

## FWM 树脂粘度测量控制系统的研究

吴德志, 孙道恒, 黄元庆

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 纤维增强塑料 (FRP) 制品在航空航天、化工等行业应用非常广泛, 但在其制造过程 (如, 预浸料和挤拉等生产工艺) 中, 纤维缠绕机械 (FWM) 上树脂粘度的在线测量和连续控制一直都是实际控制工程难以解决的难题。提出的 FWM 纤维树脂粘度控制系统采用单筒式测量法和模糊控制技术对树脂粘度进行测量控制的方案, 不但结构简单、编程调试方便、能显示控制曲线, 而且, 能通过人机界面随时改变粘度的设定值和模糊控制器的参数, 极大地改善了控制的性能, 达到了预期的效果。

**关键词:** 纤维缠绕机械; 模糊控制; 粘度测量

**中图分类号:** TP273.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-9787(2006)04-0029-02

## Study on measurement and control system of FWM resin viscosity

WU De-zhi, SUN Dao-heng, HUANG Yuan-qing

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract** Products of fiber reinforced plastic (FRP) are widely used in the industries of aerospace, chemistry and so on, but the online measurement and control of resin viscosity in fiber winding machine (FWM) is always a difficult problem to resolve in the production of FRP. A FWM resin viscosity control system is designed, in which single-cylinder measurement solution and fuzzy control technology are applied, it is characterized by simple structure and easy programming and debugging. The value of viscosity and the parameter of fuzzy controller can be set through the friendly operation interface. The system greatly improves control effects.

**Key words:** fiber winding machine (FWM); fuzzy control; viscosity measurement

### 0 引言

在纤维缠绕机械 (FWM) 生产纤维增强塑料 (FRP) 制品过程中, 树脂粘度工艺参数对 FRP 制品性能 (如, 厚度、强度、气密性和剪切强度等) 影响很大<sup>[1,2]</sup>。树脂粘度越高, 其流动性越差, 原材料外层上的树脂分布就越不均匀; 反之, 如果树脂的粘度很低, 被浸渍物的浸胶量会过低, 这两种情况都将导致制品性能降低。如, 在纤维缠绕成型工艺中, 如果树脂的粘度过高, 那么, 纤维层间树脂分布的均匀性很差, 就会出现积瘤和间隙, 导致制品的极限应力下降, 性能下降, 产品的安全系数大大降低。因此, 粘度的测量控制在工业生产过程中有很大意义。但是, 目前, 国内外的仪器一般只有测量功能, 不能受计算机的控制, 而且, 价格昂贵, 设计一种具有粘度测量和控制的系统就显得非常重要。该系统采用先进的智能控制技术——模糊控制, 无需考虑系统的数学模型, 大大简化整个系统的开发过程, 其应用于缠绕机浸胶系统中将大大提高系统的浸胶性能。

FWM 树脂粘度控制系统从功能上可分为粘度的测量和控制两大部分, 下面将分别详细介绍。

### 1 粘度测量装置设计

根据 FWM 现场工况需要, 采用单筒式旋转法, 通过测量力矩便可直接计算出粘度的大小<sup>[3]</sup>。为此, 设计了一种粘度测量装置, 如图 1。装置中, 电机和传感器分别采用单

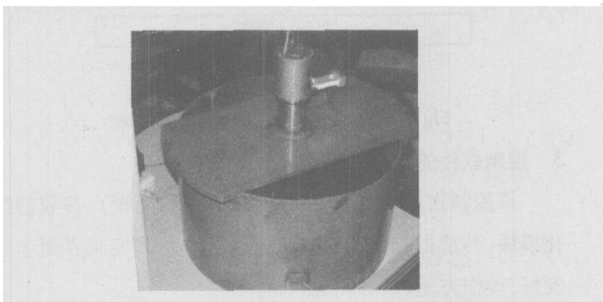


图 1 粘度测量装置

Fig 1 The viscosity measurement instrument

相永磁低速同步电机 55TYD03 和美国 Marvin 公司的 NCA/500g 称重传感器。电机输出轴与内筒的连接杆由中间连接器同轴地连接在一起, 而连接器则安装在支撑板的轴承上。测力杆安装固定在电机下端面, 这样, 阻力矩就会全部传递到测力杆上。称重传感器的一端固定在支架上, 另一端 (测力端) 与测力杆相接触。这样, 由称重传感器测得的

