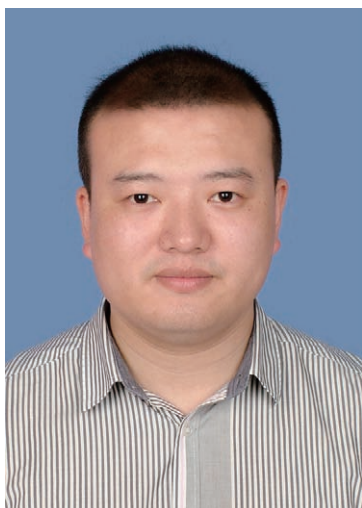


复合材料飞艇螺旋桨成型技术

Molding Technique of Composites Airship Propeller

中国电子科技集团第三十八研究所 黄钊 鞠金山



黄钊

2008 年获得中国科学技术大学材料物理与化学博士学位, 现任中国电子科技集团第三十八研究所工程技术部工艺设计师, 高级工程师职称。目前的研究方向为复合材料成型工艺, 研究内容包括: 浮空器产品复合材料应用研究, 微波复合介质基板材料研制, 星载环境复合材料应用研究等。

飞艇在所有的空间飞行器及浮空器中具有留空时间长、载重量大、能源消耗低、安全性能好等优点, 可用于搭载各种侦察、预警、通信装置, 对军用和民用有很大实际意义^[1-2]。飞艇高空前飞或偏航, 需要有一定的助推力以及偏航力矩。为此, 在飞艇尾翼及尾翼腹部布置螺旋桨以满足飞艇前飞及偏航要求。螺旋桨作为

由于复合材料比强度、比模量高和可剪裁设计的特点, 已经在飞艇螺旋桨上得到应用, 并成为其材料体系的主要发展趋势。对复合材料飞艇螺旋桨成型工艺国内外鲜有报导, 这主要是因为平流层飞艇的研究处于起步阶段, 目前仍以论证设计为主。本文借鉴了同为复杂曲面外形的复合材料结构件——风机叶片的成型经验, 提供了复合材料飞艇螺旋桨的成型技术路线, 并对其成型过程中的关键技术和控制点进行了探讨。

飞艇动力系统的主要组成部分之一, 其主要功能有两点: 一是由电动机带动旋转产生拉力, 为飞艇前飞或抗风定点提供推进力; 二是为飞艇偏航提供偏航力矩^[3-4]。由于复合材料比强度、比模量高和可剪裁设计的特点, 已经在飞艇螺旋桨上得到应用, 并成为其材料体系的主要发展趋势。对复合材料飞艇螺旋桨成型工艺国内外鲜有报导, 这主要是因为平流层飞艇的研究处于起步阶段, 目前仍以论证设计为主。本文借鉴了同为复杂曲面外形的复合材料结构件——

风机叶片的成型经验, 提供了复合材料飞艇螺旋桨的成型技术路线, 并对其成型过程中的关键技术和控制点进行了探讨。

设计目标

以单副双桨叶螺旋桨为例, 直径 7m, 外观效果图如图 1 所示。

性能指标按照平流层工作环境需求设置如下。

(1) 使用环境要求。

工作环境温度: $-80\sim 55^{\circ}\text{C}$;

静置环境温度: $-80\sim 60^{\circ}\text{C}$;



图1 双桨叶螺旋桨外形图

工作环境湿度: 95% (30℃);
海拔高度: 0~22000m。

(2) 功能要求。

类型: 定距拉力桨;

桨叶数: 2 叶;

旋转方向: 沿航向顺时针。

(3) 结构工艺要求。

结构形式初步采用单腹板泡沫整体填充方案: 上下壳体及腹板采用预浸料进行铺层, 腹板与壳体之间为空心结构, 腹板形式为 Z 字型。

直径: 7 m;

螺旋桨干重量(包括安装附件):
(40 ± 2) kg;

设计安全系数: 不小于 3, 且在使用寿命内不发生气动弹性不稳定现象, 0~600r/min 内不因共振导致螺旋桨桨叶发生破坏性损坏。

成型工艺和关键技术

螺旋桨成型总体工艺路线如图 2 所示。

总体工作思路为: 在加工制作完成上壳体、下壳体、腹板、内包边模具后, 选用碳纤维增强环氧树脂预浸料, 采用热压罐工艺, 分为两次中温固化成型, 第一次在热压罐中分别成型上壳体、下壳体和腹板, 腹板胶接后, 再在热压罐中将上下壳体合模整体固化成型。

螺旋桨桨叶成型选用的主要材料有:

- 上、下壳体材料: 碳纤维预浸料;
- 腹板: 碳纤维预浸料;

