

三维多层仿形织造过程多机协同智能控制技术

廖黎莉¹, 芮晓光¹, 王传洋², 韩月娟²

(1. 苏州市职业大学 计算机工程学院, 江苏 苏州 215104; 2. 苏州大学 机电工程学院, 江苏 苏州 215006)

摘要: 三维多层仿形织造过程多机同步协同控制是其关键技术之一; 通过对三维多层仿形织造工艺技术的研究, 依据磁场磁链定向控制作用机理, 提出了一种对磁场磁链定向和变力矩控制的方法, 来分别对多个感应电动机进行速度和力矩跟踪智能控制; 依据控制方法, 通过建立全维转子状态估计器, 来辨识感应电动机的转子速度、定子和转子电阻、瞬时外负载等参数; 由外负载辨识结果与速度、力矩 PID 控制器来确定感应电动机的转矩电流, 实现感应电动机速度与力矩控制; 仿真实验与三维多层仿形织造工程试验结果表明了该智能控制方法的先进性和实用性。

关键词: 三维多层仿形织造; 多机传动同步控制; 磁场定向控制; 全维转子状态估计器

Multi-machine Cooperative Intelligent Control Technology for Three-dimensional Multi-layer Profiling Weaving Process

Liao Lili¹, Rui Xiaoguang¹, Wang Chuanyang², Han Yuejuan²

(1. School of Computer Engineering, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Suzhou University, Suzhou 215006, China)

Abstract: Synchronized and cooperative control of multi-machine in three-dimensional multi-layer profiling weaving process is one of the key technologies. Based on the research of three-dimensional multi-layer profiling weaving technology and the mechanism of magnetic flux orientation control, presents a method of magnetic flux orientation and variable torque control to track speed and torque of multiple induction motors respectively. According to this control method, the rotor speed, stator and rotor resistance, instantaneous external load and other parameters of induction motor are identified by establishing a full-dimensional rotor state estimator. The torque current of induction motor is determined by the identification result of external load and the speed and torque PID controller, and the speed and torque control of induction motor is realized. The results of simulation experiment and three-dimensional multi-layer profiling weaving engineering test show that the intelligent control method is advanced and practical.

Keywords: three-dimensional multi-layer profiling weaving; synchronization control of multi-machine drive; field oriented control; full-dimensional rotor state estimator

0 引言

近年来, 随着高性能纤维材料和纺织技术的快速发展, 三维多层仿形织物在国防、军事、交通、工业等领域的应用, 充分体现了三维多层仿形织造物, 具有传统织造物无可比拟的优点。如三维多层仿形织造物用于导弹、飞行器、舰船等武器装备的吸声、吸波、隐身; 在高铁、汽车轻量化设计等方面也有着很好的应用前景^[1]。因此, 三维多层仿形织造装备技术是近年来国内外研究的热门课题之一。

三维多层仿形织物的性能好坏与织造物的维数和交联纤维作用力一致性有关。而交联纤维作用力一致性与三维多层仿形织造装备多台电动机同步协同控制技术有关。

虽然近年来, 国内外相关研究人员对多机同步控制问

题进行了较多的研究, 并取得了一定的研究成果, 但是, 对于非线性强, 变张力的三维多层仿形织造装备来说, 存在着变张力多机协同控制难^[2]。

本文拟通过对三维多层仿形织造工艺技术的研究, 借助磁场定向控制理论, 建立多机驱动机电系统的数学模型; 并利用自适应率构建全维转子状态估计器, 估计外负载的变化规律, 以此分别控制多个感应电动机跟踪同一指令速度, 实现三维多层仿形织造多机同步协同智能控制; 通过仿真和工程试验研究来证明该方法的先进性和实用性。

1 三维多层仿形织造工艺技术

为了保证并提高三维仿形织造物的刚性和抗分层能力, 在织物的厚度方向加入纱线, 产生了三维机织、三维编织、三维针织、缝合和 z 向销钉等编织工艺^[3]。其中三维编织物生产效率低, 因产能受限无法开展大批量生产。三维针织物主要面向经编织物, 仅限于网膜类轻薄型织物的织造。缝合和 z 向销钉属于对织物的后加工, 会对织物造成一定程度的损伤。而三维机织物生产效率最高, 可以快速、低成本地织造成三维结构预制件, 而采用三维多层仿形织造技术, 还可以通过后道的模压工艺形成结构更为复杂的三维

收稿日期: 2020-03-18; 修回日期: 2020-04-13。

基金项目: 国家自然科学基金(61602333)。

作者简介: 廖黎莉(1981-), 女, 江西南昌人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机控制、纺织过程装备等方向的教学科研工作。

王传洋(1972-), 男, 山东梁山人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事机电一体化方向的研究。

仿形结构件^[4]。

本文以三维五轴织造工艺为主要研究对象,即三维五轴织造工艺。该织造工艺不但有正交织物的各向异性,而且由于斜向纱线的存在,其平顺性也较好。三维多层仿形织机结构原理如图 1 所示。

