

基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统设计

何涛

(常州工业职业技术学院 信息工程学院, 江苏 常州 213000)

摘要: 为解决因横动导丝形变量过大而造成的高速卷绕机空转问题, 实现对机械设备元件的有效控制, 设计基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统; 在 CPU 主控电路体系中, 设置 STM32F103 控制器元件, 并以此为基础, 控制锭轴夹头、机械卷绕头两类机械零部件, 完成控制系统的主要应用模块设计; 按照变卷装转化原则, 判断设备元件之间的联接关系, 再根据横动导丝同步涡动频率求解结果, 推导弹性微分方程, 实现对高速卷绕机的动力学建模处理; 分别求解边界条件与有限元模态系数, 实现对模态控制量的精准计算, 结合相关应用部件结果, 完成基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统设计; 实验结果表明, 上述系统作用下, 空卷状态下导丝形变量不超过 0.77 mm、满卷状态下导丝形变量不超过 8.35 mm, 始终达不到 10 mm 的变形极值, 可以解决高速卷绕机的空转问题, 符合有效控制机械设备元件的实际应用需求。

关键词: STM32F103 控制器; 高速卷绕机; 横动导丝; CPU 电路; 锭轴夹头; 机械卷绕头; 同步涡动频率; 机械空转

Design of Traverse Guide Wire Control System of High-speed Winding Machine Based on STM32F103

HE Tao

(School of Information Engineering and Technology, Changzhou Vocational Institute of Industry Technology, Changzhou 213000, China)

Abstract: Based on the problem of idling caused by excessive shape variation of the traverse guide wire in high-speed winding machines and the need for effective control over mechanical equipment components, this paper presents a design for a traverse guide wire control system for high-speed winding machines based on the STM32F103 microcontroller. The control system's main application module is designed to control the spindle collet and mechanical winding head, using STM32F103 controller elements in the CPU main control circuit system. The system implements the principle of variable package transformation to determine the connection relationship between equipment components and derives the elastic differential equation using the solution result of the synchronous whirl frequency of the traverse guide wire, achieving dynamic modeling of the high-speed winding machine. The boundary conditions and finite element modal coefficients are solved to calculate the modal control quantity accurately. By combining the results of relevant application components, the traverse guide wire control system of the high-speed winding machine based on STM32F103 is designed. Experimental results show that under the system's action, the shape variation of the guide wire in empty winding state is not more than 0.77 mm, and the shape variation in full winding state is not more than 8.35 mm. The deformation extreme value of 10 mm can never be reached, thus solving the idling problem of the high-speed winding machine and meeting the practical application requirements for the effective control of mechanical equipment components.

Keywords: STM32F103 controller; high speed winding machine; traverse guide wire; CPU circuit; spindle collet; mechanical winding head; synchronous eddy frequency; mechanical idling

0 引言

高速卷绕机是塑料成套编织生产线的重要组成部分, 保持成组使用状态, 多台卷绕机设备被放置在同一机架组织之上, 且能够在后端动力机组的作用下, 实现对拉丝机的连续挤压^[1]。由于每台卷绕机设备外都配置独立的主驱动电机元件, 所有即便是在横动导丝块受到非平均牵引力作用时, 经过卷绕机处理的塑料编制产品也可以保持平整、

平滑的纱包状态。经过信息化改造处理后, 卷绕机组结构固件的应用能力得以维护与升级, 特别是在复杂电磁波信号的干扰下, 由于机械成套元件的存在, 非完整信号波段可被直接隔绝在外, 故在整个处理过程中, 机组元件的运行能力始终不会发生改变^[2]。

为了实现对机械设备元件的有效控制, 已有多位学者对此进行了研究, 并取得了一定的学术成果。基于稳态视觉诱发电位的控制系统通过调节 SSVEP 电位数值的方式,

收稿日期: 2023-03-08; 修回日期: 2023-05-18。

作者简介: 何涛(1980-), 男, 硕士, 讲师。

引用格式: 何涛. 基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(10): 103-107, 114.