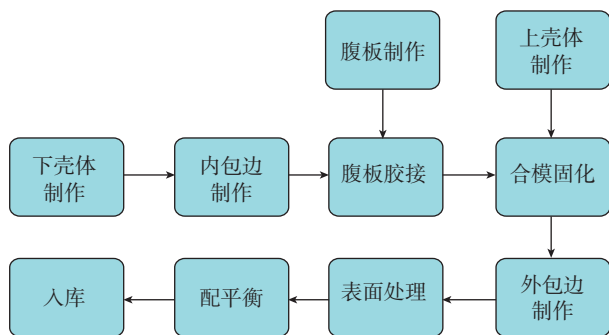


图2 螺旋桨模具加工及工艺路线图

· 腹板胶接及合模胶接: 胶粘膜。

复合材料成型主要采用热压罐真空辅助工艺, 如图 3 所示, 分为两次中温固化成型。

决此问题, 必须进行内包边补强。内包边的作用是为了增大上、下壳体的胶接面积, 宽度、厚度、需补强位置应通过结构计算确定。考虑到内包边在上下壳体成型后也需参与合模过

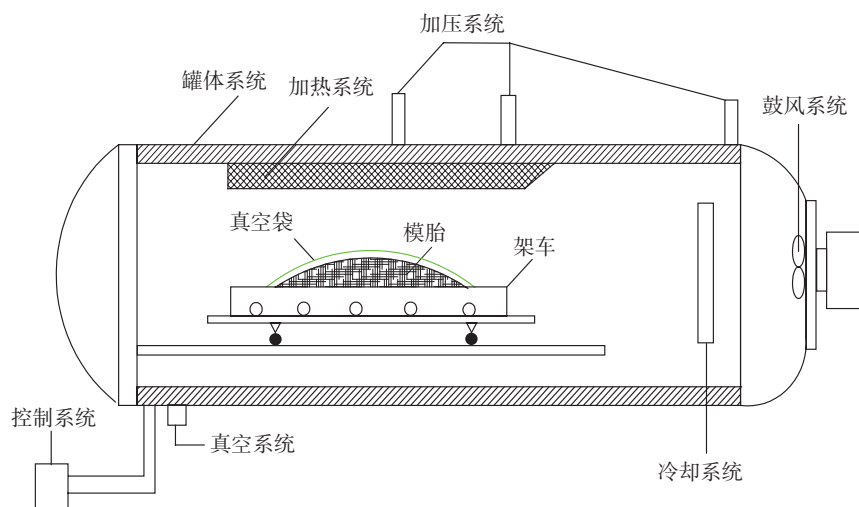


图3 热压罐真空辅助成型工艺示意图

按照工艺路线, 各工艺流程中的关键技术及控制点如下所述。

1 上、下壳体制作

桨叶成型不同于规则型复合材料, 考虑其曲面结构, 采用退层铺层设计。贴模具铺设一层脱模布, 然后铺设预浸料, 预浸料边缘沿模具边缘修剪, 最后在桨叶边缘及腹板胶接位置要覆盖上一层撕离布。从结构上还可以进行优化设计, 使得预浸料纤维主方向为桨叶径向, 提供较强的抗拉强度。

根部预埋件处理, 可将预埋件位置处预浸料裁去, 将预埋件包裹发泡胶后填入, 随预浸料一起固化成型。

2 内包边制作

由于桨叶上下壳体边缘胶接面极窄, 如果仅仅采用壳体胶合的方式无法保证胶接强度, 有可能使得桨叶在动工状态下上下壳体分离脱落。为解

程, 因此需精确控制内包边的支撑位置以及与其上壳体对应曲目的厚度差值。使用刚性较好的内包边模具能解决这一问题。

在下壳体固化成型后, 撕去内包边制作位置处的撕离布, 将内包边模具定位安装到下壳体模具上, 定位时注意留出壳体内缩 1mm 的胶接量。之后在内包边模具和下壳体内铺贴预设厚度的碳纤维预浸料进行补强。待内包边固化后再取下内包边模具。

3 腹板制作及胶接

腹板制作在腹板模具中进行。采用碳纤维预浸料铺设。纤维方向应主要为 ±45° 方向, 承受来自上下壳体的剪切应力。铺设的边缘要留出一定量胶接面。

(1) 腹板定位胶接技术。

腹板成型后, 需将其先行胶接至下壳体上。腹板定位胶接是整个流程中较重要的一环, 处理不好不仅会使得整个桨叶抗剪切能力下降, 还会影响后续合模胶接步骤。其关键控制点包括腹板定位位置的准确性、胶接厚度及固化过程中的稳定性等。

为较好地控制腹板胶接,必须采用辅助工装解决。辅助工装要求刚性较好并配置有定位螺孔,对应于壳体模具上的腹板设计位置,用于在腹板胶接过程中控制胶层厚度及稳定固化过程。

腹板胶接过程的具体操作步骤如下:撕去下壳体内面对应腹板的胶接位置上的撕离布,铺贴胶粘膜;将腹板胶接面对准胶接位置放置;安装腹板定位工装,保持腹板直立,锁紧方边对应定位孔螺丝保证腹板在加压情况下胶接;常温或加温固化,卸去腹板定位工装,胶接完成。

(2) 配重箱设计制作技术。

通常配平衡在桨叶合模成型后进行,但需提前在叶体内制作配重箱,方便最终在其内增加重量。配重箱的位置设置在桨叶前缘腹板与壳体形成的空腔,使泡沫的下端形状贴合腹板和下壳体,上端修成近似上壳体弧形(图4)。然后用两层碳纤维预浸料包覆,将下端随腹板一起胶接

