

纤维缠绕低损伤退绕跟随系统

王雪亮¹ 肖 军¹ 齐俊伟¹ 徐 为² 张建宝¹

(1 南京航空航天大学材料科学与技术学院,南京 210016)

(2 核工业第八研究所复合材料研究室,上海 201800)

文 摘 为降低纤维缠绕过程中纱筒退绕的纤维磨损,研制了低损伤退绕跟随系统。通过分析纱筒卷绕特点及退绕运动过程,提出了角度替代的控制思想和导纱器自适应跟随控制策略;通过计算机控制伺服电机驱动导纱器运动,可实现对任意卷绕线型的自动跟随。实际应用表明:该方法可行,研制的系统跟随效果理想,有效消除了纤维的摩擦损伤,提高了缠绕复合材料制品的质量。

关键词 纤维磨损,低损伤退绕,自适应跟随,计算机控制,导纱器

Following System for Low Damage Unwinding in Filament Winding

Wang Xueliang¹ Xiao Jun¹ Qi Junwei¹ Xu Wei² Zhang Jianbao¹

(1 College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

(2 Composite Materials Research Office, Eighth Research Institute of Nuclear Industry, Shanghai 201800)

Abstract A low-damage unwinding following system was designed to reduce the damage of fibers wear in reeling off procedure during filament winding. By analyzing the characteristics of the winding bobbin and unwinding movement, a novel method of angle replacement control and a strategy of thread-guide adaptive following were proposed. This thread-guide movement realized automatic following for arbitrary winding linear by computer-controlled servo motor driving. Practical application shows that the forth method is feasible, the results of the following system are satisfactory, the damage of fibers wear is eliminated effectively and the quality of wound composite products is improved.

Key words Damage of fibers wear, Low-damage unwinding, Adaptive following, Computer-controlled, Thread-guide

1 引言

以纤维直接成型的复合材料工艺流程中均涉及纱团退绕,固定导丝头在退绕过程中的出纱方向与纤维卷绕线型确定的出纱点纤维方向会形成一定夹角;对于缠绕过程中,纤维在张力的作用下产生侧滑趋势,当侧向滑移力大于最大静摩擦力时,纤维在纱筒上侧向滑动导致纤维间的摩擦损伤,夹角越大磨损越严重;尤其纱筒末端卷绕角交变,纤维磨损尤为严重。对于高性能复合材料的碳纤维等,由于其模量高、脆性大,抗磨性差、纤维损伤尤甚。如核燃料分离机的缠绕离心筒、固体火箭发动机缠绕壳体,均采用碳纤维大张力缠绕成型,减少纤维摩擦损伤至关重要。

目前普遍采用的降低纤维损伤方法是增大导丝头与纱筒间的距离或采用尽可能小的纤维张力,但不

能从根本上解决问题,特别是到纱筒两端时纤维磨损问题无法消除。实用新型专利 ZL 200420013259.1 提出了一种无摩擦损伤退绕装置:将旋转编码器与纱筒相连,利用编码器测量纱筒的转角,计算机控制导纱轮运动保持出纱方向与纱筒纤维方向一致实现无摩擦退绕,从而消除摩擦损伤^[1]。该专利的核心思想是控制导纱轮和出纱点的横动速度值一致,但实施困难:(1)系统运行前,需人工介入调整出纱方向,否则运行时不能保证其与纱筒的卷绕线型一致;(2)系统运行时,出纱方向与卷绕线型产生的误差不能及时消除,误差积累最终会导致纤维磨损;(3)退绕到两端时,纱筒卷绕角突变,开始由一个卷绕线型向另一个卷绕线型的过渡,该专利未能彻底解决此问题。