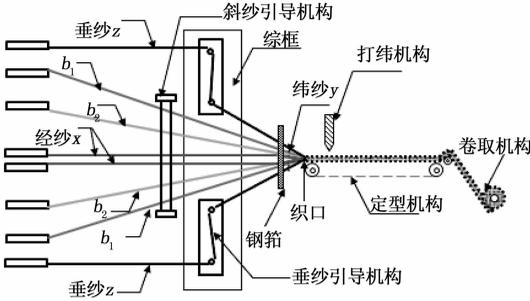


图 1 三维多层仿形织机结构原理图

由图 1 可见,三维多层仿形织造工艺的斜纱 b_1 、通过斜纱引导机构进入综框,综框将经纱 x 和斜纱引导至织口。垂纱 z 经由上下两部分的垂纱引导机构进入综框,垂纱引导机构在综框内做垂直往复运动,引导垂纱 z 从上下两个方向贯穿经纱层和斜纱层。纬纱 y 经由纬纱引导机构平移引导至经纱层间,在经纱层间形成纬纱层。在织口处,纱线通过打纬机构、定型机构最终形成三维多层仿形织物。

三维五轴多层仿形织造工艺装备的控制涉及到经纱、垂纱、2 组斜向纱和一组纬纱 5 个方向的控制。为了保证织造物各向纱线力学性能一致性,织机五向驱动轴都配有独立的伺服驱动系统,并根据需要控制驱动电机速度、转矩,完成三维多层仿形织造工艺要求。这样就涉及到三维多层仿形织造多机协同智能控制问题。

2 多机智能控制数学模型

2.1 数学模型的构建

众所周知,控制电动机速度、扭矩的方法很多,考虑到三维多层仿形织造工艺过程对纱线的运动速度和张力(即电动机的转矩)控制要求,本文依据磁场定向控制作用机理,拟通过对磁场磁链定向和力矩控制,来分别对多个感应电动机进行速度和力矩进行智能控制。

用感应电动机的数学模型替代三维五轴织造机电系统数学模型^[5-6]。即将定子电流和转子磁链作为状态变量,将定子电压作为输入参量,则第 i 台感应电动机在转子旋转 $d-q$ 坐标系下的状态方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{dsi} & \dot{i}_{qsi} \\ \dot{\lambda}_{dri} & \dot{\lambda}_{qri} \end{bmatrix} = \mathbf{A}_i \begin{bmatrix} i_{dsi} & i_{qsi} \\ \lambda_{dri} & \lambda_{qri} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_i \\ 0 \end{bmatrix} v_{si} \quad (1)$$

式中, i_{dsi} 为 d 轴下电动机 i 的定子电流; i_{qsi} 为 q 轴下电动机 i 的定子电流; λ_{dri} 为 d 轴下电动机 i 的转子磁链; λ_{qri} 为 q 轴下电动机的转子磁链;

v_{si} 电动机的定子电压。

状态方程中对传递函数矩阵 \mathbf{A}_i 和 \mathbf{B}_i 做如下定义:

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} a_{r11i}I & a_{r12i}I + a_{i12i}J \\ a_{r21i}I & a_{r22i}I + a_{i22i}J \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{B}_i = b_i l \quad (3)$$

式中: $b_i = 1/(\sigma_i L_{si})$;

$$a_{r11i} = (1 - \sigma_i) / (\sigma_i \tau_{ri}) - R_{si} b_i;$$

$$a_{r12i} = M_i b_i / (L_{ri} \tau_{ri});$$

$$a_{r21i} = M_i b_i / (L_{ri} \tau_{ri});$$

$$a_{r22i} = M_i b_i \omega_{ri} / L_{ri};$$

$$a_{r21i} = M_i / \tau_{ri};$$

$$a_{r22i} = -1 / \tau_{ri};$$

$$a_{r22i} = \omega_{ri};$$

$$\sigma = 1 - \frac{M_i^2}{L_{si} L_{ri}};$$

$$\tau_{ri} = L_{ri} / R_{ri};$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix};$$

M_i 为电动机 i 的定子与转子间互感; L_{si} 为电动机 i 的定子电感; L_{ri} 为电动机 i 的转子电感; R_{si} 为电动机 i 的定子电阻; R_{ri} 为电动机 i 的转子电阻; σ_i 为电动机 i 的漏感系数; τ_{ri} 为电动机 i 的转子时间常数; ω_{ri} 为电动机的转子电气角速度。

则,感应电动机的电磁转矩为:

$$T_{ei} = n_p \frac{M_i}{L_{ri}} (i_{qsi} \lambda_{dri} - i_{dsi} \lambda_{qri}) \quad (4)$$

