

内置光阑式遮光罩成型技术探讨

章令晖 王超 房海军 涂彬 王翰辰 李明珠

(北京空间机电研究所, 北京 100076)



摘要: 介绍了一种常见的空间遥感器遮光罩——内置光阑式遮光罩的结构形式和工艺特点, 并重点对内置光阑式遮光罩的材料选择、成型方案、工艺方法等内容进行了讨论。

关键词: 遥感器; 内置光阑式遮光罩; 复合材料; 成型技术

Study on Molding Technique of Baffle with Imbedded Aperture

Zhang Linghui Wang Chao Fang Haijun Tu Bin Wang Hanchen Li Mingzhu

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity Beijing 100076)

Abstract: In this paper, the structural types and process factor of baffle with imbedded aperture are presented. Finally, the problems about material selection, molding scheme and techniques are discussed.

Key words: remote sensor; baffle with imbedded aperture; composite materials; molding technique

1 引言

空间遥感器的成像质量受到扩散于像面上的其它非成像光能量——杂散辐射的影响。这种非成像光能量包括来自于系统外部的辐射源(如太阳)和内部辐射源(如光学元件、结构件等)以及散射表面的非成像光能量。杂散辐射会造成像面对比度的下降, 从而引起传递函数的退化和信噪比的降低, 使图像层次减少, 清晰度变坏, 严重时甚至会形成杂光斑点。外部的杂散辐射, 可以通过安装遮光罩加以消除。对于其它的杂散辐射, 例如视场内的成像光束经主镜和次镜的漫反射或散射以及视场外的光线经遮光罩筒壁漫反射产生的杂散辐射, 可以通过改进膜层以及在遮光罩上内置光阑加以消除^[1-3]。因此, 遮光罩的设计是光学系统设计的重要内容。

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都有特殊的要求。

以碳纤维等高性能纤维增强复合材料为代表的

先进复合材料(ACM), 具有质量轻、比强度和比模量高、耐疲劳、阻尼减震性能好、性能可设计等优点, 已成为空间遥感器遮光罩的主要材料^[4-5]。与传统材料相比, 复合材料可以克服单一材料的某种性能缺陷, 即所谓的复合效应, 如图1所示, 这种复合效应是复合材料仅有的^[4]。

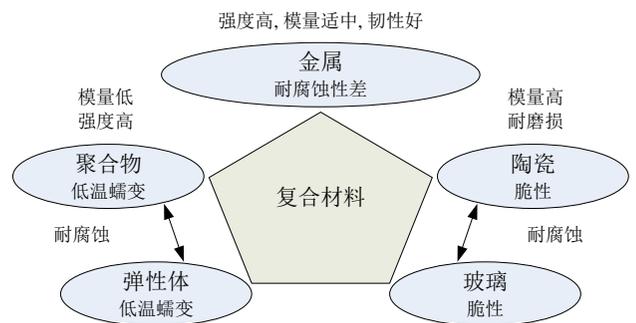


图1 复合材料的复合效应

2 结构特点及要求

内置光阑式遮光罩通常是指在本体结构中内置

作者简介: 章令晖(1975-), 硕士, 复合材料专业; 研究方向: 航天器复合材料结构成型工艺。

收稿日期: 2012-05-25

多个光阑的遮光罩, 本体结构多为圆柱状或锥状等规则的回转体, 如图2所示。各光阑的内径可以相同也可以沿一定梯度分布, 光阑的平面可以与本体结构端面平行或者倾斜一定角度。无论采取哪种结构形式, 其关键目标都是不让大于杂光抑制角入射一级散射杂光直接照射到主镜上(一般以主镜边缘为临界位置), 且保证光阑的分布不遮拦视场角以内的光线^[6]。图2所示内置光阑式遮光罩的法兰和耳片上还镶嵌有镶套等金属连接件, 以提高接口的连接强度。

以往的内置光阑式遮光罩常常采用铝、钛等轻金属材料, 并通过机械加工、钣金、焊接等工艺制造, 不但重量大、尺寸和形位精度差, 而且连接部位较为薄弱、可靠性低。采用复合材料, 则可以完全解决这些问题。本体和内置的光阑均可以采用碳纤维、Kevlar或者玻璃纤维层压结构。有些情况下, 为了进一步提高结构刚度, 本体也可以采用蜂窝夹层结构。

