

江南大学

硕士学位论文

基于U盘技术的经济型数控雕刻机的软硬件设计

姓名：陈涛

申请学位级别：硕士

专业：机械设计及理论

指导教师：吕彦明

20080701

摘 要

雕刻机的数控系统是数控雕刻机的控制核心，其控制功能的强弱、控制性能的优劣直接关系到数控雕刻机的加工质量与加工效率，对整个雕刻机的性价比和市场竞争力都至关重要。本文针对国产数控雕刻机现状和市场需求，研制开发基于单片机读取 U 盘信息的应用系统。

本文围绕市场调研提出的雕刻机数控系统功能和性能要求，拟定了控制系统的总体方案，完成了控制系统的软硬件设计开发。硬件上，主芯片采用 ATMEL 公司生产的 AT89S52 作为控制核心，通过 74LS138 译码器扩展存储器和外围 I/O，在通讯接口上采用由南京沁恒有限公司推出的基于 CH375 为内核的 U 盘读取模块，与单片机系统相结合以实现 USB 主机功能的方法，较好地兼顾了系统的控制性能与制造成本，也提高了系统设计灵活性和工作可靠性。软件上，采用 C 语言编程，C 语言编程构造整个软件的主体框架、实现非实时性任务，既提高了系统软件的编程效率和可维护性，又保证了系统良好的实时性。此外，在步进电机的升降速控制中采用指数升降速的方式进行脉冲频率的计算，利用比较积分法来进行曲线的插补，较好地满足了雕刻加工对快速性和加工平稳性的要求。样机系统的软硬件联调表明，本系统的功能和性能达到了预期设计要求。

关键字：雕刻机，数控系统，U 盘技术，硬件设计，软件设计

Abstract

The CNC system is the critical part of CNC engraving machines. Its controlling functions and performance has direct bearing on the quality and efficiency of engraving process and it is crucial for the performance vs cost ratio and the competition of the engraving machine. This thesis, based on the current state of home-made engraving machines and aiming at the requirements of users, researches and develops a new type CNC system for engraving machines based on MCU reading the message in the U-disk.

Based on the market research of engraving machines and according to the required functions and performance of the CNC system, this thesis draws up a framework of the whole CNC system and designs its hardware and software. For hardware, a chip named of AT89S52 produced by ATMEL is used as CPU and a decipherer is used for extending of memory and I/Os. More importantly, in the communication interface, the original design of using a USB disk module based on the chip of CH375 associated with MCU system to realize the USB host function is put forward. The design takes account of the controlling function and the manufacturing cost of the system, meanwhile, improves the flexibility of design and reliability of performance. For software, Turbo C is used for programming to construct the frame of software and complete unreal-time task. Thus, not only the efficiency of programming is raised and the maintenance of the system is improved, but also the good real-time performance is provided. Moreover, in the speed control system of the stepping motor, index accelerating and decelerating algorithm is used for calculating the frequency of the pulse and comparative integral is used for interpolating the curve which well satisfy the requirements of the high-speed and stability of the engraving process. As a result, the developed prototype of the CNC system achieves the anticipated functions and performance.

Keywords: Engraving Machine, CNC, U-Disk Technology, Hardware Design, Software Design

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含本人为获得江南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

签 名： 陈清 日 期： 2008.7.17

关于论文使用授权的说明

本学位论文作者完全了解江南大学有关保留、使用学位论文的规定：江南大学有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文，并且本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。

保密的学位论文在解密后也遵守此规定。

签 名： 陈清 导师签名： 吕黎明
日 期： 2008.7.17

第一章 绪论

1.1 经济型数控系统的简介

经济型数控系统是一种通常采用单片机（8 位、16 位或 32 位）作控制核心，采用步进电机作为驱动电机，多数采用开环控制的简易数控系统，它具有经济实用、结构简单、操作方便、价格低廉的特点。随着 PC 机价格的不断下降、硬件配置的更加灵活、软件资源的日益丰富，经济型数控系统正逐步向 PC 化方向发展。由于经济型数控系统具有较高的性能价格比，因而被广泛地应用于机床产品的升级换代和普通机床的技术改造上^[1]。

1.1.1 经济型数控系统在我国的生产及应用

我国数控系统分为三种类型，即经济型、普及型和高级型。近年来，我国在经济型数控系统的研究、开发和生产上投入了大量的人力和财力，在经历了几个五年计划之后，已经取得了可喜的成果。在当前每年数千台经济型数控车床和电加工机床的市场上，国产数控系统是一枝独秀（其中有 10% 是合资企业产品），由于其价格便宜，近十几年来，在我国得到了较大规模的应用（估计超过 2 万台套），为我国计算机数控系统的发展做出了贡献，在世界数控技术发展史上占有重要的一页。在我国的机床市场中，以步进电机为驱动的经济型数控系统占有较大的比重，成为我国制造业不可或缺的一部分。数控机床的发展，是国家机械工业的基础，是机床产品的发展趋势。一方面，我们应该设计、生产一些适合本国国情的数控机床；另一方面，面临几百万台普通机床，可以将其中的一部分改造成经济型数控机床^[2]。所以我国数控系统的需求潜力是很大的，发展前景是光明的。而在数控系统中，符合我国国情、具有中国特色的经济型数控系统因其技术成熟、质优价廉、覆盖面广、容易掌握而更加适合我国广大用户的需要。可见，从我国实际情况出发，紧密围绕国民经济各行各业发展的需要，大力发展量大面广的经济型数控系统，可以显著地提高经济效益和社会效益^[1]。

1.1.2 经济型数控系统的基本特点、开发重点和发展趋势

经济型数控系统的基本特点可概括为：品种多样、功能较全、可靠性较高、价格低廉、操作简单、维修方便等。

今后，我国经济型数控系统的开发应采取通用性与专用性并重、普及性与提高性并重的方针，并注重系统的开放性^[3]。服务对象应以新机床配套为主，老机床改造为辅，并逐步向车床以外的其它机床类产品以及机床行业以外的机电一体化产品拓展。对于主机部分，应向多功能、易操作、高可靠性方面发展，进一步提高系统的性能价格比。对于驱动电源部分，应向混合式步进电机驱动、可变多级细分驱动、大功率驱动方面发展，进一步提高驱动系统的平滑、稳定和高可靠性。经济型数控系统开发的重点是：高可靠性、易使用、多功能，并适合我国的工业现场环境，其中，提高可靠性是经济型数控系统开发、生产最关键的问题。

当前国内经济型数控系统的发展趋势是：跟踪高精度、发展普及型、扩大经济型。发展经济型数控符合目前我国的实际情况，我们应该边发展边探索。针对经济型数控存在的问题，必须加强管理，提高生产工艺水平，有效地组织起数控系统规模化生产，建立起数控系统质量监督体系及质量保证体系。

1.2 数控雕刻机的发展现状

1.2.1 雕刻机的起源与发展历程

雕刻技术起源于艺术品的加工，是一种很传统的手工艺，由于深厚的文化内涵和精湛的成品效果使雕刻走入工业生产领域。进入工业生产的初期，雕刻的主要工作是产品形态的精细修整和产品的文字图案雕刻。传统的手工雕刻^[4]是以刀斧凿为工具，进行手工加工，产品的质量主要取决于雕刻师傅的技艺水平，而且劳动生产率低、成本价格高、可重复性差，很难适应现代化生产的需求。随着市场需求的不断扩大以及模具工业的迅速发展，除首饰、标牌和工艺品的模具制造需要雕刻以外，很多日常生活用品的模具也大量需要雕刻加工，促进了雕刻加工向机械化方向的发展。

目前，雕刻机主要有仿形雕刻机和计算机数控（CNC）雕刻机两大类，以完成有互换性要求的雕刻加工和模具雕刻加工^[5]。仿形雕刻的出现为雕刻的工业应用起到了巨大的推动作用，尤其是图案和文字的雕刻加速了相关产业的发展，为雕刻在工业领域广泛应用奠定了扎实的基础。但是机械仿形雕刻仍是一种手工雕刻，它在加工效率、加工能力、计算机接口等方面存在着明显的缺陷，阻碍了雕刻技术在现代工业中的广泛应用^[6]。

随着工业产品开发速度的加快，尤其是计算机辅助设计的广泛的应用，工业产品的形态更加丰富，变化更加迅速，对制造设备提出了新的要求。这就使以计算机辅助设计和制造（CAD/CAM）技术、计算机数控技术（CNC）为核心的数控雕刻技术成了雕刻加工发展的主流。图 1-1 为雕刻机的发展历程示意图。

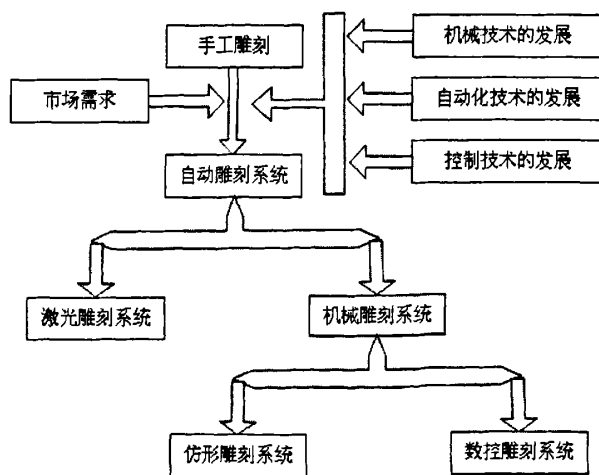


图 1-1 雕刻机发展历程示意图

Fig.1-1 Development of Engraving Machine

1.2.2 雕刻机的发展现状

随着近年来我国制造业的迅速发展,数控雕刻机产业也获得了良好的发展机遇,有效地促进了我国数控雕刻机的生产、推广和应用。我国的数控雕刻机起步于经济型数控机床,随着数控技术的进步,经过十多年的发展,已形成了多个国产品牌的雕刻机,如上海洛克公司生产的啄木鸟数控雕刻机、北京精雕公司生产的精雕数控雕刻机和南京科能公司生产的威克数控雕刻机等^[7]。上述各类雕刻机的机床本体结构较为简单,控制器大多借鉴国外新技术,采用基于高档的微控制器或 PC 的数控系统^[8],伺服部分以步进电机细分驱动为主,可获得中等控制精度,但价格比较便宜,因此整机的性价比不是太高,适用于精度要求不太高的普及应用场合。至于高精度的雕刻加工,目前我国尚以进口数控雕刻机为主,如意大利的佐拉、日本的全量等品牌的数控雕刻机^[9]。这类数控雕刻机机床本体设计刚度好、精度高,采用伺服电机驱动,加工精度高,控制系统功能全、可靠性高,但价格昂贵,往往数倍于国产产品,因此主要应用于模具等高精度加工场合。

1.2.3 雕刻机的发展趋势

随着机构设计、高速电机、控制芯片、软件平台和程序设计等领域的发展,雕刻机的性能将得到改进和提高。而今后计算机网络技术的迅猛发展,也将给雕刻机带来一场革命。今后数控雕刻的基本发展方向可以概括如下:

(1) 高速高精度化: 现在国内雕刻机大多数采用步进电机控制进给的开环系统,位置控制精度和加工精度不高。今后,雕刻机硬件控制部分将向闭环、半闭环方向发展,通过回馈调节,对误差进行补偿。

(2) 高效高可靠性: 这主要取决于电机性能的好坏和数据传输结构速度的快慢。一方面控制电路将采用更稳定、更可靠的 DSP (Digital Signal Processor, 一种独特的微处理器,以数字信号来处理大量信息的器件) 技术,另一方面将进一步提高电机的性能,以及 USB 技术的应用。

(3) 多轴联动技术: 由于多轴联动可以完成更复杂的动作,使得雕刻更精密,因此这也将是数控雕刻机的发展方向之一。

1.3 本文的研究意义及研究内容

1.3.1 本文的研究意义

雕刻机的数控系统是数控雕刻机的控制核心,其控制功能的强弱、控制性能的优劣直接关系到数控雕刻机的加工质量与加工效率,对整个雕刻机的性价比和市场竞争力的至关重要。但目前国产雕刻机使用的数控系统在性能和价格上不能很好地统一,成为影响国产数控雕刻机市场竞争力的制约因素之一。为此,研究开发具有良好性价比的雕刻机数控系统很有意义。

本文在充分调研分析国产数控雕刻机现状和市场需求的基础上,结合现有的成熟的数控技术,提出了一套全新的雕刻机数控系统的软硬件设计方案,即利用 U 盘技术,通过读取 U 盘中的数控代码进行数控加工,以简化系统、节约资源,从而进一步提高雕刻

机数控系统的性价比,以优良的控制性能和较低的价格进一步增强国产雕刻机的市场竞争力,并为雕刻机最终用户改善产品质量、提高生产效率、节约生产成本提供有效手段。

1.3.2 本文的研究内容

本文所研究与设计的雕刻系统实际是一个三维数控系统,其结构示意图如图 1-2 所示。工作基本工作原理为:首先在 PC 机内安装专用的设计排版软件,对图形、文字进行设计和排版,同时自动生成加工信息(一般为 G 代码),并把 PC 生成的加工信息拷到 U 盘里,然后将 U 盘插到雕刻机的 USB 接口中,由单片机自行读取 U 盘中的刀路加工信息,完成显示、人机交互等一系列功能,再用特定的算法将读取的路径信息转化为数控信息,最后控制器将这些信息转化为驱动步进电机的信号,控制雕刻机 x、y、z 三轴的进给,实现雕刻机的自动化加工。

根据其工作原理本文所需要研究的内容包括:微机控制系统的设计、系统运动方式的选择和伺服系统的设计,其中,微机控制系统的设计主要包括主芯片的选择、I/O 接口的设计、键盘以及 LCD 显示的设计、通讯接口即 U 盘的设计、步进电机的控制方案设计等。

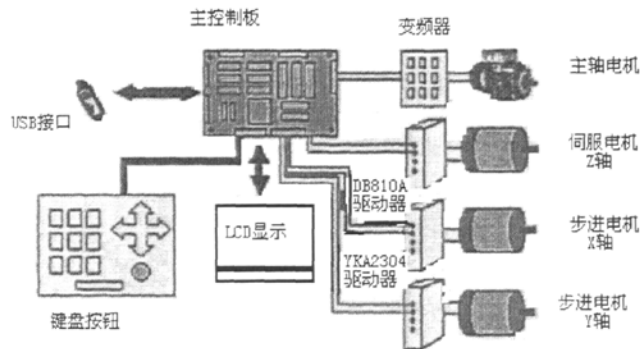


图 1-2 数控雕刻系统示意图

Fig.1-2 CNC System

第二章 数控雕刻机系统总体方案的设计

数控雕刻机作为一种专用的数控机床，尽管有多种类型，但工作原理和控制功能与数控铣床极为相似，同样，雕刻机数控系统的原理和功能也类似于铣床数控系统。但由于雕刻加工通常采用单点成形，成形面积小、效率低，导致加工刀轨很长，因此，为提高加工效率，雕刻机数控系统在控制精度和运动速度等性能方面较一般铣床控制有更高的要求。

本章针对数控雕刻机的加工特点，围绕市场调研提出的雕刻机数控系统的性能要求，在充分论证的基础上，对雕刻机数控系统的硬、软件总体方案进行设计、规划，为后续软、硬件开发奠定基础。