式中, n_p 为电动机的电极对数。

在三维多层仿形织造过程中,要使多台感应电动机以相同的机械角速度转动,应使得各电动机的电磁转矩与外载荷相互匹配,但是在实际工作环境中,由于三维多层仿形织造过程中纱线存在着速度和张力的变化,即各电动机所受的外载荷是随机变化的,所以很难以保证二者之间的匹配^[7-8]。则感应电动机的转子运动方程为:

$$J_i \dot{\omega}_{mi} + K_i \omega_{mi} = T_{ei} - T_{oi} \quad (5)$$

式中, $\omega_{mi} = \omega_{ri} / n_p$; J_i 为电动机 i 的转子转动惯量; K_i 为电动机 i 的转子阻尼系数; ω_{mi} 为电动机 i 的转子机械角速度; T_{oi} 为电动机 i 的转子外负载转矩。

由电动机 i 基于 $d-q$ 坐标的状态方程 (1) 可构建其转子的全维状态估计器的表达式:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_{dsi} & \dot{\hat{i}}_{qsi} \\ \dot{\hat{\lambda}}_{dri} & \dot{\hat{\lambda}}_{qri} \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{A}}_i \begin{bmatrix} \hat{i}_{dsi} & \hat{i}_{qsi} \\ \hat{\lambda}_{dri} & \hat{\lambda}_{qri} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{1i} \\ 0 \end{bmatrix} v_{si} + \mathbf{C}_i L [\hat{i}_{dsi} - i_{dsi} \quad \hat{i}_{qsi} - i_{qsi}] \quad (6)$$

式中, $\begin{bmatrix} \hat{i}_{dsi} & \hat{i}_{qsi} \\ \hat{\lambda}_{dri} & \hat{\lambda}_{qri} \end{bmatrix}$ 为电动机的定子电流和转子磁链的估计值;

$\hat{\mathbf{A}}_i$ 为电动机的传递函数矩阵 \mathbf{A}_i 的估计值;

\mathbf{C}_i 为电动机的反馈增益矩阵;

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

对反馈增益矩阵进行如下配置:

$$C_i = \begin{bmatrix} c_{11i} & c_{12i} \\ c_{21i} & c_{22i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ J \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, $c_{11i} = (k-1)(\hat{a}_{r11i} + \hat{a}_{r22i})$;

$$c_{12i} = (k-1)\hat{a}_{r22i};$$

$$c_{21i} = (k^2-1)(\hat{a}_{r21i} - g_i \hat{a}_{r11i}) + g_i c_{11i};$$

$$c_{22i} = g_i c_{12i};$$

$$g_i = (\sigma_i L_{si} L_{ri}) / M_i.$$

由式 (1)、(6) 建立的误差方程:

$$\dot{\epsilon}_i = (A_i + CL)\epsilon_i + W_i \quad (8)$$

$$\text{式中, } \dot{\epsilon}_i = \begin{bmatrix} \dot{i}_{dsi} - \hat{i}_{dsi} & \dot{i}_{qsi} - \hat{i}_{qsi} \\ \dot{\lambda}_{dri} - \hat{\lambda}_{dri} & \dot{\lambda}_{qri} - \hat{\lambda}_{qri} \end{bmatrix}$$

$$W_i = (A_i - \hat{A}_i) \epsilon_i.$$

由自适应率可以估算感应电动机的转子电气角速度。同时因为定子、转子电阻会随着感应电动机的温度变化而发生变化^[9], 所以由式 (1)、(7) 可得转子电气角速度、定子电阻和转子电阻的控制率:

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_{ri} &= k_{opi} \theta_i + k_{udi} \int_0^t \vartheta_i dt \\ \hat{R}_{si} &= -k_{Rspi} \mu_i - k_{Rli} \int_0^t \mu_i dt \\ \hat{R}_{ri} &= k_{Rrpi} \eta_i + k_{Rdi} \int_0^t \eta_i dt \end{aligned} \quad (9)$$

式中, k_{opi} 、 k_{udi} 、 k_{Rspi} 、 k_{Rli} 、 k_{Rrpi} 和 k_{Rdi} 均为正向增益;

$$\vartheta_i = [\hat{\lambda}_{dri} \quad \hat{\lambda}_{qri}] J \epsilon_{ii};$$

$$\mu_i = \epsilon_{ii}^T [\dot{i}_{dsi} \quad \dot{i}_{qsi}];$$

$$\eta_i = [\hat{\lambda}_{dri} - M_i \dot{i}_{dsi} \quad \hat{\lambda}_{qri} - M_i \dot{i}_{qsi}];$$

$$\epsilon_{ii} = [i_{dsi} - \hat{i}_{dsi} \quad i_{qsi} - \hat{i}_{qsi}].$$

由反馈增益矩阵 (7) 可知, 估计器的极点为原始系统极点的 k 倍, 则转子速度取任意值时, 感应电动机的定子电流和转子磁链估计值都将趋近于真实值。由式 (9) 并结合超稳定性定理可知, 当时间 $t \rightarrow \infty$ 时, 转子电气角速度、定子电阻和转子电阻的估计值也将趋近于真实值^[10-11]。