本文旨在针对大张力缠绕成型过程中纤维磨损

收稿日期:2009-11-20

基金项目:本文系统及方法已经申请国家发明专利,专利受理号 200910181564.9

作者简介:王雪亮,1982年出生,硕士,主要从事复合材料成型自动化及装备研究。E-mail:wangxueliang@nuaa.edu.cn

的实际问题,提出导纱器自适应跟随控制策略,研制一套低损伤退绕跟随系统进行试验验证。

2 退绕分析

纤维损伤的实质是在退绕过程中,由于出纱方向与卷绕线型形成一定偏角,即纤维不沿出纱点的切线方向出纱,故本文先从纱筒卷绕特点及退绕运动过程做如下分析。

2.1 纱筒卷绕特点

纱筒根据等螺距卷绕,如图1所示,在卷绕过程中,随着筒子直径 Φ 的增大,卷绕角 α 逐渐减少^[2]。

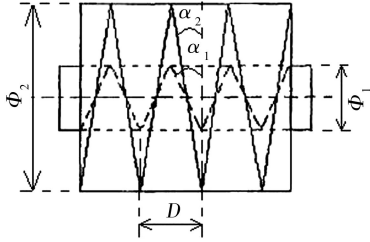


图1 卷绕角的变化

Fig.1 Winding angle change

2.2 退绕运动过程

如图2所示,通过分析纱筒的退绕运动^[3],可得:

$$v_2 = v \sin \alpha = v_1 \tan \alpha \quad (1)$$

式中, α 为卷绕角, v_1 为放纱筒的线速度, v_2 为出纱点的横动速度, v 为纤维出纱速度。

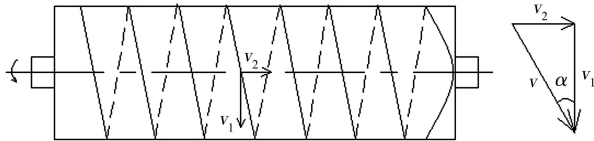


图2 纤维退绕运动矢量图

Fig.2 Vector diagram of filament unwinding

2.3 导纱器跟随控制策略

为实现低损伤退绕跟随两个条件缺一不可:(1)控制导纱器速度 $v_{\text{导}} = v_2$;(2)保证出纱方向角 $\beta = \alpha$ ^[4]。实现低损伤退绕的困难在于:在整个退绕过程中,由于纱筒直径变化,所需跟随的卷绕角 α 一直在变;纤维出纱到纱筒末端时,卷绕线型发生突变,卷绕角由 α 变化到 $-\alpha$,即要对导纱器进行相应换向处理;出纱速度 v 的变化也会影响到导纱器的横动速度 $v_{\text{导}}$ 。

针对以上问题,本文提出导纱器分区跟随控制策略及其实现方式^[5]。

(1)纱筒中间区域单层纤维卷绕角 α 是固定的,出纱点位于该区域时采用导纱器自适应跟随策略,控制方程为:

$$v_{\text{导}} = v \sin \beta \quad (2)$$

技术实现手段可以采用旋转编码器测得纤维出纱速度 v ,通过设计摆臂式角度传感器来检测出纱方向角 β ,如图3所示,其由角度传感器、摆臂、摆臂导轮和固定导轮构成。在退绕过程中,纤维通过摆臂导

轮和固定导轮出纱,由于纤维张力侧向分力的作用,驱动摆臂偏转,平衡时出纱点 M 、摆臂导轮和固定导轮处于同一直线上,由此确定出纱方向:

$$\beta = \arctan \left(\frac{\sin \theta}{\frac{d_2}{d_1} + \cos \theta} \right) \quad (3)$$

式中, θ 为摆臂偏角、 d_1 为摆臂导轮到角度传感器旋转轴的距离、 d_2 为固定导轮到角度传感器旋转轴的距离;特别地,当 $d_1 = d_2$ 时, $\beta = \frac{1}{2}\theta$ 。

