

复合材料螺旋桨整体模压成型模具设计技术研究

张鑫玉¹, 高婷^{1*}, 朱坤¹, 易伟²

(1. 北京玻璃钢复合材料有限公司, 北京 102101; 2. 长沙晶优新材料科技有限公司, 长沙 410000)

摘要: 螺旋桨作为船舶最为重要的部件之一, 对其材质要求极高。复合材料具有强度高、比重小、耐腐蚀、水下噪声小等优点, 成为螺旋桨材质首选。除此之外, 模具设计过程作为复合材料螺旋桨成型过程中的关键过程, 对其也有较高要求。本文主要通过分析目前复合材料螺旋桨的研究背景, 在现有模具设计的基础上, 总结不足之处, 根据模压工艺成型原理, 研究并设计出一种整体成型的复合材料螺旋桨模具。通过对螺旋桨整体结构分析、现有模具结构的比较分析、模压模具总体设计与型腔设计、螺旋桨模压模具的制造与成型、精度分析五个主要模块的阐述, 并结合相关计算, 得出该整体成型模具的设计成果, 有效解决了分体成型时的装配误差、粘接强度低等技术难题。

关键词: 复合材料; 螺旋桨; 整体成型; 模压

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0999(2019)05-0111-04

1 前言

船用螺旋桨是指船舶在水下或水面航行时, 桨叶在水中旋转, 使发动机转动功率转化为同水阻力方向相反的推力, 从而使船舶保持稳定速度的装置。由于具有工作效率高、结构可靠、生产成本低等优点, 螺旋桨已成为目前最为广泛使用的一种船用推进装置^[1]。

螺旋桨作为船舶上最为重要的部件之一, 对其材质要求较高。过去, 许多海军和海洋工业都使用镍铝合金铜(NAB)作为生产螺旋桨的主要原材料, 因为它具有较高的硬度和较低的腐蚀性能^[2,3]。然而, 随着复合材料行业的快速发展, 复合材料凭借其强度高、比重小、耐腐蚀、水下噪声小等优点, 逐渐取代易受腐蚀的金属材质, 成为螺旋桨材质的更优选择^[4-11]。

复合材料螺旋桨在成型过程中, 作为核心的模具设计技术, 对其同样有较高的要求^[12]。经调查, 目前, 碳纤维螺旋桨大多采用分体成型工艺, 单独成型桨叶和毂, 然后通过榫接、粘接的方式组合成整体。为避免紊流现象的发生, 在分体成型工艺中, 要求桨叶之间的配合关系良好, 即对粘接过程中位置度关系要求极高。然而, 粘接过程中存在的定位问题难以保证桨叶之间的位置度。

本文通过分析螺旋桨的结构、模压模具的结构和精度以及分体成型模具的缺陷, 依据模压成型工艺提出了一种用于螺旋桨成型的整体模压模具^[13]。

2 螺旋桨整体成型模压模具设计

螺旋桨叶片成型涉及多方面的工艺技术, 包括叶片展平技术、模具设计与制造技术、叶片铺层设计、成型工艺参数优化等。其中, 模具结构的设计和表面精度的控制是影响模压制品最终质量精度和成型效率的重要因素^[14]。由于螺旋桨叶片形状具有不规则性, 如图1所示, 模压过程中会受到各个方向不同程度的力的作用, 所以模压模具结构设计与叶片铺层方案设计的合理性尤为重要^[15]。本次研究的复合材料螺旋桨整体成型模具设计主要分为螺旋桨整体结构分析、模具结构的分析与设计、模压模具的总体设计、模具结构的比较分析与精度分析及螺旋桨模压模具的制造与成型。

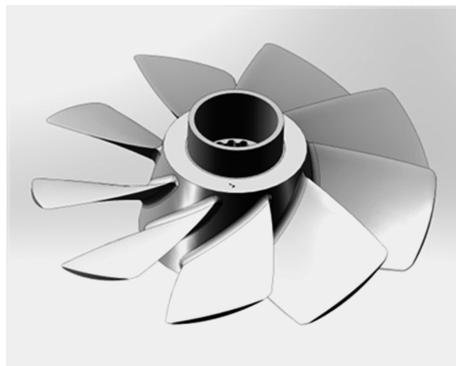


图1 复合材料螺旋桨模型

Fig. 1 Model of composite propeller

收稿日期: 2018-08-31

作者简介: 张鑫玉(1992-), 男, 主要从事模具设计研究方面的工作。

通讯作者: 高婷(1993-), 女, 主要从事模具设计研究方面的工作, 18220597961@163.com。

2.1 螺旋桨整体结构分析

本次研究中的复合材料螺旋桨工程图如图2所示,其基本尺寸:桨叶旋转最大直径为101.50 mm;螺旋桨最大高度投影为35.00 mm;桨叶厚度投影为1.28 mm;桨毂最大外径为47.21 mm,最小外径为36.16 mm,最大高度为26.00 mm。螺旋桨整体模压工艺采用碳纤维预浸布铺层设计成型,并且需要依据在作用平面上投影面积最大进行优化设计,以保证桨叶产生最大推进力而不被损坏。通过分析可以看出该复合材料螺旋桨具有以下特征:

(1) 叶片厚度分布不均匀,总体为中间厚边缘薄、桨叶根部厚尖部薄;

(2) 桨叶分布密度较大,两片桨叶之间可能存在负拔模现象;

(3) 桨毂部分截面厚度不均匀,下半部分为锥形体,上半部分为圆柱体。

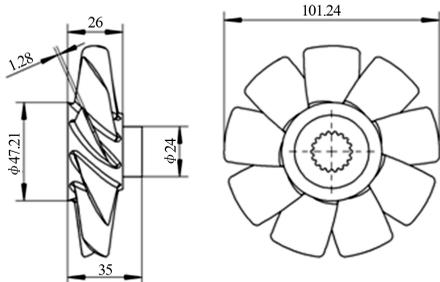


图2 螺旋桨外部尺寸投影

Fig. 2 Propeller outer dimension projection

2.2 模具结构的比较分析

对于螺旋桨成型来说,模压模具设计方面目前主要有两大类型。传统的成型方法是单个成型桨叶和桨毂,再通过榫接加胶接的方式将桨叶和桨毂组合起来完成整个螺旋桨的成型。这种方法存在较大的尺寸误差,主要体现在桨叶和桨毂的装配误差上,该装配公差主要有尺寸公差和位置公差;此外,该成型方法对螺旋桨的整体强度与韧性有较大影响,桨叶根部的粘接位置强度难以满足设计要求。而此次研究所设计的模具一次整体成型,既避免了装配误差的存在,又可以保证螺旋桨整体的强度和连贯性。在成型效率上有了极大的提升,大大缩短了成型周期。

2.3 模具结构的设计

2.3.1 模压模具的总体设计

在完成螺旋桨桨叶整体成型设计的基础上,开始螺旋桨整体成型模压模具结构的设计。此次设计应充分考虑模压成型现有的设备条件、工艺性及可操作性等因素。本次研究的螺旋桨尺寸较小,选用

350 t 压机,下压板固定不动,上压板可在竖直方向上下移动。模具采用固定式压塑模,上模固定在压机上压板上,下模固定在压机下压板上。考虑到压机上压板运动的方向与模压模具斜滑块运动的方向相互垂直,故采用斜导柱的方式来实现模压模具的开合,如图3所示。上压板下降时通过斜导柱与斜滑块的配合关系带动斜滑块作向心运动,从而提供模压的压力;上升时通过斜导柱与斜滑块的配合关系带动斜滑块作离心运动,完成斜滑块与螺旋桨桨叶的分离,从而达到脱模的作用。

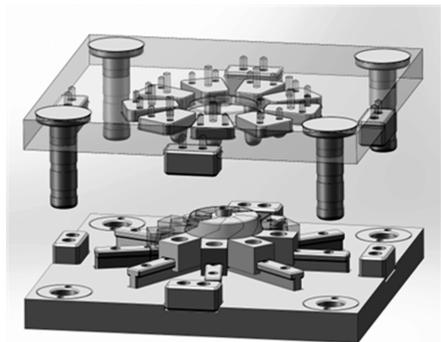


图3 螺旋桨整体成型模具开合模型

Fig. 3 Propeller integral molding die opening and closing model

通过分析设计,用三维软件构建的模压模具总体结构模型如图4所示。螺旋桨整体成型模压模具的主要组成部分如下:①成型装置:上模、下模、斜滑块;②支撑装置:固定板、承压块、支撑板、垫板;③加热装置:加热板;④导向机构:导柱导套。

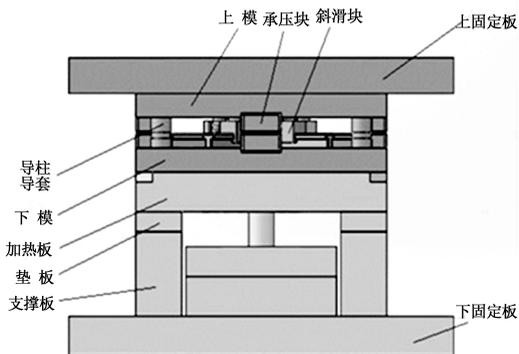


图4 螺旋桨模压模具总体结构图

Fig. 4 Overall structure of the propeller molding die

2.3.2 型腔设计

通常情况下,复合材料模压模具的结构由上、下模组成,但此次研究的螺旋桨桨叶具有较高的曲率,且桨叶数量较多,分布较为紧密,采用简单的阴阳模来实现径向和轴向加载的难度较大,可能存在负曲率的情况,故而需要对螺旋桨整体结构进行拔模分析。通过分析,发现每相邻两片桨叶之间只有沿径