2.2 多机协同控制外负载自动辨识

要使得感应电动机的电磁转矩与外负载转矩相匹配, 需要做到对电动机转子电气角速度变化的快速响应。基于磁场定向控制原理, 磁链通常为恒定, 电磁转矩与转矩电流之间是单纯线性关系, 能够根据感应电动机的转子电气角速度快速确定感应电动机的外负载, 并获得瞬时转矩电流, 从而提高电动机的响应速度^[12-14]。将各量从转子旋转 $d-q$ 坐标系转化为同步旋转 $M-T$ 坐标系, 则电动机的电磁转矩为:

$$T_{ei} = n_p \frac{M_i}{L_{ri}} i_{Ti} \hat{\lambda}_i \quad (10)$$

式中, i_{Ti} 为电动机 i 的转矩电流; $\hat{\lambda}_i$ 为电动机的转子磁链绝对值; $\hat{\lambda}_i = \sqrt{\hat{\lambda}_{dri}^2 + \hat{\lambda}_{qri}^2}$ 。

因此, 电动机 i 在某一时刻电磁转矩的估计值可表示为:

$$\hat{T}_{ei}(k) = n_p \frac{M_i}{L_{ri}} i_{Ti} \hat{\lambda}_i \quad (11)$$

式中, $\hat{T}_{ei}(k)$ 为电动机 i 在 k 时刻电磁转矩的估计值; $i_{Ti}(k)$ 为电动机 i 在 k 时刻转矩电流的估计值。

感应电动机转子的电气角加速度估计值可以由下式获得:

$$\hat{\omega}_{ri}(k) \frac{\hat{\omega}_{ri}(k) - \hat{\omega}_{ri}(k-1)}{\tau} \quad (12)$$

式中, $\hat{\omega}_{ri}(k)$ 为电动机 i 在 k 时刻转子的电气角速度估计值; $\hat{\omega}_{ri}(k-1)$ 为电动机 i 在 $k-1$ 时刻转子的电气角速度估计值;

T 为电动机的采样时间周期。

由全维转子状态估计器可以估计某一时刻的外负载转矩:

$$T_{oi}(k) = T_{ei}(k) - J_i \hat{\omega}_{ri}(k) / n_p \quad (13)$$

式中, T_{oi} 为电动机 i 在 k 时刻外负载的估计值。

假设感应电动机 i 在 $k-1$ 时刻的指令性电气角加速度为 $\hat{\omega}_{ri}^*(k-1)$, 其 k 时刻所需的指令性转矩电流可由下式获得:

$$i_{Ti}^*(k) = \frac{J_i \hat{\omega}_{ri}^*(k-1)}{n_p \lambda_i} + T_{oi}(k-1) / \hat{\lambda}_i \quad (14)$$

考虑到利用转子加速度辨识瞬时外负载会存在着一定的滞后性, 因此引入 PID 控制器进行补偿控制, 对指令性转矩电流做进一步修正:

$$i_{Ti}^{\Sigma}(k) = i_{Ti}^*(k) + \Delta i_{Ti}^*(k) \quad (15)$$

式中, $\Delta i_{Ti}^*(k)$ 为电动机在时刻补偿转矩电流。

2.3 多机协同智能控制模型

由前述分析, 可以构造出三维多层仿形多机协同智能控制系统, 由于负责不同纱线的各路电机其控制系统构造相同, 在此仅给出单个感应电动机的控制系统, 如图 2 所示。

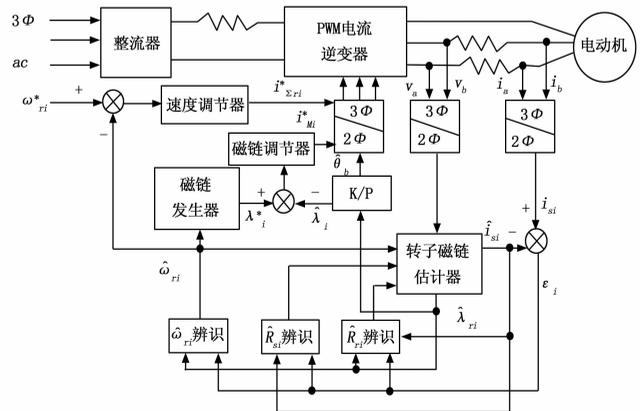


图 2 自动辨识外负载的多机同步控制系统

在具体实施过程中, 首先将电压和电流经过三相静止到两相静止, 两相静止到两相旋转进行变换, 将其转化为随定子速度 $d-q$ 坐标系下的电压和电流。利用全维转子状态估计器对定子电流和转子磁链进行估计, 并辨识感应电动机的转子电气角速度 $\hat{\omega}_{ri}$ 、定子电阻 R_{si} 和转子电阻 R_{ri} 。将辨识值反馈给估计器以便对传递矩阵 \hat{A}_i 进行估计, 从而构

成全维转子状态估计器的闭环回路。

将估计的转子磁链经 k/p 变换器解耦后, 得到方向角估计值 $\hat{\theta}_i$ 和磁链绝对值 $\hat{\lambda}_i$ 。将转子的电气角速度估计值传给磁链发生器用以判断该值是否大于额定值, 在超过额定值时采取磁弱措施, 否则采取恒磁措施, 最终由磁链发生器输出指令性磁链 λ_i^* 。将 λ_i^* 与 $\hat{\lambda}_i$ 的差值传递给磁链调节器, 以获得所需的指令性磁链电流 $i_{M_i}^*$ 。

