控制系统

基于多轴伺服系统的细纱机控制系统开发

基于运动控制器、多轴伺服控制器等运动控制技术开发了细纱机控制系统，本文重点介绍了控制系统硬件结构、主要机械传动机构、电机参数计算及其控制系统的软件实现。

文 | **李增润** 经纬智能纺织机械有限公司

更多精彩请扫描二维码

细纱机由锭子、罗拉及钢领板等机构的相互运动配合完成细纱的纺制和卷绕成形[1]。传统细纱机的锭子传动、牵伸传动及钢领板升降传动由带轮、齿轮、棘轮及凸轮等组成，该系统结构复杂、传动效率低，且使用较为不便[2]。本文结合运动控制器、多轴伺服驱动器等控制技术，开发了由 12 个伺服电机及一个变频电机组成的细纱机，该细纱机自动化程度较高、机械传动简单，在实际应用中系统稳定可靠，工艺参数调节方便。

本系统为细纱机超长车（1800 锭）而开发，在该细纱机中左、右侧前罗拉分别由两个伺服电机控制，中罗拉及后罗拉分为车头及车尾传动，车头部分左、右侧中罗拉由两个伺服电机分别独立控制，车头部分左、右侧后罗拉由两个伺服电机分别独立控制，车尾部分左、右侧中罗拉由两个伺服电机分别独立控制，车尾部分左、右侧后罗拉由两个伺服电机分别独立控制，钢领板升降电机由一个伺服电机控制，锭子电机由变频器控制。

在该细纱机控制系统中，硬件部分采用路斯特运动控制技术有限公司的运动控制器（MOCM）及其多轴伺服控制器（SOCM），其中控制锭子电机的变频器带直流母线（560V DC）输出，同时系统采用多轴伺服控制器专用电源模块（SOCM-E），该电源模块（SOCM-E）可采用变频器的直流母线输出为其供电，后通过直流母排为多轴伺服控制器（SOCM）进行供电，而无需再另外为伺服驱动器接入动力电源。运动控制器（MOCM）与伺服控制器（SOCM）通过 EtherCAT 进行通讯，运动控制器与人机界面之间通过 Ethernet 通讯，控制系统结构如图 1 所示。软件部分采用运动控制器（MOCM）的专用编程软件 MotionCenter 完成，多轴伺服控制器（SOCM）的调试通过 DriverManager 完成。

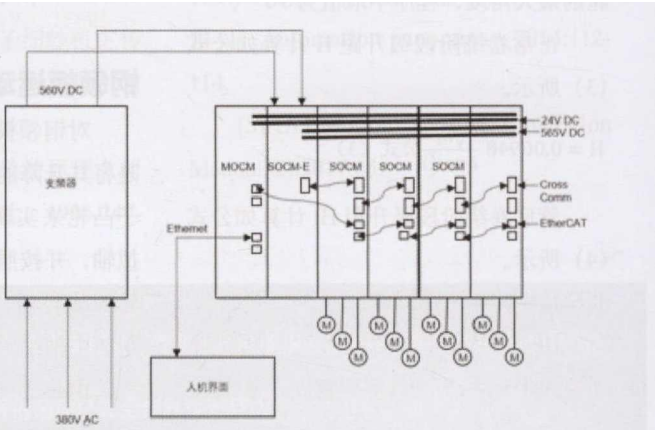

图 1 细纱机控制系统示意图

根据用户输入的工艺参数，系统计算出相应机构的电机转速，后经 EtherCAT 总线将该参数发送至多轴伺服驱动器及变频器，进行相关的控制。在该系统中，前、中、后罗拉均采用速度模式进行控制，钢领板也采用速度模式进行控制，锭子采用变频器闭环控制。

钢领板参数计算

细纱机通过钢领板升降运动完成卷绕成形，使纱线能在筒管的圆锥面上绕成均匀分布的等距螺旋线，有利于后道高速退绕[3]。钢领板上升时纱线被缠绕在筒管圆锥面上（卷绕层），钢领板下降时纱线被束缚筒管圆锥面上（束缚层），卷绕层与束缚层对应钢领板的一个升降周期。为实现纱线的逐层卷绕，钢领板每个升降周期之间需要有级升。卷绕成形又分为管底成形阶段和正常卷绕阶段，管底成形阶段的级升距和上升动程逐渐增大，正常卷绕阶段级升距和上升动程保持不变[4]。

传统细纱机钢领板升降运动是将钢领板升降的数学模型转化为机械凸轮实现，该机械凸轮相对于前罗拉以一定的速度差（速比）转动。本系统中对钢领板升降运动的控制也基于该升降数学模型，该速度差（速比）的计算也用于钢领板控制的实现。

钢领板上升过程中其高度位置 Z ↑ 与凸轮转角之间的关系如公式（1）所示。

$$Z_{\uparrow} = \frac{H_0}{R-r}\left(R - \sqrt{(R^2-(R^2-r^2)\frac{\varphi_{\uparrow}}{\phi_{\uparrow}}}\right)$$ 公式（1）