力和测力杆的力臂大小便可得到力矩的大小。为了避免电机在运行时产生晃动,轴承与支撑板的接触高度必须大于轴承的宽度的  $1/2$  以上。

## 2 控制系统硬件组成

该系统的硬件主要由微机、接口电路(信号采集与 D/I DO 卡 PCL7422)、单筒式粘度测量装置、继电器、电阻器以及同步电机等组成,系统组成如图 2 所示。树脂粘度测量的基本过程为:启动同步电机,驱动内圆筒在树脂中旋转,圆筒由于树脂粘性力受到阻力矩的作用。阻力矩通过固定在电机上的测力杆作用于称重传感器,此时,称重传感器产生的电压信号经过放大器、A/D 转换器(PCL7422 组件之一)进入微型计算机。计算机根据读入的数据计算出树脂相应的粘度值,然后,比对所设定的粘度值可求出粘度偏差及其变化率,再通过一定的控制算法求出对应的控制量。输出的控制量是控制周期内高电平时间长短变化量。通过改变继电器的通断时间,即电阻器的加热时间,来改变树脂温度的变化,从而改变树脂的粘度,使粘度控制在要求的误差之内。当电阻器产生的热量大于树脂散发的热量时(树脂的工作温度一般要求在  $40 \sim 50$  之间),温度会升高,导致粘度下降;反之,树脂粘度将上升。需要强调的是,在继电器的两端必须加上二极管起保护作用,因为在继电器释放电流时,由于继电器线圈存在电感,会在线圈的两端产生较高的感应电压,如果没有二极管的话,感应电压大于三极管的集电结反向耐压,晶体管就可能破坏。

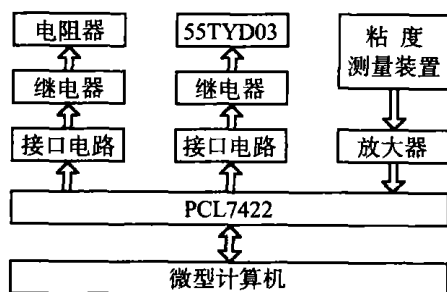


图 2 控制系统结构图

Fig 2 Block diagram of control system

## 3 控制软件的组成

该控制软件主要由控制模块(算法和流程)、参数初始化模块(传感器标定等的初始化)等组成,其控制界面十分友好,操作方便。

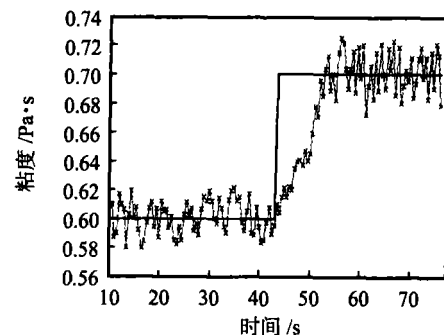
控制模块是系统中非常重要的一部分,它直接影响到粘度的控制性能,也影响到整个系统的调试性能和显示效果,它包含控制算法的选择和流程的确定。系统采用二维结构的模糊控制算法,以粘度偏差  $E$  和粘度偏差变化率  $D_E$  作为 2 个输入变量,通过模糊控制器得到控制量变化  $U^{[4,5]}$ (重心法)。因为影响树脂粘度的因素很多,有温度、液体成分和它们的配比关系、压强等,而且,在实际工况下,树脂粘度不断发生变化,很难采用精确的数学模型来表达,特别是在补充树脂时,粘度可以改变  $50\%$  左右。

对于控制器的输出,要预先制好控制表,再根据  $E$  与  $D_E$  的量化值用查表法能快速得到。同时,为了使显示曲线不发生屏幕闪烁的现象,程序代码应先将曲线在内存中全部画出,然后,显示在屏幕上,或者利用重画函数只让线条改变部分刷新。

参数初始化有粘度的设定、检测周期、标定传感器系数等的初始化。根据实际需要直接对粘度进行设定,并给出粘度范围。当粘度超出该范围一定时间时,发出报警并停止同步电机。检测周期的设定是指确定计算机间隔多长时间再测量粘度使得控制曲线最佳,且不过度占用资源,这一参数在调试时非常有用。传感器的标定指通过现场测量,将一系列传感器的给定值与计算机的实测值进行回归处理,得到两者之间的相互关系,然后,对理想系数进行修定,本系统采用的是最小二乘法进行数据拟合。

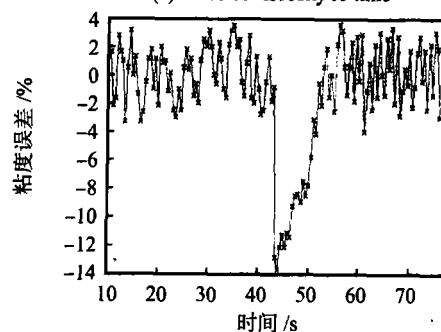
## 4 实验结果

图 3(a)为纤维缠绕机树脂粘度和时间的关系曲线;图 3(b)为实际粘度与期望粘度的相对误差与时间的关系曲线。结果表明:系统可以在期望粘度值改变后的  $10\text{ s}$  左右能将树脂粘度误差稳定地控制在  $5\%$  以内,响应速度较快,满足实际生产的要求。



(a) 粘度和时间的关系曲线

(a) curve of viscosity vs time



(b) 误差和时间的关系曲线

(b) curve of error vs time

图 3 FWM 粘度控制系统控制效果

Fig 3 The control effect of FWM resin viscosity control system

## 5 结束语

FWM 树脂粘度控制系统成功解决了 FWM 树脂粘度在线测量与控制问题,可以得到较精确的期望粘度,误差控制在  $5\%$  以内。它成功应用于火箭外壳 FWM 缠绕生产过程。

