

文章编号:2095-7386(2022)02-0102-05

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2022.02.017

基于 PLC 小型雕刻机的 X/Y 轴控制系统设计

田龙阳,杨红军,鲁力,戢绍庭,陈家林
(武汉轻工大学 机械工程学院,武汉 430023)

摘 要:针对小型雕刻机的 X/Y 轴控制,设计了一款基于 FX3U-64MT/ES-A 型 PLC 与 FX2N-20GM 定位模块相结合的双轴控制系统,其中 PLC 主单元进行系统的整体逻辑控制,定位模块进行 X/Y 轴的定位和插补控制。根据控制系统的需求,结合 PC 机与 HMI 的应用,完成了控制系统的硬件部分和软件部分的设计。该系统具有可靠性高、可拓展性强、人机交互方便、易于操作等特点。

关键词:X/Y 轴控制;PLC;定位模块;插补;HMI

中图分类号:TS212.3

文献标识码:A

The design of X/Y axis control system of small engraving machine based on PLC

TIAN Long-yang, YANG Hong-jun, LU Li, JI Shao-ting, CHEN Jia-lin

(School of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: Aiming at the X/Y axis control of small engraving machine, a dual axis control system based on FX3U-64MT/ES-A PLC and FX2N-20GM positioning module is designed. The PLC main unit controls the overall logic of the system, and the positioning module controls the positioning and interpolation of X/Y axis. According to the requirements of the control system, combined with the application of PC and HMI, the hardware and software of the control system are designed. The system has the characteristics of high reliability, strong expansibility, convenient human-computer interaction and easy operation.

Key words: X/Y axis control; PLC; positioning module; interpolation; HMI

1 引言

目前,国内外商业化数控机床性能强大、精度高、工艺范围广,但是对于小型加工和不需要高精度的工艺品加工等,容易造成设备性能的损耗,而且也存在体积大、质量重、采购和维护成本高、操作要求多等问题。雕刻机的出现弥补了诸如铣床、钻床、车床等通用数控机床加工功能单一的缺陷^[1]。小型雕刻机体

积小、质量轻、价格低、易维护、精度达标,在小型加工行业以及高校数控教学的使用中越来越受欢迎^[2]。

小型雕刻机的 X/Y 方向的水平运动,采用步进电机控制驱动完全可以达到精度要求,现在步进电机的主流控制方式是采用单片机、PLC(可编辑逻辑控制器)、定时程序控制器、高性能 DSP 控制等。虽然单片机体积小,却具有更强的数据处理能力,能执行较复杂的控制算法,但是单片机也存在抗干扰能

收稿日期:2022-03-30.

作者简介:田龙阳(1996-),男,硕士研究生,E-mail:1903583676@qq.com.

通信作者:杨红军(1976-),男,博士,副教授,E-mail:hongjun_yang@163.com.

力差、不易扩展、开发周期长等缺点。尽管 PLC 在价格上比单片机略高,但是其模块化、紧凑型的设计可实现最高标准工业通信的通信接口,有强大的集成技术功能^[3],其性能稳定、易于扩展、通用性好、可连接触摸屏,便于人机交互^[4],广泛的应用于各行业的自动化控制系统中,因此,在小型雕刻机中采用 PLC 控制步进电机是一种比较理想的控制方式。

2 系统设计整体方案

2.1 机械运动部分

小型雕刻机要实现 X 轴、Y 轴、Z 轴三个坐标轴的进给运动控制,以及主轴转速的控制,其工作过程类似于数控车床和铣床,三维模型如图 1 所示。其中,X/Y/Z 轴的进给系统的传动装置采用滚珠丝杠副,如图 2 所示,滚珠丝杠传动具有精度高、分辨力高、空程和回程误差小以及自锁功能等优点^[5],配合相应的控制系统使用可实现精确定位。滚珠丝杠的导程 S 和步进电机的转速大小共同决定了 X/Y 轴方向的进给速度,导程 S 可由以下公式求出:

$$S = \frac{1000V_{max}}{in_{max}} \quad (1)$$

其中 V_{max} (m/min) 为执行件的最大移动速度, i 为传动比, n_{max} (r/min) 为步进电机的最高转速。分别取 V_{max} 为 1.5 m/min, 传动比 $i = 1$, n_{max} 为 300 r/min, 可求出 S 等于 5 mm。