向方向不存在负曲率,如图5所示。所以可以考虑将每片桨叶分为两部分成型,每相邻两片桨叶之间采用斜滑块来成型各自桨叶的一部分,如图6所示。由每相邻两个斜滑块来完成一整片桨叶的成型,最终所有斜滑块共同完成整个螺旋桨的成型。

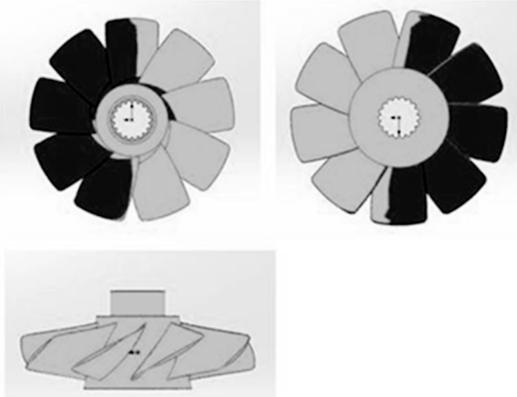


图5 螺旋桨拔模分析
Fig. 5 Draft analysis of propeller

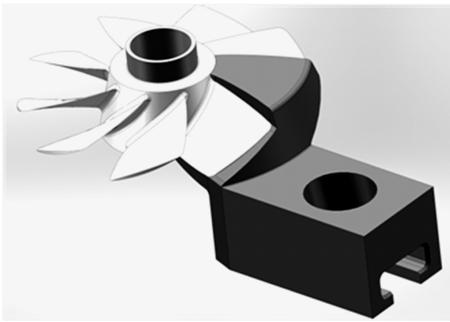


图6 单个斜滑块成型桨叶模型
Fig. 6 Model of single sloping slide

2.3.3 流胶槽设计

考虑到成型过程中预浸布中会有少量多余树脂被挤出固化吸附在滑块和导轨上,本次模具在设计过程中,在模压模具斜滑块侧壁设置了流胶槽,如图7所示。流胶槽对剩余胶液起导流作用,避免其流入导轨和滑块,造成模具难清理的问题,降低对模具表面粗糙度的影响。

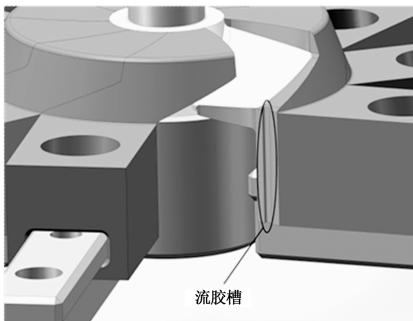


图7 流胶槽
Fig. 7 Fluid slot

2.4 螺旋桨模压模具的制造与成型

本次研究所设计的模压模具要求较高,不仅要求具有很高的刚度和强度,还需要有较高的尺寸精度和表面光洁度,且开模及合模时具有较好的装配精度。所以,一方面采用热处理提高模具的刚度和疲劳强度,对斜滑块表面采用高频淬火,改变其表面的金属组织结构,以此来获取较好的耐磨性和硬度;另一方面,对斜滑块的表面进行镀铬处理,以增强其耐腐蚀性能,进而达到更好的表面质量。

3 铺层分析

在复合材料螺旋桨模压成型过程中,预浸布铺贴过程也是影响产品质量的关键工序。本次研究主要通过对预浸布厚度、性能的分析,并结合产品外形分析,最终采取阶梯分层铺层设计,运用三维模拟软件对桨叶铺层进行模拟拆分,得出精确的铺层图,并借助专业裁布设备完成裁布工作。

在实际铺层过程中,如何保证每层预浸布的位置精确度符合要求,是保证产品精度的一个重要因素。在本次研究中,针对阶梯型铺层设计,采用逐层划线定位的方法,有效地解决了该问题。

4 精度分析

为了降低复合材料螺旋桨在水中高速旋转时的摩擦阻力,要保证螺旋桨叶片表面的光洁度和精度。本研究中成型桨叶表面主要靠斜滑块来完成,故而斜滑块的表面粗糙度设计为 $R_a \leq 0.8$,以保证桨叶成型后的表面光洁度和精度要求。对由本模具压制的两件产品进行数据测试,得到如表1所示的测试结果。