确定动态识别窗口的长度水平,再联合伪密钥体系,确定控制指令在单位周期内的执行频度^[3]。基于 RBF 网络的矢量控制系统借助 PI 控制器,对卷绕机设备的积分迟滞作用进行调试,又根据永磁同步电机的实时响应速度,确定横动导丝的当前形变程度^[4]。然而上述两类系统的应用能力相对有限,并不能保证导丝形变量始终小于极限形变数值。为解决上述问题,设计基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统。STM32F103 是一种嵌入式的微控制器元件,由于其在电力网络中保持集成式连接状态,所以随着传输电流数值水平的增大,元件设备所承担的负载电压数值也会不断增大。对于高速卷绕机设备而言,STM32F103 芯片可以直接控制横动导丝的形变水平,在主动运行方面,可以有效避免机组控制行为的出现^[5]。

1 控制系统应用部件

高速卷绕机横动导丝控制系统由 CPU 主控电路、STM32F103 控制器、锭轴夹头等多个部件结构共同组成,本章节将针对其具体设计方法展开研究。

1.1 CPU 主控电路

CPU 主控电路连接于高速卷绕机横动导丝控制系统的 +VCC 端口与 -VDD 端口之间,可以同时调配多个下级负载电阻,并能够在 C 电容元件的作用下,对电量信号进行同步调节处理,从而避免因传输电量累积对卷绕机横动导丝的形变水平造成影响。硬件电路的核心连接结构为 CPU 主控部分,包括两个 CAN 驱动元件、一个 SPI 信号调节设备和一个 AT91RM9200 芯片^[6-7]。其中,两个 CAN 驱动元件分别与 CPU 主控部分 GCC 端口与 GND 端口相连,前者负责接收高压输入信号,可以根据 CPU 主控电路的实际运行情况,对电量信号进行按需整合;后者负责输出低压信号参量,不具备处理传输信号的能力,只可以在保障高速卷绕机运转需求的基础上,将电量信号由一个端口组织传输至另一个端口组织。具体的 CPU 主控电路布局形式如图 1 所示。

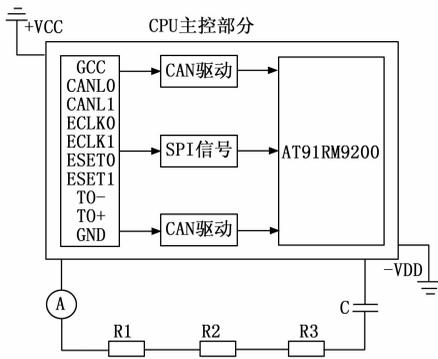


图 1 CPU 主控电路布局结构

SPI 信号调节设备与 AT91RM9200 芯片之间保持单向连接关系,在整个 CPU 主控电路中,起到承上启下的过渡作用。一般来说,为避免高速卷绕机横动导丝出现过于明显的形变状态,单位时间内经由单向回路中传输的电量信

号不宜过多。

1.2 STM32F103 控制器

作为高速卷绕机横动导丝控制系统的核心应用部件,STM32F103 控制器对于卷绕机组设备的控制包括同步反馈、电量信号传输两种基础模式,具体连接结构如图 2 所示。CPU 主控电路输出的电量信号直接进入控制器组件的 STM32F103-C8T6 设备之中,且设备具备自主运行的能力,可以二次调取未被完全消耗的电信号参量。STM32F103-C8T6 设备外部负载多个引脚结构,是电量信号的输出通路,当这些信号参量完全达到下级 Cortex-M3 内核时,STM32F103 控制器机组就实现了经由电量信号传输模式的机械控制行为^[8]。

