

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.020

# 基于 ARM 的磨光拉丝机数控系统

周永洪

(广州数控设备有限公司系统研发一室, 广州 510530)

**摘要:** 为了克服液压拉丝机的弊端, 设计一种基于 ARM 的嵌入式数控系统。在介绍磨光拉丝机数控系统的工作原理与组成结构的基础上, 利用数字光栅千分表对磨辊的进行数据测量并补偿, 对送给伺服电机的进给脉冲频率进行加减速控制。重点介绍了插补与位置控制的数据流程与实现方法, 根据提供的直线信息进行直线插补, 将插补出的数据存入位控缓冲区节点中, 并将此节点写入位控缓冲区。插补模块的处理过程满足位控条件, 位控模块可以连续地输出控制信息, 位控数据送入 FPGA, 产生脉冲序列, 实现对伺服电机的位置控制。实践生产证明: 该系统设计方案运行状态良好, 使数控系统满足磨光拉丝的高速度和高精度的加工要求。

**关键词:** ARM; FPGA; 数控系统; 插补; 位控缓冲区; 磨光; 拉丝

**中图分类号:** TP271 **文献标志码:** A

## CNC System of Grinding and Carving Machine Based on ARM

Zhou Yonghong

(No. Chamber of System Research &amp; Development, Guangzhou CNC Equipment Co., Ltd., Guangzhou 510530, China)

**Abstract:** A kind of embedded CNC system based on ARM is designed to resolve the problems of the current hydraulic pressure grinding and carving machine. Based on introducing the structure and elements for grinding and carving machine of CNC system, the roller is measured data by digital raster micrometer and compensated. The feed pulse that is controlled by accelerating and decelerating is sent to servomotor. The interpolation and position controlled technique of data stream is introduced importantly. When the beeline interpolation based on the provided beeline information, the CNC system get the interpolation data and save it to a node of position controlled buffer, then write it in the position control buffer. The interpolation with disposed process is satisfied with the position controlled of condition. The position-controlled module can export the controlled information. The position-controlled data is sent to FPGA, make the feed pulse stream, realize the position controlled of servomotor. By the practiced production, the CNC system is running well and can be used for the grinding and carving machine which can be fit to the high speed and high precision cutting condition.

**Key words:** ARM; FPGA; CNC system; interpolation; position control buffer; grind; carve

### 0 引言

磨光拉丝机是制粉行业中对用于磨粉机上的磨辊进行加工的一种专用机械设备, 主要进行磨光和拉丝。磨辊表面的拉丝质量与磨光效果直接制约着制粉的产量、质量和电耗等指标。

因为传统的液压磨光拉丝机自动化程度低, 磨辊斜度轨道与滑块在长期使用中磨损, 导致间隙量过大, 直接影响了螺纹丝的斜率, 拉丝时到最后出现半条齿, 磨辊磨光的中凸度不能保证高精度要求。为了克服液压拉丝机的弊端, 提高拉丝机的自动化程度, 笔者设计一种基于 ARM 的嵌入式数控系统。

## 1 磨光拉丝机数控系统的工作原理与结构

### 1.1 磨光原理

磨光是高速旋转的砂轮, 对磨辊进行磨削加工, Z 轴伺服电机通过滚珠丝杆带动横向工作台, 做往

返运动。粗磨时, 横向工作台做往返直线运动; 精磨时, Z 轴横向工作台和 X 轴砂轮按补偿后曲线进行联动磨削。整个磨光过程中, 磨辊由交流异步电机带动旋转。

### 1.2 拉丝原理

拉丝时, 拉丝刀放下, 数控分度头 C 轴和横向工作台 Z 轴进行联动插补, 联动关系由拉丝斜率、磨辊的长度、直径和总齿数决定, 拉丝刀在磨辊表面进行切削加工, 形成一定深度及角度的凹槽。退刀时, 拉丝刀抬起, 横向工作台 Z 轴快速返回拉丝起点, 数控分度头 C 轴快速反向旋转后, 再正向旋转, 并进一条齿, 做好下一次拉丝准备工作。总的齿数拉丝结束时, 拉丝刀再进给一定深度, 重复下一圈的拉丝, 直到满足齿深要求, 重复拉的齿与上次拉的齿重合。