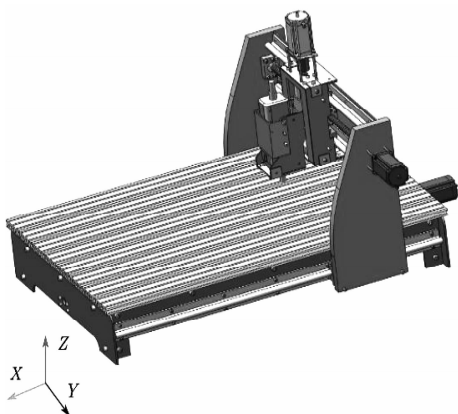


图 1 小型雕刻机图

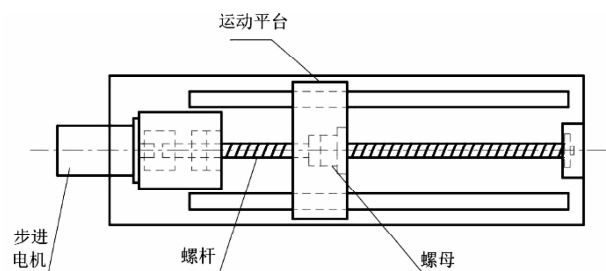


图 2 滚珠丝杠传动简图

根据雕刻机的工作运行特点,分别采用不同种类的电机驱动相应的轴。从设备的工作情况需要及成本等方面综合考虑,主轴驱动采用三相交流异步电机,结构简单,运行可靠;Z 轴采用伺服电机驱动,有较强的速度和转矩过载能力,快速启停性能好;X/Y 轴采用步进电机驱动,开环控制的方式更简单,价格较低。因为 X/Y 轴的运动需要进行插补运算,比 Z 轴的运动形式复杂,故此处主要针对 X/Y 轴的控制进行研究。

2.2 X/Y 轴控制系统方案

步进电机可以将电脉冲信号转变为角位移或线位移,每输入一个脉冲信号,电机输出轴便转动一定的角度或前进一步。步进电机输出轴的角/线位移量与输入脉冲数成正比,转速与输入的脉冲频率成正比^[6],步进电机转向可由改变控制绕组的通电顺序来控制,只需要控制脉冲数量、频率和电机绕组的相序,就可获得所需的转角、转速和方向。X/Y 轴的进给运动是由步进电机带动滚珠丝杠机构完成的,通过改变步进电机的正反转就可以控制 X/Y 轴的运动方向,改变步进电机的转速可以控制 X/Y 轴的运动的速度,最后通过限位开关确定 X/Y 轴方向进给运动的极限位置。

控制方式为 PLC 输出信号到定位模块,定位模块对输入信号处理后再发出脉冲指令到步进电机驱动器,进而完成对步进电机的控制。其中 PLC 及定位模块的程序需由上位机 PC 机完成后输入,操作控制由 HMI(人机界面)完成输入,系统整体流程如图 3 所示。

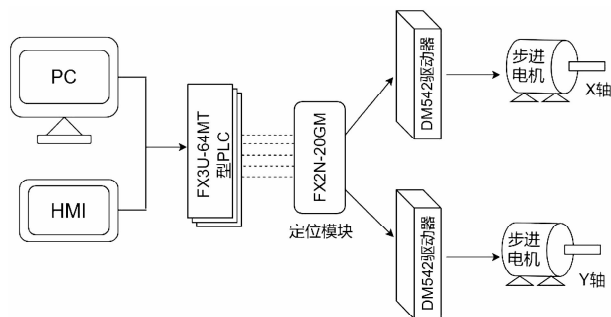


图 3 系统控制流程图

3 控制系统硬件设计

3.1 硬件的选型及接线设计

本控制系统硬件主要由 PC 机、HMI(触摸屏)、FX3U-48MT/ES-A 型 PLC、FX2N-20GM 定位模块、DM542 步进电机驱动器、56BYG250C 步进电机、限位开关、电源等组成。其中 PLC 与定位模块、步