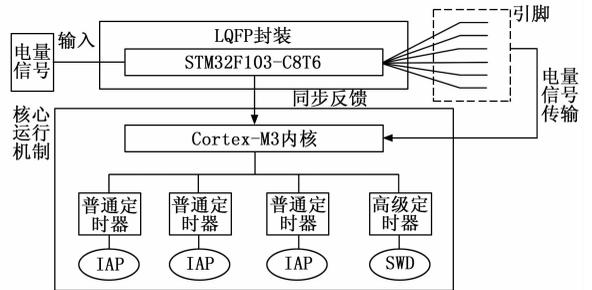


图 2 STM32F103 控制器的结构简图

由 STM32F103-C8T6 设备直接指向 Cortex-M3 内核的就是 STM32F103 控制器机组的同步反馈模式。由于 Cortex-M3 内核同时负载 3 个普通定时器和一个高级定时器,且这些结构元件分别与不同的端口组织相连,所以 STM32F103 控制器在对高速卷绕机横动导丝形变量进行控制时,并不局限于一种运行模式^[9]。Cortex-M3 内核、定时器元件、端口组织共同组成了 STM32F103 控制器的核心运行机制,且为了配合 CPU 主控电路与高速卷绕机零部件结构不同的运行需求,该机组元件中负载的端口组织必须保持完全闭合的连接状态。

1.3 高速卷绕机横动导丝的主要零部件

高速卷绕机横动导丝的主要组成部件包括锭轴夹头和机械卷绕头,前者负责夹持生产线上的塑料制品,后者则提供了横动导丝发生形变时所需的力学作用。

1.3.1 锭轴夹头

锭轴夹头连接在高速卷绕机械内部,借助上、下两个端转子与机组设备固定在一起,在高速卷绕机运行过程中,端转子所提供的力学作用方向完全一致,所以外部负载皮带在 CPU 主控电路的作用下,呈现出循环运行状态,因此当塑料制品被运输至既定位置处之后,皮带还会在循环力作用下,再次回到初始运输位置之处^[10]。锭轴夹头与 CPU 主控电路元件之间的连接需借助电机触片,这两个片状结构负载于传输皮带内部隔板之上,且在传输皮带的运动过程中,其连接位置与连接形态并不会发生改变。绝缘板存在于传输皮带与 CPU 主控电路之间,负责阻隔电量信号,从而避免锭轴夹头结构呈现带电状态^[11]。锭轴夹头的具体

连接结构，如图 3 所示。

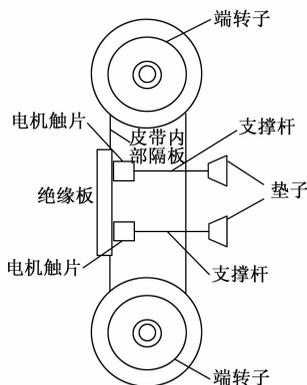


图 3 锭轴夹头的结构示意图

电机触片前端支出两个带有垫子的支撑杆，在锭轴夹头抓取塑料制品时，垫子出现压缩状态，由于其平均密度相对较小，在外力作用下会呈现出明显的粗糙状态，所以在负载皮带的运动过程中，不会因夹头出现松动而出现物品脱落的情况。

1.3.2 机械卷绕头

机械卷绕头为高速卷绕机横动导丝的物理形变提供了动力学作用，随着 CPU 主控电路不断向外输出电量信号，该元件的转动速率也会不断加快。正常运行状态下，机械卷绕头设备受到水平、竖直、纵深 3 个方向上的力学作用，具体受力情况如图 4 所示。