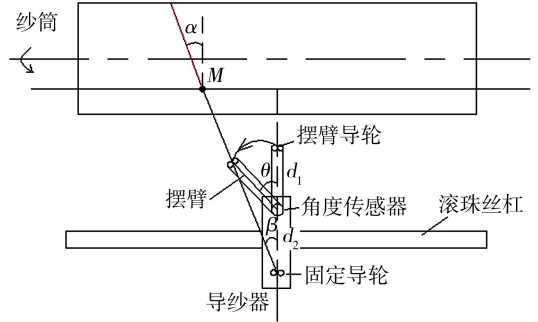


图3 出纱方向检测原理图

Fig.3 Principle diagram of yarn-pulling direction detection

(2)纱筒两端卷绕线型发生突变,卷绕角由 α 变化到 $-\alpha$ 。描述卷绕角函数进行精确跟随相当困难,但可以采用下述方法改善跟随特性。采用如图4所示装置机构,设置传感器(14)以检测导纱器位置作为进入该区域的触发信号,此瞬时测得的出纱方向角为 β_{cr} ,并通过软件设置换向触发角 $\delta = -\beta_{\text{cr}}$;出纱点位于该区域时导纱器采取加速跟随控制策略。

设 $\beta_{\text{cr}} > 0^\circ$,在该区域内 $\beta \in (-\beta_{\text{cr}}, \beta_{\text{cr}})$,导纱器控制方程:

$$v_{\text{导}} = kv \sin(\beta + \beta_{\text{cr}}) \quad (4)$$

式中, k 为比例系数, $k = \frac{d_3 \tan \beta_{\text{cr}}}{d_4 - d_3 \tan \beta_{\text{cr}}}$; d_3 为导纱器到出纱点直线的垂直距离; d_4 为传感器到纱筒末端的垂直距离。

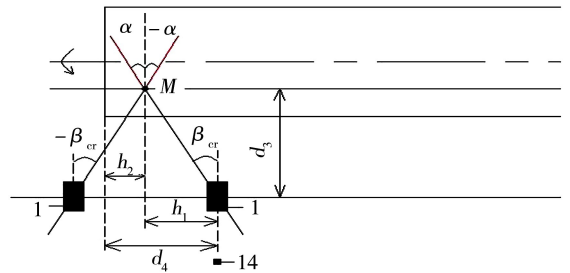


图4 导纱器换向处理示意图

Fig.4 Schematic diagram of thread-guide commutation treatment

当 $|\beta| > |\delta|$ 时,出纱点再次进入纱筒中间区域,仍然采用式(2)做为控制方程。

应用上述控制策略,在系统启动前,无需人工介入,通过软件设置初始触发角的方式,自动控制导纱器横动跟随;中间段跟随时,通过自适应跟随控制算

法,能将出纱方向与卷绕线型产生的误差及时消除,防止误差积累导致纤维磨损;退绕到末端时,针对卷绕角突变的特点,应用加速跟随控制策略,使导纱器实时跟随卷绕线型的变化而变化,并通过软件设置反向触发角,快速跟随下一个卷绕线型,防止换向后出现导纱器过度超前导致纤维磨损。

3 跟随系统的实现与效果

3.1 系统构成及工作原理

采用反馈式控制方式,以计算机为控制核心,利用导纱器上设置的摆臂式角度传感器实时检测出纱方向,伺服电机为执行元件,滚珠丝杠为传动机构^[6],图5为低损伤退绕跟随系统原理图。

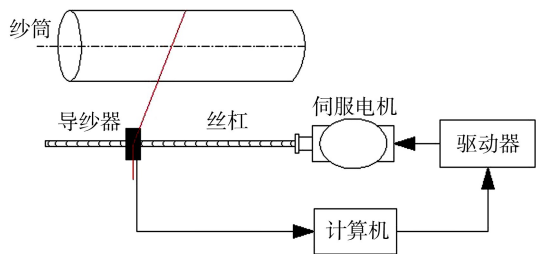


图5 低损伤退绕跟随系统原理图

Fig.5 Principle diagram of low-damage unwinding following system

系统运行时,通过摆臂式角度传感器测得出纱方向角作为系统输入信号,经计算机处理后,输出控制信号给伺服电机驱动器,使伺服电机以特定的转速和方向运动,驱动导纱器在丝杠上以相应的速度动态跟随出纱点的切线方向运动,进而确保出纱方向与纤维卷绕线型一致性,达到低损伤退绕的目的。