2.1 数控雕刻机的设计要求

本文提出的经济型三维雕刻机是指既具有三维雕刻机的功能和特点，又能够通过简化机械结构等方式降低生产成本的雕刻机。经济型雕刻机总体布局的基本要求有以下几点：

- (1) 必须满足加工范围、工作精度、生产率和经济性等各种要求。
- (2) 确保雕刻机具有与所要求的加工精度相适应的刚度、抗振性、热变形和噪声水平。
- (3) 应便于观察加工过程；便于操作、调整和维修；便于输送、装卸工件和清理。
- (4) 便于加工多种曲线。
- (5) 体积小，质量轻，节约原材料，降低制造成本，缩小占地面积，外型美观大方，结构简单，合理可靠，便于加工和装配。

2.2 控制系统的设计原则

控制系统的硬件电路设计一般包括两个方面：一是系统扩展，即系统内部功能单元，如 ROM，RAM，I/O 口等容量不能满足控制系统的要求，必须在片外进行扩展；二是按照系统功能要求配置外围设备，如键盘、显示器，USB 接口等。

为了使硬件设计尽可能合理，控制系统设计应遵循以下原则：

(1) 尽可能选择典型电路，使用最新或功能更完善的芯片。功能强的芯片能够达到更高的精度和可靠性，可大大简化电路设计，为硬件系统的标准化、模块化打下良好基础。

(2) 硬件结构应结合应用软件方案一并考虑。软件升级比硬件要方便得多，而且往往只要修改或添加软件中数据的处理模式或算法，就可以大幅度的提高系统的功能，因此，在实时性允许的情况下，软件能实现的功能尽可能由软件来实现，以简化硬件结构。

(3) 电路设计上应该留有余地，以考虑将来扩展和修改的需要。系统的扩展与外围设备配置的水平应充分满足测控系统的功能要求，并留有适当余地，以便进行二次开

发。例如在 FLASH, SRAM 等芯片的选取上,既要考虑现在的实际需求,又要在价格允许的范围内,选取较大容量的型号,留有较大的存储空间,为以后添加数据的方便做考虑。

(4) 可靠性及抗干扰设计。可靠性和抗干扰能力对于单片机系统至关重要,因此应该仔细讲究布局布线。从芯片、器件选择、去耦、滤波、印刷电路板布线、输入/输出通道隔离等等各方面下功夫,最大限度地提高可靠性和抗干扰性。

(5) 尽可能选用 HCMOS 工艺的芯片。考虑到系统应用的工业现场环境非常苛刻,所以尽量采用 HCMOS 工艺的低功耗芯片,有利于减低自身发热,同时减轻电源负担,增加系统的无故障使用时间,这也是提高系统可靠性的措施之一。

此外,由于本系统受功能和具体应用环境的约束,在设计开发的过程中还应考虑以下因素:功能可靠实用,便于升级;实时并发处理,及时响应;体积符合要求,结构紧凑;接口符合规范,易于操作;配置精简稳定,维护便利;功耗管理严格,成本低廉。

2.3 数控雕刻机系统的总体方案设计

本系统总体方案的设计任务是针对设计目标、围绕设计原则,拟定系统的软硬件体系结构、确定系统的软硬件划分和开发策略,为系统的具体开发提供指导。总体方案设计的合理与否不仅将直接影响到系统是否能够达到预期的性能指标,还将影响到系统的工作可靠性、开发周期与成本以及系统的后续可维护性、可扩展性等众多方面。本文目标是要设计开发一套针对雕刻机的控制特点、能识别 U 盘中的加工代码并具有高性价比的普及型中档雕刻机数控系统。为此,本系统主要需要解决的是单片机识别 U 盘中的加工代码和实现快速运动的问题,同时兼顾系统的制造成本,使硬件造价控制在预期的范围内。因此,系统的 U 盘的识别、速度处理以及成本控制是本系统方案设计应考虑的重点。

2.3.1 U 盘控制芯片的选择

随着单片机技术和 U 盘技术的高速发展,目前市场上所应用的 U 盘驱动芯片需要具备以下几个条件:

(1) USB 接口芯片具有主控 (Host) 功能。U 盘是基于 USB 总线、符合 USB 大容量存储类 (USB Mass Storage Class) 协议的移动存储设备,其内部通常使用一个 USB 设备 (USB Device) 接口引擎和单片机一起处理主机发送来的命令并对存储设备进行操作^①。目前成品 U 盘多采用集成 USB Device 接口和 MCU 内核的专用控制芯片实现对主机命令的处理和对 Flash 存取的操作。根据 USB 通讯的特点,任何一次通讯的实现都必须由主控端发起 (远程唤醒时除外)。实现对 USB 设备操作的系统必须具备由 USB 主控芯片来实现主控功能。

(2) 基于单片机和 USB 主控芯片实现符合规范的传输协议。USB 协议定义了四种数据传输类型,即控制传输 (Control Transfer)、中断传输 (Interrupt Transfer)、批量传输 (Bulk Transfer) 和同步传输 (Isochronous Transfer)。各种 USB 设备因其不同的通讯

特点需要采取相应的传输方式^[10]。U 盘的数据传输是按照 USB 大容量存储设备类规范的子规范 CBI 传输 (USB Mass Storage Class Control/Bulk/Interrupt (CBI) Transport) 协议或 Bulk-Only (USB Mass Storage Class Bulk-Only Transport) 传输协议进行的。CBI 传输协议中, 总线上的命令、数据、状态分别通过控制端点、批量端点、中断端点进行传输; Bulk-Only 传输协议中, 数据、命令、状态均通过批量端点进行传输。批量传输适用于大容量的数据传输, 没有固定的传输速率, 不占用固定带宽, 因此 U 盘的主要数据传输就是批量传输。

(3)对 U 盘的操作命令必须符合 USB 协议的子规范^{[9][10]}。大容量存储设备类的 UFI 命令规范 (USB Mass Storage Class UFI Command Specification) 定义了 19 条 12 字节固定长度的操作命令, 用于 USB 主机和 USB 移动存储设备之间进行命令、数据、状态信息的交换。这些命令包括: 格式化设备、查询设备信息、读写设备、模式选择等, 每条命令的第一个字节为操作码, 其后为针对不同操作的参数和保留字节。

(4)支持 FAT16/FAT32 文件系统^[11]。U 盘数据的存储格式采用了 FAT 文件系统。为了使单片机写入 U 盘的信息能够在计算机上被容易地识别出来, 也使计算机写入 U 盘的数据被单片机正确读出, 保证 U 盘数据的通用性, 单片机对 U 盘上数据的读取和存储必须遵循 FAT16/FAT32 文件系统格式。

目前市面上的 U 盘驱动芯片有两种, 一种是 SL811HST, 另一种是 CH375。

SL811HST 是 Cypress 公司的嵌入式 USB Host/Slave 接口芯片, 支持 USB1.1 的全速和低速设备, 提供 USB 主机的硬件接口及总线管理机制, 片内集成 SIE、USB 收发器和根 HUB, 能够完成嵌入式 USB 主机所需的功能^[12]。

SL811HST 的优点是可靠度很好, 批量生产极少出现质量问题。主要缺点是其晶振要选择有源晶振才可靠; 所有 USB 底层协议都要自己写, 厂家虽然给了一些标准的简单测试程序, 例如 U 盘、音频、通讯等接口程序, 最多的是 U 盘驱动, 但这些程序都不太实用, 要么只支持 FAT16, 要么写 U 盘很慢, 比较标准的上层协议驱动很难找到相关资料; 如果自己从最底层写, 需要弄清楚很多协议, 要花费很长时间, 而且写出的程序不一定能识别所有 U 盘; 读写数据比较慢, 一般只有 500kb/s。

CH375^[13]是国产芯片内置固件处理海量存储设备的专用通讯协议, 支持 Bulk-Only 传输协议和 SCSI、UFI、RBC 或等效命令集的 USB 存储设备 (包括 USB 硬盘、USB 闪存盘、U 盘)。CH375 不需要自己写最底层协议, 可用厂家提供的库, 上手时间短, 而且读写数据的能力比 SL811HST 速度快很多, 用得好时写 U 盘的速度可以达到 2000Kb/s 以上。另外, 厂家会给予很好的技术支持, 出现不能读写的 U 盘, 厂家会更新他们的库文件。

综上所述, CH375 不仅能满足 U 盘驱动芯片的诸多要求, 还能比较方便用户进行底层编程, 故本系统采用 CH375 作为驱动芯片。

2.3.2 提高数控系统速度的方式选择

目前提高数控系统处理速度的途径有以下几种:

(1) PC+高速运动控制卡。此方式采用通用 PC 机来完成系统实时性要求不高的任务，而插补计算、速度控制、位置控制等实时控制要求高的任务由高速运动卡完成。由于 PC 机的软硬件资源非常丰富，各种应用功能不断升级和加强，所以这种方案可以有效的提高系统处理速度，而且开发过程简便。但系统的价格往往较贵，通常用于中高档数控系统。

(2) 高性能通用 CPU（如 80×86、Pentium）等组成的工控板。该方案往往采用实时操作系统，可以直接控制底层硬件，所以具有相应速度快、多轴联动和同步性好等优点，因此可以获得较好的系统性能。但系统中的底层功能模块必须自行开发，工作量大，开发周期长。另外，工控板价格也较贵，同样存在性价比较高的问题。

(3) 高速运动控制芯片。该方案利用高速控制芯片完成插补、升降速等高速处理，从而提高整个系统的处理能力。由于专用运动控制芯片功能强、控制方便，开发者无需考虑具体实时算法，只需将系统的回馈信号正确连接、按规定的时序进行读写即可。但其缺陷在于，开发人员无法针对实际系统需求更改、选用合适的插补等控制算法，而且高速运动控制芯片价格昂贵，所以应用不是太广。

(4) 现成的驱动卡。采用现成的驱动卡来驱动只需要按规定时间间隔发脉冲给驱动卡，然后驱动板卡自动驱动步进电机转动。由于此类驱动板卡有专业厂家生产，故性能稳定且价格不高，大大降低了开发难度。

通过对以上四种速度控制方案的性能、实现难度、工作量和成本的全面比较，本系统中速度控制采用购买现成的驱动板卡。

2.4 本章小节

经多方详细论证，本文的设计方案不仅可以满足雕刻机数控系统快速性控制的要求，而且系统的生产成本较低、开发难度适中、开发周期也比较短。采用此方案可使雕刻机数控系统具有较高的性价比。

第三章 控制系统的硬件电路试验及设计开发

控制系统的硬件是系统软件环境运行的基础，它提供了软件运行的物理平台和通信接口。因此，在控制系统中，硬件系统的基础地位尤其突出：硬件系统的确定决定着软件的编写，二者具有密切相关性。对于雕刻机控制系统来说，硬件设计的主体是控制器硬件电路的设计，这也是本章研究的主要内容。

3.1 主芯片的选取

本系统的控制芯片（主芯片）采用 Atmel 公司生产的 AT89S52 芯片^[14]。这是一种低功耗、高性能 CMOS 8 位微控制器，具有 8K 系统可编程 Flash 内存。AT89S52 具有以下标准功能：8k 字节 Flash，256 字节 RAM，32 位 I/O 口线，看门狗定时器，2 个数据指针，三个 16 位定时器/计数器，一个 6 向量 2 级中断结构，全双工串行口，片内晶振及时钟电路。另外，AT89S52 可降至 0Hz 静态逻辑操作，支持 2 种软件，可选择节电模式。空闲模式下，CPU 停止工作，允许 RAM、定时器/计数器、串口、中断继续工作；掉电保护方式下，RAM 内容被保存，振荡器被冻结，单片机一切工作停止，直到下一个中断或硬件复位为止。

现将 AT89S52 各口的功能概要介绍如下：

P0 口：P0 口是一个 8 位漏极开路的双向 I/O 口。作为输出口，每位能驱动 8 个 TTL 逻辑电平。对 P0 口写“1”时，引脚用作高阻抗输入。当访问外部程序和数据存储器时，P0 口也被作为低 8 位地址/数据复用，在这种模式下，P0 具有内部上拉电阻。在 Flash 编程时，P0 口也用来接收指令字节；在程序校验时，输出指令字节，此时，需要外部上拉电阻。

P1 口：P1 口是一个具有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口，P1 输出缓冲器能驱动 4 个 TTL 逻辑电平。对 P1 口写“1”时，内部上拉电阻把口拉高，此时可以作为输入口使用。作为输入使用时，被外部拉低的引脚由于内部电阻的原因，将输出电流（TTL）。

此外，P1.0 和 P1.2 分别作定时器/计数器 2 的外部计数输入（P1.0/T2）和定时器/计数器 2 的触发输入（P1.1/T2EX），具体见表 3-1 所示。

在 Flash 编程和校验时，P1 口接收低 8 位地址字节。

表 3-1 P1 口的第二功能

Tab.3-1 Second Function of P1

引脚号	第二功能
P1.0	T2（定时器/计数器 T2 的外部计数输入）
P1.1	T2EX（定时器/计数器 T2 的捕捉/重载出发信号和方向控制）
P1.5	MOSI（在系统编程用）
P1.6	MISO（在系统编程用）
P1.7	SCK（在系统编程用）

P2 口：P2 口是一个具有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口，P2 输出缓冲器能驱动 4

个 TTL 逻辑电平。对 P2 口写“1”时，内部上拉电阻把口拉高，此时可以作为输入口使用。作为输入使用时，被外部拉低的引脚由于内部电阻的原因，将输出电流（TTL）。在访问外部程序内存或用 16 位地址读取外部数据存储器（例如执行 MOVX @DPTR）时，P2 口送出高 8 位地址。在这种应用中，P2 口使用很强的内部上拉发送“1”。在使用 8 位地址（如 MOVX @RI）访问外部数据存储器时，P2 口输出 P2 锁存器的内容。在 Flash 编程和校验时，P2 口也接收高 8 位地址字节和一些控制信号。

P3 口：P3 口是一个具有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口，P3 输出缓冲器能驱动 4 个 TTL 逻辑电平。对 P3 口写“1”时，内部上拉电阻把口拉高，此时可以作为输入口使用。作为输入使用时，被外部拉低的引脚由于内部电阻的原因，将输出电流（TTL）。

P3 口亦作为 AT89S52 特殊功能（第二功能）使用，见表 3-2 所示。

表 3-2 P3 引脚的第二功能
Tab.3-2 Second function of P3

引脚号	第二功能
P3.0	RXD（串行输入）
P3.1	TXD（串行输出）
P3.2	INT0（外部中断 0）
P3.3	INT1（外部中断 1）
P3.4	T0（定时器 0 外部输入）
P3.5	T1（定时器 1 外部输入）
P3.6	WR（外部数据存储器写选通）
P3.7	RD（外部数据存储器写选通）

在 Flash 编程和校验时，P3 口也接收一些控制信号。

RST：复位输入。晶振工作时，RST 脚持续 2 个机器周期高电平将使单片机复位。看门狗计时完成后，RST 脚输出 96 个晶振周期的高电平。特殊寄存器 AUXR（地址 8EH）上的 DISRTO 位可以使此功能无效。DISRTO 默认状态下，复位高电平有效。