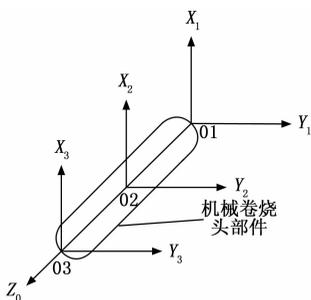


图 4 机械卷绕头受力分析

整个卷绕头部件的两端连线相对较为平滑，所以在高速卷绕机设备受力运动过程中，电量信号并不会在元件外侧大量累积，而这也是锭轴夹头在夹持塑料制品时外表并不带电的主要原因^[12-13]。分析图 4 可知，机械卷绕头设备首部、中部、尾部的受力状态完全相同，当力学作用累积量足够大时，机械卷绕头拉动横动导丝，使其呈现出形变状态，此时力学作用水平分量与竖直分量之间的夹角数值保持不变，而竖直分量与纵深分量、水平分量与纵深分量之间的夹角数值却会不断增大。

2 高速卷绕机动力学建模

为完成控制系统的设计，还应根据联接关系处理结果，确定变卷装转化标准，再联合求解所得的横动导丝同步涡

动频率指标，推导得到标准的弹性微分方程表达式。

2.1 联接关系处理

对于高速卷绕机设备而言，在设计横动导丝控制系统时，联接关系是指锭轴夹头元件与机械卷绕头元件之间的对应相连关系。所谓联接关系处理就是指确定锭轴夹头元件、机械卷绕头元件之间的动力学转换关系，在动力累积量数值足够大的情况下，如若使锭轴夹头元件、机械卷绕头元件均保持自由连接状态，则有可能导致横动导丝出现过于明显的形变，故而为解决此问题，可以分别对二者的动力学状态进行求解，再通过联合计算的方式，确定联接关系处理结果^[14-15]。具体计算流程如下：

锭轴夹头元件的动力学状态：

$$p_1 = \frac{1}{(1 + \delta_1)}(1 - \dot{e}_1) \quad (1)$$

机械卷绕头元件的动力学状态：

$$p_2 = 1 - \left(\frac{\delta_2}{e_2}\right)^2 \quad (2)$$

联接关系处理表达式：

$$P_{p_1 \rightarrow p_2} = \chi \left| \frac{p_1 \cdot p_2}{2} \right| \cdot (\tilde{W}_1^2 - \tilde{W}_2^2) \quad (3)$$

式中， δ_1, \dot{e}_1 表示针对锭轴夹头元件所选取的机械转动参数与机械动力学特征， δ_2, \dot{e}_2 表示针对机械卷绕头元件所选取的机械转动参数与机械动力学特征， χ 表示高速卷绕机设备的联合动力向量， \tilde{W}_1 表示锭轴夹头元件的动力转换参数， \tilde{W}_2 表示机械卷绕头元件的动力转换参数。对相关机械设备联接关系进行判定时，要求高速卷绕机横动导丝的初始形变量必须为零。

2.2 变卷装转化

变卷装转化从动力学角度出发，联合多个动力参量，在确定高速卷绕机横动导丝实时形变量的同时，判断锭轴夹头元件、机械卷绕头元件之间的联接关系是否符合控制系统的动力学建模需求^[16]。如果 STM32F103 控制器能够对高速卷绕机横动导丝零部件进行直接调试，那么就表示当前情况下推导所得机械元件联接关系能够符合控制系统的动力学建模需求。所谓“变”是对高速卷绕机运动状态的描述，受到动力作用的影响，横动导丝元件的实时形变量并不能保持绝对稳定的数值状态，因此在求解变卷装转化表达式时，应对多个不同的导丝形变量参数进行同步取值^[17]。设 i_1, i_2, \dots, i_n 表示 n 个随机选取的高速卷绕机横动导丝形变量参数，其取值条件满足公式 (4) 所示的数学表达式。

$$\bar{i} \neq i_1 \neq i_2 \neq \dots \neq i_n \quad (4)$$

其中： \bar{i} 表示 n 个横动导丝形变量参数的平均数值。

联立式 (3)、式 (4)，可将变卷装转化表达式定义为：

$$\alpha = \sqrt{\frac{q(i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2)}{\bar{i} \cdot P_{p_1 \rightarrow p_2}}} \quad (5)$$