收稿日期: 2011-12-22; 修回日期: 2012-01-13

作者简介: 周永洪(1973—), 男, 四川人, 工程师, 从事数控系统的插补与运动控制研究。

### 1.3 数控系统磨光拉丝机组成结构

数控系统磨光拉丝机组成结构如图 1 所示。

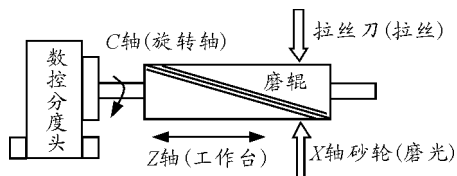


图 1 磨光拉丝机示意图

磨光拉丝机控制系统具有 3 套交流伺服系统和 1 个手摇脉冲发生器，2 路光栅数据测量，采用 ARM+FPGA 的 3 轴运动控制模式。Z 轴和 C 轴(数控分度头)的联动可以完成拉丝过程，拉丝刀由气阀控制其进刀或退刀，而 Z 轴和 X 轴的联动可以完成磨光的过程(磨光时 C 轴以恒速旋转，由交流旋转电机完成，不用伺服电机)，并根据测量所得磨辊表面的曲线进行补偿，实现磨辊的中凸度精磨。手摇脉冲用来校正、对刀、清砂轮和粗磨等手动进给操作。

## 2 磨光拉丝机数控系统硬件设计

该磨光拉丝机数控系统的中央处理单元采用 ATMEL 公司的 16/32 位 RISC 处理器 AT91SAM9261，它基于 ARM 926EJ 内核，运算速度 200 MHz，支持 TFT LCD 控制器，USB2.0 全速主机端口，非常适合数控系统的设计。

NOR FLASH 用于存储应用程序，SDRAM 用于加载应用程序等可执行代码和数据，为其运行提供空间。铁电存储器采用 FM18L08，用于存储器断电需要保存的磨光和拉丝工艺参数，以及进给轴坐标等关键数据。

FPGA (field programmable gate array) 采用 Lattice 公司的 LFXP2C-3Q208C 芯片来实现精插补运算等功能。在系统中，FPGA 接受 ARM 送来的控制指令和数据信息执行插补运算，产生控制伺服电机运转的脉冲序列，并通过接口将脉冲序列送到伺服电机驱动器。另外，FPGA 与手摇脉冲发生器相连接，能识别其输出的信号与方向并计数，计数结果存放在寄存器中，供 ARM 读取，并控制电机的方向与位置；实现 IO 地址译码、2 路 90°相位差光栅输入信号的采集，用于测量磨辊表面的曲线等。

USB 主机端口可以接 U 盘，用于控制软件的升级、参数的备份、保存磨辊表面测量的曲线及数据。

外围电路还包括时钟模块、人机界面模块等，

如图 2 所示。

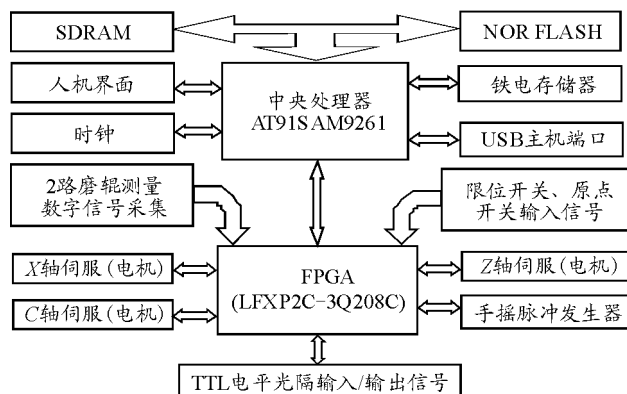


图 2 磨光拉丝机数控系统结构图

ARM 具有较强的事务管理功能，可以运行具有良好人机界面的多线程应用程序，其优势主要体现在程序控制上。FPGA 具有较强的逻辑运算能力，可用于进行插补运算及运动控制等。通过开发应用程序实现信息输入、运动显示和粗插补等功能；整个系统具有结构紧凑、集成度高、可靠性强和友好人机交互等特点。

## 3 磨光拉丝机数控系统软件设计

根据磨光拉丝机数控系统所要实现的功能，可以将系统的软件主要分为几个模块：人机界面模块、数据处理模块、插补模块、位控模块、数据采集与处理。其中，人机界面模块包括磨辊的磨光工艺参数、拉丝齿数与斜率，加工过程中的运行速度的设置，启动自动拉丝、粗磨、精磨、清砂轮、磨辊外圆测量与补偿等模块。

磨光拉丝机数控系统的人机界面设计充分考虑了用户操作的方便和简单，没用采用传统车铣床数控系统加工时，需要用户编写零件加工程序，而是输入工艺参数就可完成磨光与拉丝过程。数控系统数据传递流程如图 3。