进电机驱动器、步进电机的接线原理图如图 4 所示,且 Y0、Y1、Y2 可输出高频脉冲,可为系统后续添加 Z 轴控制及主轴控制提供信号输出接口。

FX3U-48MT/ES-A 型 PLC 为晶体管型,输入点数 24,输出点数 24,I/O 口数量完全满足系统的需求,

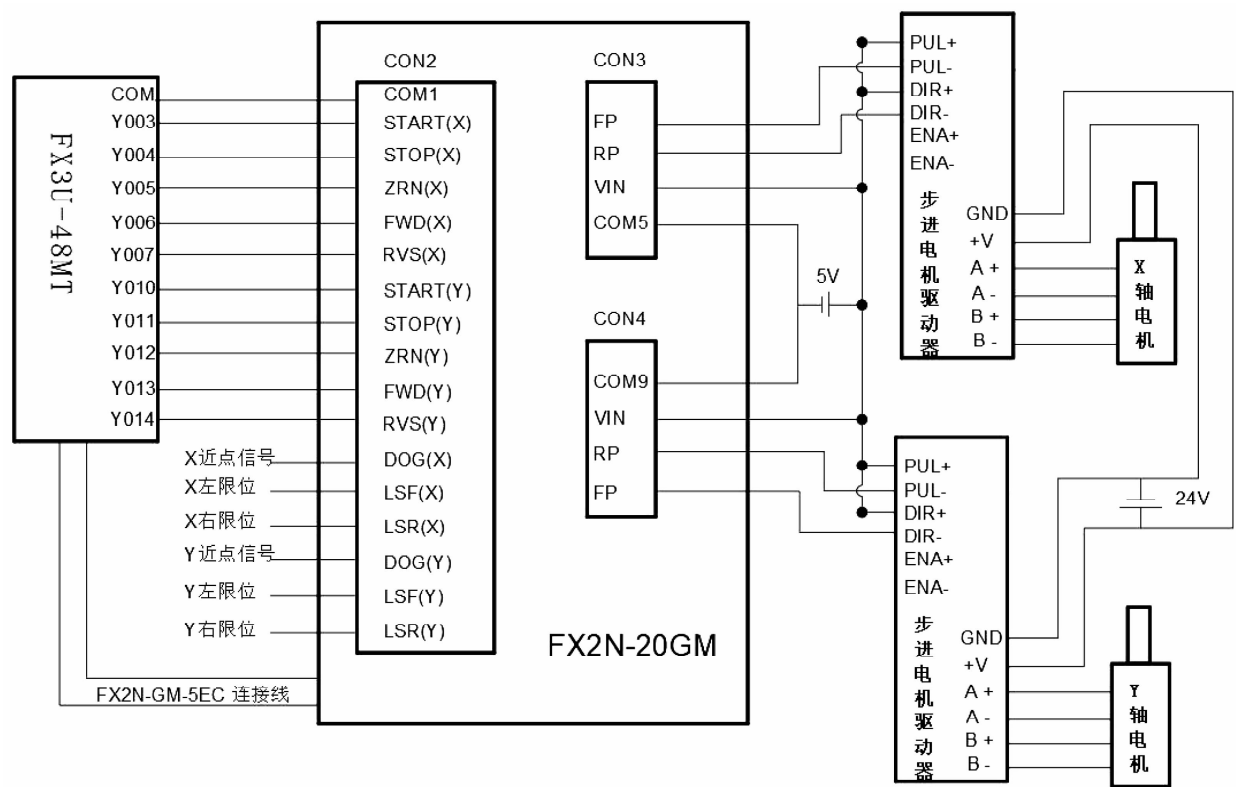


图 4 步进电机的接线原理图

FX2N-20GM 定位模块,是输出脉冲序列的专用单元,其具有线性插补和圆弧插补功能,可以同时控制两根轴,配有专用的定位语言(cod 指令)和顺序语言,通过连接电缆 FX2N-GM-5EC 和 PLC 主单元相连,也可单独使用。定位模块内部的缓冲存储器(BFM)和 PLC 的 FROM/TO 指令结合使用,通过扩展电缆可以实现 PLC 主单元与定位模块 FX2N-20GM 的通信。其中 FROM 指令是把 BFM 中的内容读到 PLC 中,TO 指令是 PLC 中的内容写入 BFM 中。

DM542 步进电机驱动器有 8 个 DIP 开关(拨码

开关),SW1、SW2、SW3 设置驱动器的输出相电流,SW4 可选择有半流功能、无半流功能两种控制方式。驱动器可将电机每转的步数分别设置为 400、500、800、100 0、125 0、160 0、200 0、250 0、320 0、400 0、500 0、640 0、800 0、100 00、128 00 步,可以通过驱动器 DIP 的 SW5、SW6、SW7、SW8 位来设置驱动器的步数。本控制系统 DIP 开关情况如表 1 所示,SW1、SW2、SW6 为 ON,其余为 OFF,电机每转的步数为 100 0,PEAK(峰值电流)2.84 A,RMS(均值电流)2.03 A;步进电机 56BYG250C-SASSBL-0241 两相混合式,步距角 1.8°。