钢领板下降过程中其高度位置 Z ↓ 与凸轮转角之间的关系如公式（2）所示。

$$Z_{\downarrow} = \frac{H_0}{R-r}\left(R - \sqrt{((R^2-r^2)\frac{\varphi_{\downarrow}}{\phi_{\downarrow}}+r^2}\right)$$ 公式（2）

式中，H_0 为钢领板动程，R 卷装半径即最大卷绕半径，r 为空管半径即最小卷绕半径，$\phi_{\uparrow}$ 为钢领板上升时对应凸轮转过的角度，$\psi_{\uparrow}$ 为钢领板上升时对应凸轮最大角度，程序中取值为 270°，$\phi_{\downarrow}$ 为钢领板下降时对应凸轮转过的角度，$\psi_{\downarrow}$ 为钢领板下降时对应凸轮的最大角度，程序中取值为 90°。

正常卷绕阶段级升距 H 计算如公式（3）所示。

$$H = 0.00948\frac{\sqrt{N_t}}{\rho \sin(\frac{\gamma}{2})}$$ 公式（3）

管底卷绕阶段级升距 Hi 计算如公式（4）所示。

$$Li = L_0 + i\frac{L_n - L_0}{n}$$ 公式（4）

Hi= i * H/n

式中，ρ 为管纱绕线密度，γ 为锥形角，Nt 为纱线号数，L0 为初始上升动程，Ln 正常上升动程，n 为管底成形次数。

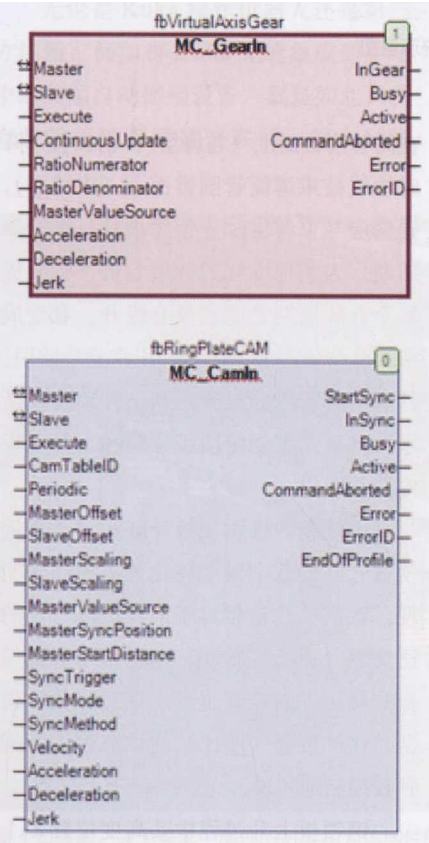

图 2 功能块引脚图示

根据卷绕成形的要求，钢领板升降一次在筒管圆锥面上所绕螺旋线的长度必须等于同一时间内前罗拉输出的实际纱长。凸轮每转一转所绕纱线长度如公式（5）所示，前罗拉与凸轮之间的传动比如公式（6）所示。

$$S_{\uparrow} + S_{\downarrow} = \frac{\pi(R^2-r^2)}{h_t Sin\gamma} * (1+\frac{1}{i_h})$$ 公式（5）

$$i_f = 2.11\frac{D^2-d^2}{d_f sin\gamma}\sqrt{T_t}$$ 公式（6）。

钢领板运动的控制实现

对钢领板的控制，本系统中是将其升降的数学模型转化为电子凸轮来实现，钢领板电机通过跟随虚拟轴，并按照公式（1）（2）所计算的凸轮曲线转动，该虚拟轴则以一定的速比跟随主轴编码器转动。

由公式（6）计算出速比后，通过运动控制的功能块 MC_GearIn 完成虚轴跟随主轴编码器动作，后以该虚轴作为电子凸轮的主轴，钢领板电机作为电子凸轮的从轴，通过功能块 MC_CamIn 控制钢领板电机同步跟随虚轴运动，而钢领板的级升则通过设定功能块 MC_CamIn 中的输入变量 slaveoffset 值实现。MC_GearIn 及 MC_CamIn 功能块引脚定义如图 2 所示。

钢领板升降运动的曲线可在 Motion Center 软件中利用 trace 功能可查看钢领板升降波形，钢领板升降波形如图 3 所示，图 3 中绿色实线表示虚轴位置，蓝色实线表示钢领板升降位置。钢领升降运动单个周期波形如图 4 所示，图 4 中绿色实线为虚轴位置，虚轴从 0 ~ 270° 运动时（T1），对应实轴钢领板电机上升；虚轴从 270 ~ 360° 运动时（T2），对应实轴钢领板电机下降；T3 位置时钢领板完成一次级升，并进行下一个周期动作[5]。