3.2 系统软件设计

系统软件设计流程图如图6所示。

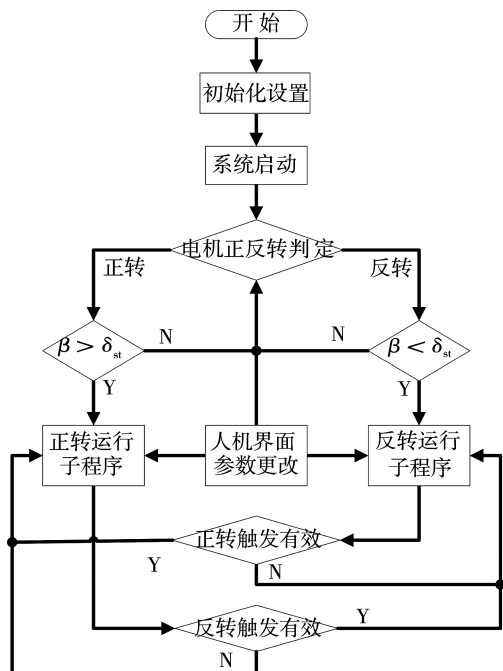


图6 系统软件设计流程图

Fig.6 Software design flow chart

在系统启动前,进行系统各个参数的初始化设置(初始触发角 δ_{st} 和换向比例系数 k);使用手动操作或人机界面启动系统,在纤维张力的作用下,通过实时监测角度传感器摆臂的左右偏摆情况作为电机转向的判定条件,进而调用正、反转的子程序。图7为子程序流程图。其中人机界面是通过VB6.0自带的Mscmm通信控件来实现,完成对系统各参数的修改以及系统运行状态的监测^[7]。

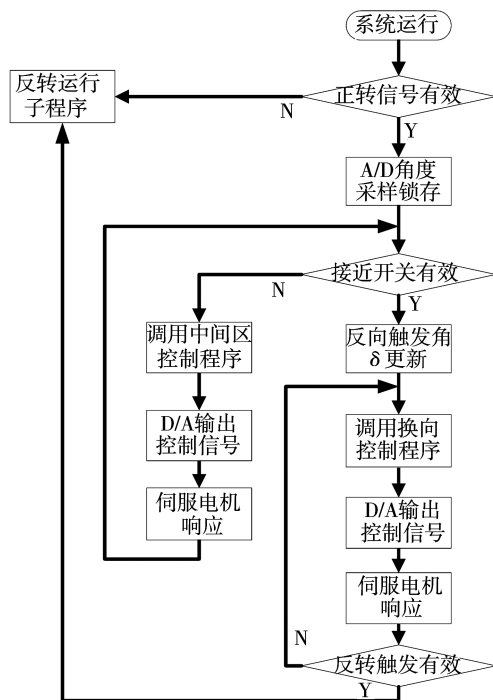


图7 子程序流程图

Fig.7 Subprogram flow chart

3.3 试验验证

本文研制的试验系统已在某研究所应用,图8为其实物及其运行照片。实际应用表明:该系统跟随效果理想,能很好的控制出纱方向与纤维卷绕线型保持一致,有效降低了纤维摩擦损伤,消除了制品构件表面因纤维损伤导致的“起毛”现象,提高了产品的质量。