在下壳体上。

4 合模固化

下壳体胶接好腹板后,即可将上下壳体进行合模胶接成螺旋桨整体(图5)。在正式合模之前,为确定胶粘膜用量既能保证填满胶接厚度又不致缺胶造成空隙,需用橡皮泥进行预合模,测量每处橡皮泥的厚度作为正式合模时的胶粘厚度参考。正式合模时,在胶接位置铺贴好对应橡皮泥厚度的胶粘膜,翻转上壳体模具,抽真空加压升温固化。固化完成后,开模将桨叶取出放置在托架上。

5 外包边制作

外包边的作用是从外侧补强上下壳体胶接作用力,需要补强的层数及尺寸需结构上计算,建议仍采用退层铺设,保持桨叶气动外形。铺贴完成后加温固化。

6 表面处理

使用常规的复合材料表面处理方法即可,螺旋桨叶表面最后涂覆一层聚四氟乙烯(PTFE)。有优良的耐

光氧化性、耐热氧化性、耐臭氧氧化性和耐水降解性,可大大提高表面光洁度。

7 配平衡

为使一副两片桨叶在运转时达到动平衡,在两片桨叶均成型的最后必须对两片桨叶进行配重,使得两片桨叶的重量和重力矩均相等,从而避免使用时受力不均导致耦合共振频率不同,降低使用寿命。为使得配平衡更具可操作性,可采用配对对比的方法进行。首先对两片桨叶同时称重进行比较,得出重量及力矩差值,然后以两者较大一方为标杆,以树脂混合铅粉为补充物,称取差额,最后在配重箱和另一处力矩差值对应内表面位置操作固定补充混合物即可。

桨叶配平衡后,安装附件,并按设计连接形式将两副桨叶连接完成成型全过程,入库存放等待使用。

结束语

复合材料飞艇螺旋桨成型过程是综合了结构一体化设计、模具设计制造、热压罐工艺、开合模技术等多学科的系统工程。其具体成型过程细节处还需在实际操作中进行修正,更重要的需是在成型完成后进行一系列的检测及验证工作,包括翼型检验、风洞试验、静强度试验、疲劳试验、环境试验等,保证复合材料螺旋桨各项性能指标满足需求。

参考文献

- [1] Jamison L, Sommer G S, Porche I R. High-Altitude air-ship for the future force army. Technical Report of RAND Corporation, 2005.
- [2] 姚伟,李勇,王文隽. 美国平流层飞艇发展计划和研制进展. 航天器工程, 2008, 17(2): 69-75.
- [3] 雷光新,刘巍,杨涛,等. 平流层飞艇螺旋桨初步设计方法. 导弹与航天运载技术, 2011, 2: 1-4.
- [4] 刘沛清. 空气螺旋桨理论及其应用. 北京:北京航空航天大学出版社, 2006.

(责编 良辰)

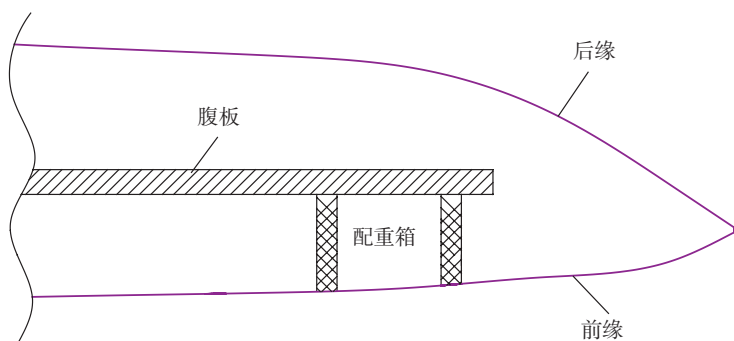


图4 配重箱位置示意图

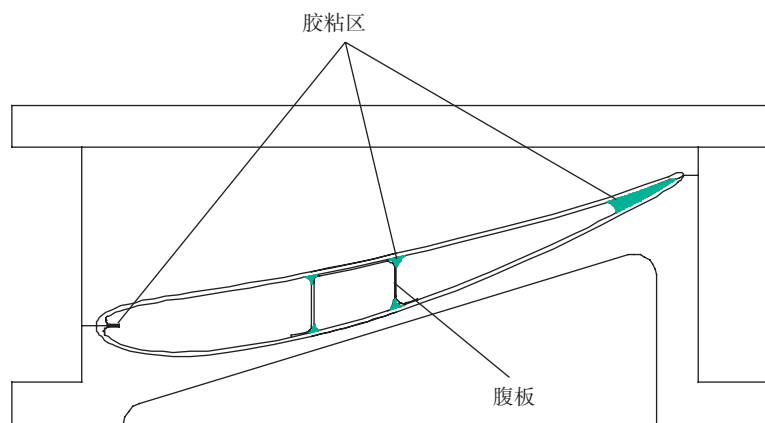


图5 上下壳体合模胶接固化成型图