

# 机载光电稳定平台常用材料的应用

## Application of Common Materials for Airborne Opto-Electronic Stabilization Platform

中航工业空空导弹研究院 夏军 赵静毅

**[摘要]** 介绍了2种机载光电稳定平台本体常用制造材料,利用有限元的方法对平台本体的强度和变形情况进行了分析。给出了不同材料在平台本体制造中的应用场合。

**关键词:** 光电稳定平台 常用材料 固有频率 有限元

**[ABSTRACT]** Two kinds of common materials used for opto-electronic stabilization platform are presented, strength and deformation of which are analyzed by Finite Element Analysis. And applicated situation of different materials for platform body is given.

**Keywords:** Opto-electronic stabilization platform  
Common materials Natural frequencies Finite Element

机载光电稳定平台通常吊挂于无人机或直升机等飞机上,它利用前视红外仪、可见光摄像机、激光测距仪和激光照射器等光电传感器对地面目标进行搜索、识别、跟踪、定位以及目标指示。机载光电稳定平台的使用环境比较恶劣,需要同时承受飞行中的风阻力和飞机发动机产生的振动与过载。机载光电稳定平台本体和陀螺惯性仪表实际上是1个多自由度的弹簧-质量-阻尼系统,因此当激励频率与系统的某阶固有频率相等时,将会引起共振。强烈的振动通过平台本体的不等刚度和质心偏移,使陀螺仪产生漂移,造成视频图像模糊,同时交变干扰力矩也会使陀螺仪产生过大的角运动,并影响平台稳定系统的工作。所有这些最终都会降低稳定平台的跟踪精度,并影响视频图像的效果。因此,为了提高稳定平台的稳定精度和跟踪精度,需要在设计阶段针对关键构件依据使用情况选用合适的材料,以提高稳定平台系统的刚度和固有频率,避开载机发动机旋转等振动。

### 1 机载光电稳定平台常用材料性能比较

基于机载光电稳定平台对体积和重量的特殊要求,

核心受力件——平台本体的设计选择既要考虑轻量化的要求,又要兼顾结构性部件承载能力大的要求。因此,应优先选择比强度和比刚度较高的结构性材料,如常见的镁合金、铝合金和钛合金等。ZL101A是航空机载设备中应用最为广泛的铸造铝合金,其综合性能良好,特别是熔铸工艺性能优越,在航空机载设备中常用于铸造薄壁、复杂的结构件,能够满足机载设备对材料及其制造技术提出的高致密度、高强度、高结构复杂性、低重量和低成本要求。该合金是典型的热处理型合金,即铸造成型后,通过淬火时效可大幅度调整其机械性能,在机载光电稳定平台的研制中得到大量应用。

为了适应远程高速机动的航空航天等先进武器系统的发展需求,国防建设所需的关键新材料必须向着高性能化、复合化、智能化、结构功能一体化方向发展,其中轻量化是实现武器高速、远程、机动的一个重要前提,也是世界各国先进武器装备发展的重要方向之一。因此,大量采用高比强度、高比模量的高分子材料和树脂基复合材料等高性能轻质材料作为结构受力件开始应用于航空航天的制造领域。聚苯硫醚(PPS)就是这样一类轻量化的高性能材料,该材料经复合增强后,具有极为优良的强度、刚性和耐疲劳性,在高温下强度保持率远远高于其他工程塑料。聚苯硫醚还具有出色的耐高温性,阻燃、耐腐蚀、耐辐射、耐疲劳,硬度高、成型收缩率及线膨胀系数低、吸水率低等优点,其制品表现为无论在高温还是高湿状态下都不易变形,具有优良的尺寸稳定性,适宜制备各类精密注塑品,是性价比最高的特种工程塑料。

此外,聚苯硫醚还可制成结构功能一体化的导电、导热、压电、抗辐射、吸波、隐身、电磁屏蔽、抗激光以及微波软打击的功能复合材料和高性能连续纤维增强复合材料,被广泛应用于新型武器装备的制造和传统武器装备的技术进步,在机载光电稳定平台本体的制造中同样得到了应用。

机载光电稳定平台在随载机的飞行中承受的主要载荷有自身的重力、载机振动带来的惯性力、载机飞行

时的空气阻力和过载。其主要受力件为平台框架本体, 这些力经平台本体传递到载机, 因此平台本体应在满足重量尽量小的条件下有足够的刚度和强度, 设计时常采用变截面或局部增加加强筋的方式以提高强度减轻重量。目前比较常用的平台本体制造加工材料有铸造铝合金 ZL101A 和聚苯硫醚 PPS-hGR40, 它们主要性能参数如表 1 所示。

基于平台本体形状复杂、多处为薄壁结构, 其形状尺寸、组织结构和性能直接影响稳定平台的性能、结构重量、制造成本的重要指标等因素, 实际应用中多采用精密熔模铸造的方法生产 ZL101A 材料的平台本体, 同

表 1 铸铝与聚苯硫醚的性能参数比较

材料名称	牌号	密度 $\rho / \times 10^3(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	抗拉强度 $\sigma_b / \text{MPa}$	弹性模量 $E / \text{GPa}$	泊松比
铸造铝合金	ZL101A	2.68	275	66.4	0.3
聚苯硫醚	PPS-hGR40	1.69	183	13	0.35