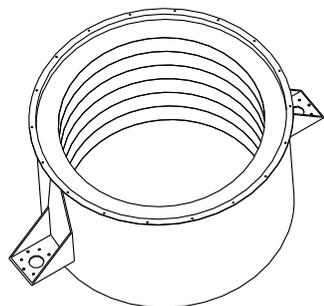


图2 内置光阑式遮光罩简图

总体而言, 遮光罩的主要技术要求包括力学性能要求、稳定性要求、耐空间环境要求、重量要求、制造工艺要求等几个方面。

3 材料选择

一般情况下, 空间遥感器结构选材的主要原则有: 一是材料的性能, 这主要包括材料的力学性能、热膨胀系数、空间环境适应性等, 但并不意味性能越高越好, 还要考虑所选材料的可能性, 这主要是指工艺性; 二是材料的继承性和性价比, 即材料的实际应用情况和市场情况(供应渠道、价格等)^[7]。

遮光罩的材料除必须具备密度小、刚度高、强度高、断裂韧性高、热膨胀系数低等特性外, 同时必须满足一系列与空间遥感器相关的特殊要求, 如保证材料具有较低的总质损、挥发可凝物含量、水蒸气回吸量等。欧空局制定的标准ESA PSS-01-702《空间材料热真空筛选试验》中规定了用在光学装置及其邻近的材料应采用比较严格的“B”方法, 例如经试验恢复后的质损RML小于0.1%, 挥发可凝物含量CVCM小于0.01%。这些特殊要求主要由树脂基体本身决定。基于飞行试验验证情况和工艺继承性考虑, 目前国内空间遥感器复合材料结构上常用的基体材料有酚醛多环氧树脂F46、脂环族环氧树脂TDE-85/TDE-86、氰酸酯树脂等。

根据遮光罩的负载及边界条件可知, 面内载荷是作用在遮光罩上的主要载荷, 此外影响遮光罩固有频率的横向刚度、轴向刚度及扭转刚度, 也主要取决于增强材料的力学性能。所以遮光罩筒体一般采用比强度和比刚度高的材料, 表1列出了部分高模量碳纤维的性能。

表1 部分碳纤维的性能

碳纤维	拉伸强度/MPa	拉伸模量/GPa	热膨胀系数/ppm·°C ⁻¹	热导率/W (mK) ⁻¹	伸长率/%	密度/g cm ⁻³
M40J	4410	377	-0.83	68.66	1.2	1.77
M46J	4210	436	-0.9	84.57	1.0	1.84
M55J	4020	540	-1.1	155.75	0.8	1.91
M60J	3920	588	-1.1	151.98	0.7	1.93

由上表可以看出, 从M40J到M60J, 拉伸强度下降幅度不大, 拉伸弹性模量大约提高了50%, 但断裂伸长率却下降了大约40%, 宏观上的表现就是更加脆。由于目前国内对与M55J和M60J相匹配的韧性树脂基体及其复合材料的研究尚不成熟, 预浸无纬布的制备要求也相对较高, 因而在选择增强材料时要综合考虑各种影响因素。

4 成型工艺探讨

复合材料遮光罩的成型工艺与星体复合材料结构并无本质的区别, 大体上都要经过预浸料制造、铺叠成形、加热加压固化、后处理、机械加工等几个主要过程^[7, 8]。对于圆柱状或锥状这类规则结构遮光罩, 按照各零件工艺组合的步骤或者先后顺序, 成型方案

可分为两种类型：一种是将遮光罩拆分成多个零件单独成型后再进行连接，即通常所说的“分体成型、组装连接”；另一种就是各零件同时铺叠、同时连接、同时固化成型，简称为“整体成型”^[7]。以图2所示的圆柱状遮光罩为例，除本体外圆分布的两个耳片必须单独成型外，分体成型、组装连接和整体成型两种工艺方案并无显著区别。至于选择何种工艺方案，除了要考虑遮光罩的结构形式和技术要求，还要兼顾实际生产需要和工艺设施条件。