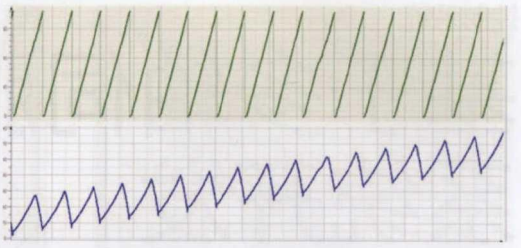
图 3 钢领板升降运动波形

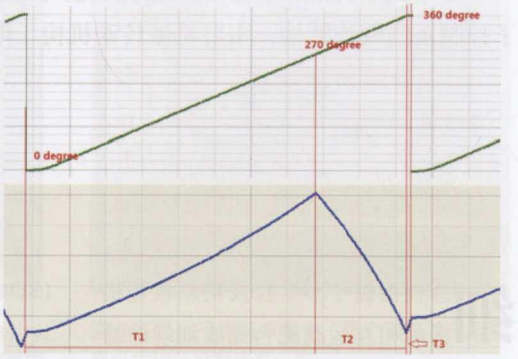

图 4 MotionCenter 中钢领板升降单个周期波形

罗拉参数计算及控制实现

前中后罗拉传动结构如图 5 所示，伺服电机通过减速机分别带动前中后罗拉，其中左、右侧前罗拉采用独立同步控制，前罗拉跟随主轴编码器以速度模式转动；中罗拉采用车头尾、左右侧独立同步控制，后罗拉也采用车头尾、左右侧独立同步控制。

前罗拉电机的转速根据公式（7）、（8）、（9）计算而得，中罗拉及后罗拉的转速由前罗拉转速、牵伸倍数及后区牵伸倍数计算而得。系统根据计算所得的各转速值，采用 MC_Movevelocity 功能块进行前中后罗拉速度控制，系统通过外加传感器实时监控各罗拉的速度。

式中，N_f、N_m、N_b 分别为前、中、后罗拉的转速，D_f、D_m、D_b 分别为前、中、后罗拉的直径，E_b 为后区牵伸倍数，E 为牵伸倍数。

锭子多段速度控制

锭子速度是影响纱线张力的主要因素之一。为了控制纱线张力，锭子在不同的纺纱阶段（大、中、小纱）通过设定不同的锭速进行纱线张力的控制，本系统根

$N_f = \frac{n_s}{\pi \cdot T \cdot D_f}$ 公式（7）

$N_m = \frac{N_b}{\pi \cdot D_m \cdot E_b}$ 公式（8）

$N_b = \frac{N_f}{\pi \cdot D_b \cdot E}$ 公式（9）

据实际纺纱长度可在人机界面上设定 10 段锭速，该速度也可由用户自行设定。

结束语

MOCM 运动控制器及 SOCM 多轴伺服驱动器在细纱机上的应用，可有效降低安装空间，通过配置 EOE（Ethernet over EtherCAT）的通讯方式，可通过上位控制器直接对伺服驱动器进行调试。由于多轴伺服驱动器共用同一供电模块，该电源模块与锭子变频器共直流母线，在降低设备制造成本的同时也有效的降低了设备能耗。

另外，细纱机采用车头尾双向同步驱动，前中后罗拉与钢领板升降的单独传动，简化了机械传动结构，能适应长车细纱机的高速生产，但同时对各伺服电机的同步性有较高的要求，否则容易产生意外牵伸导致纱支不匀。MM

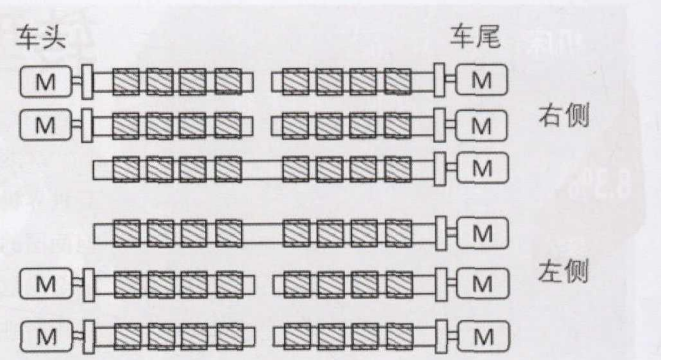

图 5 前中后罗拉传动示意图

参考文献：

[1] 潘庆云，马崇启 . 数字化小样细纱机的开发 [J]. 天津工业大学学报，2007,26(6):7-9.

[2] 张伟，范真等 . 电子细纱机主传动系统的设计探析 [J]. 现代制造技术与装备，2016，234(5):102- 104.

[3] 陈人哲 . 纺织机械设计原理上册 [M]. 北京：中国纺织出版社，1996.247-260.

[4] 唐海燕 . 施耐德电气电子凸轮（CAM）在环锭细纱机卷绕成形上的应用 [J]. Automation panorama，2014:112-114.

[5] LTI Motion. MOCM Application Manual[Z].2017.05.

广告