式中， q 表示与 STM32F103 控制器运行状态相匹配的变积分参数。如果高速卷绕机设备未能在 STM32F103 控制器元件的配合下实现对横动导丝的卷装处理，那么式 (5) 也就

无法求得实值结果。

2.3 横动导丝同步涡动频率

同步涡动描述了高速卷绕机设备中电量信号的涡流传输行为，由正向涡动、逆向涡动两种形式共同组成。横动导丝作为高速卷绕机设备中的核心负载元件，其对于正向涡动的规定就是指由设备正向转动而带来的电量信号涡流传输行为（逆向涡动是指由设备逆向转动而带来的电量信号涡流传输行为），一般来说，两类涡动指标的频率水平不可能相等，且正方向上频率指标的取值始终较大，故而规定正向同步涡动参量的取值为 y_{\max} 、逆向同步涡动参量的取值为 y_{\min} 。设 U 表示横动导丝内的动力负载向量，且 $U \neq 0$ 的不等式取值条件恒成立，若 $U > 0$ 则表示系统主机在控制高速卷绕机时承载正向力学作用，若 $U < 0$ 则表示系统主机在控制高速卷绕机时承载逆向力学作用^[18-19]。在上述物理量的支持下，联立式（5），推导横动导丝同步涡动频率的计算结果如下：

$$R = U^2 - \sqrt{\frac{1}{2}\alpha \times \left[y_{\max}^2 - \frac{1}{\beta} (y_{\min})^2 \right]} \quad (6)$$

如果两个同步涡动参量的取值方向相同，则规定数值较小的一个参量指标为 y_{\min} ，另一个则为 y_{\max} （如两个同步涡动参量的取值同时为负方向，在对其数值进行对比时，首先应求解两个参数指标的绝对值结果）。

2.4 弹性微分方程

STM32F103 控制器元件是具有弹性作用能力的微分应用设备，其对于高速卷绕机横动导丝的控制遵循弹性微分思想，所以即便是在同步涡动频率求解数值不能保持规律分布状态的情况下，经过多次微分处理，STM32F103 元件依然可以实现对高速卷绕机横动导丝结构的精准控制^[20]。所谓弹性微分就是一种较为理想化的微分处理思想，特别是在同步涡动参量取值不唯一的情况下，这种处理方式能够将横动导丝形变参数细化为多个极为接近的参量指标，且弹性思想要求，任意两个指标之间的差值水平都不会超过当前情况下横动导丝形变量的真实数值。对于弹性微分方程的求解满足公式（7）：

$$F = R \frac{\sum_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\tilde{A}_x + \tilde{A}_y + \tilde{A}_z)^{\gamma}}{f \times |\Delta D|} \quad (7)$$

其中： \tilde{A}_x 表示高速卷绕机横动导丝形变量在水平方向上的数值分量， \tilde{A}_y 表示竖直方向上的数值分量， \tilde{A}_z 表示纵深方向上的数值分量， γ 表示弹性划分参数， φ 表示形变参数的微分处理向量， ΔD 表示微分控制作用下导丝结构的总形变量， f 表示高速卷绕机横动导丝的形变参数。为充分体现 STM32F103 元件的微分控制思想，系统主机在对高速卷绕机横动导丝形变量进行控制时，会对所得数据样本进行重复取值^[21]。

3 模态控制量

模态控制量并不是一个实体概念，但对于高速卷绕机横动导丝控制系统而言，其实际控制能力受到 STM32F103

元件的直接影响，故而根据边界条件推导模态控制量指标，将决定有限元模态系数是否能够适应控制系统的实时运行需求。

3.1 边界条件

受到 STM32F103 控制器运行特性的影响，高速卷绕机横动导丝控制系统设计过程中所涉及的所有边界条件均为有限元边界，且具体边界范围的限定还必须考虑弹性微分方程表达式的实际求解结果。边界是一个相对宽泛的数值范围，由于控制系统的实际运行需求是有效调节高速卷绕机横动导丝的形变量水平，所以在推导边界条件表达式时，应在同一机械运动平面内选取大量的数据样本，以保证所得结果能够将真实边界完全包括在内^[22-23]。对于边界条件的计算如下：

$$H = \frac{\sqrt{\varphi(k_x \cdot k_y \cdot k_z)}}{F - L(\epsilon)} + 1 \quad (8)$$

