

# X 型号滑翔增程弹 EP/CF 复合材料弹翼的研制工艺探讨

南博华<sup>1</sup> 黄志立<sup>2</sup> 王红丽<sup>3</sup> 张崇耿<sup>4</sup> 郭立杰<sup>1</sup>

(1. 上海航天设备制造总厂, 上海 200245; 2. 海军驻上海地区航天系统军事代表室, 上海 201109;

3. 西北工业大学理学院, 西安 710072; 4. 陕西剑峰机械研究所, 西安 710065)

**摘要** 介绍了 X 型号滑翔增程弹 EP/CF 复合材料弹翼的研制过程, 根据设计指标, 分别采用纤维缠绕/模压和手糊/模压两种成型工艺进行了试验。结果表明, 在满足弹翼性能指标要求的前提下, 手糊/模压成型工艺生产的 EP/CF 复合材料弹翼周期短、工序少、过程简单、原材料浪费少、质量容易控制, 更适合该弹翼的制造。

**关键词** 滑翔增程弹 弹翼 EP/CF 复合材料 纤维缠绕成型 手糊成型 模压成型

20 世纪末提出的远程精确打击的战术思想如今已经形成广泛的共识。在这一思想的指导下, 世界各国都在研究各种增程技术, 以提高炮弹、炸弹的射程和打击精度。从目前世界各国研究和发展的趋势来看, 实现炮弹增程的技术研究主要有控制滑翔增程技术、尾翼滑翔增程技术、冲压发动机增程技术等。空投型滑翔增程弹效果图如图 1 所示。



图 1 空投型滑翔增程弹效果图

空投型滑翔增程技术主要依赖于弹翼提供的升力, 因此弹翼是关键技术之一。复合材料弹翼以其制造工艺简单、质量轻占主要地位。复合材料弹翼的结构形式有单块式结构、多梁式结构、夹层结构及复合材料厚蒙皮壁板整体结构和实心结构<sup>[1-3]</sup>, 研制过程中采用环氧树脂 (EP) /碳纤维 (CF) 复合材料蒙皮泡沫塑料夹层结构; EP 由于粘附力强、收缩率低、固化后力学性能优越、化学性能稳定以及固化成型方便, 通常被选用作树脂基体<sup>[4]</sup>, 而增强纤维一般选用密度较小、拉伸弹性模量较大的 CF T700。

## 1 主要技术指标

主要静力学技术指标为: 在规定的均布载荷下、挠度小于 200 mm。

## 2 结构设计

整个弹翼由金属翼柄和复合材料翼片两部分组成, 金属翼柄与复合材料翼片之间依靠复合材料翼片本体树脂粘接成为一体, 复合材料翼片为 EP/CF 复合材料蒙皮泡沫塑料夹层结构, 弹翼结构图如图 2 所示。复合材料翼片横断面结构示意图如图 3 所示。

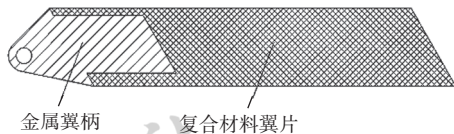


图 2 弹翼结构图

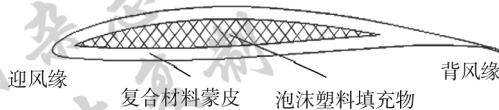


图 3 复合材料翼片横断面结构示意图

## 3 工艺方案

缠绕/模压工艺具有机械化、自动化程度高, 纤维定位准确, 劳动强度低等特点; 手糊/模压工艺具有工序少、复杂型面易成型、材料浪费少的特点。所以在试验阶段采取两种成型工艺进行试验件的成型试验, 在两种工艺中通过控制模压保证翼型面的需求。

