

复合材料尾桨叶梁恒张力缠绕设计及应用

杨涛 高殿斌 李开越

(天津工业大学机械电子学院,天津 300160)

文 摘 针对某直升机尾桨叶梁的异型缠绕进行分析。在对复合材料(预浸料)叶梁缠绕规律进行理论分析的基础上,建立了异型缠绕运动控制方程,给出了控制参数的数学描述。根据该缠绕理论设计了纤维缠绕机的张力控制系统。试验结果表明:张力波动控制在 (70 ± 3) N内,较好地满足使用要求。

关键词 复合材料,缠绕,张力控制,叶梁

Constant Tension Winding Method of Composites and Its Application for Windstick

Yang Tao Gao Dianbin Li Kaiyue

(School of Mechanical and Electronical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160)

Abstract Special shape fiber winding to screw propeller hub splint of helicopter was analyzed. Special shape fiber winding motion function was built on basis of analysis of winding rule. Tension control system for special shape fiber winding was designed according to this method. The testing result was given and tension of fiber controlled in the range of (70 ± 3) N. Practice shows that the system runs steadily and the function is perfect.

Key words Composites, Winding, Tension control, Windstick

0 引言

在复合材料制品的生产工艺中,缠绕成型的优点是能充分发挥纤维的强度,制得高比强度的产品。制品的力学性能与纤维缠绕的线型、缠绕温度、缠绕张力的控制等有密切的关系。目前纤维缠绕研究基本上集中在回转体缠绕上^[1~6]。近几年来,纤维缠绕制品向复杂化、异型化的方向发展,如机翼、叶片等,与圆形截面的卷绕控制系统相比较,非圆截面构件缠绕控制系统的难度大得多,本文针对某直升机尾桨叶梁的缠绕技术进行研究。经过实际的使用效果显著。

1 复合材料尾桨叶梁缠绕原理及工艺要求

1.1 叶梁缠绕原理

图1为尾桨叶梁组件缠绕原理图。

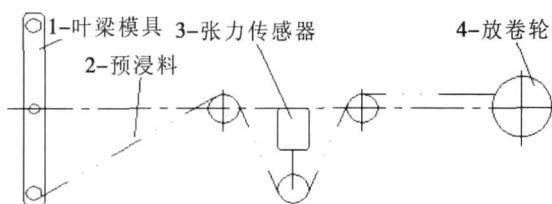


图1 叶梁缠绕系统组成图

Fig 1 Winding method for windstick

叶梁模具1绕其中心旋转,将预浸料2缠绕在尾桨叶梁模具1的斜衬套上,芯模1由伺服电机驱动,控制单元控制伺服电机以一定的变角速度旋转,实现对预浸料2张力的恒定。通过在芯模旋转过程中,预

浸料被缠绕在芯模两端的两个圆柱之间。缠绕完成后将预浸料从芯模上取下进行热压成型。运动过程中,张力传感器3在缠绕过程中动态检测预浸料的张力,将检测到的张力信号传递给控制单元。放卷轮4由力矩电机控制,保持预定的放卷张力。

1.2 复合材料尾桨叶梁缠绕工艺要求

预浸料带宽度为8mm;料盘卷筒直径为400mm;每卷带长度为300mm;缠绕张力为 (70 ± 6) N;缠绕速度为9r/min;缠绕室温度为 (45 ± 5) ℃;缠绕圈数为30圈;叶梁缠绕模具(旋转直径)长为1200mm。

1.3 叶梁缠绕结构特点和难点

以图1所示的矩形截面构件为例,骨架随缠绕轴旋转中缠绕带材,要求预浸料带材张力在规定范围内。若缠绕轴的角速度恒定,则缠绕点的线速度在每一转中起伏很大,导致了预浸料带材张力的大幅波动。在缠绕过程中,当由矩形截面的一个角点过渡另一个角点时,预浸料带材张力还存在跳动现象。上述两种情况严重地影响产品的质量,如不采取有效的措施,则无法生产出合格的产品。

2 复合材料异型缠绕张力控制系统

为了改变上述叶梁缠绕过程中预浸料张力大幅波动和跳动现象,复合材料叶梁缠绕控制系统由缠绕变角速度开环控制系统和放卷张力闭环控制系统组成。缠绕变角速度开环控制系统控制主动收卷,张力