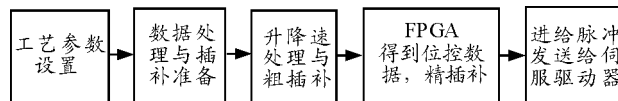


图 3 数控系统数据传递流程图

### 3.1 数据处理模块

磨光拉丝机数控系统数据处理不经过传统车铣床数控系统编写零件加工程序、译码和刀具补偿等流程，而是由操作员输入的磨辊的工艺参数，系统自动计算出控制系统需要的控制参数，并送给插补模块。

### 3.1.1 精磨数据测量与补偿

在精磨操作之前，应先对磨辊进行数据测量。系统共有 2 路数字光栅千分表进行测量，测量所得的数据记录在数据表的测量 1 和测量 2 内。在精磨操作之前，应先调出数据表文件，然后在参数设置中修改标准值和插补值。精磨是根据修改标准值和插补值后计算得到的实际线，X 轴砂轮和 Z 轴工作台联动，磨出实际线所示的轨迹，从而更正机床误差，磨出用户需要的曲线，最终能磨成标准线所示的磨辊。

### 3.1.2 拉丝数据的准备

磨辊经过精磨后，需要对其进行拉丝。拉丝之前，需要设定磨辊长度、磨辊直径、拉丝齿数，齿深、齿顶宽、齿条斜率、拉丝速度、返程速度，分度头消除间隙的旋转角度等数据。数控系统根据上述信息，进行拉丝预处理，将总齿数分配到整个圆周上，从而在数控系统内存中准备好伺服电机运动的轨迹与速度、及联动关系等，数据表以双向动态链表的形式存放，供插补调用。

## 3.2 自动升降速控制与插补模块

### 3.2.1 自动升降速控制

为了保证拉丝机在加工启动或停止时不产生冲击、过冲、丢步，必须对送给伺服电机的进给脉冲频率进行加减速控制<sup>[1]</sup>。即机床起动机时，以起动机速度开始升速，每个插补周期内逐渐增加速度，使伺服电机平稳升速到目标速度；而机床需停止时，伺服电机速度逐渐减小到起动机速度。这样的升降速曲线满足电机的特性曲线，能快速有效地保证电机的精确位置控制。

### 3.2.2 直线插补原理

本系统采用基于数据采样法<sup>[2]</sup>的粗精两级插补结构，插补周期为 2 ms。插补直接影响系统的实时性、运动控制和加工精度，是本系统的一个重要环节。从图 3 可见，粗插补计算结果通过位控缓冲区发送到 FPGA 进行精插补运算。数控系统的直线插补模块部分的主要用途是根据提供的直线信息进行直线插补，将插补出的数据存入位控缓冲区节点中，然后将此节点写入位控缓冲区。

### 3.2.3 直线插补采用的算法

根据本系统的要求和适用范围，选用了时间分割插补法。这种方法是每隔时间  $T_{ms}$  进行一次插补

运算。即先通过速度计算，按进给速度  $V_i$  (mm/min) 计算  $T_{ms}$  内的合成进给量  $f$ ，然后进行插补运算，并送出  $T_{ms}$  内各轴的进给量(脉冲数)和进给速度(脉冲数/s)。

要加工直线起点为  $O(x_o, y_o, z_o)$ ，终点为  $P(x_e, y_e, z_e)$ ，设插补周期为  $T$ ，第  $i$  个周期的进给速度为  $V_i$ ，则第  $i$  个周期在  $x, y, z$  方向的进给量  $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$  为：

$$\begin{cases} \Delta x_i = V_i T \cos \alpha = \frac{V_i(x_e - x_o)T}{\sqrt{(x_e - x_o)^2 + (y_e - y_o)^2 + (z_e - z_o)^2}} = \lambda_x V_i \\ \Delta y_i = V_i T \cos \beta = \frac{V_i(y_e - y_o)T}{\sqrt{(x_e - x_o)^2 + (y_e - y_o)^2 + (z_e - z_o)^2}} = \lambda_y V_i \\ \Delta z_i = V_i T \cos \gamma = \frac{V_i(z_e - z_o)T}{\sqrt{(x_e - x_o)^2 + (y_e - y_o)^2 + (z_e - z_o)^2}} = \lambda_z V_i \end{cases}$$

其中：

$\alpha$  为刀具移动方向  $OP$  与  $X$  轴的夹角；

$\beta$  为刀具移动方向  $OP$  与  $Y$  轴的夹角；

$\gamma$  为刀具移动方向  $OP$  与  $Z$  轴的夹角；

第  $i$  个周期刀具在  $x, y, z$  方向的进给位置  $(x_i, y_i, z_i)$  为：

$$\begin{cases} x_i = x_{i-1} + \Delta x_i \\ y_i = y_{i-1} + \Delta y_i \\ z_i = z_{i-1} + \Delta z_i \end{cases}$$