### 3.1 缠绕/模压工艺

在干法、湿法和预浸湿法三种缠绕成型工艺方法中, 湿法缠绕具有层间剪切强度大、对纤维强度损伤小、不存在贮存问题的优点, 所以采用湿法缠绕工艺。

缠绕工艺中先将蒙皮在芯模上缠绕成型, 金属翼柄在复合材料翼片固化脱模后与其二次粘接再固化。金属翼柄粘接完成后在空腔内灌注硬质聚氨酯泡沫塑料, 使之发泡充满空腔, 形成夹层, 以厚蒙皮来保证承载能力。经计算确定蒙皮壁厚为 6 mm 时可满足性能要求。

#### 3.1.1 铺层

##### (1) 缠绕参数

在湿法缠绕过程中含胶量不仅影响制品的质量和厚度, 而且影响制品的刚度。在胶液粘度和浸胶

时间固定的条件下,影响含胶量的主要参数是缠绕张力。经小样试验,缠绕张力确定为 60 N 时含胶量可控制在 30% 左右,满足强度、刚度设计要求。

翼片主要承受垂直于翼片平面的气动载荷,故缠绕角应尽量小,以使翼片沿着轴向有高的刚度,通过试验确定纵向层缠绕角为 30° 即可。

(2) 缠绕层

翼片除了主要承受垂直于翼片平面的气动载荷使翼片弯曲,还会使翼片产生扭转。采用螺旋缠绕方式可以提高翼片扭转刚度,有效防止翼片两侧边缘的翘曲。缠绕层设计为 3 个环向层和 3 个纵向层。

(3) 手工铺层

弹翼型面属于异型结构,仅靠芯模上的缠绕层不能满足其型面要求。缠绕工序完成翼片的主体成型后,在翼型面成型模具中对主体结构进行手工铺层,修补弹翼迎风缘、背风缘部分,保证整个翼型面的要求。

3.1.1.2 模具

缠绕成型工艺过程中需要芯模和翼型面成型两套模具保证缠绕结构和翼型面。

(1) 芯模

玻璃钢复合材料芯模型面由铺叠成型并可作任意修补,具有与复合材料翼片热膨胀系数匹配的优点。芯模主体部分为玻璃钢结构,两端带有金属头与玻璃钢部分采用粘接方式连接,总长为 2.5 m,主体部分宽 20 cm,结构见图 4。模具的长径比为 12.5,轴向易弯曲,成型过程中将缠绕成型工艺中的模具顶紧改为拉紧的加力方式,避免芯模弯曲。