时对缩短制造周期、降低机械加工成本也具有重要意义; 铸造成型后采用 T6 固熔处理加完全人工时效热处理方法消除内部应力, 以改善组织结构、提高力学性能。采用聚苯硫醚 PPS-hGR40 材料注塑成型生产的平台本体, 在退火处理后化学分子的结晶度得以提高, 能够消除内应力, 产品性能比热处理前更加稳定。

机载光电稳定平台主要受动态环境下的振动、冲击等外界因素影响, 提高稳定平台的刚度和固有频率, 就能减小运动对系统性能的影响。平台本体的固有频率直接决定了机载光电稳定平台特性。固有频率计算方法如下:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

其中,  $f_n$  为固有频率,  $k$  为弹性系数,  $m$  为质量。

由公式(1)可知, 增大  $k$  或减小  $m$  可提高固有频率。平台本体的固有频率越大, 表明其结构的动态刚性和整体结构的比刚度越高, 实际飞行应用中对光电稳定平台的整体动态性能影响小。为了保证精度要求, 平台本体必须有良好的刚性, 使得平台本体工作时在外界机械振动下不至于产生共振, 保证光电稳定平台正常工作。但增加刚度和固有频率就会使整体重量增加, 这就形成一组矛盾的统一体。

比刚度是平台本体轻量化设计过程中另一需要重

点关注的主要指标, 它是材料弹性模量  $E$  与密度  $\rho$  的比值。比刚度值越高, 表明材料在较低重量条件下可产生相同的弹性变形和塑性变形抗力, 即采用高比刚度的复合材料制造结构件系统, 可在较低重量条件下实现系统的刚度稳定性, 这对于满足平台本体的轻量化要求非常重要。

从表 1 可以看出, 聚苯硫醚 PPS-hGR40 密度相当于铸铝 ZL101A 的 63%, 抗拉强度相当于铸铝 ZL101A 的 66%, 比刚度仅相当于铸铝 ZL101A 的 31%。对于同样外形尺寸的平台本体, 采用聚苯硫醚 PPS-hGR40 加工出的产品其固有频率比铸铝 ZL101A 加工的产品固有频率低。仅从力学性能方面来看, 铸造铝合金材料明显提高了低阶的谐振频率, 能够更好地满足机载光电稳定平台的需要, 有较高的刚度和较好的动态特性, 从而能更好保证精度要求和其他性能指标, 保证飞行中机载光电稳定平台能够输出稳定的视频图像及对目标的跟踪定位。

## 2 应用分析

为了验证上述材料是否能够满足光电稳定平台的强度要求, 现对重要结构件平台本体进行有限元分析。

计算稳定平台所承受的风阻

$$F = C_z S \rho v^2 \quad (2)$$

其中,  $F$  为风阻力,  $C_z$  为光电稳定平台气动外形系数,  $S$  为光电稳定平台截面积,  $\rho$  为大气密度,  $v$  为风速(载机飞行速度)。

稳定平台外形可近似为球柱体, 取气动外形系数  $C_z$  为 1。假设某型平台的截面积  $S = 2.4 \times 10^{-2} \text{m}^2$ , 地表大气密度  $\rho = 1.25 \text{kg/m}^3$ , 载机最大速度为 180km/h, 即  $v = 50 \text{m/s}$ , 则平台风阻力

$$\begin{aligned} F &= C_z \rho S v^2 \\ &= 1 \times 2.4 \times 10^{-2} \times 1.25 \times 50^2 \\ &= 75 \text{ (N)} \end{aligned}$$

利用 ANSYS 完成平台本体的有限元受力分析(见图 1), 计算结果显示: 最大应力值出现在平台本体顶部的 6 个约束孔处, 最大应力为 25MPa。ZL101A 材料的最大拉伸强度为 275MPa, 安全系数为 11; PPS-hGR40 材料的最大拉伸强度为 183MPa, 安全系数为 7.3, 2 种材料都可以满足使用要求。但由于材料性能不同, 二者的最大变形量有一定差异, 如图 2 所示。其中 ZL101A 材料制成的平台本体最大变形量为  $0.17 \times 10^{-4} \text{mm}$ ; PPS-hGR40 材料制成的平台本体最大变形量为  $0.87 \times 10^{-4} \text{mm}$ 。