式中， k_x, k_y, k_z 分别表示高速卷绕机动量参数在水平、竖直、纵深 3 个方向上的数值分量， φ 表示横动导丝形变量的全局统筹参数， ϵ 表示边界区域内的导丝形变量特征， $L(\epsilon)$ 表示基于参数 ϵ 的形变表达式。即便在系统非运行状态下，STM32F103 设备对于高速卷绕机横动导丝的控制作用能力也具有边界范围，所以公式（8）的计算结果不可能为零。

3.2 有限元模态系数

有限元模态系数决定了 STM32F103 元件对高速卷绕机横动导丝结构的控制能力，在边界条件满足实际控制需求的情况下，系统主机对于模态控制量指标的取值越大，就表示有限元模态系数的数值水平越高^[24-25]。设 j 表示与 STM32F103 控制器元件匹配的有限元向量， j' 表示参数 j 的一次求导结果， λ 表示控制执行指令的模态判别参数， \tilde{Z} 表示控制执行指令的传输方向判别特征。在上述物理量的支持下，联立公式（8），可将有限元模态系数计算结果表示为：

$$G = \frac{(jj')^2}{\min(\lambda H + \tilde{Z}^2)} \quad (9)$$

受到 STM32F103 控制器运行特性的影响，如果有限元模态系数求解结果与边界条件表达式不匹配，则表示系统主机不能对高速卷绕机横动导丝进行有效控制。

4 实验结果与分析

4.1 实验准备

横动导丝是具有一定弯曲能力的设备元件，对于高速卷绕机设备而言，在力学作用下，横动导丝的形变量越大，其与带电卷棒之间的间隔距离就越小，当前情况下，由于机械元件间滑动摩擦力的不断增大，设备结构运行过程所承担的相对阻力也会随之增大，而这种阻力作用就是导致高速卷绕机空转问题的主要原因。因此本次实验的核心目的就是选择应用系统对横动导丝形变量进行控制，从而避免高速卷绕机空转问题的出现。以图 5 所示的高速卷绕机设备作为实验对象，借助双绞线将电机设备与 220 V 交流电源相连，使舵轮进入转动状态，待其转速达到额定标准水平后，开始实验。

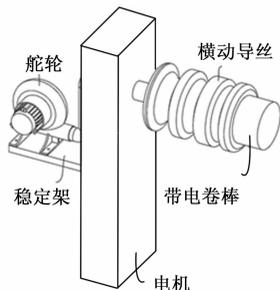


图 5 实验用高速卷绕机设备

舵机转动为横动导丝提供了力学作用，而电机则为横动导丝提供了电力作用，因此高速卷绕机设备的运行能力受到力学、电学作用的同时影响。

4.2 流程与步骤

本次实验的具体实施流程如下：

1) 将图 5 所示的高速卷绕机设备接入实验环境，闭合控制开关。

2) 以本文中基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统作为实验组应用方法，记录在该系统控制下，导丝形变量的实验数值。