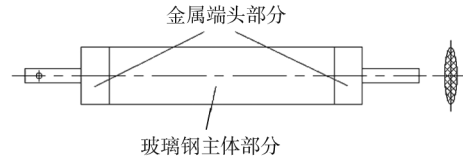


图 4 芯模结构图

(2) 翼型面成型模具

翼型面成型模具采用制造容易、加工方便、能加工复杂结构、使用方便、能多次重复使用、热稳定性好、耐压的钢结构模具,成型模具如图 5 所示。

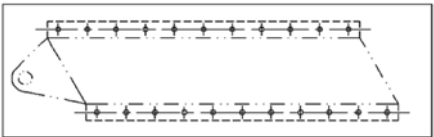


图 5 翼型面成型模具

3.1.1.3 工艺流程

湿法缠绕成型复合材料弹翼具体的工艺流程如图 6 所示。

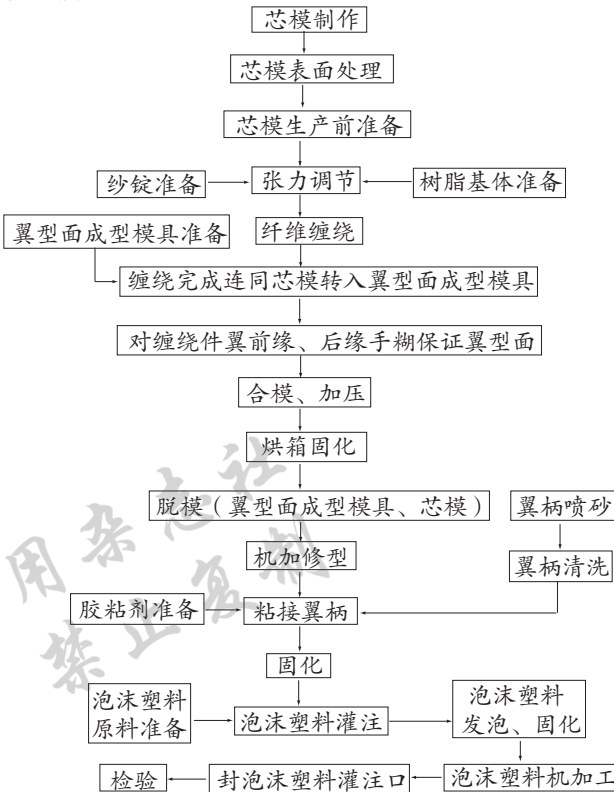


图 6 湿法缠绕成型复合材料弹翼的工艺流程图

整个工艺流程包括缠绕、铺层、固化、脱芯模、翼柄粘接、灌注泡沫塑料、机加工七个主要工序,整体具有缠绕工艺的优点,但在缠绕、芯模脱模和翼柄粘接三个工艺方面存在欠缺。

(1) 缠绕工序

虽然纤维定位准确,但最大的缺点是原材料浪费较大。由于翼片为板式结构,所以在缠绕成型时需芯模两头附加一个圆形的封头挂纱以保证线型,这导致纤维架空部分较多,从而使得可使用部分大大减少,两端头原材料的浪费较大,几乎占整个翼片的 1/3,如图 7 所示。



图 7 纤维架空示意图

(2) 芯模脱模工序

芯模长径比为 12.5,总长度为 2.5 m,且为玻璃钢制品,试验过程中导致高温固化后由于芯模的变

形而使芯模很难脱模,其中一发芯模不能脱出就可能最终放弃缠绕方案。

### (3) 翼柄粘接工序

金属翼柄与复合材料粘结区域的配合公差较大,需要在间隙填充浸胶的 CF 以提高其粘接性能。但由于此阶段固化为常压固化,且金属的热膨胀系数与 EP/CF 复合材料不匹配,因此填充纤维不能精确定位,存在固化收缩等会影响粘接性能。金属翼柄与复合材料翼片的粘接关系见图 8。

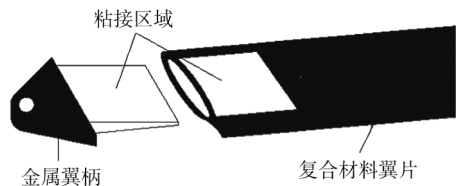


图 8 金属翼柄与复合材料翼片的粘接关系

由图 8 可以看出,复合材料弹翼缠绕工艺存在工序多、过程复杂、质量难以控制的缺点。

试验中该工艺统计的施工周期为:缠绕铺层 4 h、手工铺层 3 h、固化 10 h、脱模 20 h、翼柄粘接 7 h、修型 2 h、泡沫塑料灌封和固化 6 h、其余 5 h,一发弹翼的生产周期为 57 h。

## 3.2 手糊/模压工艺

手糊铺层+模压成型工艺中,夹层泡沫塑料在开始蒙皮铺层前已加工成型,在泡沫塑料上预留横肋和纵筋的位置,铺层过程中只需按照设计位置进行铺设即可,并可对横肋、纵筋精确定位。金属翼柄和复合材料翼片的粘接、蒙皮与泡沫塑料的粘接、复合材料翼片的固化成型一次固化,减少了加工工序,并缩短了成型周期。