表 1 DIP 开关情况表

DIP	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6	SW7	SW8
开关情况	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
输出	PEAK;2.84A RMS;2.03A		半流功能		步数:100 0			

3.2 PLC 的 I/O 地址分配

PLC 主单元的输入控制信号需要 14 个开关量输入点,输出信号需要 10 个开关量点,根据所要实

现的控制功能,I/O 地址分配表如表 2 和表 3 所示。X、Y 轴的限位信号及近点 DOG 信号与定位模块 FX2N-20GM 的 CON2 相应端子相连。

表 2 PLC I/O 地址分配表(输入)

输入端子	输入元件	作用	输入端子	输入元件	作用
X000	SB1 常开触点	启动	X007	SB8 常开触点	X 手动复位
X001	SB2 常开触点	X + 点动	X010	SB9 常开触点	Y 手动复位
X002	SB3 常开触点	X - 点动	X011	SB10 常开触点	Y 慢速
X003	SB4 常开触点	Y + 点动	X012	SB11 常开触点	Y 快速
X004	SB5 常开触点	Y - 点动	X013	SB12 常开触点	自动
X005	SB6 常开触点	X 慢速	X014	SB13 常开触点	手动
X006	SB7 常开触点	X 快速	X015	SB14 常开触点	停止

注:X +、X -、Y +、Y - 分别表示 X 轴正向、负向,Y 轴正向、负向

表 3 PLC I/O 地址分配表(输出)

输出端子	输出元件	作用	输出端子	输出元件	作用
Y003	STAR(X)	X 自动操作	Y010	STAR(Y)	Y 自动操作
Y004	STOP(X)	X 停止	Y011	STOP(Y)	Y 停止
Y005	ZRN(X)	X 回零点	Y012	ZRN(Y)	Y 回零点
Y006	FWD(X)	X 手动正向	Y013	FWD(Y)	Y 手动正向
Y007	RVS(X)	X 手动逆向	Y014	RVS(Y)	Y 手动逆向

注:输出元件为 FX2N-20GM 的 CON2 端子

4 系统软件设计

4.1 软件功能

主控制器采用 FX3U-64MT/ES-A 型 PLC,控制程序用 GX Works2 编写梯形图;FX2N-20GM 采用 FX-VPS-E 专用软件编写插补程序,需要完成以下功能:

(1)按下按钮 SB1,系统开机,随后完成 X、Y 轴的自动复位,且在自动复位未完成时,有电路锁定作用,即使误按下 X/Y 正反转也对 X/Y 轴电机无影响;

(2)按下按钮 SB12 后,设备先返回零点,后进入自动运行状态;

(3)按下按钮 SB13 后,设备自动运行状态结束,进入手动操作状态;

(4)在手动运行状态下,在按下按钮 SB6(SB7)松开后,按下按钮 SB2(SB3)可实现 X 轴的正(反)转点动控制,其中 SB6、SB7 分别为 X 轴慢速、快速选择按钮,SB2 和 SB3,SB6 和 SB7 电路互锁,且与 Y 轴的运动互不干扰;

(5)在手动运行状态下,在按下按钮 SB10(SB11)松开后,按下按钮 SB4(SB5)可实现 Y 轴的正(反)转点动控制,其中 SB10、SB11 分别为 Y 轴慢速、快速选择按钮,SB4 和 SB5,SB10 和 SB11 电路互锁,且与 X 轴的运动互不干扰;

(6)在手动运行状态下,按下按钮 SB8(SB9)松开后,X 轴(Y 轴)复位;

(7)X、Y 轴两端设置有限位保护功能,保证 X、Y 轴的行程安全;

(8)按下按钮 SB14 后,设备停止运行;手动状态和自动状态有互锁保护。

4.2 HMI 与 PLC 连接

HMI 人机界面让使用者与系统之间交互更为方便,结合 PLC 的特点,HMI 的使用将会使控制系统工作更可靠、操作更方便,更能够适应经常变化的生产工艺要求^[7]。触摸屏采用 SIEMENS700 IE V3 型号,该型号除了可以和西门子 PLC 以太网或者串行连接,也可以和三菱 FX 系列进行串行连接通信,触摸屏和 PC 采用 LAN 电缆进行连接通信。利用开发环境提供的界面素材进行开发,具有界面简洁、开发工作量低、效率高的优点^[8],触摸屏的操作面板设计如图 5,共有 14 个控制按键,每个按键分别实现相对应的控制功能,也可以与前文所述的按钮操作共同使用。