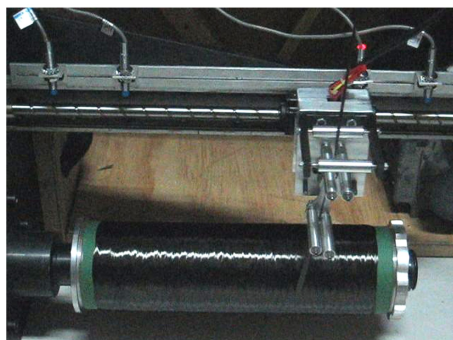


图8 低损伤退绕跟随系统实物及运行照片

Fig.8 Working photo of low-damage unwinding following system

4 结论

针对大张力缠绕成型过程中纤维磨损的实际问

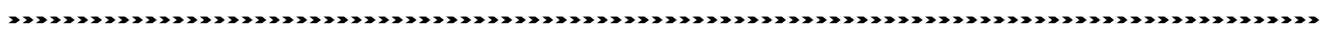
题,在理解、借鉴现有低损伤退绕的解决思路的基础上,通过研究纱筒卷绕特点及分析退绕运动过程,提出了角度替代的控制思想和导纱器分区跟随控制策略,建立以计算机为控制核心,采用伺服电机驱动方式实现导纱器的运动跟随,利用导纱器上设置的出纱方向跟随器实时反馈出纱方向角变化的闭环随动系统。经实际运行证明,该跟随控制系统设计合理、性能可靠,具有较高的响应速度和控制精度,能保证出纱方向与退绕点处纤维卷绕线型基本一致,达到了低损伤退绕的目的,有效改善了缠绕制件的质量。其思想可以用于其他退绕减损系统。

参考文献

[1] 肖军,李勇,吴海桥.无摩擦损伤退绕装置[P].中国专利:ZL 200420013259.1, 2006-04-26

[2] 周旭峰.络筒机数控卷绕装置控制系统的研究[D].天津工业大学,2003:4-6
[3] 黄无双.自动络筒机分级精密卷绕装置控制系统的研究[D].天津工业大学,2003:10-13
[4] 戴靖,麦继平. PLC 在碳纤维的退捻卷绕中的应用[J].仪器仪表用户,2008(6):62-63
[5] 陈小奎.管筒卷绕机构中往复导丝机构.广西轻工业[J],2009(5):27-28
[6] 潘逢春.交流变频传动卷绕系统设计探讨[J].纺织机械,2002(5):29-31
[7] 寇越峰,赵宇东.基于工业 PC 的数控系统平台中主机与 PLC 通信的实现[J].电工电能新技术,2000(2):45-48

(编辑 李洪泉)



(上接第 46 页)

3 结论

(1)不同的主盐、还原剂、络合剂等对镀速有很大影响。最佳工艺配方为硫酸镍 40 g/L,硫酸钴 2 g/L,次磷酸钠 25 g/L,柠檬酸钠 50 g/L,硼酸 20 g/L,其余添加剂 20-40 g/L。

(2)在此工艺配方下,镀速达到 16.0 $\mu\text{m}/\text{h}$,Ni-Co-P 合金镀层中含钴量约 3.7%、含磷量约 6%,镀层表面胞状物均匀分布,组织致密。

参考文献

[1] 胡光辉,吴辉煌,杨防祖,等.添加剂对化学沉积速率的影响[J].物理化学学报,2004,20(3):327-330
[2] 王森林,蓝心仁,黄婷婷,等.化学沉积 Ni-Mo-P 合金及性能[J].电化学,2005,11(2):182-187
[3] Burchardt T. The effect of deposition temperature on the catalytic activity of Ni-P alloys toward the hydrogen reaction[J]. Int J Hydrogen Energy,2002,27:323-326

[4] 杨素娟,邵忠宝.稳定剂对镍磷镀液性能及镀层耐蚀性能的影响[J].有色矿冶,2004,20(5):57-59
[5] 高叔轩,刘贵昌,张茹芝,等.超声波化学镀研究进展[J].表面技术,2004,33(2):2-3
[6] Burchardt T, Hansen V, Valand T. Microstructure and catalytic activity towards the hydrogen evolution reaction of electrodeposited NiP_x alloys[J]. Electrochimica Acta,2001,46:2761-2766
[7] Burchardt T. Hydrogen evolution on NiP_x alloys; the influence of sorbed hydrogen[J]. Int J Hydrogen Energy,2001,26:1193-1198
[8] Paseka I. Influence of hydrogen absorption in amorphous Ni-P electrodes on double layer capacitance and charge transfer coefficient of hydrogen evolution reaction[J]. Electrochimica Acta,1999,44:4551-4558

(编辑 吴坚)