### 3.2.1 铺层

由于翼片受力形式主要为单轴拉伸(下翼面)和压缩(上翼面),故铺层设计成均衡对称层合板形式<sup>[5]</sup>,以避免拉-剪、拉-弯耦合变形。铺层为比例较少的 $-45^\circ$ 层和 $+45^\circ$ 层,与载荷方向一致的 $0^\circ$ 纤维层所占比例较高,该结构中复合材料蒙皮以泡沫塑料芯材为对称轴,形成镜面对称。

该方案成型过程中,最初采用预浸无纬布进行铺层。由于无纬布的裁剪、铺层均为手工操作,导致原材料浪费较多、铺层定位不准确、纤维弯曲、纤维拉毛等问题,且铺层周期较长,约为 12 h,不利于生产。为了解决预浸无纬布成型过程中存在的诸多问题,经过多次工艺试验最终确定以准无纬布干法铺层作为生产工艺。准无纬布以极少量的 GF 为纬线

将 T700 CF 织造成布,其增强作用主要由经向的 T700 CF 提供,纬向的 GF 只起到固定 CF 的作用。改为准无纬布干法铺层后,周期大大缩短,约为 6 h,并且提高了原材料尤其是增强材料 CF 的利用率,同时使得纤维用量、树脂含量以及弹翼质量均一性得到控制。

### 3.2.2 模具

手糊/模压成型工艺只需要翼型面成型模具,不再需要其它成型模具,与缠绕成型工艺中用的翼型面成型模具相同。

### 3.2.3 工艺流程

手糊/模压弹翼成型具体的工艺流程如图 9 所示。



图 9 手糊/模压弹翼成型工艺流程图

从图 9 可以看出,复合材料弹翼手糊/模压工艺具有工序少、过程简单、质量易控制的优点。整个工艺流程包括铺层、翼柄定位、泡沫塑料铺设、固化、脱模五个主要工序,与缠绕/模压工艺相比,减少了两个过程。

翼片加载时应力最大区域为翼柄根部,所以翼柄部分主要应考虑其与复合材料的粘接强度,采取的措施包括在金属翼柄表面进行喷砂处理、增加横向沟槽、适当减少翼柄区铺层层数,控制粘接区域的树脂含量,使其与复合材料部分形成粘接牢固的整体结构。手糊/模压成型工艺中金属翼柄与复合材料翼片的粘接一次固化,在固化过程中始终由模具提供压力,粘接界面保持良好的接触,粘接性能好。

试验中该工艺统计的施工周期为:泡沫塑料芯

材准备 2 h、翼柄准备和定位 1 h、手工铺层 2.5 h、固化 10 h、脱模 1 h、机加修型 0.5 h、其余 1 h,总计一发弹翼的生产周期为 18 h。除去固化时间 10 h,缠绕工艺生产周期为 47 h,而手糊/模压工艺周期为 8 h,周期大大缩短。

采用该方案制得两发试验件在规定的均布载荷下扰度分别为 180、154.3 mm。

#### 4 结论

(1) 综合比较复合材料弹翼缠绕/模压成型工艺方案和手糊/模压成型工艺方案,在满足性能要求的情况下,手糊/模压工艺方案与缠绕工艺方案相比,前者具有工序少、过程简单、金属翼柄粘接、复合材料翼片固化成型一次固化、原材料浪费少、周期短和质量易控制的优点。

(2) 采用该方案制得两发试验件在规定的均布载荷下、挠度分别为 180、154.3 mm,满足小于 200 mm 的要求。因此,手糊/模压工艺方案适合于 X 型号滑翔增程弹 EP/CF 复合材料弹翼的批量生产。

#### 参考文献

- [1] 赵亮,陈红光.整体成型复合材料弹翼研制[J].航天工艺,1999(6):16-21.
- [2] 张兴益.碳/环氧复合材料弹翼静力试验与分析[J].飞航导弹,1994(3):58-60.
- [3] 李河清,陶华,赵景丽,等.复合材料机翼环肋结构件的研制[J].工程塑料应用,2005,33(4):35-36.
- [4] 王汝敏,郑水蓉,郑亚萍.聚合物基复合材料及工艺[M].北京:科学出版社,2006:98-99.
- [5] 益小苏,杜善义,张立同,等.中国材料工程大典,第 10 卷,复合材料工程[M].北京:化学工业出版社,2006:790.