收稿日期:2007-06-20;修回日期:2007-10-31

作者简介:杨涛,1970年出生,副教授,主要从事机电一体化、复合材料成型技术与装备方面的研究

闭环控制系统控制放卷。二者结合保证复合材料缠绕张力恒定。图 2 为缠绕张力开、闭环控制原理图。

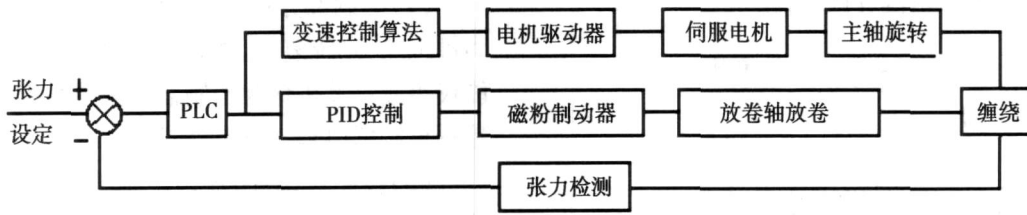


图 2 叶梁缠绕张力开、闭环控制原理图

Fig 2 Open and close loop tension control method for windstick winding

2.1 叶梁缠绕变角速度开环控制数学模型

在图 1 中,要保持预浸料的张力恒定,关键是伺服电机通过变角速度控制缠绕机构(即芯模)旋转,实现预浸料的匀速(线速度)进给,预浸料的匀速进给保持预浸料的张力恒定。因此缠绕机构在不同的转角处有不同的角速度,以下研究缠绕机构角速度的数学模型。图 3 为缠绕机构缠绕数学模型图。

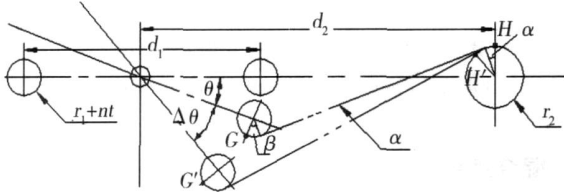


图 3 叶梁缠绕数学模型图

Fig 3 Maths model for windstick winding

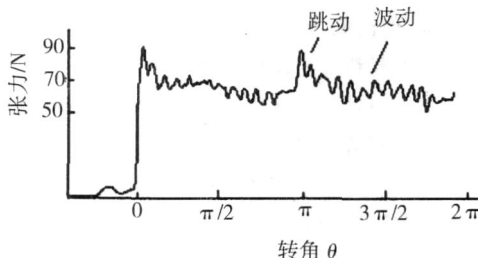
假设缠绕机构已缠绕 n 圈,则旋转角度为 $2n\pi + \theta$,设预浸料厚度为 t , r_1 为没有缠绕时斜衬套圆半径,

$$v = \left[\frac{1}{2} (D/4 - R^2)^{3/2} \cdot d_1 d_2 \sin \theta + (r_1 + nt) \cdot \frac{2R d_1 d_2 \sin \theta}{D \sqrt{D - R^2}} - \frac{4d_2^2 - d_1^2}{D} \right]^{-1} \cdot v \quad (4)$$

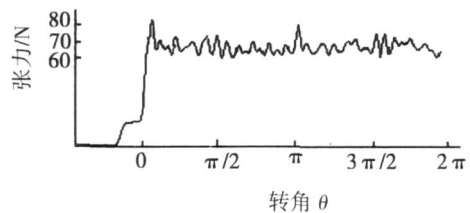
其中:

$$\theta = \arccos \frac{2d_2 - d_1 \cos \alpha}{\sqrt{d_1^2 + 4d_2^2 - 4d_1 d_2 \cos \alpha}} + \arcsin \frac{2(r_1 + nt + t)}{\sqrt{d_1^2 + 4d_2^2 - 4d_1 d_2 \cos \alpha}}; D = d_1^2 + 4d_2^2 - 4d_1 d_2 \cos \alpha; R = r_1 + nt$$

某些异型缠绕芯模两端有的不是圆柱形而是方形,其数学模型类似。根据式 (4) 可以计算出的伺服电机变角速度。实测变角速度控制效果和匀速控制效果比对见图 4。图 4(a) 为匀速转动时复合材料张力的变化曲线,共实测 1 周,从实测曲线可以看出由于带材线速度在每一转中变化导致了带材张力的大幅波动,即在每一圈内张力由大到小,呈下降趋势。此外,每一转过渡时,还存在较大跳动现象,张力变化在 (70 ± 20) N 之内。



(a) 匀角速度转动



(b) 变角速度转动

图 4 开环控制后带材张力实测曲线

Fig 4 Prepreg tension curves after open loop control

图 4(b) 为采用以上方法变速转动时张力的变化曲线,带材张力波动基本平稳。跳动现象也变小,得到较好控制,张力变化在 (70 ± 10) N 之内。

2.2 异型缠绕放卷张力闭环控制

放卷张力闭环控制部分如图 5 所示。按照以上数学模型控制伺服电机的转速可以保证预浸料的匀速进给,但上述控制是一个开环控制,为了保证恒定的张力,在实际控制中,除了按照上述模型进行收卷控制外,在放卷部分由张力传感器形成负反馈,组成