表1 两件产品测试数据

Table 1 Three pieces of product test data

产品编号	转子直径/mm	重量/g	叶片型值
01	101.5	141.1	49.1%点为 ± 0.25 mm
			49.6%点为 0.25 mm~ 0.5 mm
			1.3%点为 -0.25 mm~ -0.5 mm
			0%点超出 ± 0.5 mm
02	101.5	138.9	57.5%点为 ± 0.25 mm
			33.2%点为 0.25 mm~ 0.5 mm
			1.1%点为 -0.25 mm~ -0.5 mm
			8.2%点超出 ± 0.5 mm

5 结论

复合材料螺旋桨具有强度高、比重小、耐腐蚀、水下噪声小等优点,具有较为广泛的应用。本文主要从产品整体结构分析、叶片展平技术、模具设计与制造技术等方面探究了复合材料螺旋桨整体模压成型工艺,同时对整体模压成型脱模难题进行了深入探究,并设计出一种利用斜滑块与斜导柱相对运动从而实现开合模的模具方案,保证了整体模压模具顺利脱模,极大地提高了生产效率和生产质量,保证了螺旋桨的整体性。

参考文献

- [1] 吴光林, 严瑾. 船用螺旋桨的应用与发展趋势[J]. 广东造船, 2008(4): 49-51.
- [2] 洪毅. 复合材料船用螺旋桨结构设计研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [3] 季洋阳, 田桂中, 周宏根. 船用螺旋桨先进制造技术研究进展[J]. 舰船科学技术, 2015, 37(5): 9-15.
- [4] 张鸿名. 船用复合材料螺旋桨成型工艺研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [5] 骆海民, 洪毅, 魏康军, 等. 复合材料螺旋桨的应用、研究及发

- 展[J]. 纤维复合材料, 2012(1): 3-6.
- [6] 张帅, 朱锡, 孙海涛, 等. 船用复合材料螺旋桨研究进展[J]. 力学进展, 2012, 42(5): 620-633.
- [7] 陈晴. 船用复合材料螺旋桨性能预报及优化设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- [8] 沈军, 谢怀勤. 航空用复合材料的研究与应用进展[J]. 玻璃钢/复合材料, 2006(5): 48-54.
- [9] 张建国, 岳金, 宋春生, 等. 碳纤维复合材料螺旋桨铺层角度研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2014(2): 207-210.
- [10] 施军, 黄卓. 复合材料在海洋船舶中的应用[J]. 玻璃钢/复合材料, 2012(1): 269-273.
- [11] 吴健, 曹耀初, 李泓运, 等. 碳纤维船用螺旋桨叶片疲劳性能试验研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2016(10): 80-83.
- [12] 孙娜. 船用螺旋桨的曲面造型及加工仿真研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2010.
- [13] 佚名. 玻璃钢螺旋桨建造规程(草案)[J]. 玻璃钢/复合材料, 1977(4): 28-31.
- [14] 张孝深. 成型FRP螺旋桨用FRP-石膏水泥复合结构模具的制造[J]. 玻璃钢/复合材料, 1985(1): 47-48, 26.
- [15] 李泓运. 复合材料螺旋桨的设计研究[Z]. 中国舰船研究院, 2014.

RESEARCH ON DESIGN TECHNOLOGY OF MOLDING MOLD FOR COMPOSITE PROPELLER

ZHANG Xin-yu¹, GAO Ting^{1*}, ZHU Kun¹, YI Wei²

(1. Beijing Composite Materials Co., Ltd., Beijing 102101, China;

2. Changsha Jingyou New Materials Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract: The propeller is one of the most important components of the ship and its material requirements are extremely high. Composite material has become the first choice for propeller material due to its high strength, small specific gravity, corrosion resistance and low underwater noise. In addition, as a key procedure in the composite propeller forming process, mold design process also has high requirements. This paper mainly analyzes the research background of current composite propellers on the basis of the existing mold design, and sums up the inadequacies. And then, according to the molding principle of molding process, an integrated molded composite propeller mold was studied and designed. By introducing five main modules consisting of the analysis of the overall structure of the propeller, the comparative analysis of the existing mold structure, the overall design of the mold and the cavity design, the manufacture and molding of the propeller mold, and the analysis of the precision, and by combining with relevant calculations, the design result of the integral molding die was obtained. The technical problems of assembly deviation and low bonding strength had been effectively solved.

Key words: composite material; propeller; holistic molding; die pressure