## 3.3 位控模块

位控缓冲区的作用是缓存粗插补的位控数据，保证 FPGA 精插补(即位控)能连续取得粗插补数据。插补和位控是数控加工过程中紧密相连的 2 个任务，插补是位控的数据准备，位控是插补的数据执行，在位控时必须保证插补已经计算出了需要的数据这一基本条件。要保证位控条件，方法是使用位控缓冲区，将插补出的数据存储在此缓冲区中供位控使用，

位控缓冲区位于数控核心内，是一个固定尺寸的结构数组，尺寸的大小根据系统需要而定，其表现形式为一个先入先出(FIFO)的数据队列，其存取模式如图 4 所示。

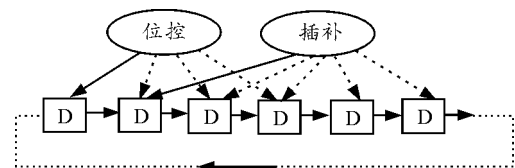


图 4 存取模式

对于位控缓冲区的操作，插补模块的处理过程必须满足位控条件，即在连续插补过程中，插补过程产生的数据必须保证位控缓冲区非空，使得位控模块可以连续地输出控制信息。

### 4 结语

磨光拉丝数控系统充分利用了 ARM 的管理能力和 FPGA 的逻辑计算能力，硬件组成简单，软件开发方便，实时性好、稳定性高、可满足磨光拉丝的高速度和高精度的加工要求。该系统设计方案已实际运用于磨辊的磨光拉丝加工中，运行状态良好，

\*\*\*\*\*

(上接第 67 页)

当 BeiLv 小于 700 时，

$$IRDif1sFire = IRDifFire \times (BeiLv + 100) \quad (4)$$

即红外火警 1 s 积分阈值 IRDif1sFire 是红外 1 ms 火警阈值 IRDifFire 的 100, 200, 300, …, 800 倍中的一个值；

当温度不在上述 4 个温度点时，IRDif1sFire 按照式 (2) 的计算结果，判断 BeiLv 大于或小于 700 后分别代入式 (3) 或式 (4) 计算得出。

### 3.3 紫外火警阈值

对于紫外管，程序中用灵敏度最低的紫外管的参数固化，不作修改。

### 4 红外光敏管的老化补偿

红外光敏管在高温环境中长时间工作易发生老化，表现为暗电阻增大，工作时回路电流减小，受红外光照时电压变化量减小，此时需适量减小红外火警阈值，其补偿算法为：

$$\text{补偿后阈值} = \frac{\text{红外当前电压} - \frac{1}{4} \times \text{红外初始电压}}{\frac{3}{4} \times \text{红外初始电压}} \times \text{补偿前阈值}$$

其中“红外初始电压”是出厂前第一次运行程序时自动写入 EEPROM 的；“红外当前电压”是程序当

与传统的液压拉丝机相比，具有加工精度较高、人机交互友好和拉丝过程中可以无人值守等优点，改变了传统的液压拉丝机的磨辊的丝纹分度不均匀、接头不重合和斜率受机床斜度滑槽影响等现象，提高了拉丝机的加工精度与效率。

### 参考文献：

[1] 任玉田, 焦振学, 王宏甫. 机床计算机数控技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.

[2] 冯勇, 霍勇进. 现代计算机数控系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.

次运行时的基准电压。

由上述式子可得：若红外当前电压=红外初始电压，则补偿后阈值=补偿前阈值；

$$\text{若红外当前电压} = \frac{3}{4} \times \text{红外初始电压，则补偿后}$$

$$\text{阈值} = \frac{2}{3} \times \text{补偿前阈值。}$$

以程序中的变量对应上述式子可写成：

$$IRDifFire = \frac{(*CurrIRV) - (*InitIRV) / 4}{(*InitIRV) \times 3 / 4} \times IRDifTmp \quad (5)$$

### 5 结论

通过对大量光学探测器的高低温灵敏度试验和随整车在靶场的实弹射击试验证明：进行了软件温度补偿和老化补偿的光学探测器，在-40~55℃的温度变化范围内，其灵敏度变化在 3 cm 左右，防误报性能完全可以满足国军标对光学探测器的要求。

### 参考文献：

[1] 陈凯, 韩仁辉, 王春杰. 军用车辆装备体系效能评估[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(12): 21.

[2] 粟志坚, 胡锐. 浅谈点型光学探测器的特性、选型和应用[J]. 消防设备研究, 2004(23): 362-363.