4.1 分体成型方案

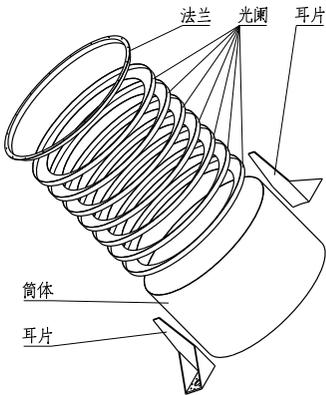


图3 遮光罩分解图

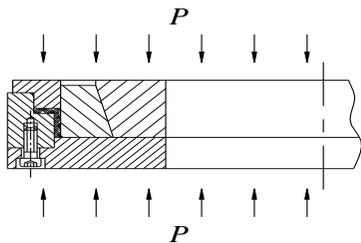


图4 法兰模压工艺简图

分体成型方案，能够大大降低产品的复杂程度，简化成型模具的结构形式，也有利于采用多样化的成型工艺方法，例如真空袋压法、热压罐法、模压法、软模热膨胀法、缠绕法等。以图2所示的圆柱状内置光阑式遮光罩为例，遮光罩拆分后的零件，包括筒体、法兰、光阑等，无一不是简单零件，如图3所示。如果遮光罩的壁厚较厚或者承载状况复杂，人们更加倾向于选择分体成型方案。这是因为分体成型方案能够针对性地选择成型工艺方法，从而提高产品的性能。例如，法兰采用铺叠-模压成型工艺，如图4所示，可以施加更大的压力，并确保各表面压力的均匀性，以便控制产品的纤维体积含量和均匀性，降低孔隙率；也可以更加精确地控制产品的尺寸精度，提高产品的表面质量^[9]；此外，还可以降低操作难度。

当然，分体成型方案也有一定的不足。首先就是工序繁琐、流程复杂。遮光罩分体成型方案的流程如图5所示，项目多达三十余项。其次，对各零件的装配精度要求较高。在实际生产中，对于筒体和光阑这样的简单零件，往往采用阳模或者阴模形式的单体结构模具，固化成型后的尺寸不易控制且厚度均匀性差，再加上结构变形，使得后面的组装连接过程变得困难。如果光阑的外径过大，则无法装入筒体中，这就需要将光阑剖切分段；反之，光阑与筒体之间的间隙过大，胶液容易流失产生脱粘缺陷。显然，无论那种情况都影响了产品的最终质量。

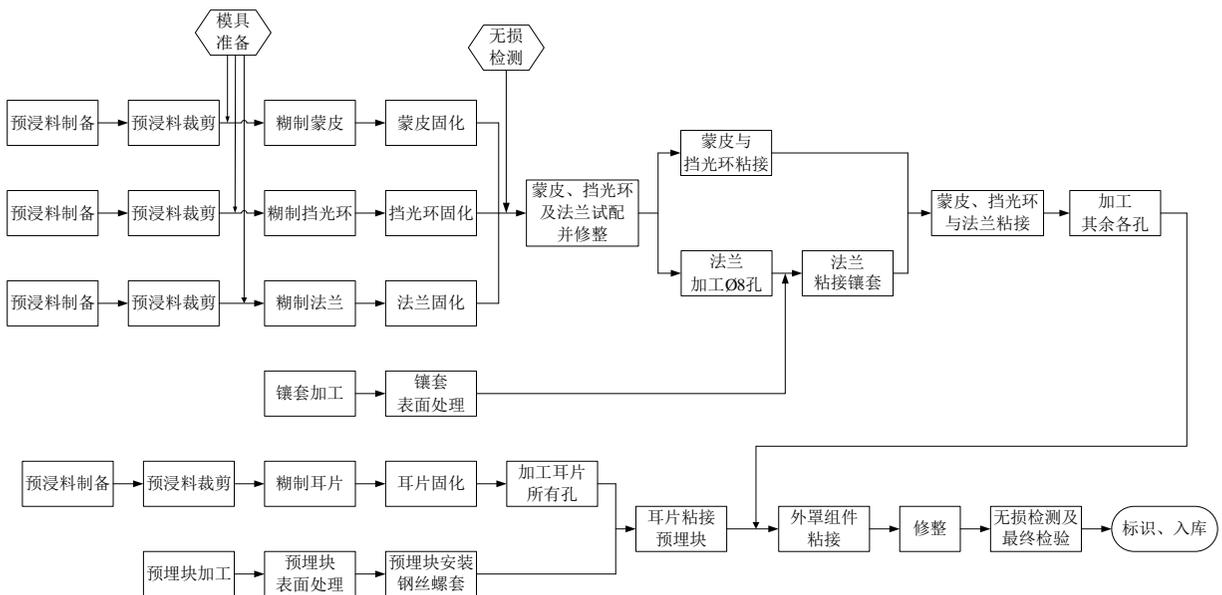


图5 分体成型方案流程图

4.2 整体成型方案

整体成型方案，能够对整个结构进行统一设计、优化铺层工艺，提高结构的整体强度及刚度，也省却了不必要的连接。另外，整体成型方案工序项目少，生产周期短。但是，整体成型方案相对复杂，成型工艺方法的选择余地也较小。在实际生产中，更多地采用真空袋-热压罐成型工艺，如图6所示。这是因为整体成型方案的模具外形尺寸较大，普通热压机工作台无法容纳模具；另外模压工艺所需的成型模具极其复杂，不容易实现。