将控制程序写入 PLC 及定位模块后,通过相应的 SB 按钮可以正常控制 X/Y 轴的启动、快慢速点动、手动复位等动作;在 PC 端对 HMI 组态完成并与 PLC 连接后,通过操作面板的按键,也可以正常完成相应的 X/Y 轴动作。

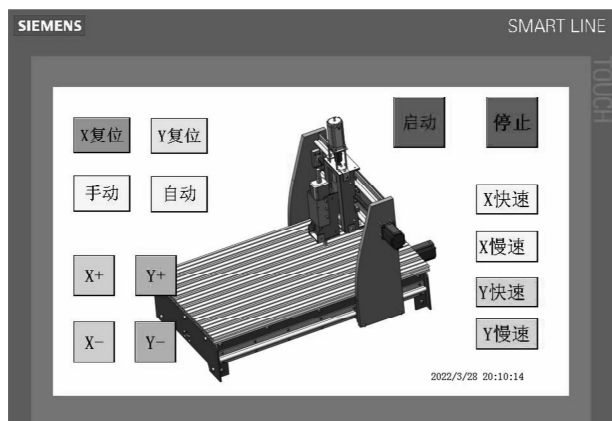


图5 触摸屏操作面板图

5 总结

本设计以 FX3U 系列 PLC 为主控制器,结合 FX2N-20GM 定位模块,通过步进电机驱动器对小型雕刻机 X/Y 轴步进电机控制,从而实现 X/Y 轴的进给运动。在后期进行扩展加入对 Z 轴及主轴的控制后,即可组成一款低成本、小体积的经济型数控雕刻加工机床,结合相应的软件及加工程序,可通过触摸屏控制及监视工件的加工过程。该系统具有抗干扰能力强,性能安全可靠,调试容易,操作直观方便等优点,在高校实验室数控教学及小型工艺品的单个或批量加工等方面有较高的实用性和应用前景。

参考文献:

- [1] 贾吉林,胥光申. 数控雕铣加工技术及设备的现状及发展[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(1): 203-207.
- [2] 马聪玲. 桌面级数控雕刻机的研制[D]. 汉中: 陕西理工大学, 2021.
- [3] 张安洁. 西门子 PLC 与 G120C 变频器在搅拌机转速控制系统设计中的应用[J]. 电子世界, 2021(18): 136-138.
- [4] 蔡东松, 董曾勇. 基于 PLC 控制的步进电机在三轴雕刻机上的应用[J]. 哈尔滨轴承, 2017, 38(3): 30-37.
- [5] 张铎, 蔡晓君, 周士达. 小型数控雕刻机控制系统设计[J]. 新技术新工艺, 2014(4): 28-31.
- [6] 金秀, 张勇嘉, 杨文华等. 基于 PLC 的步进电机非线性运动控制[J]. 自动化应用, 2021(3): 70-72.
- [7] 吴文通, 谢世坤, 周国袖. 基于 HMI 和 PLC 的步进电机控制系统设计[J]. 井冈山大学学报, 2019, 40(6): 59-62.
- [8] 李敏, 胡彬铤, 王慧. 基于 PLC + HMI 的桌面型雕铣系统设计与开发[J]. 价值工程, 2020, 39(21): 174-176.

(上接第 85 页)

- [6] 梁敏. 小城镇风貌控制规划研究[J]. 小城镇建设, 2020, 38(5): 20-28.
- [7] 张磊, 叶裕民, 孙玥, 陈蛟. 特大城市城乡结合部村庄分类研究与特征分析——以广州市农村地区为例[J]. 城市规划, 2019, 43(6): 47-54.
- [8] 黄亚平. 从“小依附”到“大融合”: 城郊型小城镇发展模式与路径研究——以武汉市五里

- 界为例[A]. 中国城市规划学会. 城乡治理与规划改革——2014 中国城市规划年会论文集[C]. 中国城市规划学会: 中国城市规划学会, 2014: 10.
- [9] 陈存友, 胡希军, 郑伯红. 城郊型县域城镇空间结构优化策略——以长沙市望城县为例[J]. 城市发展研究, 2010(3): 51-55.