ALE/PROG：地址锁存控制信号（ALE）是访问外部程序内存时，锁存低 8 位地址的输出脉冲。在 Flash 编程时，此引脚（PROG）也用作编程输入脉冲。

在一般情况下，ALE 以晶振六分之一的固定频率输出脉冲，可用来作为外部定时器或时钟使用。然而，特别强调，在每次访问外部数据存储器时，ALE 脉冲将会跳过。如果需要，通过将地址为 8EH 的 SFR 的第 0 位置“1”，ALE 操作将无效。这一位置“1”，ALE 仅在执行 MOVX 或 MOVC 指令时有效，否则，ALE 将被微弱拉高。这个 ALE 使能标志位（地址为 8EH 的 SFR 的第 0 位）的设置对微控制器处于外部执行模式下无效。

PSEN：外部程序内存选通信号（PSEN）是外部程序内存选通信号。当 AT89S52 从外部程序内存执行外部代码时，PSEN 在每个机器周期被启动两次，而在访问外部数据存储器时，PSEN 将不被启动。

EA/VPP：访问外部程序内存控制信号。为使能从 0000H 到 FFFFH 的外部程序内存

读取指令，EA 必须接 GND。为了执行内部程序指令，EA 应该接 VCC。在 flash 编程期间，EA 也接收 12 伏 VPP 电压。

XTAL1：振荡器反相放大器 and 内部时钟发生电路的输入端。

XTAL2：振荡器反相放大器的输出端。

本系统中利用 XTAL1 和 XTAL2 设计系统时钟，时钟电路是计算机的心脏，它控制着计算机的工作节奏。XTAL1 为片内振荡器输入端，XTAL2 为输出端，XTAL1 和 XTAL2 外接晶体振荡器时，晶振频率根据需要可在 1.2~36MHZ 之间任意选择^[15]，电容在 5~70Pf 之间任意选择，本设计中选用晶振频率为 24MHZ。电容 C1 和 C2 的作用有两个：其一是使振荡器起振，其二是对振荡器的频率 f 起微调作用（C1、C2 大，f 变小），其典型值为 30Pf。电路原理图见图 3-1。

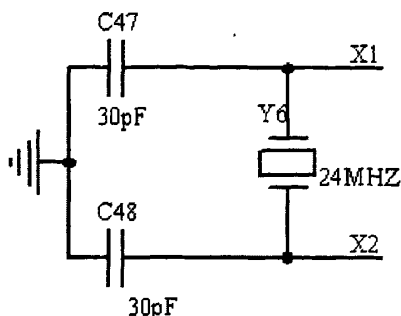


图 3-1 单片机的时钟电路图

Fig.3-1 Circuit Diagram of Clock in MCU

3.2 地址译码器设计

地址译码的方法有线选法和全选法。线选法就是把每个芯片的片选信号直接连接在单片机的 I/O 口上，发送低电平来选择芯片^[16]。这种方法硬件电路比较简单，但是地址空间没有充分利用。全选法就是使用译码芯片，通过译码以后的地址线来选择芯片。

本设计中采用 74LS138 译码器来完成对每个芯片的译码，译码后的各芯片的地址见表 3-3

表 3-3 各芯片的接口地址

Tab.3-3 Address of the Chips' Connection

芯片型号	8255A	2764	CH375
地址范围	2000H-3FFFH	0000H-1FFFFH	8000H-9FFFH

3.3 存储器的扩展

由于本设计的程序量和数据处理的要求都比较高，故在系统中还要扩展程序存储器 and 数据存储器。

程序存储器最常用的 ROM 器件是 EPROM，可以擦除，数据存储器内的内容是在变化的，只要掉电或者对应的地址输入数据，则该地址内的内容就会改变。本设计中采

用 2764 (8k) 作为程序空存储器, 6264 (8k)^[17] 作为读写数据存储。

电路连接图见图 3-2。

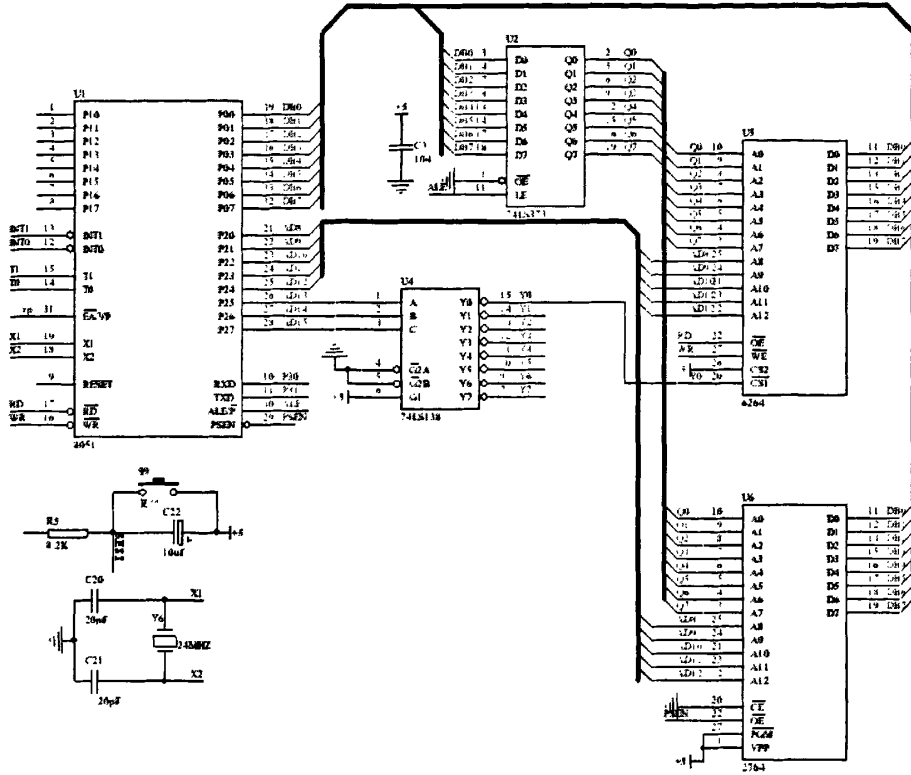


图 3-2 存储器扩展电路

Fig.3-2 Expanded Circuit Diagram of Memory

3.4 并行口的扩展

MCS-51 系列单片机共有四个 8 位并行 I/O 口。由于 P0 口和 P2 口主要用于地址和数据总线, P3 口大部分用作第二变异功能(控制信号), 真正提供给用户使用的只有 P1 口及 P2 口和 P3 口的某些位。所以, 在许多场合就感到满足不了要求。而单片机在结构上为外部扩展并行 I/O 口提供了方便。实际应用中, I/O 口扩展总是为了实现某一测控及管理功能而进行的, 如连接键盘、显示器、驱动开关控制、开关量监测等。

按 MCS-51 的结构, 扩展的 I/O 口采取与外部 RAM 统一编址, 即两者合用 64K 地址空间。因此, CPU 可以像访问外部 RAM 那样访问外部 I/O 口, 对 I/O 口进行输入/输出操作。

I/O 口扩展用芯片主要有通用可编程 I/O 芯片和 TTL、CMOS 锁存器、缓冲器电路芯片两大类。本系统采用 8255A 作为 I/O 口的扩展芯片。

3.4.1 8255A 简介

8255A^[18]是一个并行输入输出的 LSI 芯片, 多功能的 I/O 器件, 可作为 CPU 总线与

外围的接口,具有 24 个可编程设置的 I/O 口,即 3 组 8 位的 I/O 口,分别是 PA(PA0-PA7)、PB(PB0-PB7)、PC(PC0-PC7),其中 PC 口又分为高 4 位(PC4-PC7)和低 4 位(PC0-PC3),通过编程可设三种工作模式。

数据端 A 口 B 口 C 口,均为 8 位,可编程选择为输入或者输出。C 口也可编程为两个 4 位的来用,在具体结构上三者略有区别:A 口输入/输出均有锁存器,而 B 口和 C 口具有输出锁存器,输入无锁存器,但有缓冲器。数据总线缓冲器用于和单片机的数据总线 P0 口连接用来传输数据和控制命令。

内部控制电路分为 A 组和 B 组,A 组控制 A 口和 C 口的高 4 位,B 口控制 B 口和 C 口的低 4 位,控制电路的工作方式受控与控制寄存器。

读写控制逻辑部分控制端口的数据交换,有六种控制信号,分别是:CE—片选信号,低电平有效;A1, A0—端口选择信号,选择 A B C 三个口和控制寄存器;RD—读信号,低电平有效;WR—写信号,低电平有效;RESET—复位信号,高电平有效,控制寄存器被清除,各口被设置为输入方式。

A1, A0 和 RD, WR 及 CS 组合实现的地址及各功能见表 3-4。

表 3-4 8255A 各口地址

Tab.3-4 Address of 8255A's Connections

A1	A0	RD	WR	CS	操作
					输入操作(读)
0	0	0	1	0	端口 A→数据总线
0	1	0	1	0	端口 B→数据总线
1	0	0	1	0	端口 C→数据总线
					输出操作(写)
0	0	1	0	0	数据总线→端口 A
0	1	1	0	0	数据总线→端口 B
1	0	1	0	0	数据总线→端口 C
1	1	1	0	0	数据总线→控制寄存器
					断开功能
x	x	x	x	1	数据总线为三态
1	1	0	0	1	非法状态
x	x	1	1	0	数据总线为三态

3.4.2 8255A 的工作方式

8255A 可编程设定为三种工作方式:方式 0 为基本的输入输出,方式 1 为选通输入输出,方式 2 为双向选通输入输出。

方式 0:基本的输入输出,两个 8 位口(A 口和 B 口)和两个 4 位口(C 口),可分别设为基本输入和输出,由控制字的 D4、D3、D1 和 D0 组合选择。

方式 1:选通输入输出,分 A 组和 B 组,A 口和 B 口可分别设定为输入或输出,每组中 C 口的 3 位分别作为 A 口和 B 口的应答和终端信号;STB(选通输入)IBF(输入缓

冲器满标志) OBF (输出缓冲器满标志) ACK (相应输入) INTR (中断请求)。C 口剩余的两位仍可作为输入输出口。

方式 2: A 口双向选通输入输出, B 口无此工作模式。A 口需 5 个联络信号, 即管理输入的 STBA 和 IBFA, 管理输出的 OBFA 和 ACKA 以及中断请求信号, 可用 C 口中的 5 位提供, C 口的剩余 3 位可作 B 口模式 1 的联络信号。

3.4.3 8255A 的控制字计算

8255A 片内有 1 个 8 位的控制寄存器, 该寄存器地址由电路原理图中的 A1、A0、CS 端控制, 写入寄存器中的控制字决定 8255A 的工作方式, 控制字的计算如图 3-3 所示。

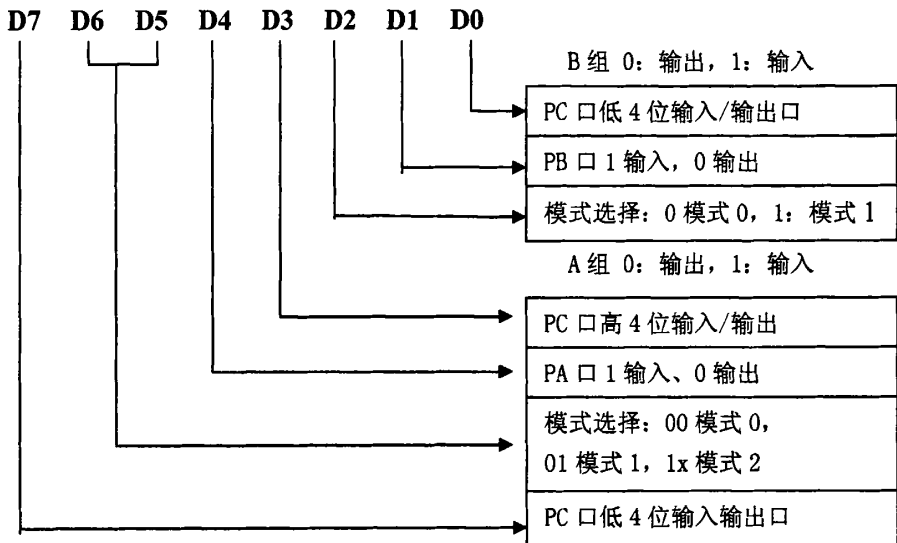


图 3-3 8255A 控制字的计算

Fig.3-3 Calculation of 8255A's Controlling Letters

3.5 电机驱动控制模块

3.5.1 伺服系统的选择

伺服系统实现位置伺服控制有开环、闭环、半闭环三种方式。开环控制的伺服系统存在着控制精度不高的问题, 但步进电机具有角位移与输入脉冲的严格对应关系, 使步距误差不会积累。步进电机的转速和输入脉冲频率也有严格的对应关系, 而且具有在负载能力范围内不随电流、电压、负载、环境条件的波动而变化的特点。此外, 步进电机控制的开环系统不存在位置检测与回馈控制的问题, 结构比较简单, 易于控制系统的实现与调试。并且随着电子技术和计算机控制技术的发展, 在改善步进电机控制性能方面也取得了可喜的进展。因此, 在一定范围内, 这种采用步进电机做为驱动执行组件的开环伺服系统可以满足加工要求, 适宜于在精度要求不很高的一般数控系统中应用^[19]。虽然闭环、半闭环控制为实现高精度的位置伺服控制提供了可能, 然而由于在系统中增加了位置检测、回馈比较及伺服放大等环节, 除了给安装调试增加了工作量和复杂性外,

从控制理论的角度看，要实现闭环系统的良好稳态和动态性能，其难度也将大为提高。由于雕刻机的精度要求不是很高，负载变化也不大，加之开环控制具有结构简单、设计制造容易、控制精度较好、容易调试、价格便宜和使用维修方便等优点，所以开环控制应优先选用。综上所述进给运动系统在X、Y轴上采用以步进电动机驱动的开环控制示意图见图3-4，而在Z轴上采用以伺服电机为驱动的半闭环控制。现在比较常用的步进电机有反应式步进电机（VR）、永磁式步进电机（PM）、混合式步进电机（HB）及单相式步进电机等^[18]，在本设计中采用混合式步进电机。

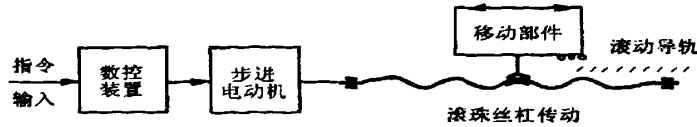


图3-4 进给运动系统组成原理图^[20]

Fig.3-4 Principle of Feeding Activity^[20]

3.5.2 电机驱动模块的介绍及电路设计

鉴于所要求设计的雕刻控制系统对Z轴的精度要求比较高，故本设计的方案是在Z轴方向采用台湾 Motek 公司生产的 DCM50207D-1000 的有刷直流伺服电机，由于此伺服电机带有编码盘，故减少了开发难度；驱动器选择由雷塞公司生产的 DB810A^[21]数字直流伺服驱动器；x、y 轴采用由深圳研控自动化科技有限公司生产的 YK57HB76-03A 步进电机以及他们公司生产的 YKA2304ME^[22]细分步进电机驱动器。