了闭环控制系统。放卷张力闭环控制部分由退绕轴、磁粉制动器、张力传感器、PLC组成。

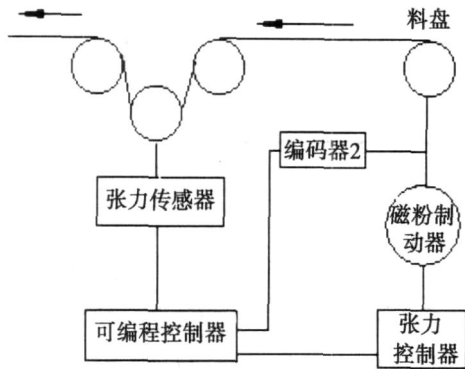


图5 放卷闭环控制系统

Fig 5 Close loop tension control

(1)缠绕部分:在预浸料缠绕成型工艺中,预浸料是在旋转芯模带动下产生运动,在芯模和放卷轴之间,可有多个导向轮控制缠绕预浸料的走向,使之平稳运动。

(2)检测部分:张力控制系统处于闭环情况下,采用高精度张力传感器进行张力实时检测获得反馈信号,实现张力的闭环控制。张力检测部分包括张力传感器、放大滤波器等几部分。

(3)执行部分:为了产生张力,必须有施力装置产生牵引力矩施加于缠绕部分上,该施力装置就是张力控制系统中的张力执行元件。执行元件是控制系统最基本的组成部分,它应该具备快速响应的动态特性、良好的静特性及控制可靠等特点。本文采用磁粉

制动器控制张力。

(4)控制部分:早期的张力控制系统的控制器多为模拟式,系统复杂,控制精度也低。现在多采用智能仪表或计算机作为控制器的张力系统,本文采用可编程控制器(PLC)作为控制器。

(5)控制效果:闭环系统根据上述原理采用PD算法进行控制,其经过上述开、闭环控制后带材张力实测曲线见图6,实测数据表明张力在 $\pm 3\text{ N}$ 内,较好地满足了 $(70 \pm 6)\text{ N}$ 的工艺要求。

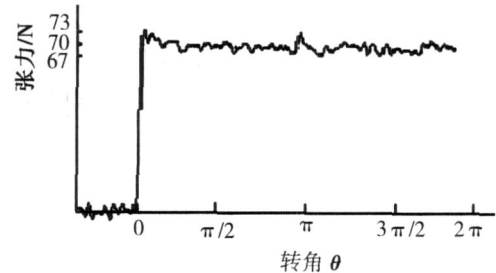
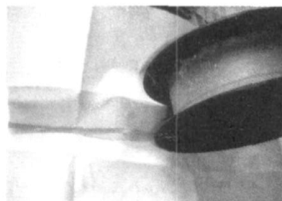


图6 开、闭环控制后带材张力实测曲线

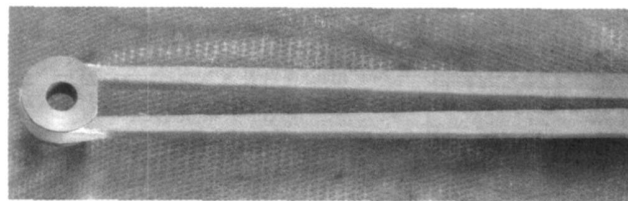
Fig 6 Prepreg tension curve after open and close loop control

3 缠绕结果

复合材料异型缠绕技术一般涉及到张力控制和温度控制等,本文针对某直升机尾桨叶梁的异型缠绕恒张力进行研究。如图7所示,缠绕时为对称结构,此处为一半。通过下一步工序热压就成为最终叶梁产品。采用该方法使得产品的成活率也由原来的50%提高到90%。该套系统已投入实际使用。



(a) 预浸料



(b) 缠绕成型样品

图7 叶梁缠绕样品

Fig 7 Winding sample

4 结论

对于叶梁这样的异型结构件缠绕成型时,预浸料带材张力的波动较大,同时当由矩形截面的一个角点过渡另一个角点时,预浸料带材张力还存在跳动现象。因此缠绕控制由变角速度开环控制系统和放卷张力闭环控制系统组成。缠绕变角速度开环控制系统控制主动收卷,张力闭环控制系统控制放卷,二者结合保证复合材料缠绕张力恒定,满足缠绕张力恒定的工艺要求。

参考文献

1 韩振宇,富宏亚,付云忠等.凹回转曲面纤维缠绕架空分析及应用.推进技术,2004;25(3):286~288

2 朱松青,史金飞,伍斌等.数控纤维缠绕机精密张力控制系统的研究与开发.计算机测量与控制,2004;12(4):341~344

3 范立耘.FRP圆环压力容器纤维缠绕运动规律分析.武汉工业大学学报,2000;22(6):46~48

4 祖磊,何钦象,李辅安.纤维缠绕复合材料圆环壳线型设计与优.宇航材料工艺,2006;36(3):14~18

5 田会方,赵恒,张洪昌.基于Open GL的纤维缠绕三维动态仿真.机械制造,2006;44(5):41~43

6 李勇,肖军.纤维缠绕的曲面架空分析及应用.宇航材料工艺,2002;32(3):30~32

(编辑 任涛)