通过对 $\hat{\omega}_{ri}$ 进行微分获得感应电动机转子的电气角加速度 $\hat{\omega}_{ri}$ 。再利用全维转子状态估计器对外负载转矩 T_{oi} 进行辨识。将 $\hat{\omega}_{ri}$ 、 T_{oi} 、 $\hat{\lambda}_i$ 带入式 (14) 中, 计算当前时刻所需的指令性转矩电流 i_{Ti}^* 。将转子的电气角速度估计值 $\hat{\omega}_{ri}$ 与指令性值 ω_{ri}^* 的差值输入 PID 速度调节器, 获得补偿转矩电流 Δi_{Ti}^* 。 Δi_{Ti}^* 与 i_{Ti}^* 之和, 即为电动机下一时刻所需的电磁转矩电流 $i_{\Sigma Ti}^*$ 。最后将 $i_{\Sigma Ti}^*$ 、 $i_{M_i}^*$ 和 $\hat{\theta}_i$ 输入 PWM 电流逆变器, 向电动机输入三相电流。

3 实验研究

为了验证三维多层仿形织造过程多机协同智能控制技术的先进性和实用性, 本文分别对其进行了仿真实验和工程试验。

实验主要对转子电气角速度 $\hat{\omega}_{ri}$ 、定子电阻 \hat{R}_s 和转子电阻 \hat{R}_r 、外负载 T_{oi} 和转矩电流 $i^*_{\Sigma Ti}$ 等参数进行实验。

3.1 实验参数设计

1) 感应电动机参数: 三相异步 4 级电动机, 额定电压 380 V, 额定电流 16 A, 频率 50 Hz, 额定转速 980 r/m, 转子转动惯量 0.25 kg·m, 转子电阻 0.704 Ω , 转子电感 99.8 mH, 定子电阻 0.706 Ω , 定子电感 99.8 mH, 定子与转子的互感 99.8 mH。

2) 磁链调节器参数: PI 调节器, P 参数 4.0, I 参数 1.0。

3) 速度调节器参数: PID 调节器, P 参数 0.1, I 参数 1.2, D 参数 20。

4) 时间参数: 时间步长 50, 采样周期 50。

3.2 仿真实验

为了更好地验证该控制方案, 本文在对转子电气角速度 $\hat{\omega}_{ri}$ 、定子电阻 \hat{R}_s 和转子电阻 \hat{R}_r 、外负载转矩 T_{oi} 和转矩电流 $i^*_{\Sigma Ti}$ 等参数进行仿真实验, 四台感应电动机的外负载在前 2 s 为额定转矩 50 N·m, 随后呈现不同的外负载变化如图 3 所示。四台感应电动机各参数仿真结果分别如图 4~8 所示。

由上述实验研究可以看出:

1) 如图 4 和图 5 所示, 在启动之初电阻辨识存在着一些误差, 随着转子电阻和定子电阻的自适应辨识, 电阻辨识逐渐趋近真实值, 其中转子电阻大约 1 s 接近真值, 定子电阻约 0.8 s 接近真值。

2) 如图 6 和图 7 所示, 电动机启动前 2 s 各电机的外负载差异性不大, 随后由于外部干扰, 四台电机的外负载呈现不同的变化。由于启动之初辨识的电阻消耗功率大于