本文简要介绍 DB810A 数字直流伺服驱动器和 YKA2304ME 细分步进电机驱动器。

(1) DB810A^[21]数字直流伺服驱动器采用 FPGA 和高效 MOSFET 等先进技术。控制指令信号与步进驱动兼容，用户不用更换运动控制器，就可对所用的步进驱动进行升级。由 DB810A 组成的小功率运动控制系统在速度、精度、噪声和低速平稳性等方面达到甚至超越数字式交流伺服系统，而系统成本远低于交流伺服。

该驱动器接口引脚定义见表 3-5。

表 3-5 DB810A 驱动器的引脚
Tab.3-5 Connections of DB810A Drive

引脚	信号	描述	引脚	信号	描述
1	Power Ground	电源地	9	EA+	编码器 A 相正输入
2	+18 to +80DC	电源正极	10	EB-	编码器 B 相负输入
3	Motor+	电机正极	11	EB+	编码器 B 相正输入
4	Motor-	电机负极	12	DIR-	控制方向负输入
5	ERR/RES	误差报警/复位	13	DIR+	控制方向正输入
6	EGND	编码器电源地	14	PUL-	脉冲负输入
7	E+5V	编码器电源正	15	PUL+	脉冲正输入
8	EA-	编码器 A 相负输入			

驱动器跟单片机的连线见图 3-5。

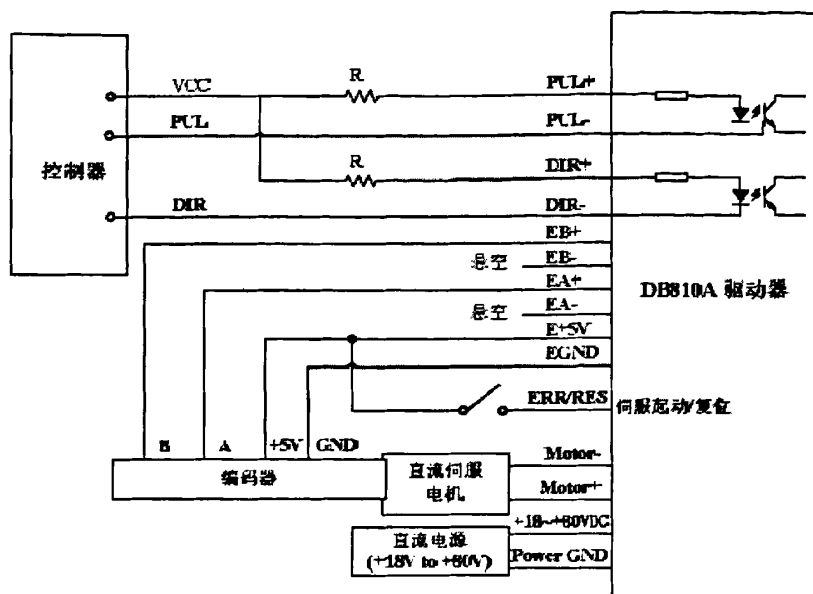


图 3-5 单片机与 DB810A 的连线图

Fig.3-5 Connections Between MCU and DB810A

(2) YKA2304ME^[22]是等角度恒力矩细分型高性能步进驱动器，驱动电压 DC12-40V，采用单电源供电。适配 6 或 8 出线电流在 3.0A 以下，外径 42-86mm 的各种型号的二相混合式步进电机。

该驱动器内部采用双极恒流斩波方式，使电机噪音减小，电机运行更平稳；驱动电源电压的增加使得电机的高速性能和驱动能力大为提高；而步进脉冲停止超过 100ms 时，线圈电流自动减半，使驱动器的发热可减少 50%，也使得电机的发热减少。用户在脉冲频率不高的时候使用低速高细分，使步进电机运转精度提高，最高可达 200 细分，振动减小，噪声降低。

YKA2304ME 驱动器的引脚见表 3-6：

表 3-6 YKA2304ME 的引脚定义

Tab.3-6 Definitions of YKA2304ME's Connections

引脚	信号	描述	引脚	信号	描述
1	+5V	输入信号观点隔离公共正端	7	AC	7-12 分别是步进电机的 6 根引出线
2	PU+	脉冲控制信号	8	BC	
3	DR+	方向控制信号	9	+A	
4	MF	电机释放信号	10	-A	
5	+V	控制板卡驱动正电压	11	+B	
6	-V	控制板卡驱动负电压	12	-B	

驱动器与单片机的接口连接见图 3-6。

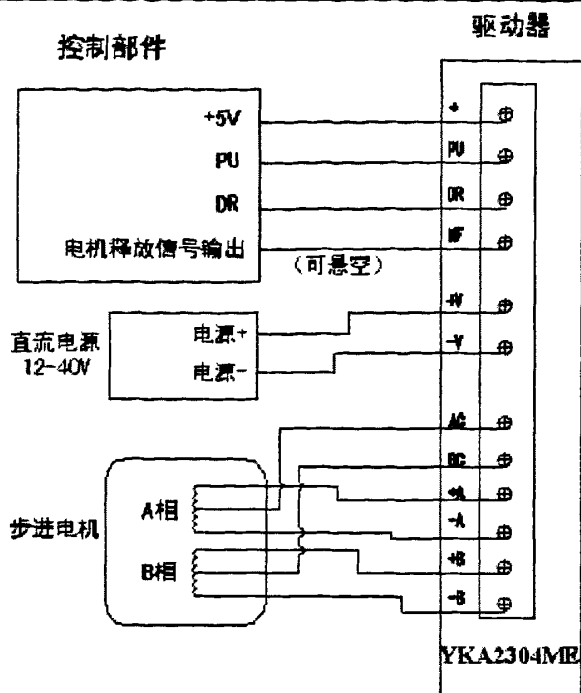


图 3-6 单片机与 YKA2304ME 的连线图
Fig.3-6 Connections Between MCU and YK2304ME

3.6 系统数据通讯的研究与设计

U 盘作为新型移动存储设备，以体积小、速度快、抗震动、通用性强的特点，赢得了消费者的青睐。虽然 U 盘作为移动存储设备在 PC 领域内得到了普遍应用，但在单片机系统领域中的应用潜力尚未开发。U 盘可以用于数据采集系统中的最大优点在于它具有良好的通用性，它的使用可以不局限于单一主机；其次它为数据的采集存储和发送提供了一种方便、廉价的媒介；另外它的抗震性和稳定性也使得在特殊环境中的数据存储介质上多了一种更可靠的选择。故本课题通过单片机读写 U 盘，采用 U 盘作为便携数据移动存储设备的方案，可广泛应用在需要与计算机不定期交互数据的数据采集系统中，省却了将笔记本电脑或其它相对较笨重的设备带到系统应用现场进行数据更新和采集的麻烦，具有良好的实用价值和应用前景。

3.6.1 基于 CH375 的 U 盘读写并口模块的应用简介

CH375 是南京沁恒电子生产的一款 USB 总线的通用接口芯片，其内部集成了 PLL 倍频器、主从 USB 接口 SIE、数据缓冲区、被动并行接口、异步串行接口、命令解释器、控制传输的协议处理器、通用的固件程序等，支持 Host 主机方式和 Device 设备方式^[13]。

CH375 具有 8 位数据总线和读、写、片选控制线以及中断输出，可以方便地挂接到单片机的系统总线上，图 3-7 是关于 CH375 与单片机通讯的示意图。主机方式下，CH375 还提供了串行通信方式，通过串行输入、串行输出和中断输出与单片机相连接。CH375

的 USB 主机方式支持各种常用的 USB 全速设备,外部单片机可以通过 CH375 按照相应的 USB 协议与 USB 设备通信。设备方式下,CH375 符合 USB1.1 版本规范,具备全速设备接口;内置了 USB 底层通讯协议,具有简单的内置固件模式和灵活的外部固件模式两种应用开发方式;支持 5V 电源电压和 3.3V 电源电压,CH375A 芯片还支持低功耗模式。对于 USB 存储设备的应用,CH375 直接提供了数据块的读写接口,以 512 字节的物理扇区为基本读写单位,从而将 USB 存储设备简化为一种外部数据存储单元,单片机可以自由读写 USB 存储设备中的数据,也可以自由定义其数据结构。CH375 的 U 盘文件级子程序库具有以下特性:支持常用的 FAT12、FAT16 和 FAT32 文件系统;磁盘容量可达 100GB 以上;支持多级子目录;支持 8.3 格式的大写字母文件名^[13]。

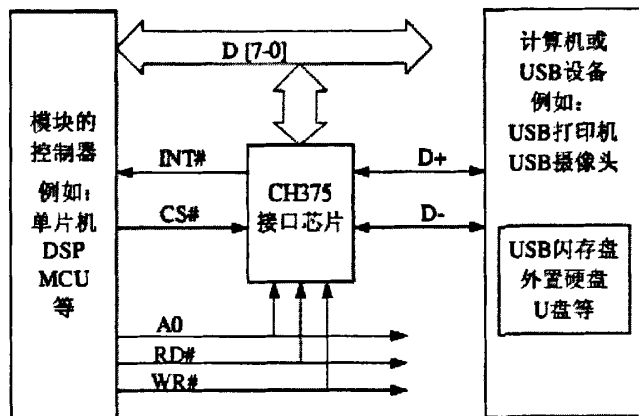


图 3-7 CH375 与单片机通讯的示意图

Fig.3-7 Communication Between CH375 and MCU

CH375 以 C 语言子程序库提供了 USB 存储设备的文件级接口,这些应用层接口 API 包含了常用的文件级操作,可以移植并嵌入到各种常用的单片机程序中,虽然直接调用 CH375 的 U 盘文件级子程序库读写 U 盘文件的效率更高,成本更低,但是该子程序库需要占用单片机系统的资源,大约 5KB 程序空间和 600 字节 RAM 数据存储器,无法应用于某些资源有限的单片机系统。

U 盘文件读写模块用于向嵌入式系统/单片机系统提供读写 U 盘中文件数据的接口,基本不需要占用单片机系统的存储空间,最少只需要几个字节的 RAM 和几百字节的代码。该模块基于 CH375 的 U 盘文件级子程序库设计,外围电路精简,性能价格比很高。广泛应用于嵌入式系统/单片机读写 U 盘、闪盘、闪存盘、USB 移动硬盘、USB 读卡器等。该模块支持文件系统 FAT12 和 FAT16 及 FAT32,具有搜索、新建、删除、读写数据,查询和修改信息等。有三种读写模式:高速的扇区模式、方便的字节模式、简化的数据流模式。

3.6.2 U 盘控制芯片的硬件连接

该模块有 16 个引脚与单片机相连,根据用户不同的功能要求有不同的连接方法。根据本课题中对该模块的功能要求将其设置在并口中断查询方式通知单片机 U 盘的连

接，并且用高速的扇区为单位读取 U 盘中信息的方式^{[23][24]}。

该模块提供 16 个引脚，其名称以及功能见表 3-7。

表 3-7 CH375 并口模块的引脚定义

Tab.3-7 Definitions of CH375's Connections

引脚号	引脚名称	类型	并口方式下的 P2 端口说明
16	GND	电源	公共接地端
15	VCC	电源	5V 正电源输入端，电源供给电流大于 100mA 需要外接电源退耦电容，容量不小于 200uF
14	CS#	输入	片选控制输入，低电平有效
13	NC	保留	禁止电平变化
12	WR#	输入	写选通输入，低电平有效
11	RD#	输入	读选通输入，低电平有效
10	A0	输入	地址信号线，为 0 则指向索引口，为 1 指向数据口
9	INT#	输入	中断请求输出，低电平有效，带上拉开漏输出
1-8	D0-D7	双向三态	8 位双向数据总线，内置弱上拉电阻

根据功能要求和引脚定义，在本设计中应用时的电路图如图 3-8 所示。

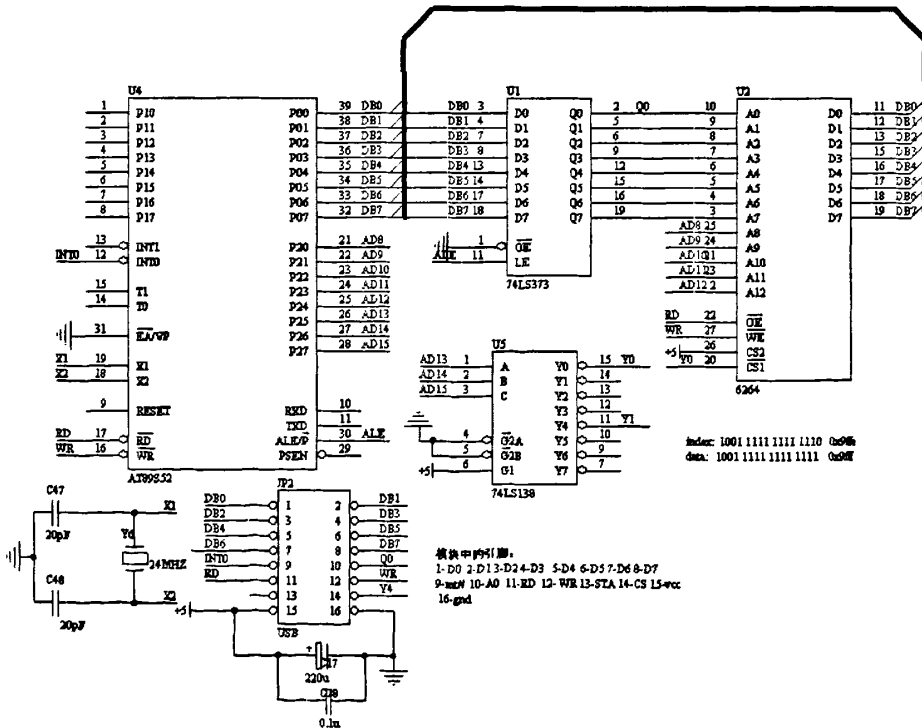


图 3-8 CH375 并口模块与单片机的连接电路原理图

Fig.3-8 Circuit Diagram of CH375 and MCU

3.7 人机界面的设计

一个数控系统能否被广大的用户接受,友好的人机界面是必不可少的。本系统设计的人机界面具有直观、简洁、鲜明的特点,主要由PC机接口和单片机接口构成。PC接口是基于通用PC的平台上完成的,无需涉及到具体硬件电路的设计,此处只介绍基于单片机的人机界面模块,包括显示和按键两大功能模块。

3.7.1 LCD 显示的设计

液晶显示器(LCD, Liquid Crystal Display)主要用于显示文本及图形信息。作为一种显示器件,它以其特有的体积小、重量轻、功耗低、接口控制方便等优点越来越引起人们的关注,在嵌入式控制系统、便携式仪器仪表测量系统和现场监控等领域中得到了广泛的应用。

液晶显示模块在功能上主要由两部分组成,一部分是LCD控制器,另一部分是LCD驱动器。LCD控制器负责将显示缓冲区中的LCD显示数据传送到外部LCD驱动器,并产生必要的控制信号;LCD驱动器则是实现显示数据在LCD屏上的最终显示^[24]。在三维雕刻机控制系统中,人机交互的要求使得LCD模块的实现成为本系统不可缺少的一个重要部分。