从以上计算分析可知, 在平台本体球柱体直径

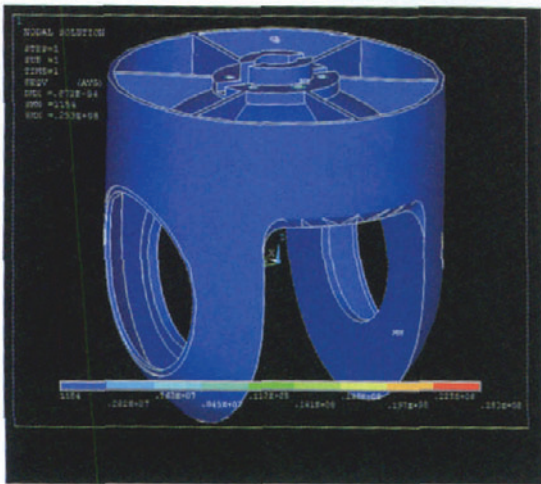


图1 应力分布

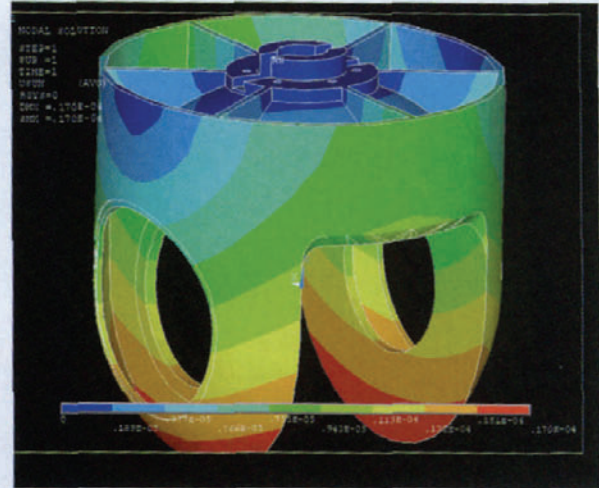
Fig.1 Stress distribution

160mm、多处厚度 3mm 的情况下,无论采用 ZL101A 材料还是 PPS-hGR40 材料,平台的强度都能满足使用要求,在受到相同风阻力下,最大变形量也在同一数量级;但采用 ZL101A 材料制造时,由于其比刚度高,生产出的平台本体固有频率亦比 PPS-hGR40 材料制造产品高,对提高系统稳定性具有很大帮助作用。通过振动试验的办法可以实际检测 2 种不同材料制成的机载光电稳定平台固有频率,选用 ZL101A 材料时,其一阶谐振频率约为 27Hz;选用 PPS-hGR40 材料时,其一阶谐振频率约为 16Hz。

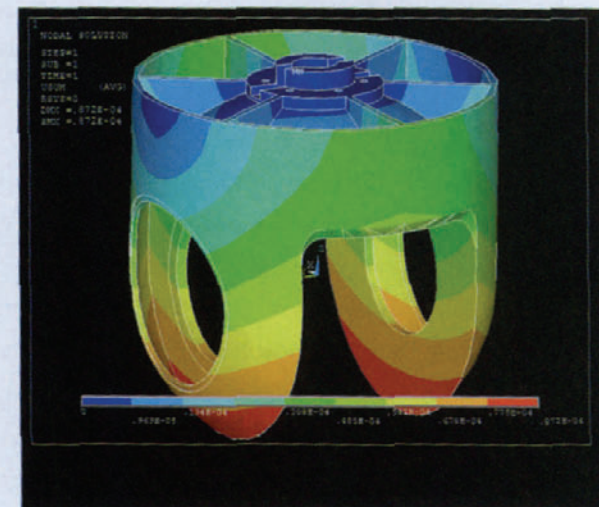
### 3 结束语

铝合金具有比强度、比刚度高的优良性能,同时具有优良的抗冲击性能,有利于系统减振降噪,受冲击时能吸收更多的能量,散热性好,抗电磁干扰性高。近年来随着精密铸造技术的发展,铸造工艺更加成熟,大量优质、复杂的整体精密构件广泛应用于机载光电稳定平台中,其加工余量越来越小,甚至许多地方无需机械加工,以提高整体结构性能和可靠性。这样不仅可以减轻结构重量,降低制造成本,缩短制造周期,还可满足装备的研制生产和发展的需要,不断降低制造成本。对于应用在高空、高速,携带光电传感器较多、体积重量较大的稳定平台,铸造铝合金依然是平台本体优先使用的制造材料。

高新材料是国防现代化的先导和重要的物质基础,是提高武器装备性能、增强国防实力的重要保障条件。目前,世界各发达国家都十分重视高新材料的研究与开发,“材料和工艺”在美国的“十大国防技术发展计划”中被视为其他九大国防技术的基础。



(a) ZL101A 材料平台



(b) PPS-hGR40 材料平台

图2 2种材料的平台本体变形情况

Fig.2 Platform body distortion of 2 different materials

美国已将 PPS 复合材料应用于战斗机机身,如 F-16 垂尾、F-35 的结构件中采用了 PPS 取代金属制造部件,使部件质量大大减轻。类似的 PPS 复合材料也已经应用于波音、空客等民航客机的舱门、机翼、推进器部件以及主梁部分,如 A340-500 和 A340-600 系列机翼,用其取代了铝材,减重 20%,并可抵抗燃油侵蚀。

选用聚苯硫醚 PPS-hGR40 复合材料替代传统材料铸造铝合金制造平台本体是合理可行的,光电稳定平台经过各项试验和地面检测,达到了设计要求。对于应用在低速条件、生产批量较大的稳定平台来说,采用复合材料制造平台本体能够最大限度地降低生产成本、缩短加工周期,但在复杂电磁干扰环境下的应用还需加以考验。

(责编 淡蓝)