(下转第 34 页)

从图 2 中的 3 条曲线可以看出:补偿后,磁航向误差角度有先变小再变大的趋势。求解角度和对应的磁航向误差范围的关系曲线如图 3。其中,实线表示初始磁航向误差范围;虚线表示补偿后磁航向误差范围。

从表 1 以及图 3 中可以看出:在载体具有 2 恒定俯仰角度偏差情况下,10 俯仰角度使用 8 求解角度进行计算,得到的补偿磁航向误差(图 3 中,曲线的极小值点处)变化范围最小,仅仅为 0.49°。

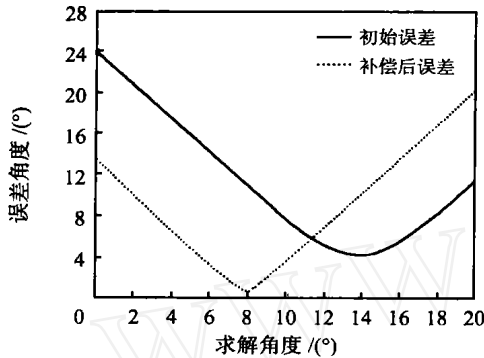


图 3 求解角度和误差角度范围曲线

Fig 3 Curve of solution angle vs the range of magnetic heading compensation error

### 3 结论

本文针对具有固定俯仰角度载体中的磁传感器罗差标定和补偿问题,通过分析论证,提出一种用于磁罗差修正的 DCA 算法。通过 DCA 的原理介绍和计算证明得出:DCA 算法不仅对恒定俯仰角度的磁罗差修正有效,而且,对于同时具有恒定横滚角度和俯仰角度的磁罗差修正同样有效。经过 DCA 方法补偿的磁航向角度精度在  $\pm 0.3$  以内,满足现有飞机航向系统的要求。

多次地重复计算和验证表明:该方法的效果具有很好的的一致性和实用性。该方法的提出为具有恒定姿态角度载体磁航向的标定和补偿工程化奠定了基础,同时,也为消除

磁传感器的安装误差开拓了一种崭新的修正途径。

### 参考文献:

- [1] He D F, Daibo M, Yoshizawa M. Mobile HTS rf SQUID Magnetometer[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2003, 13(2): 200 - 202.
- [2] Anderson B J, Zanetti L J, Lohr D H, et al. In-flight calibration of the NEAR magnetometer[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(5): 907 - 917.
- [3] YANG Yun-chun Magnetometer and differential carrier phase GPS-aided NS for advanced vehicle control[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2003, 19(2): 269 - 282.
- [4] 刘华伟, 黄国荣, 张宗麟. 一种数字磁航向系统的设计及罗差校正新方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(3): 8 - 11.
- [5] 曾庆化, 刘建业, 熊 剑, 等. 三维捷联磁传感器模拟器的研究与实现[J]. 传感器技术, 2004, 23(2): 27 - 33.
- [6] Gebre E D, Elkaim G H, Powell J D, et al. A Non-Linear, Two-Step Estimation Algorithm for Calibrating Solid-State Strapdown Magnetometers[C]. St Petersburg, Russia: Proceedings of the International Conference on Integrated Navigation Systems 2001. 290 - 297.
- [7] 袁智荣. 三轴磁航向传感器的全姿态误差补偿[J]. 传感器技术, 2003, 22(9): 34 - 36.
- [8] Mika Masti, Jorma Lehtonen, Risto Mikkonen, et al. Accuracy of Numerical Analysis for Hall Sensor Magnetometer Measurements[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2003, 13(2): 3671 - 2674.
- [9] 杨新勇, 黄圣国. 智能磁航向传感器的研制及误差补偿算法分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(3): 244 - 248.

### 作者简介:

曾庆化(1979-),男,江苏连云港人,博士研究生。从事惯性技术与组合导航系统的研究。

(上接第 30 页)

软件可以十分方便地在线完成粘度的设定、传感器的标定和模糊控制器参数设定等。该控制系统能极大提高产品的性能,可广泛应用于微机控制缠绕机械、浸胶机等自动控制设备。本系统对于测量其他液体的粘度也有较高的参考借鉴价值。

### 参考文献:

- [1] 恽 玮. FW 含胶量控制系统的研制(软件系统)[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2001. 5.
- [2] 骆心怡. 纤维增强塑料拉挤型材弯曲强度研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(3): 253 - 256.

- [3] 李惠钊. 粘度测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1996. 58 - 59.
- [4] Lee Young-Hyun. Application of Fuzzy Control for a Hydraulic Forging Machine[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, (3): 99 - 108.
- [5] DA RUAN. Implementation of Adaptive Fuzzy Control for a Real-Time Control Demo Model[J]. Real-Time System, 2001, (21): 219 - 239.

### 作者简介:

吴德志(1977-),男,福建莆田人,博士研究生。研究方向为机电控制技术, MEMS 等。