在现有的雕刻机控制系统中,常用的显示介质有数码管显示(LED)、液晶屏显示(LCD)和CRT显示^[25]。早期的雕刻机系统常使用数码管作为显示接口,采用数码管显示方式虽然成本较低,但是显示内容简单、接口枯燥,已经基本被淘汰。而采用CRT显示则接口过于复杂,只是使用在某些高档的雕刻机控制系统中。考虑本系统以液晶屏作为显示接口。液晶屏是一种被动显示器件,即显示器的明亮度境的亮度成正比关系,因此在黑暗环境下要配备背光源。本系统采用的是字符点晶显示屏TS12232D点阵型显示屏,该屏由122列和32行组成,能显示16×16的汉字以及16×8数字很英文等点阵字符还可以显示位图形,该液晶屏具有自带背光源。

3.7.1.1 TS12232D 内部的结构

液晶显示模块一般都由显示驱动控制器和全点阵液晶显示屏组成^[26]。不同的图形显示模块由于其采用的控制器不同,显示功能也会有所区别。图形点阵液晶显示模块TS12232D是集显示、控制驱动于一体的显示器件,点阵式液晶模块由一块122×32的点阵液晶屏和2片控制芯片SED1520及其辅助电路组成,可显示图形,也可以显示汉字^[26]。显示汉字时,可显示两行,每行七个半汉字(16×16点阵)。液晶显示模块的结构如图3-9所示。模块的显示区分为四页,每页有122行。由于每页又都是由主、从驱动器控制,所以,两个驱动控制器分别控制61列32行。液晶显示模块的接口信号包括8位三态数据线D0~D7,命令数据线A0,片选线CS1、CS2以及读写控制线WR、RD等。详细的接口信号端说明见表3-8所示。

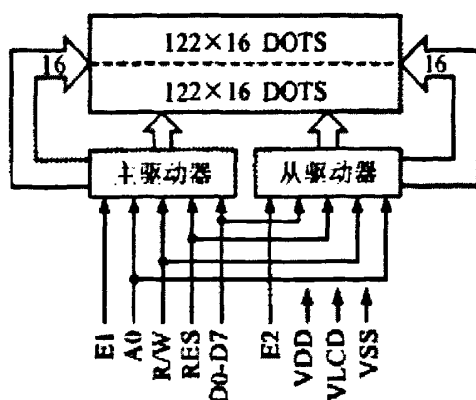


图 3-9 12232LCD 的结构示意图^[27]
Fig.3-9 Constucion of 12232LCD^[27]

表 3-8 12232LCD 接口引脚定义

Tab.3-8 Definitions of 12232LCD's Connections

引脚	符号	电平	说明
1	VDD	5V	电源电压
2	VSS	0	接地
3	V0	可调	LCD 驱动电压 (调对比度)
4	RES	H/L	H: 80 时序 L: 68 时序
5	E1	H, H-L	片选使能信号 1 (左屏)
6	E2	H, H-L	片选使能信号 1 (右屏)
7	R/W	H/L	H-读 L-写
8	A0	H/L	H-数据 L-指令
9-16	D0-D7	H/L	8 位数据
17	LED+		背光正极
18	LED-		背光负极

注: RES 复位端: 对于 68 系列 MPU, 上升沿 (L-H) 复位, 且复位后电平须保持为高电 (H);
对于 80 系列 MPU, 下降沿 (H-L) 复位, 且复位后电平须保持为低电平 (L).
E1、E2: 读写使能: 对于 68 系列 MPU, 连接使能信号引脚, 高电平有效;
对于 80 系列 MPU, 连接/RD 引脚, 低电平有效。

3.7.1.2 汉字显示原理

液晶屏显示原理是指显示屏上的一个像素点用一个二进制位来表示^[29]。对应二进制位为“1”，则表示对应液晶屏上像素点“点亮”，为“0”，表示“熄灭”。具体来说，一个黑白对象，可以看成由无数个点组成，这些点只有两种情况，或“亮”或“灭”。显示前要把这些不同属性的点记录下来，在显示时，只需将此对象的点与 LCD 屏上的像素点对应起来显示，即显示对象上的“亮”点在 LCD 屏上的对应像素点也“亮”。

3.7.1.3 电路设计

图 3-10 是 12232LCD 与单片机的连接电路原理图。

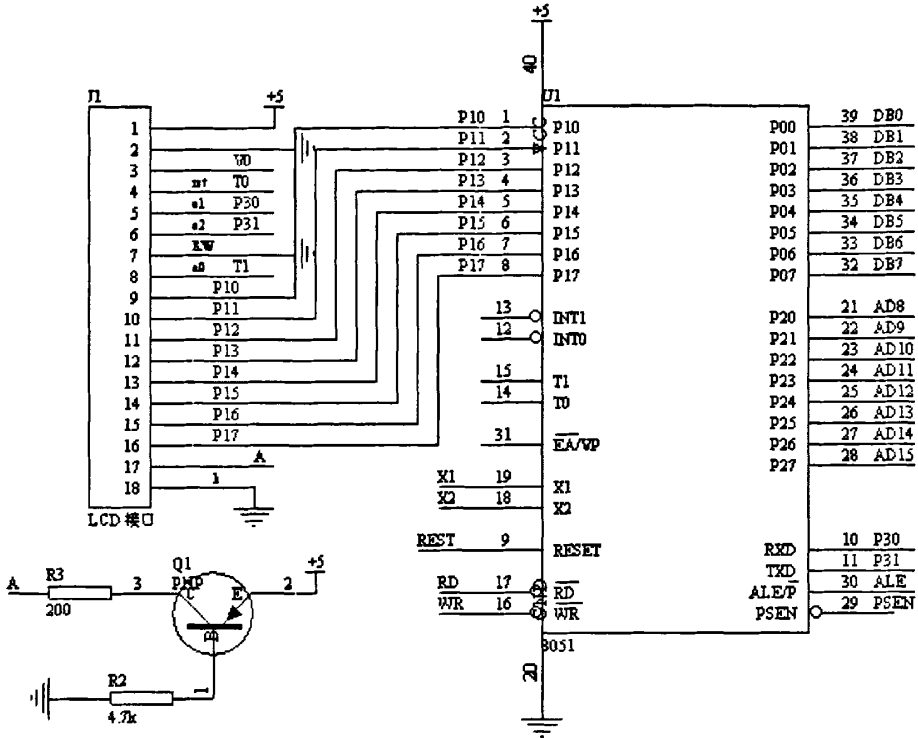


图 3-10 12232LCD 与单片机的连接电路原理图

Fig.3-10 Circuit Diagram of 12232LCD and MCU

3.7.2 键盘设计

键盘在单片机应用系统中是一个很关键的部件，它能实现向计算机输入数据、传送命令等功能，是人工干预计算机的主要手段之一。系统中，键盘是雕刻机人机交互设备，通过键盘进行人工干预雕刻机的工作，当雕刻机处于异常情况或某些情况需要人为干预时，可以通过操作键盘得以实现。

键盘一般分为独立式键盘和矩阵式键盘^{[15][29]}。独立式按键就是各个按键相互独立，每个按键各接一根输入线，一根输入线上的按键工作状态不会影响其他输入线上的工作状态，因此，通过检测输入线的电平状态可以很容易判断哪个按键被按下了。矩阵式键盘适用于按键数量较多的场合，它由行线和列线组成，按键位于行、列的交叉点上。当控制系统采用矩阵式按键设计，则按键设在行、列线交叉点上，行、列线分别连接到按键开关的两端，每个按键中心的底部另外引出一根线与地相连。行、列线通过上拉电阻接到+5V上。平时无按键动作时，行、列线处于高电平状态，而当有键按下时，由于按键中心的底部与地相连，则与此按键相对应的行、列线电平被拉低。这一点是识别矩阵键盘按键是否被按下以及哪一个键被按下的关键所在。

3.7.2.1 键盘界面设计

键盘是标准的输入设备，况且单片机完全有能力处理用户所输入的信息，并结合各具特色的嵌入式应用软件，可以更好的实现良好的人机交互性。雕刻机的加工过程首先要对键盘进行操作，键盘界面的设计显得尤为重要。对于雕刻过程中的控制，根据操作人员的一般要求需要分别设置以下几个按键：确认、取消、复位、方向键(用数字表示)。另外，还需菜单的设置，手动输入数据等，因此按键都设置成复合功能。

3.7.2.2 按键电路设计

由于扩展了2片8255A故I/O口比较丰富，因此在键盘设计中采用的是独立的键盘设计。具体电路图如图3-11所示。

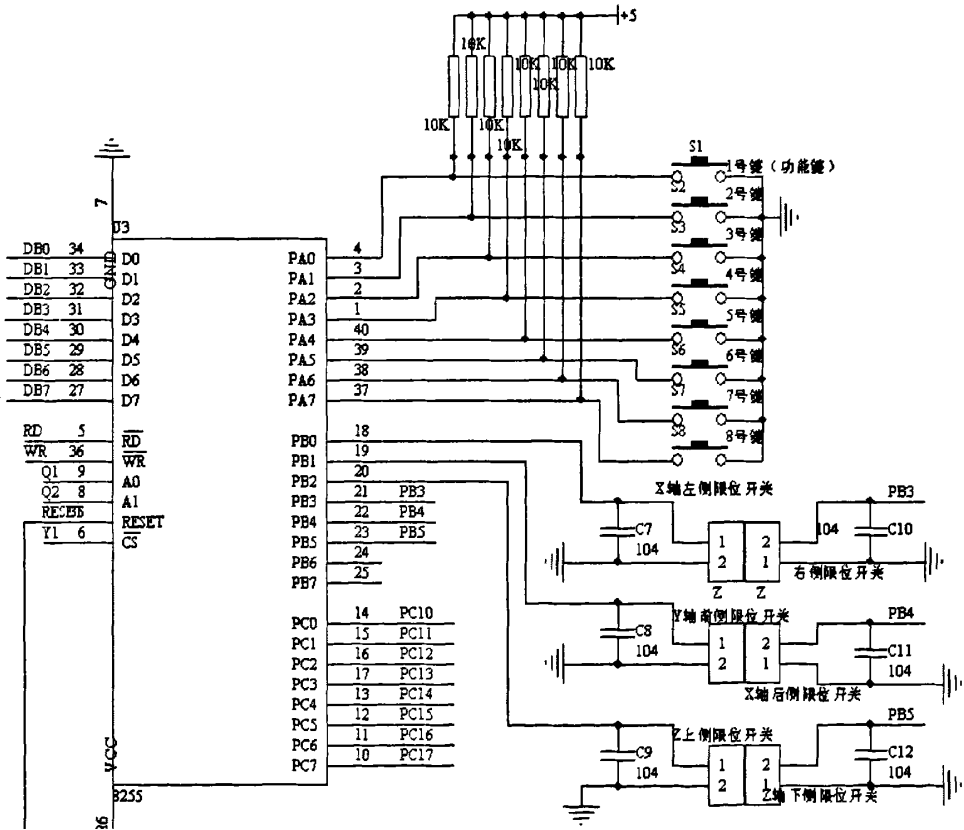


图 3-11 键盘设计的电路原理图

Fig.3-11 Circuit Diagram of Keyboard Design

3.8 本章小节

本章根据第二章所提出的要求，经过反复斟酌、仔细对比、精心设计，完成了雕刻机数控系统硬件电路的设计开发。通过与软件的联调验证，本系统的硬件电路运行可靠稳定，具有实用价值。

第四章 系统软件设计及调试

控制系统硬件确定以后，关键就是如何编制软件实现相应的控制功能^[30]。软件的设计，要求准确无误的实现控制，并要求系统具有较高的可靠性、较快的反应速度、较高的实时性以及较低的功耗等。本章给出了系统软件设计的思路及部分模块的设计与实现方法。

4.1 系统软件的功能分析和结构规划

根据系统的功能分析，可将系统软件大致分为五大模块，即：基本控制模块、数据通信模块、运动控制模块、人机交互模块以及事务处理模块。由主控系统完成对五大任务模块的管理调度，结合所研究与设计的硬件电路实现雕刻机的各项功能。其系统软件结构如图 4-1 所示。

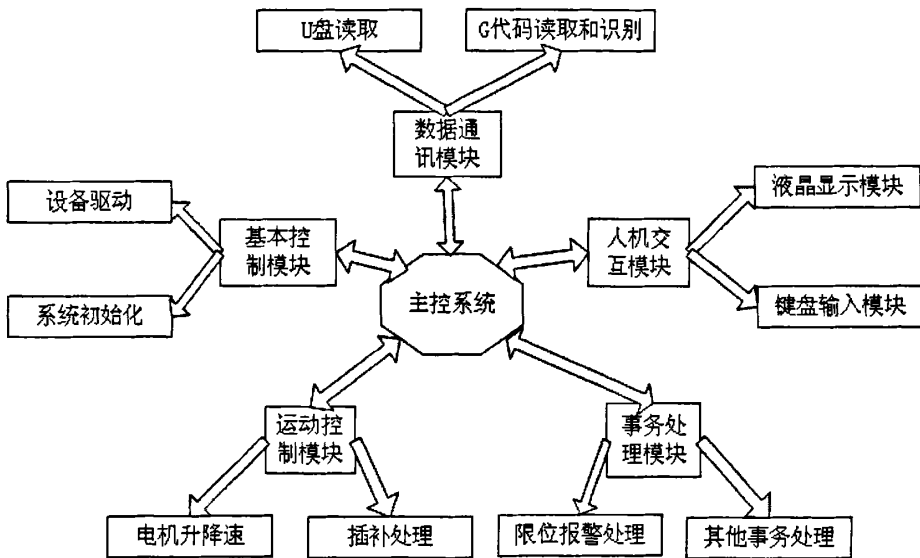


图 4-1 系统软件结构规划

Fig.4-1 Design of Software Construcion

基本控制模块管理系统的一些基本操作，包括设备驱动程序的管理、系统硬件初始化设置的管理等。数据通信模块负责加工代码的读取翻译以及对 U 盘中数据的读取。运动控制模块包括插补运算、电机的速度控制与位置控制，是 CNC 控制的核心。人机交互模块是实现人机交互的重要组成部分，包括键盘的输入以及相关操作信息的显示。为了保证系统的完整性，设置事务处理模块来管理报警以及一些异常事务。

4.2 系统软件设计的总体框图

雕刻机数控系统软件设计主要完成 G 代码指令读取、编译、程序管理、插补运算、输入输出端口操作等一系列任务，是整个系统实现各功能的主控软件。根据前面提出的系统功能的要求分析，本系统的主程序软件框架见图 4-2。