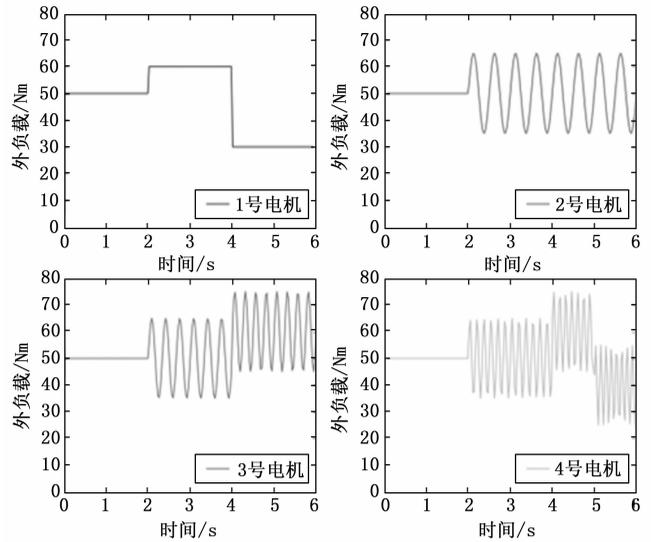


图 3 设定外负载转矩 T_{oi}

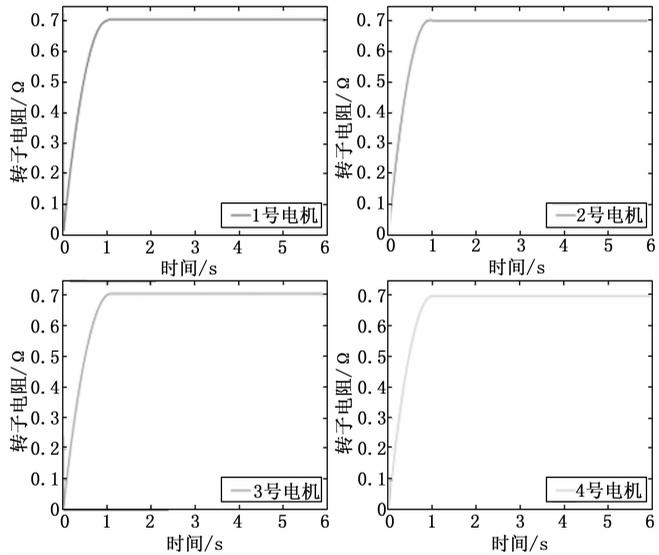


图 4 转子电阻估计值 \hat{R}_r

真实值, 因此在前 1 s 外负载的辨识结果普遍偏高, 而此阶段系统辨识的转矩电流值也偏高, 转矩电流与外负载呈相同变化趋势。

3) 如图 8 所示, 由于转矩电流和速度调节 PID 的双重作用, 感应电动机的速度仍然能较好地跟踪指令。即使当感应电动机的外负载按正弦规律变化时, 状态估计器也能够跟踪这种正弦变化情况, 使实际转速能够平稳地跟踪指令性速度。