3) 以文献 [3] 中基于稳态视觉诱发电位的控制系统作为 A 对照组应用方法，记录在该系统控制下，导丝形变量的实验数值。

4) 以文献 [4] 中基于 RBF 网络的矢量控制系统作为 B 对照组应用方法，记录在该系统控制下，导丝形变量的实验数值。

5) 将所得实验结果与横动导丝变形极值进行对比，总结实验规律。

4.3 结果讨论

对于高速卷绕机横动导丝变形极值的求解满足下式：

$$\sigma = \xi \times \psi \quad (10)$$

其中： ξ 表示刚度系数， ψ 表示承力参量，本次实验过程中， σ 取值恒为 10.0 mm。

空卷状态下的导丝形变量如图 6 所示。

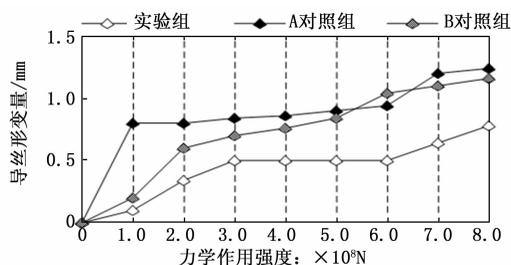


图 6 导丝形变量（空卷状态）

空卷状态下，实验组导丝形变量保持先增大、再稳定、最后继续增大的数值变化态势，A 对照组、B 对照组导丝形变量则都保持不断增大的变化态势，当力学作用强度达到 8.0×10^8 N 时，实验组最大值为 0.77 mm、A 对照组最大值为 1.26 mm、B 对照组最大值为 1.62 mm，很明显实验组

导丝形变水平最低。

满卷状态下的导丝形变量如图 7 所示。

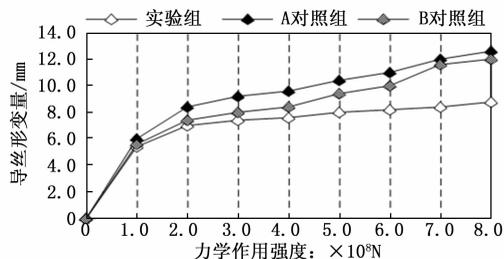


图 7 导丝形变量（满卷状态）

满卷状态下，实验组、A 对照组、B 对照组导丝形变量都保持不断增大的数值变化态势，当力学作用强度达到 8.0×10^8 N 时，实验组最大值为 8.35 mm、A 对照组最大值为 12.24 mm（超过导丝变形极值）、B 对照组最大值为 11.90 mm（超过导丝变形极值），很明显实验组导丝形变水平最低。

综上可知本次实验结论为：

1) 基于稳态视觉诱发电位的控制系统、基于 RBF 网络的矢量控制系统的应用，不足以使横动导丝形变量始终小于变形极值，所以在特定情况下，依然有可能存在高速卷绕机空转的问题。

2) 基于 STM32F103 的高速卷绕机横动导丝控制系统的应用，空卷状态下、满卷状态下横动导丝形变量均小于导丝变形极值，这就表示高速卷绕机的空转问题能够得到较好解决，符合对机械设备元件进行有效控制的实际应用需求。

5 结束语

高速卷绕机横动导丝控制系统在 STM32F103 控制器元件的支持下，联结 CPU 主控电路、锭轴夹头与机械卷绕头零部件，求解高速卷绕机的动力学建模表达式，又根据有限元模态系数的求解结果，确定模态控制量的实际取值范围。相较于基于稳态视觉诱发电位的控制系统、基于 RBF 网络的矢量控制系统，这种新型系统的应用，可以解决因横动导丝形变量过大而造成的高速卷绕机空转问题，实现对机械设备元件的有效控制。

参考文献：

- [1] 刘小滨, 刘寅, 沈文浩. 基于 STM32 单片机的环境温/湿度远程监控系统设计 [J]. 中国造纸学报, 2022, 37 (3): 118-125.
- [2] 刘君, 程凯, 赵培刚, 等. 基于 STM32 微控制器和 CH438Q 数据采集器的设计与实现 [J]. 仪表技术与传感器, 2021, 456 (1): 30-32.
- [3] 陈玲玲, 陈鹏飞, 谢良, 等. 增强现实场景下基于稳态视觉诱发电位的机械臂控制系统 [J]. 电子与信息学报, 2022, 44 (2): 496-506.

(下转第 114 页)