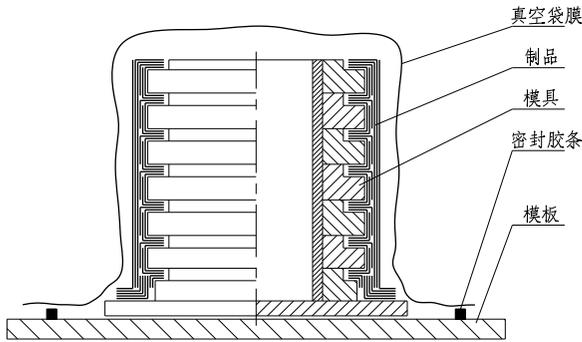


图6 整体成型方案简图

即便采用真空袋-热压罐成型工艺，模具结构和操作过程也略显复杂，每个光阑的芯模还需要分瓣，如图7所示。在固化结束后，首先拆除中心定位筒，接着拆除最上层芯模的两个主动块II和IV，再拆除最上层芯模的两个从动块I和III，按照同样的方法依次拆除每一层芯模，最后即可从模具中取下产品。对于这种四分法光阑芯模，有两个基本要求：一是每一块的最大弦长小于光阑内径，二是两个主动块II和IV外缘的弦长小于内缘的弦长。

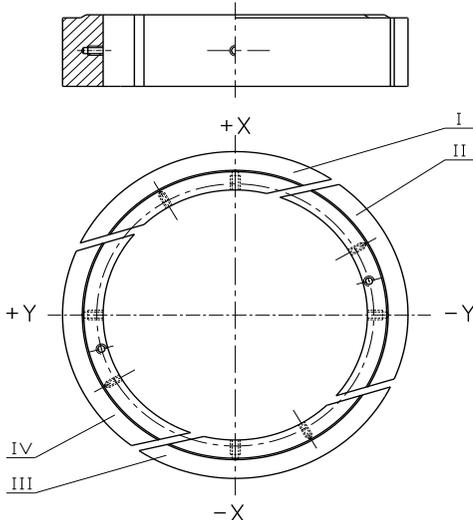


图7 光阑芯模简图

采用真空袋-热压罐成型工艺，产品的外形尺寸精度欠佳，壁厚均匀性和内部的密实程度稍差，纤维体积含量偏差范围也略大。因此，对于壁厚较厚或者承载状况复杂的遮光罩，不适宜采用整体成型方案。

4.3 其它放案

空间遥感技术的深刻变革使得遮光罩的结构形式也变得更加复杂和多样化，这要求成型工艺方案不断发展变革，以适应新的需求。对于一些新型的复合材料遮光罩产品，比以往更加需要设计、工艺等多个环节的统筹考虑，设计人员要密切关注设计的工艺性，工艺人员要重视工艺方法的合理性，不能局限于传统的模式。以图8所示的一种非规则形状的内置光阑式遮光罩为例，如果采用整体成型方案，模具很复杂，预浸料的铺叠和模具脱模都有困难；如果采用分体成型方案，各自独立的光阑和外面的曲面型壳体单独成型再胶接连接，零件繁多，连接精度和粘接质量欠佳。相对而言，半整体成型方案是一种较好的选择，即将遮光罩分解成左右对称的两瓣（如图9所示）和外面的壳体，分别固化成型后再进行组装连接。

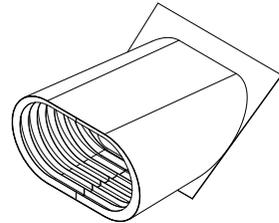


图8 内置光阑式非规则遮光罩简图

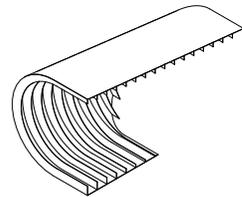


图9 光阑简图

5 结束语

空间遥感器复合材料结构的成型技术是航天器典型结构件成型技术的拓展。空间遥感技术的发展需要先进复合材料材料和新成型技术的支撑，同时也推动着复合材料及其成型技术的变革，不断朝着低成本、高性能、多功能化等目标发展。对于文中所述的内置光阑式复合材料遮光罩，无论采取何种成型方案和工艺方法，都应当兼顾空间遥感器的特殊要求和复合材料自身的特点。

（下转第34页）