3.3 工程试验

在仿真实验的基础上, 使用江苏万工机电有限公司生产的三维多层仿形织造机, 进行三维多层仿形织造多机协同智能控制技术试验。

试验是在系统稳定运行的情况下, 对各轴纱伺服电机的转子电气角速度, 进行多机协同智能控制与单独 PID 调节控制对比, 试验结果如图 9 所示。

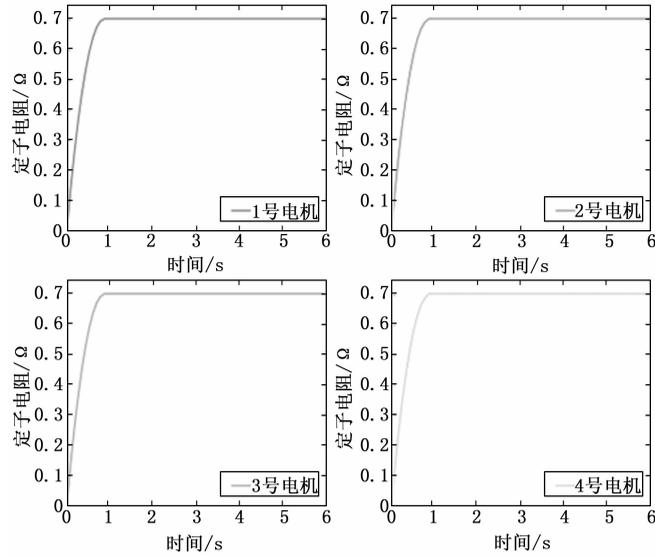


图 5 定子电阻估计值 \hat{R}_s

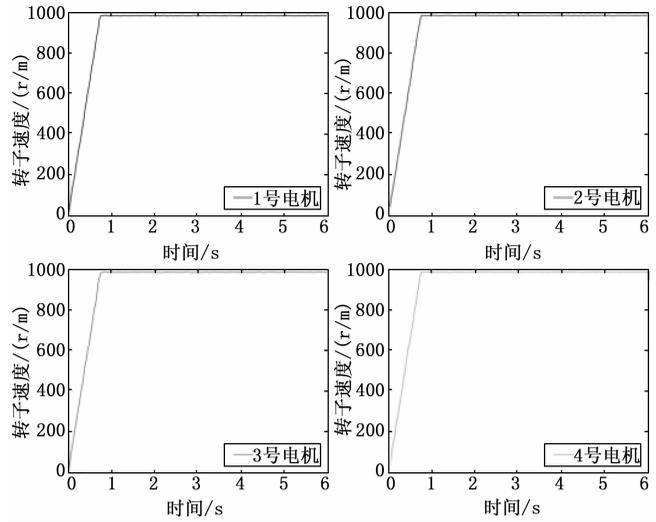


图 8 转子电气角速度 $\hat{\omega}_n$

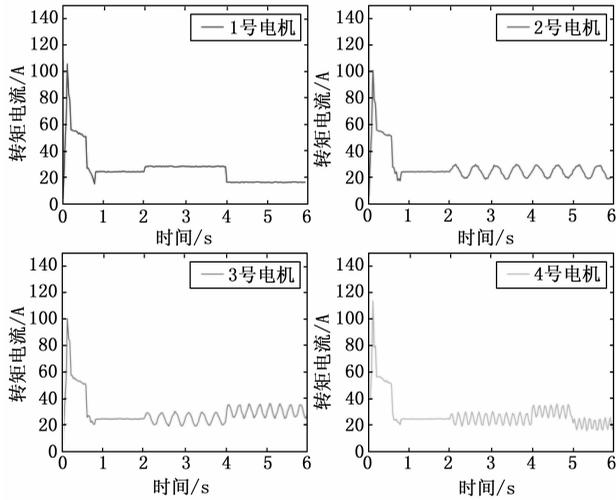


图 6 定子电阻估计值 \hat{T}_a

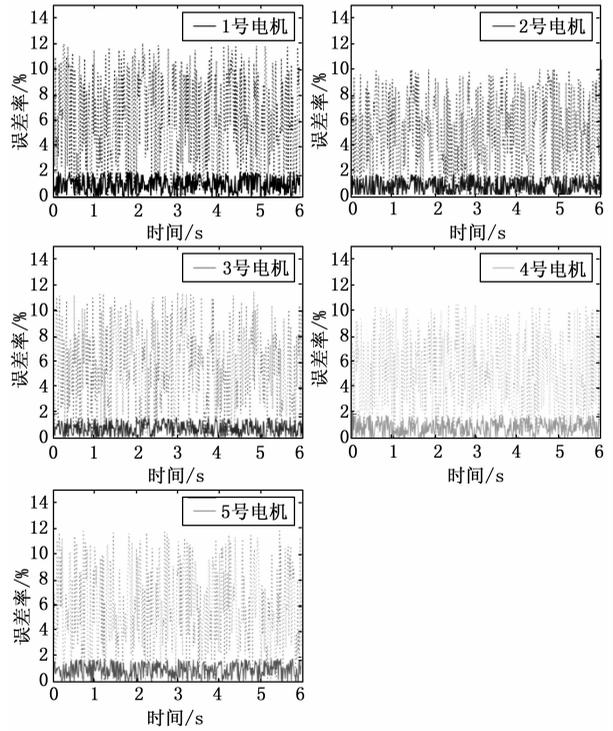


图 9 普通 PID 控制与协同智能控制方案对比

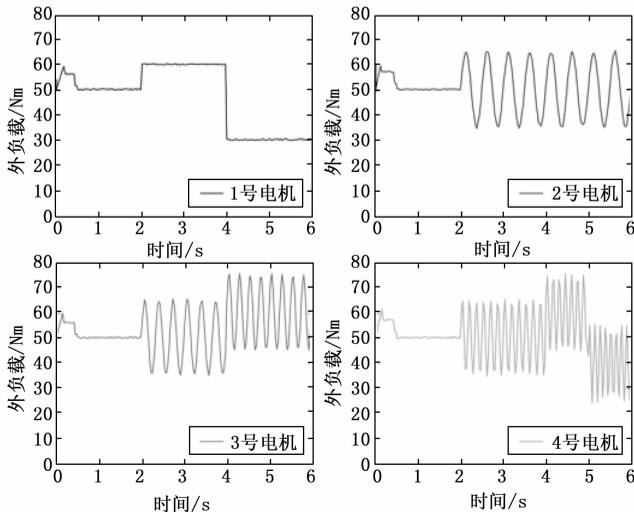


图 7 转矩电流估计值 $i_{\Sigma T}$

由图 9 可以看出, 本方案相对于单纯的 PID 控制来说, 由于磁链调节器和速度调节器的双重作用, 使得转矩与速度相匹配, 有效地减小了速度波动, 使得各台感应电动机在同一指令速度下同步工作。当外负载呈现非线性波动时, 纯 PID 控制器其速度波动范围在 12% 左右; 而本方案使得速度的波动范围控制在 2% 以内。

4 结束语

本文针对三维多层仿形织造多机协同智能控制技术问题, 通过对三维多层仿形织造工艺技术的研究, 首先构建了多机智能控制数学模型, 在构建模型的基础上, 对三维

多层仿形织造过程多机协同智能控制技术进行了仿真实验和工程试验,结果表明本文研究的智能控制方法的先进性和实用性。本文研究主要创新点归纳如下:

1) 通过对三维多层仿形织造工艺技术的研究,依据磁场磁链定向控制作用机理,提出了一种对磁场磁链定向和变力矩控制的方法,来分别对多个感应电动机进行速度和力矩跟踪智能控制。

2) 依据控制方法,建立了全维转子状态估计器,来辨识感应电动机的转子速度、外负载等参数。通过辨识外负载的变化规律调节磁链,再将磁链调节器与速度调节器相结合,以此分别控制多个感应电动机跟踪同一指令性速度,形成三维多层仿形织造多机同步的协同智能控制。

3) 通过实验验证了本控制技术相对于单纯的 PID 控制来说,由于磁链调节器和速度调节器的双重作用,使得转矩与速度相匹配,有效地减小了速度波动,使得各台感应电动机在同一指令速度下同步工作。当外负载呈现非线性波动时,纯 PID 控制器其速度波动范围在 12% 左右;而本方案使得速度的波动范围控制在 2% 以内。同时也证明了本技术方案速度辨识精度高,系统运行平稳,可较好地满足三维多层仿形织造中的多机协同智能控制要求。

参考文献:

[1] Khokar N. 3D-Weaving: Theory and Practice [J]. Journal of the Textile Institute, 2001, 92 (2): 193-207.
 [2] Bilisik K. Multiaxis three-dimensional weaving for composite sites: a review [J]. Textile Research Journal, 2012, 82 (7): 725-743.