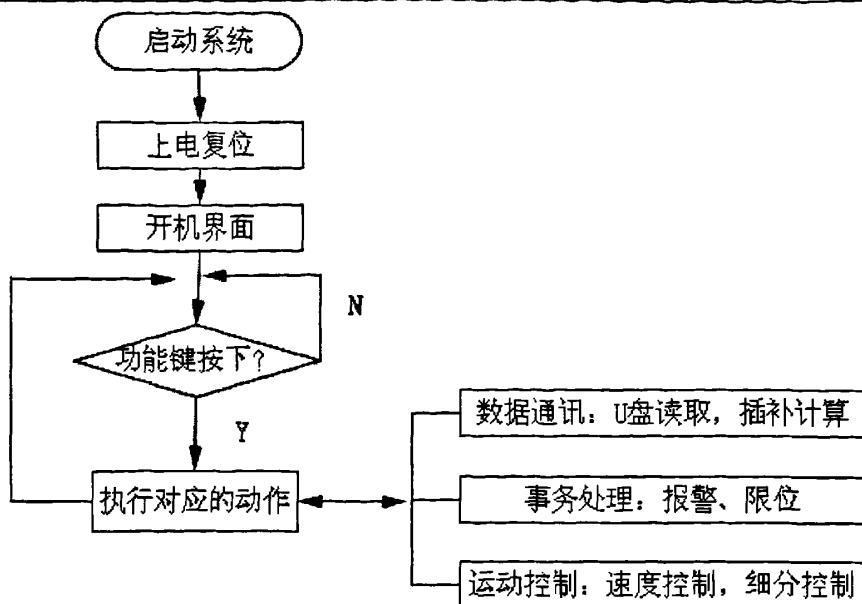


图 4-2 主程序软件框图

Fig.4-2 Diagram of Main Program Software

4.3 系统各功能模块的具体实现

4.3.1 系统的初始化

系统初始化包括：各定时器的置初值、液晶显示屏的设置、I/O 扩展口的地址、控制字的设置等，它是系统上电以后的第一个动作，对系统功能的实现有至关重要的作用。

4.3.2 人机交互界面设计

4.3.2.1 功能分析

根据雕刻功能要求，系统设计了人机界面操作菜单，以便为用户提供操作和使用控制系统的环境。主界面主要包括四项内容：加工设置、运动设置、系统参数、数据管理。其中加工中经常使用的是加工设置，主要是对加工速度倍率、主轴延迟时间等进行设置；而运动设置则主要是对各种运动参数，如运动限制、加速度等的设置。

4.3.2.2 键盘接口程序设计

对于键值读取一般常有 3 种方法，即中断式、扫描法和反转法。本文所研究与设计的控制系统中采用的是查询式，即单片机通过一定的时间周期去查询一下 I/O 口，如果有按键按下，则首先判别按键的数值，并发送给单片机执行相应的程序。结合系统中用户键盘硬件控制电路，编写相关的程序，包括：键盘控制初始化、按键识别程序以及各按键对应的子程序。程序流程如图 4-3 所示。

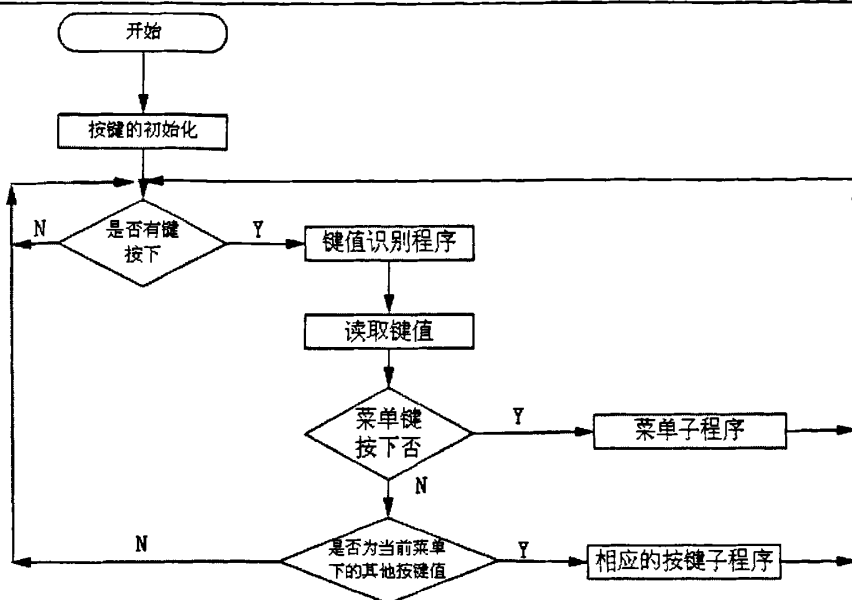


图 4-3 按键程序框图

Fig.4-3 Diagram of Key Program

键盘控制初始化指的主要是 I/O 端口初始化及对相关中断控制寄存器的设置。由第三章键盘接口电路图可知，系统利用的是 8255A 的 PA 口来作为键盘的输入，PB 口作为限位开关的输入口。在初始化时，设置 8255A 的控制字，即 PA、PB 口为输入口。当有键按下时，直接读取端口的状态码，然后再识别是哪个按键被按下，最后执行相应的子程序。

键盘中断服务程序的功能是当中断产生时，系统按照初始化程序中给指定的地址进入服务程序。在服务程序中，清除中断标志以及中断屏蔽寄存器，调用按键识别程序，在按键识别程序中对键盘的接口状态即 PC 口的值读取判断，以确定是哪一个键被按下。具体的键盘中断服务程序以及按键识别程序就不再重复阐述。

4.3.2.3 LCD 液晶显示程序

要实现汉字显示，关键是理解液晶的显示原理以及显示缓冲区与物理屏的对应关系。然后，在此基础上将所需汉字的字模放在一个数组中建立一个汉字库。在具体使用时，通过一个索引表查找汉字的字模在字库中对应的位置并取出字模。最后，调用汉字显示函数将要显示的汉字显示出来，从而实现汉字在 LCD 屏上的显示。

TS12232D 液晶显示器的指令码设置如下^[27]：

(1) 读状态字

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	BUSY	ADC	OFF/ON	REST	0	0	0	0

当 SED1520 处于“忙”状态时除了读状态指令，其它指令均不起任何作用，因此在访问 SED1520 都要先读一下状态判断是否忙。

BUSY=1: 忙状态, BUSY=0: 准备好状态。

ADC=1: 正常输出(右向), ADC=0: 反向输出(左向)

OFF/ON=1: 显示关闭, OFF/ON=0: 显示打开

RESET=1: 复位状态, RESET=0: 正常状态

(2) 复位

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	1	1	0	0	0	1	0

该指令为软件复位指令, 执行该指令后使显示起始行置为第 0 行, 列地址置为 0, 页地址置为 3。

(3) 占空比选择

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	0	1	0	1	0	0	0/1

D0=0 占空比为 1/16, D0=1 占空比为 1/32, 驱动 32 行液晶显示时使 D0 为 1, 驱动 16 行时 D0 为 0。

(4) 显示起始行设置

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	1	0	显示起始行 (0-31)				

该指令设置了对应显示屏上首行的显示 RAM 中的行号有规律地修改该行号可实现滚屏功能。

(5) 休闲工作状态设置

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	0	1	0	0	1	0	0/1

该指令用软件停止 SED1520 的 LCD 驱动的输出使系统处于低功耗休闲状态休闲指令须在关显示状态下输入 D0=1: 为休闲工作状态, D0=0: 为正常工作状态。

(6) ADC 选择指令

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0/1

该指令用来设置列驱动, 输出端与液晶显示屏的列驱动线的连接方式应根据厂方提供的模块实际接线设置一般设为 ADC=0。

(7) 显示开/关指令

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	0	1	0	1	1	1	1/0

D0=1: 为开显示, D0=0: 为关显示, 该指令不影响显示 RAM 内容。

(8) 设置页地址

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	0	1	1	1	0	页地址 (0-3)	

(9) 设置列地址

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0 列地址 (0-79)							

由 (8)、(9) 两项看出显示 RAM 被分成四页，每页 80 个字节，当设置了页地址和列地址后就确定了显示 RAM 中的唯一单元，该单元由低到高的各个数据位对应于显示屏上某一列的 8 行数据位。

(10) 改写方式设置指令

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

该指令发出后使得每次写数据后列地址自动增 1，而读数据后列地址仍保持原值不变，这种称为改写模式 (Read Modify Write) 的方式为逐个读取像素点状态进行修改提供了方便。在改写方式中 SED1520 不接受任何指令代码，除非改写方式结束指令。

(11) 改写方式结束指令

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	1	1	1	0	1	1	1	0

该指令执行后将结束改写方式以后无论读或写数据后，列地址都增 1。

(12) 写数据

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	1	要显示的数据							

(13) 读数据

R/W	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	要显示的数据							

当读一个或一系列数据之前必须先完成一个空读操作。正常状态下，写数据或读数据后，列地址自动加 1。

液晶显示的程序初始化程序框图见图 4-4、字符显示的程序框图见图 4-5。

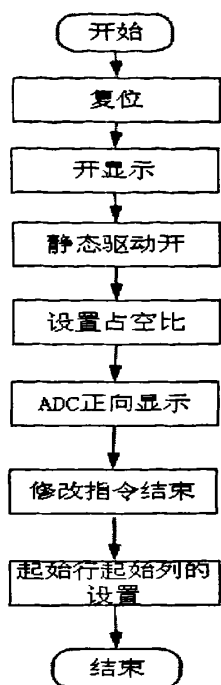


图 4-4 液晶初始化程序框图

Fig.4-4 Diagram of LCD Initializing Program

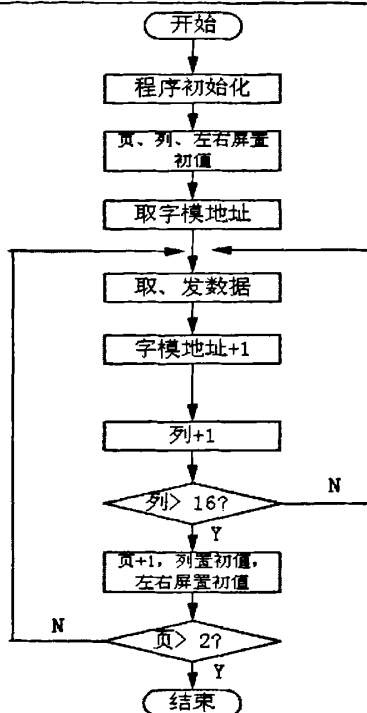


图 4-5 字符显示的程序框图

Fig.4-5 Diagram of Letters Displaying Program

4.3.3 电机控制设计

4.3.3.1 步进电机程序设计

在步进电机的控制中，方向和转角的控制比较简单，而转速的控制则比较复杂。在步进电机工作时，失步或超步都会直接影响它的定位精度。所以在设计系统的时候，除了应该正确选择步进电机和驱动电路之外，还必须对步进电机控制脉冲的频率进行调节。由于步进电机的转速正比于控制脉冲的频率，即：两个控制脉冲的频率越高（时间间隔越短），则步进电机的转速就越快；两个控制脉冲的频率越低（时间间隔越长），则步进电机的转速就越慢^[1]。当步进电机的运行频率 f_n 低于它本身的启动频率时，步进电机可以用运行频率 f_n 直接启动，并以该频率连续运行，在需要停止的时候，可以从运行频率 f_n 直接降到零速。此时，步进电机运行于恒速状态，无需升降频控制（升降速控制）；而当步进电机的运行频率 f_n 大于步进电机有载启动时的启动频率 f_0 时，若直接用运行频率 f_n 启动，则由于频率太高，步进电机可能会失步，甚至产生堵转。同样，在运行频率 f_n 下突然停止，步进电机可能会超程。

因此，为了使步进电机在运行中不出现失步或超步的现象，控制脉冲的频率一般要小于（或等于）步进电机的响应频率，在该频率以内，步进电机可以任意启动、停止或反转而不发生失步，但这个频率通常比较低。而在有些应用场合中，步进电机走过的距离比较长，这时要求步进电机能够低速启动、高速运转、再降低速度、最后停止。这样就解决了快速而不失步的矛盾，提高了工作效率。所以实现变速控制的基本思想就是改变控制脉冲的频率。当步进电机带有负载时，它的启动频率要低于最高空载启动频率。

根据步进电机的矩频特性可知,启动频率越高启动转矩越小,带负载的能力越差;当步进电机启动后,进入稳态的工作频率又远大于启动频率。

因此,一个静止的步进电机不可能一下子稳定到较高的工作频率,必须在启动的瞬间采取加速的措施。一般来说,升频的时间约为 0.1S~1S 之间^[32]。同样,从高速运行到停止也应该有减速的措施。因此,在控制的过程中运行速度需要有一个升速——恒速——降速——停止的过程。系统在要求快速响应时,必须要求升降速过程时间尽量地缩短,使步进电机在不失步条件下,以最短的时间升降到给定速度。

电机的升降速设计(加减速设计)是数控系统的技术之一^[33]。由于本设计中速度控制比较简单,故采用指数升降速。而整个升降速的设计要分两步来实现:其一为脉冲频率和时间间隔的确定;其二为单片机发脉冲的时间间隔原理控制。

(1) 脉冲频率和时间间隔的确定。

由于步进电机的输出转矩随步进频率的增加而减少,根据步进电机的动态特性,可以通过其动力模型(二阶微分)描述^{[19][32]}:

$$J \frac{d^2 q}{dt^2} + b \frac{dq}{dt} + Kq + Tz = Td \quad (4.1)$$

式中: J —系统的总转动惯量;

θ —转子的转角;

β —阻尼系数(包括机械阻尼和电磁阻尼);

K —与 θ 成某中函数关系的比例因子;

Tz —摩擦阻力距及其它与 β 无关的阻力矩之和;

Td —步进电机所产生的电磁驱动转矩。

对(4.1)式进行整理和变换得:

$$Td - b \frac{dq}{dt} - Kq - Tz = J \frac{d^2 q}{dt^2} = J\varepsilon \quad (4.2)$$

式中: $J\varepsilon$ —惯性扭矩;

ε —角加速度。

显然,惯性扭矩 $J\varepsilon$ 应小于最大电磁转矩 Td ,在升速阶段角加速度 ε 越大越好,使得到达匀速的时间越短,但在加速阶段为了减小对系统的冲击 ε 不应该突变,上式反映了矩频特性,即脉冲频率越高转矩越小。故在不失步的前提之下,在加速阶段 ε 应正比于频率 f 对时间的微分。故可以表示为:

$$\varepsilon = \frac{df}{dt} = A - Bf \quad (4.3)$$

式中 A 和 B 是两个特定的时间常数。

假设在升速阶段的启动频率为 f_0 则对(4.3)式进行拉氏变换得:

$$SF(s) - f_0 + BF(s) - \frac{A}{S} = 0 \quad (4.4)$$

对(4.4)式整理得:

$$F(s) = \frac{A}{S(S+b)} + \frac{f_0}{S+B} \quad (4.5)$$

再次对 (4.5) 式进行拉氏反变换整理得:

$$f(t) = \frac{A}{B} + (f_0 - \frac{A}{B})e^{-Bt}$$

$$= At + (f_0 - At)e^{\frac{t}{\tau}} \quad (4.6)$$

$$= f_0 + C(1 - e^{\frac{t}{\tau}}) \quad (4.7)$$

(4.6) 式中: $\tau = \frac{1}{B}$, τ 为时间常数, 反映上升速度的快慢; (4.7) 式中: $C = A\tau - f_0$ 。

设步进电机在升速过程中启动频率为 f_0 , 运行最高频率为 f_m , 当运行足够的时间后 (用 tm 表示), 有 $f(tm) = f_m$, 根据 (4.7) 式得:

$$f(t_m) = f_0 + C \quad (4.8)$$

由 (4.8) 式整理, 并且由于 $f_m \gg f_0$ 故:

$$C = f_m - f_0 \approx f_m \quad (4.9)$$

将 (4.9) 式代入 (4.7) 式中得:

$$f(t) = f_0 + f_m(1 - e^{\frac{t}{\tau}}) \quad (4.10)$$

(4.10) 式中 τ 为时间常数, 该式就是普通的指数加减速的数学模型。

根据 (4.10) 式的数学模型可以看出发脉冲的频率随时间的而增加, 将 (4.10) 式离散化, 即把上升过程分为 N 步完成, 而 $f(t)$ 与时间轴围成的曲面的面积为加速过程所走过的总的位移。

