓣的搭接余量压在下瓣上,内蒙皮下瓣的搭接余量压在上瓣上,反之亦然,即“错位搭接”。

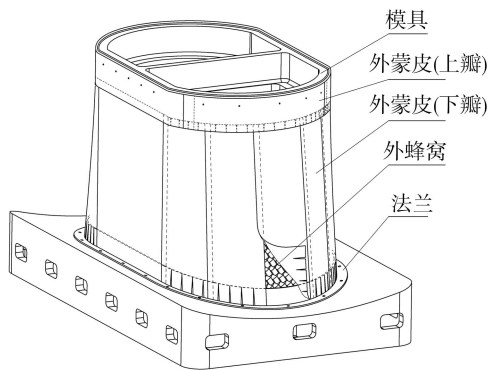


图8 遮光罩组装示意图

Fig. 8 Assembling schematic of baffle

内层蜂窝与内蒙皮组装后的首次固化,主要目的是为了使其基本定型便于外层结构的组装,因此采用预固化的方法,即升温到凝胶点附近90℃后,保持45~60 min,一方面使各零件之间压实,同时将胶接件内的空气、水汽以及残留的有机溶剂排出<sup>[9]</sup>。第二次固化则要使胶黏剂完全固化,具体如图9所示。

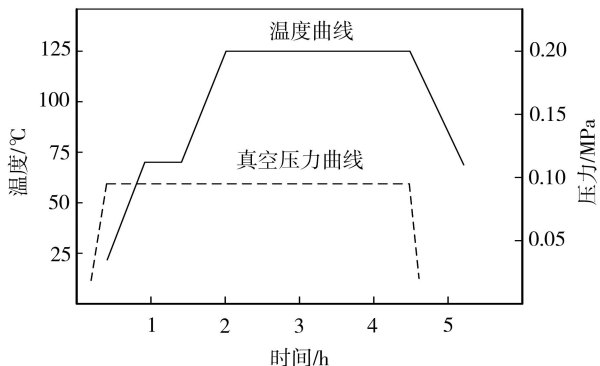


图9 遮光罩固化工艺

Fig. 9 Curing curve of baffle

#### 4.5 工艺效果分析

(1)采用分段铺叠-热膨胀橡胶辅助加压工艺,实现了复杂形状法兰结构的一次成型,提高了制品的力学性能;

(2)蒙皮分瓣和裙状开口等措施,简便易行,解决了复杂曲面的成型问题,且表面过渡平缓、光滑;

(3)粘接胶的合理选用和增加玻璃钢内衬等措施,大大改善了内蜂窝的消光效果;

(4)按照本文所述工艺流程,通过错位搭接、两步固化等方法,简化了成型工艺,并对薄弱部位实现了补强;

(5)通过对不同批次多套产品的检测,遮光罩的质量始终稳定在2.3~2.6 kg,相对传统的金属结构方案减重超过50%,满足尺寸及形位精度、力学性能、电磁兼容性、消光特性要求,经声阻法无损检测未发现脱粘缺陷。

#### 5 结论

蒙皮分瓣、裙状开口、错位搭接、单独使用底胶、增加内衬以及采用热膨胀橡胶辅助加压等措施切实有效,大大降低了工艺的复杂性,同时解决了内蜂窝消光特性欠佳、法兰密实程度低、曲面形状陡变等技术难题。在分体成型、组装连接的前提下,按照由内到外的胶接顺序采用两步固化法工艺,实现了曲面型复杂结构遮光罩的成型,各项性能完全满足设计要求。总体而言,遮光罩的成型工艺与蜂窝夹层板的成型工艺相比,虽有相似处也有很大差异,制定工艺方案和技术措施时要兼顾光学遥感器的特殊要求及自身的结构特点。

#### 参考文献

- [1] 李欣耀,原育凯,裴云天,等. 风云二号扫描辐射计可见杂光分析与抑制[J]. 科学技术与工程,2006,12(6):1605-1607
- [2] 盛磊,陈萍,孙东华. 轻型空间相机遮光罩组件的研制[J]. 航天返回与遥感,2006,27(2):41-45
- [3] 谭维焯,胡金刚. 航天器系统工程[M]. 北京:中国科学技术出版社,2009
- [4] 陈世平. 空间相机设计与试验[M]. 北京:宇航出版社,2003
- [5] Arnoux J J. Star sensor baffle design rules[J]. Proc. of SPIE (S0277-786X), 1996,2864:333-337
- [6] 张佳佳,何景武. 蜂窝夹层结构中胶粘剂的模拟和研究[J]. 飞机设计,2008,28(6):27-29
- [7] 贾学志,金光,张雷. 空间相机外遮光罩结构设计与优化[J]. 光学精密工程,2008,16(8):1561-1565
- [8] 陈立恒,吴清文,葛任伟,等. 空间光学传感器遮光罩结构方案选择[J]. 光学技术,2008,34(2):305-307
- [9] 益小苏,杜善义,张立同. 复合材料手册[M]. 北京:化学工业出版社,2009

(编辑 李洪泉)