

小型无人机 EP/CF 复合材料细长尾撑杆的研制

赵景丽 李河清 赵鹏飞

(西北工业大学 365 所, 西安 710072)

摘要 主要介绍环氧树脂/碳纤维 (EP/CF) 复合材料薄壁细长管件的研制, 通过对材料的选择、成型工艺方案的确定, 以及对热压罐成型工艺参数的合理调整, 成功地将热缩塑料套管应用于小型无人机细长尾撑杆的成型中, 制造出符合设计要求的实验件。

关键词 环氧树脂 碳纤维 复合材料 管件 热缩塑料

树脂基复合材料与传统的金属材料相比, 最为突出的优点是比刚度和比模量高, 可设计性灵活, 热稳定性好, 热物理性能优异等。近年来树脂基复合材料已成功应用于无人机的机身、机翼、垂尾等主要结构件。尾撑杆是无人驾驶飞机上的一个重要受力构件, 其长径比大, 使用时要承受弯矩、扭矩和剪力等复合载荷, 其中弯矩为主要载荷^[1]。笔者所要研制的尾撑杆结构具有长径比大、薄壁、壁厚不一等特点, 为了确保这一环氧树脂/碳纤维 (EP/CF) 复合材料薄壁管件的质量, 提高成品合格率, 根据制件的技术要求和现有的工艺设施, 对管件的选材、铺层设计、成型工艺和有关性能等开展了各项研究, 取得了较好的效果。

1 制件的结构形式

尾撑杆结构特点为薄壁、细长, 呈圆锥形管状结构, 设计对内腔及外形尺寸均有一定的要求。尾撑杆大端直径 90 mm、壁厚 2 mm, 其小端直径 60 mm、壁厚 1.5 mm, 总长度约 2 m, 其上下平面直线度要求小于 0.5 mm。其结构如图 1 所示。

2 尾撑杆的研制

2.1 成型工艺方案的选择

成型 EP/CF 复合材料薄壁、细长管件的工艺有多种形式, 其中最为典型的工艺是纤维缠绕法。此法在纤维增强塑料 (俗称玻璃钢, FRP) 管材、钓鱼竿等制造业中经常采用。而小型无人机上的尾撑杆, 长度较长, 截面为圆形渐变截面, 由于其结构为非轴对称形状, 如果采用纤维缠绕工艺, 不仅难度很大, 而且缠绕成型制得的尾撑杆表面粗糙, 难以加工成光滑的表面。笔者在查阅文献资料过程中, 受靳武刚等^[2]在碳纤维增强塑料 (CFRP) 管的成型中为保证管件外形光滑而采用橡皮囊技术的启发, 尝试将热缩塑料套管应用于尾撑杆管件的成型, 通过大量的试验研究, 最终成型出满足设计要求的制件。

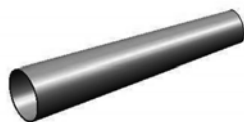


图 1 尾撑杆结构简图

2.2 热缩塑料套管的选择

目前市场上销售的热缩塑料套管大多是针对电气性能设计的, 将其应用于复合材料管件的成型中, 主要是利用热缩塑料在加热时其分子化学键由线性结构变为三维网状结构, 将交联后的结晶性聚合物材料再加热到熔点以上, 则变成弹性体橡胶, 在此状态下施加外力进行拉伸、扩张并迅速冷却后, 这一拉伸状态就被保留下来。使用时只需将其加热至一定温度, 由于弹性体的作用, 又收缩至扩张前的状态。选择热缩塑料套管的主要依据是: ①必须满足复合材料的固化工艺条件; ②固化过程中可达到收缩压紧, 改变复合材料表面状态的目的^[3]; ③通过一定的表面处理, 不污染复合材料表面, 而且成型固化后容易与复合材料管件分离; ④热缩塑料套管的口径、收缩率和壁厚适合于成型尾撑杆。热缩塑料套管的组装方式如图 2 所示。

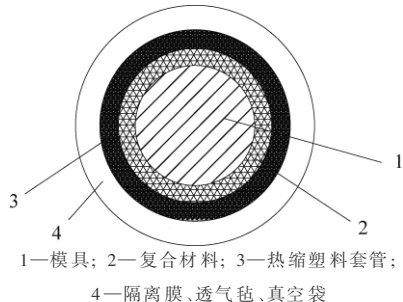


图 2 热缩塑料套管组装方式示意图

2.3 选材和材料性能试验

复合材料选用西安飞机公司生产的 HD03/

T300 预浸料,其工艺状态稳定,在设计要求上能提供较大的承载能力。根据结构设计要求,对材料的主要力学性能进行了测试,其结果见表 1。

表 1 HD03 / T300 单向层合板的力学性能测试结果

项 目	指标	实测值
拉伸强度 /MPa	1420	1 570
拉伸弹性模量 / GPa	124	136
压缩强度 /MPa		610
压缩弹性模量 /GPa	120	132
弯曲强度 /MPa	1500	1 670
弯曲弹性模量 /GPa	105	117
层间剪切强度 /MPa	80	81