根据所选用的步进电机和系统对升降速之间的要求, 本文中规定在启动频率为 700HZ, 最高运行频率为 15000HZ, 要求在 120 步之内升速到 10000HZ(15mm/s)计算出该步进电机的升速过程的脉冲时间间隔。

首先计算出上升时间以及 τ 的值:

$$\begin{cases} 10000 = 700 + 15000(1 - e^{-\frac{tr}{\tau}}) \\ 120 \cdot \delta = \int_0^{\tau} 700 + 15000(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) dt \cdot \delta \end{cases} \quad (4.11)$$

利用 matlab 计算出:

$$tr = 0.0265 ; \tau = 0.0256$$

故在相邻速度变化的时间间隔为:

$$\Delta t = \frac{tr}{120} = 0.002208 \quad (4.12)$$

故每发一个脉冲相对应的脉冲频率为:

$$f(n) = f_0 + f_m(1 - e^{-\frac{n\Delta t}{\tau}}) \quad (4.13)$$

式中 $n=1, 2, 3 \dots 120$

通过计算得出各个脉冲频率见表 4-1。而降速过程可以简单得看成是升速的逆过程。

表 4-1 步进电机的脉冲频率 (HZ)

Tab.4-1 Pulse Frequency of Step Motor

700	829	957	1083	1209	1333	1457	1579	1700	1820	f(1)-f(10)
1940	2058	2175	2291	2406	2521	2634	2746	2857	2968	f(11)-f(20)
3077	3185	3293	3399	3505	3610	3714	3817	3919	4020	f(21)-f(30)
4220	4318	4416	4513	4609	4704	4799	4892	4985	5077	f(31)-f(40)
5168	5259	5349	5438	5526	5613	5700	5786	5871	5955	f(41)-f(50)
6039	6122	6204	6286	6367	6447	6526	6605	6683	6761	f(51)-f(60)
6837	6913	6989	7064	7138	7211	7284	7357	7428	7499	f(61)-f(70)
7570	7640	7709	7778	7846	7913	7980	8046	8112	8177	f(71)-f(80)
8242	8306	8369	8432	8495	8557	8618	8679	8739	8799	f(81)-f(90)
8858	8917	8975	9033	9090	9147	9203	9259	9314	9369	f(91)-f(100)
9424	9478	9531	9584	9636	9689	9740	9791	9842	9892	f(101)-f(110)
9920	9952	9980	9992	10009	10009	10009	10009	10009	10009	f(111)-f(120)

(2) 单片机发脉冲时间间隔的控制

采用单片机控制步进电机的升降速实际上就是改变输出时钟脉冲的时间间隔, 根据上一节的内容已经求出脉冲频率, 即两个脉冲的时间间隔, 所以采用单片机的定时器中断的方式来发脉冲就可以^[34]。在已知频率的基础上要把频率转化成定时时间, 即

$$T(n) = 65536 - \frac{F}{12 \times f(n)} \quad (4.14)$$

根据 (4.14) 式可求出每两个脉冲频率间的时间间隔, 即定时常数, 如表 4-2 所示。

表 4-2 定时器的定时常数

Tab.4-2 Timing Constans of Timepiece

0xff98	0xffa6	0xffb0	0xffb8	0xffbe	0xffc4	0xffc8	0xffcc	0xffcf	0xffd2	T(1)-T(10)
0xffd5	0xffd6	0xffd7	0xffd8	0xffd8	0xffd	0xffda	0xffe1	0xffe2	0xffe3	T(11)-T(20)
0xffe5	0xffe5	0xffe7	0xffe7	0xffe8	0xffe8	0xffe9	0xffe9	0xffe9	0xffe9	T(21)-T(30)
0xffea	0xffea	0xffeb	0xffeb	0xffeb	0xffeb	0xffec	0xffec	0xffec	0xffec	T(31)-T(40)
0xffed	0xffed	0xffed	0xffed	0xffee	0xffee	0xffee	0xffee	0xffee	0xffee	T(41)-T(50)
0xfff0	0xfff0	0xfff0	0xfff0	0xfff0	0xfff1	0xfff1	0xfff1	0xfff1	0xfff1	T(51)-T(60)
0xfff1	0xfff1	0xfff1	0xfff2	0xfff2	0xfff2	0xfff2	0xfff2	0xfff2	0xfff2	T(61)-T(70)
0xfff2	0xfff2	0xfff2	0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff3	T(71)-T(80)
0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff3	0xfff4	0xfff4	0xfff4	0xfff4	0xfff4	T(81)-T(90)
0xfff4	0xfff4	0xfff4	0xfff4	0xfff4	0xfff4	0xfff5	0xfff5	0xfff5	0xfff5	T(91)-T(100)
0xfff5	0xfff5	0xfff5	0xfff5	0xfff5	0xfff5	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	T(101)-T(110)
0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	0xfff6	T(111)-T(120)

定时器的程序设计如图 4-6 所示。

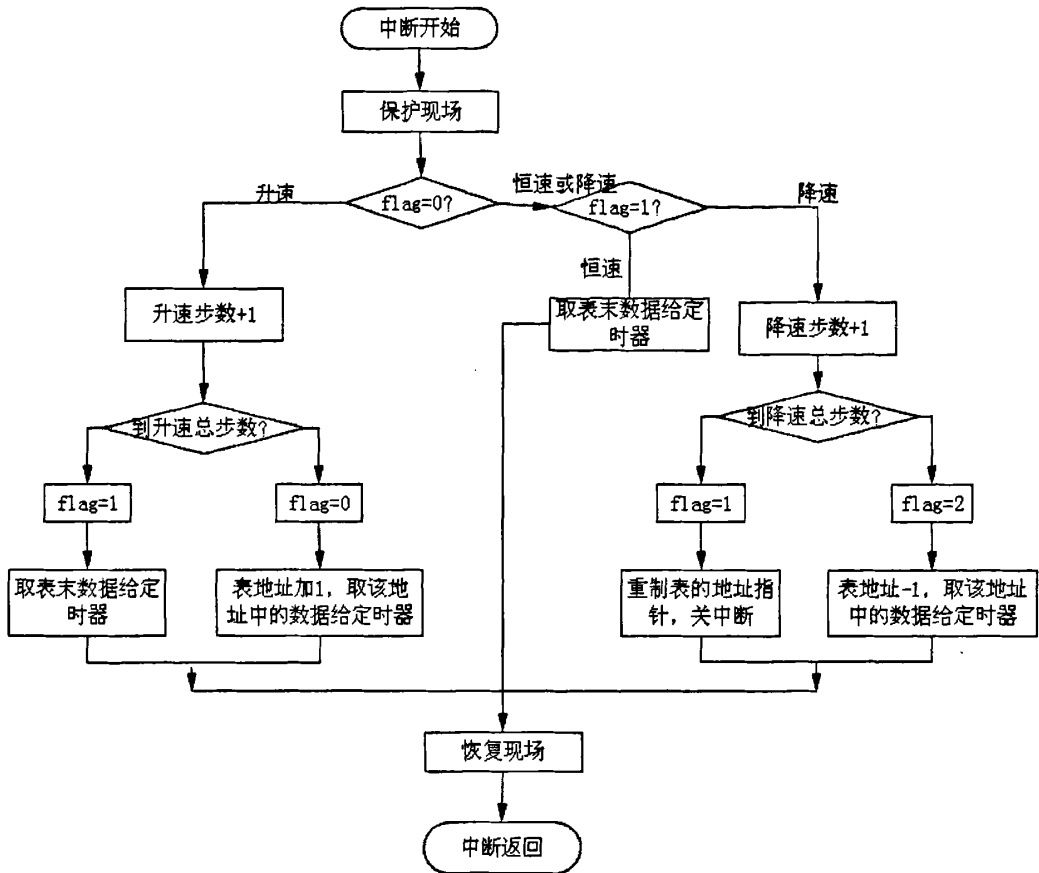


图 4-6 步进电机的升降速控制程序框图

Fig.4-6 Diagram of Step Motor's Speed Controlling Program

4.3.3.2 伺服电机的脉冲频率的设置

由于购买的直流伺服电机的控制卡内部已经集成了脉宽调制器, 故用户只需要给控制卡发一定频率的脉冲就可以驱动伺服电机。为了简化计算过程, 伺服电机的升降速可以参考步进电机的升降速过程来实现。

4.3.4 U 盘并口模块的程序设计

4.3.4.1 单片机从 U 盘中读取数据

U 盘并口模块与单片机之间的数据交换是通过模块中的 CH421A 芯片进行的, 外部单片机与模块交换数据实际上就是单片机存取 CH421A 芯片的内部缓冲区。当模块挂在外部单片机的系统总线上时, 模块需要占用外部单片机系统的两个 I/O 地址, 模块的 I/O 地址就是 CH421A 的接口地址, 其中低地址为 CH421A 的索引地址, 高地址为 CH421A 的数据端的接口地址。在本设计采用以扇区为单位的读取模式, 其程序设计流程如下:

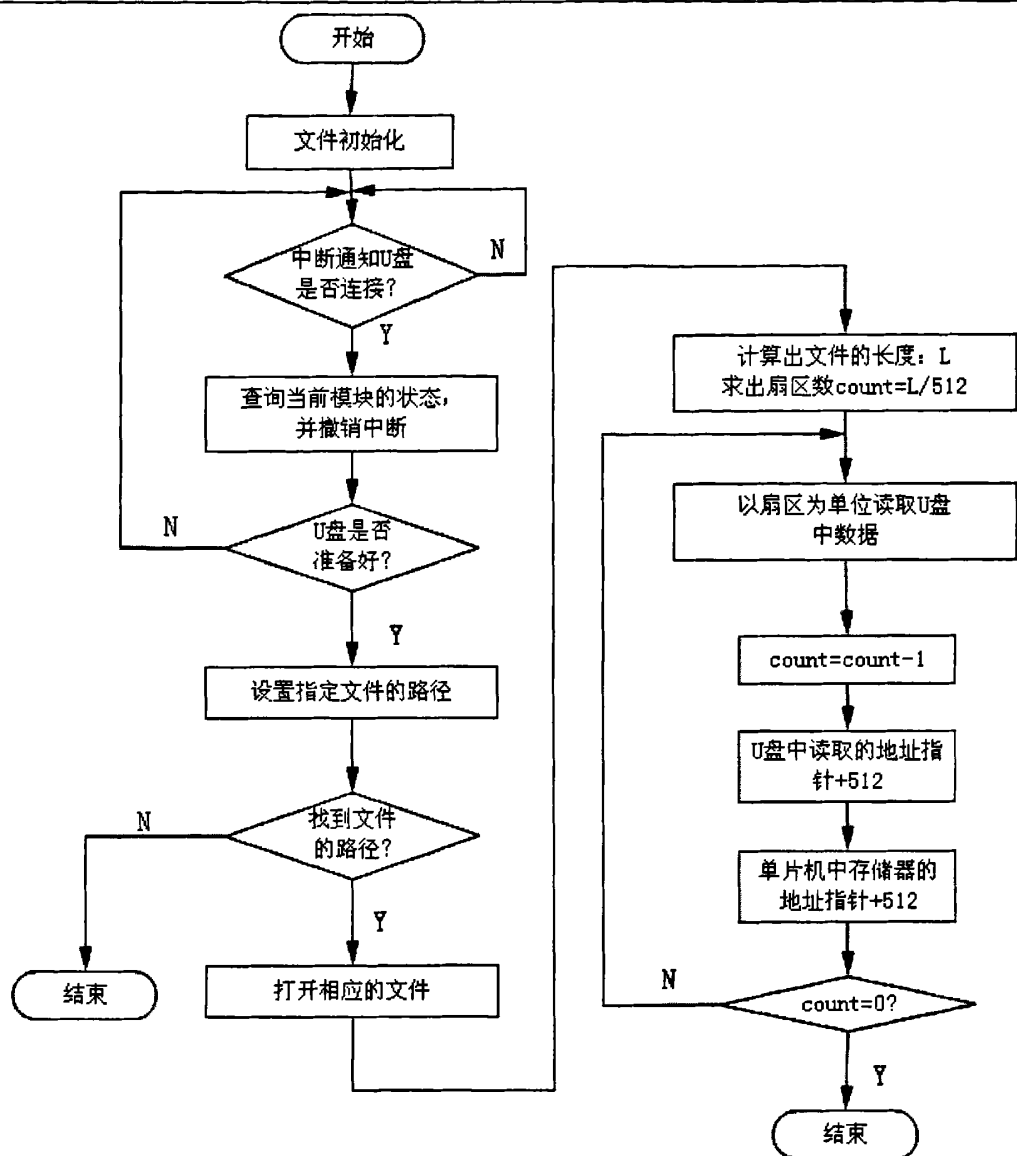


图 4-7 U 盘读取程序框图

Fig.4-7 Diagram of U-Disk Reaing program

4.3.4.2 根据 U 盘中读取的数据执行动作

由于当单片机读取的 U 盘中的数据, 是存放在数据存储器中的, 所以如果要单片机执行 U 盘中数据的动作, 则单片机必须从数据存储器中读出并识别数据, 然后才可以去执行。由于本文中需要读取的是 G 代码, G 代码的编写格式见下一章。

4.4 本章小结

本章根据上一章的硬件电路进行程序设计, 详细地介绍了每一个程序模块的编程思路, 以及给出了程序框图。通过软硬件之间的调试, 完全能满足设计要求。

第五章 雕刻机加工程序

雕刻机程序的编写与数控机床程序的编写基本相同,但也有其特殊性。特别是 HPGL 图形代码在通用数控系统中一般不采用。由此在进行系统软件设计介绍之前,必须首先介绍本系统所支持的雕刻机加工程序的格式。

5.1 雕刻机加工坐标系统

数控雕刻机的坐标系统定义是加工编程的基础,也是数控系统实现加工控制的基础。本数控系统支持两个坐标系统:机床坐标系和工件坐标系。具体示意图如图 5-1 所示。

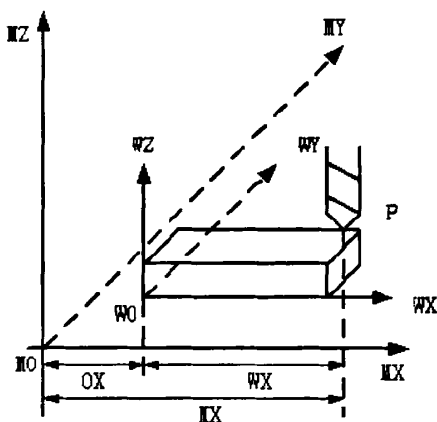


图 5-1 系统坐标系示意图

Fig.5-1 Coordinate of the System

图中, MO 代表机床坐标系的原点; WO 代表工件坐标系的原点,它在机械坐标系中的坐标为(OX, OY, OZ); P 点代表实际的加工坐标点, P 点在机械坐标系中的坐标为绝对坐标(MX, MY, MZ), 刀具在工件坐标系中的坐标为(WX, WY, WZ), P 点在不同的坐标系下具有不同的坐标, 其中的几何关系为:

$$\begin{cases} MX=OX+WX \\ MY=OY+WY \\ MZ=OZ+WZ \end{cases}$$

5.2 雕刻机加工程序

雕刻机程序的编写以工件坐标系为基础,根据加工图样要求的尺寸,可以采用绝对编程、增量编程或者两者混和编程的方式,这与一般数控机床相同。但雕刻机所用程序通常无需考虑循环操作功能,常用的编程语言有两种语言格式: ISO 格式的 GM 编程语言和 HPGL 编程语言^{[35][36]}。