(上接第 104 页)

作用下,立即从高转速降至怠速转速,实现了动力的快速切断。

5 结束语

文章首先分析了汽车传动装置的工作原理,针对传动过程中主要物理量的变化搭建了简单的数学模型,接着基于 Matlab/Simulink 和 Matlab/Stateflow 工具箱搭建了整车动力性能仿真模型和换挡过程的仿真模型,分别仿真模拟了正常行驶、超速以及刹车 3 种状态下,模型的输出参数特性,验证了模型的有效性。该方法主要通过将汽车行驶阶段的不同状态,建模为多状态事件的迁移,借助发动机厂家提供的变速器换挡点图以及发动机工作特性图,构建供仿真过程调用的工作表,从而避免了繁琐的数学建模和公式推导,简化了模型复杂度,该方法的应用可为相关复杂工程问题的建模仿真提供借鉴意义。

参考文献:

[1] 马永志,管良结,张铁柱. 基于 MATLAB/Simulink 的工程车辆自动变速器换挡规律研究 [J]. 青岛大学学报 (工程技术版), 2016, 1 (31): 89-93.
 [2] 王延忠,汪大鹏,李 圆,等. 多态模块化自动变速器换挡过

[3] Labanich A R, Legrandx, Koncar V, et al. Development in the Multiaxis 3D Weaving Technology [J]. Textile Research Journal, 2015, 86 (17): 19-26.
 [4] 周 能,王益轩,等. 三维五轴平型织造技术与织机虚拟样机研究 [J]. 纺织器材, 2018, 45 (1): 10-15.
 [5] 韩仁银,郭阳宽,祝连庆,等. 多电机同步控制综述 [J]. 电机与控制应用, 2017, 44 (6): 8-12.
 [6] 刘福才,张学莲,刘立伟. 多级电机传动系统同步控制理论与应用研究 [J]. 控制工程, 2002, 9 (4): 87-90.
 [7] 鲁文其,胡育文,梁骄雁,等. 永磁同步电机伺服系统抗扰自适应控制 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31 (3): 75-81.
 [8] 刘星桥,唐 琳,周 丽. 二阶自抗扰控制器在三电机同步系统中的应用 [J]. 电工技术学报, 2012, 27 (2): 179-184.
 [9] 魏玉春,夏长亮,刘 涛,等. 两电机转矩同步系统有限集模型预测控制 [J]. 电工技术学报, 2016, 31 (19): 115-122.
 [10] 梁 永,张 涛. 双电机螺旋线运动同步控制 [J]. 计算机仿真, 2014, 31 (1): 264-267.
 [11] Li L B, Sun L L. Mean deviation coupling synchronous control for multiple motors via second-order adaptive sliding mode control [J]. ISA Transactions, 2016, 62 (3): 222-230.
 [12] 刘 然,孙建忠,罗亚琴,等. 基于环形耦合策略的多电机同步控制研究 [J]. 控制与决策, 2011, 26 (6): 957-960.
 [13] Li L B, Sun L L, Zhang S Z, et al. Speed tracking and synchronization of multiple motors using ring coupling control and adaptive sliding mode control [J]. ISA Transactions, 2015, 58 (1): 635-649.
 [14] 陈 威,吴益飞,等. 双电机同步驱动伺服系统故障诊断与容错控制 [J]. 控制理论与应用, 2014, 31: 27-34.
 [15] 程仿真与试验 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50 (7): 103-110.
 [3] 庞 权. 液力自动变速器 (AT) 换挡规律的仿真建模计算及标定测试 [J]. 内燃机与配件, 2018 (3): 24-28.
 [4] 郑 磊. 自动变速器的建模与仿真技术研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2011.
 [5] 成岳华,李翔晟,罗俊勇. 汽车自动变速器换挡规律优化设计 [J]. 计算机仿真, 2016, 33 (4): 227-231.
 [6] 赵鑫鑫,张文明,冯雅丽,等. 工程车辆自动变速器换挡过程建模与仿真 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2014, 42 (3): 112-116.
 [7] 黄志勇,胥 刚,朱双华. 北汽纯电动汽车两档自动变速器换挡参数匹配设计研究 [J]. 内燃机与配件, 2019, (10): 1-5.
 [8] 方圣楠,宋 健,宋海军,等. 基于最优控制理论的电动汽车机械式自动变速器换挡控制 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2016, 56 (6): 580-586.
 [9] 邵梦麟,梁前超,邬 健. 燃气轮机发电机组协调控制系统仿真研究 [J]. 燃气轮机技术, 2016, 29 (1): 48-53.
 [10] 郭 力,胡 斌,李柏岩,等. 燃气轮机发电机临界转速振动故障的诊断 [J]. 广东电力, 2010, 23 (4): 81-85.
 [11] 卢德琼. 汽车自动变速器建模和换挡规律的研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.