## DISCUSS ON THE PROCESSING TECHNIC OF THE X TYPE GLIDING RANGE-ASSISTED MISSILE EP/CF COMPOSITE WINGS

Nan Bohua<sup>1</sup>, Huang Zhili<sup>2</sup>, Wang Hongli<sup>3</sup>, Zhang Chonggeng<sup>4</sup>, Guo Lijie<sup>1</sup>

(1. Shanghai Aerospace Equipments Manufacture, Shanghai 200245, China;

2. The Navy Stationed in Shanghai Military Space Systems Representative Office, Shanghai 201109, China;

3. School of Science, Northwestern Poly technical University, Xi'an 710072, China;

4. Shaanxi Jian Feng Institute of Machinery, Xi'an 710065, China)

**ABSTRACT** The process of studing X type gliding range-assisted missile EP/CF composite wings was introduced. According to the performance of the design, we produced two types sample by filament winding add die pressing molding technics and hand lay-up molding add die pressing technics. On condition that the performance of the sample could meet the need of missile wing, the second technic had the advantage of short periods, little working procedure, simple process, little waste of raw and processed materials and easy quality controlling, it was better technics to manufacture the missile wing.

**KEYWORDS** gliding range-assisted missile, missile wing, EP/CF composite, filament winding molding, hand lay-up molding, die pressing molding

### 苏州纳米所碳纳米管生物复合材料 电驱动性能研究获新进展

电驱动材料是一种能在外界电信号的刺激下产生形变的材料。碳纳米管是一种具有优异的电学、力学、热学等性能的新型纳米材料,自从 1999 年美国 Texas 大学的 Baughman 组首先报道了单臂碳纳米管在电解液中的电驱动现象后,碳纳米管的电驱动研究得到了越来越多的关注。由于碳纳米管的加入可以很好的提高聚合物材料的电学、力学以及热学特性,有望在电驱动领域取得良好的应用前景。

中科院苏州纳米技术与纳米仿生研究所在碳纳米管和生物聚合物分子的复合材料的可控电驱动性能研究上取得新进展。通过采用简单的溶液超声混合、蒸发成膜的方法,制备了碳纳米管/壳聚糖复合物薄膜,其中高导电的碳纳米管在不导电的壳聚糖体中形成了均匀的导电网络结构。当在悬空平放、两端固定的长条状薄膜上施加低压交流信号时,可以观察到其发生上下振动,并且复合物薄膜产生的电

-振动位移(波形、频率)和所施加的电信号的波形和频率均保持一致。

实验表明通过控制所施加的电信号可以实现复合材料的可控电-驱动。其产生的机理被证实为碳纳米管的电-热能量转换导致的复合物的热膨胀和收缩。该研究为电驱动材料在人工肌肉、仿生微型机器人,微流道控制系统等领域的应用发展起重要的推动作用。(中聚网)

### 俄最大双向拉伸聚丙烯生产商拟扩能

俄罗斯最大的双向拉伸聚丙烯(BOPP)生产商 Biaksplen 公司计划今年在俄罗斯托木斯克新建一套 3.5 万 t/年的 BOPP 薄膜装置,使公司的 BOPP 产能增加至 13 万 t/年。

新建装置将使公司有能力将产品销往哈萨克斯坦、土库曼斯坦等中亚国家以及中国市场。Biaksplen 公司主席 Sergey Merzlyakov 表示:“近年来,全球 BOPP 薄膜市场正在以年均 10% 的速度快速增长,俄罗斯市场具有更大的潜力,这是公司扩大 BOPP 薄膜产能的主要原因。”(化工网)