2.4 成型工艺

根据尾撑杆的实际使用要求,经反复工艺试验后,选定的成型工艺为:首先按材料设计的铺层数在刚性芯模外面铺放、缠绕 CF 预浸料,其中每铺 3 ~4 层,真空预压实 1 次,然后直接在预浸料层外面包覆经表面处理的热缩塑料套管,在一定工艺条件下使之热缩,然后将其封装,进行热压罐固化,最后脱模,剥离热缩套管而得到制件。其制造工艺流程如图 3 所示。

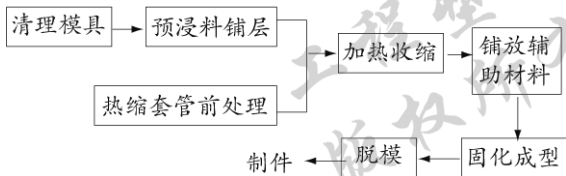


图 3 尾撑杆制造工艺流程

3 研制中解决的主要技术问题

(1) 管件尺寸公差的控制

复合材料尾撑杆管件的成型工装采用内表面为硬钢模接触的方式,在管件外设置热缩塑料软模胎,采用热压罐固化成型。

影响管件尺寸的因素很多,其一,管件的空隙含量,而产生空隙的原因有预浸料中的低分子挥发物、铺层时产生的气泡、架桥等。若空隙含量多,会直接导致管件厚度不能满足设计要求。通过试验研究发现,采用 2 层 ±45°手工缠绕辅以提高固化压力和提前加压点均可取得好的效果;其二,模具的制造精

度、线膨胀系数的大小等都会影响管件尺寸,应在模具设计时将变形预消除。

(2) 固化工艺参数的控制

固化工艺参数包括固化温度、升温速率、加压时机和压力大小等,这些参数对制件质量至关重要,在固化过程中要严格按固化工艺参数实施。加压时机是一个须特别控制的参数,它不仅对复合材料管件的厚度、空隙含量、树脂含胶量及结构尺寸至关重要,而且会直接影响到尾撑杆的力学性能。通过试验研究发现,若加压点滞后凝胶点 10 min 左右,其层间剪切性能将下降 40% 左右。

(3) 热缩塑料套管的热缩工艺控制

热缩工艺的控制主要有 3 点:①热缩塑料套管的收缩要均匀,不能局部出现皱褶;②收缩速度不能过快,避免轴向收缩量过大时已紧缩的部位产生位移,导致纤维错位;③防止收缩时热缩塑料套管破裂。

4 结论

(1) 通过对 EP/CF 复合材料细长尾撑杆的研制,进一步掌握了复合材料管件的成型工艺。为了保证本制件的质量,从预浸料的选用、铺层、手工缠绕工艺、装模、热压罐固化成型到脱模和后加工,每一道工序必须严格加以控制,才能保证研制出合格的 EP/CF 复合材料细长尾撑杆。

(2) 采用热缩成型工艺成型,其工艺性稳定,生产效率较高,与缠绕成型工艺相比经济效益明显。

(3) 复合材料尾撑杆外观光滑平整,表面没有任何压痕、皱褶。该工艺方案的成功应用,为今后研制类似结构形式的先进复合材料薄壁细长圆形管件奠定了良好的基础。

参考文献

[1] 张元明,赵鹏飞.小型无人机 C/G 复合材料尾撑杆的设计[J].玻璃钢/复合材料,1996(5):20-21.

[2] 靳武刚,吴利英.热缩塑料在 CFRP 管成型中的应用[J].塑料科技,2001(5):9-11.

[3] 赵成刚.大口径热缩管的制造[J].塑料科技,1994(1):18-20.

THE MANUFACTURE OF EPOXY/CARBON FIBER COMPOSITE TUBE IN THIN WALL FOR UVA

Zhao Jingli, Li Heqing, Zhao Pengfei

(Institute of 365, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT The manufacture of epoxy/carbon composite tube in thin walls was introduced. By selecting appropriate material and moulding technics, adjusting technological parameter for autoclave moulding, the thermal contractible plastics sleeve was applied successfully in the manufacture of EP/CF composite tube for UVA. The sample parts that was up to the mustard was manufactured.

KEYWORDS epoxy resin, carbon fiber, composite, pipe fitting, thermal contractible plastics