ISO 代码为国际标准,目前我国也以此作为国家标准。本系统采用 ISO 格式 GM 代码编写的雕刻机程序有若干“程序段”,每个程序段由字组成。字是用来表示某一功能

的一组代码符号，可以为英文字母、数字和一些特殊文字。如 Y100 用来表示 Y 向加工尺寸为 100mm。每个字都由字母开头，如 Y100 中的 Y，这种开头字母称为地址。采用 ISO 格式 GM 代码编写的程序中的地址字符意义如表 5-1 所示。

表 5-1 地址字符表

Tab.5-1 Adress Letters

文字地址	功能	数据范围
%	程序开头和结束	
F	进给速度	0-29999
G	准备功能	0-99
I	圆心的 X 坐标	0±9999.999
J	圆心的 Y 坐标	0±9999.999
K	圆心的 Z 坐标	0±9999.999
M	辅助功能	0-99
N	语句号	1-99999
S	主轴转速	0-24000
X	X 坐标	0±9999.999
Y	Y 坐标	0±9999.999
Z	Z 坐标	0±9999.999

雕刻机系统中常使用到的是 G 准备功能字和 M 辅助功能字。准备功能字是使雕刻机执行某种操作的控制字，用 G 和两位数字表示。雕刻机系统中使用的 G 代码被分成 5 组，同组中的 G 代码不能同时出现在一个语句中。具体的 G 功能代码及其功能如表 5-2 所示。

由表 5-2 中可知，雕刻机除了可以使用 G92 建立工件坐标系外，还可以使用 G54-G59 中的任意指令设定坐标系。G54-G59 给出的是工件坐标系与机床坐标系偏差值，所以雕刻机在具体执行的时候只是将当前工件坐标系偏移一个分量。此功能与数控铣床中的相应指令作用相同。

表 5-2 G 功能代码及其功能查询表

Tab.5-2 G Function Codes and Their Functions

G 码	功能
G00	直线插补, 直角坐标, 快速移动
G01	直线插补, 直角坐标, 受进给速度 F 控制
G02	顺时针圆弧插补, 直角坐标, 受进给速度 F 控制
G03	逆时针圆弧插补, 直角坐标, 受进给速度 F 控制
G17	XY 平面设定, 角度基准为 X 轴
G18	ZX 平面设定, 角度基准为 Z 轴
G19	YZ 平面设定, 角度基准为 Y 轴
G92	用当前刀尖位置作程序坐标原点
G54	选用设定的加工坐标系 0, 系统缺省的工件坐标系
G55	选用设定的加工坐标系 1
G56	选用设定的加工坐标系 2
G57	选用设定的加工坐标系 3
G58	选用设定的加工坐标系 4
G59	选用设定的加工坐标系 5
G70	尺寸单位为英寸
G71	尺寸单位为毫米
G90	绝对尺寸
G91	相对尺寸

雕刻机程序的编制非常简单, 只需合理的利用前面介绍的 G 准备功能字和 M 辅助功能字以及其它加工信息就可以完成程序的编写。一条完整的 GM 程序指令称为一个 Block。雕刻机具体的程序结构以 % 开始一个程序, 后面为一系列的定位语句, 最后以 % 结束。每个定位语句前可有以 N 打头的语句号。

在具体的 G 代码程序中, 为了简化程序, 节省存储空间, 普遍使用“模态”指令。所谓“模态”指令是指程序后面的指令如果和前面指令相同, 则后面的指令可以省略不写。如上面例子中 N5, N6 语句没有 G 代码, 只有坐标指令, 它就默认 N4 的代码 G01。在前述 G 代码表中, 除了 G04, G92 之外, 其余 G 码都是具有模态特性的指令。另外 I, J, K 也有模态特性, 如果后一条圆弧指令的 I, J, K 值和前一条圆弧指令的一样, 则可以省略。

5.3 插补算法实现与相关程序

5.3.1 插补概念

所谓插补就是根据给定进给速度和给定轮廓线型的要求, 在轮廓的已知点之间, 确定一些中间点的方法, 这种方法称为插补方法或插补原理^[35]。其任务是按照进给速度的要求, 在加工曲线的起点与终点之间计算出若干中间点的坐标值, 即数据点的密化过程。而对于每种方法(原理)又可以用不同的计算方法来实现, 这种具体的计算方法称之为

插补算法。

5.3.2 插补算法的分类

现有数控系统的插补功能多采用软件方法实现，其中所采用的插补算法优劣将直接决定着数控系统的插补功能强弱和运动控制的性能好坏。一个好的插补算法应该做到：插补所需原始数据少、算法简单、插补精度高、便于控制进给速度。目前使用的插补算法可以分为两大类：一类是脉冲增量插补算法；另一类是数据采样插补算法。

脉冲增量插补算法主要为各坐标轴进行脉冲分配，其特点是每次插补结果仅产生一个行程增量脉冲，以单个脉冲的方式输出给各进给轴的伺服系统，其插补误差不超过一个脉冲增量，常用于以步进电机为伺服驱动的数控系统^[35]。

数据采样插补算法又称为时间标量插补或数字增量插补，其特点是数控装置产生的不是单个脉冲，而是数字量。整个插补过程分两步完成，第一步是粗插补，它是在加工曲线的起点与终点之间插入若干点，即用若干段微小直线逼近被插补直线或圆弧。此些等长直线的具体长度由进给速度与插补周期决定。第二步为精插补，对粗插补的每一微小直线再进一步数据密化，相当于脉冲增量插。该插补方法常用于闭环和半闭环的直流或交流伺服驱动数控系统中。

本系统因驱动采用步进电机，所以使用脉冲增量插补算法。脉冲增量插补算法中较为成熟并得到广泛应用的有以下三种算法：逐点比较法、数字积分法和比较积分法。

逐点比较法^[36]又称为代数运算法，其原理是数控系统在进行插补运算过程中，不断地比较插补结果与加工曲线之间的误差，使下一步插补运动向减少误差的方向移动。其特点是运算直观、插补误差小于一个脉冲量，输出脉冲均匀，而且输出脉冲的速度变化小，调节方便，广泛使用于两轴联动的数控机床。

数字积分法^[36]又称数字微分分析法（DDA）。数字积分法具有运算速度快，脉冲分配均匀、易于实现多坐标的联动控制及平面内各种函数曲线的描绘，应用比较广泛。其缺点速度调节不便，插补精度需要采取一定措施才能满足。

比较积分法^[36]又叫脉冲间隔法或目标跟踪法，具体运算方法为在插补过程中不断地比较各坐标轴进给脉冲间隔的大小，根据比较结果进行脉冲分配。这一过程就是以速度快的轴为基础轴，插补过程中基础轴每次送一个脉冲，非基础轴根据公式判别是否送一个脉冲，通过改变动点坐标的瞬时值，使插补矢量始终指向曲线的切线方向，就可以得到各种加工曲线。这种插补算法集数字积分法与逐点比较法的优点于一身，所以能够实现各种函数和多坐标插补运算，且插补精度高，直线插补小于一个脉冲增量，易于调速、运算简单。

比较上述三种算法，数字积分法可以灵活的实现各种函数曲线的插补和多坐标直线的插补，但由于溢出脉冲频率与被积函数大小有关，所以存在速度调节不便的缺点；逐点比较法进给脉冲的频率取决于插补运算频率，因而速度平稳，调节方便，但是使用的便捷性不如数字积分法。而比较积分法集成了以上两种方法的优点，故在本系统中采用比较积分法的原理进行插补。

5.3.3 比较积分法原理

比较积分法是在逐点比较、数字积分法的基础上派生出来的一种插补算法，它综合了二者的优点，不仅可以插补常见的直线、圆弧而且还可以插补非圆曲线的轮廓^[35]。比如：椭圆、抛物线、双曲线等，是非常实用的插补算法，但主要用于平面曲线的插补^[37]。

5.3.3.1 普通平面曲线的插补公式的推导

对于一般的二次曲线：

$$\frac{qX^2}{2} + pX + \frac{Y^2}{2} + C = 0 \quad (5.1)$$

其中：当 $q=1, p=0$ 时为圆方程；

当 $0 < q < 1, p=0$ 时为椭圆方程；

当 $q=0, p \neq 0$ 时为抛物线方程；

当 $-1 < q < 0, p=0$ 时为双曲线方程。

对 (5.1) 式微分可得：

$$\frac{dY}{dX} = -\frac{qX+p}{Y}$$

写成积分形式为：

$$\int -(X + \frac{p}{q}) dX = \int \frac{Y}{q} dY \quad (5.2)$$

$$\int (X + \frac{p}{q}) dX = -\int \frac{Y}{q} dY \quad (5.3)$$

(5.2) 式曲线的走向见图 5-1 所示：

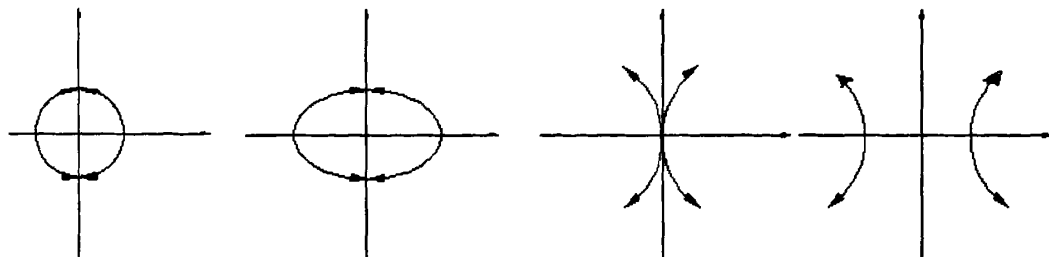


图 5-1 曲线在各象限中的走向

Fig.5-1 Trend of Curve in Four Areas

(5.3) 式则与上图相反

在数控的插补过程中 x 轴 y 轴的进给是以脉冲当量为单位的，即 $dX=dY=1$ ，设曲线起点为 $P(X_0, Y_0)$ ，按矩形积分将(5.2)式近似求和形式，可得：

$$\sum_{i=0}^X (A_0 + i\Delta A) = \sum_{j=0}^Y (B_0 + j\Delta B) \quad (5.4)$$

式中的 A_0 、 B_0 、 ΔA 、 ΔB 依二次曲线种类而确定：

$$\text{椭圆: } A_0 = |X_0|, B_0 = \frac{Y_0}{q}, \Delta A = -1, \Delta B = +\frac{1}{|q|}$$

$$\text{双曲线: } A_0 = |X_0|, B_0 = \left| \frac{Y_0}{q} \right|, \Delta A = -1, \Delta B = -\frac{1}{|q|}$$

$$\text{抛物线: } A_0 = |p|, B_0 = |Y_0|, \Delta A = 0, \Delta B = +1$$

$$\text{圆弧: } A_0 = |X_0|, B_0 = |Y_0|, \Delta A = -1, \Delta B = +1$$

如果是由公式 (5.3) 按矩形积分写成的近似求和公式的话, 同样可以得到 (5.4) 式, 只是里面的参数不一样:

$$\text{椭圆: } A_0 = |X_0|, B_0 = \left| \frac{Y_0}{q} \right|, \Delta A = +1, \Delta B = -\frac{1}{|q|}$$

$$\text{双曲线: } A_0 = |X_0|, B_0 = \left| \frac{Y_0}{q} \right|, \Delta A = +1, \Delta B = +\frac{1}{|q|}$$

$$\text{抛物线: } A_0 = |p|, B_0 = |Y_0|, \Delta A = 0, \Delta B = -1$$

$$\text{圆弧: } A_0 = |X_0|, B_0 = |Y_0|, \Delta A = +1, \Delta B = -1$$

进一步考虑起点在原点, 终点为 (X_e, Y_e) 的直线方程:

$$y = \frac{Y_e}{X_e} x \quad (5.5)$$

对 (5.5) 式求导, 整理得:

$$\frac{dY}{dX} = \frac{Y_e}{X_e} \quad (5.6)$$

对 (5.6) 式化解整理得:

$$X_e \cdot \Delta Y = Y_e \cdot \Delta X \quad (5.7)$$

利用矩形积分公式对(5.7)式近似求和为:

$$\sum_{i=0}^{X-1} Y_e = \sum_{i=0}^{Y-1} X_e \quad (5.8)$$

令 $A_0 = |Y_e|$, $B_0 = |X_e|$, $\Delta A = \Delta B = 0$, 且 $A = A_0 + i \cdot \Delta A$, $B = B_0 + j \cdot \Delta B$, 则 (5.4) 式与 (5.7) 式可以统一为:

$$\sum_{i=0}^X A = \sum_{j=0}^Y B \quad (5.9)$$

(5.9) 式为比较积分法插补运算的基本公式。显然在比较积分法中直线与二次曲线的插补公式是统一的。

由插补公式可以得出插补的运算过程, 由于主要考虑的是直线与圆弧的插补, 故在本论文中重点考虑直线与圆弧的插补, 其它二次曲线可以参考圆弧的插补过程。

5.3.3.2 比较积分直线插补原理

根据上一节 (5.8) 式可以看出: 在 x 方向上每发一个进给脉冲, 相当于积分值增加一个 Y_e ; y 方向每发一个进给脉冲, 积分值增加一个 X_e 的增量。因为只有按照这个关系发脉冲才能保证所走的轨迹为直线。

现引入逐点比较法的思路进行偏差判别 F , 用于进给方向的判别, 以便对进给轴实

施控制。即令：

$$F_i = \sum_{i=1}^{X_i} Y_e - \sum_{j=1}^{Y_j} X_e$$

然后根据各动点处 F_i 值来决定下一步的进给方向。现假设向+X 轴方向进给一步，则可推得：

$$F_{i+1} = F_i + Y_e$$

假设向+Y 轴方向进给一步，则可以推得：

$$F_{i+1} = F_i - X_e$$

假设向+X 轴和+Y 轴同时进给则：

$$F_{i+1} = F_i - X_e + Y_e$$

现将比较积分法直线插补的实现步骤归纳如下：

(1) 基础轴的确定：在插补时取脉冲间隔小的轴为基础轴，即该轴对应的脉冲密度较高，这样每次判别时，基础轴都发一个脉冲，而另一个非基础轴是否发脉冲则有判别函数 F 的正负来决定。也就是说当 $B=|X_e| > A=|Y_e|$ 时，取 x 轴为基础轴，反之取 y 轴为基础轴。

(2) 坐标进给的确定：当脉冲源每发出一个脉冲时，则依 F 的符号确定进给坐标轴。若 $F \geq 0$ 时，则同时进给 x 和 y 轴；当 $F < 0$ 时，只进给基础轴。

(3) 根据上面的偏差计算公式计算偏差值。

(4) 终点判别 $\Sigma x = |X_e|$ ， $\Sigma y = |Y_e|$ 。

以第一象限为例介绍插补程序的流程框图：

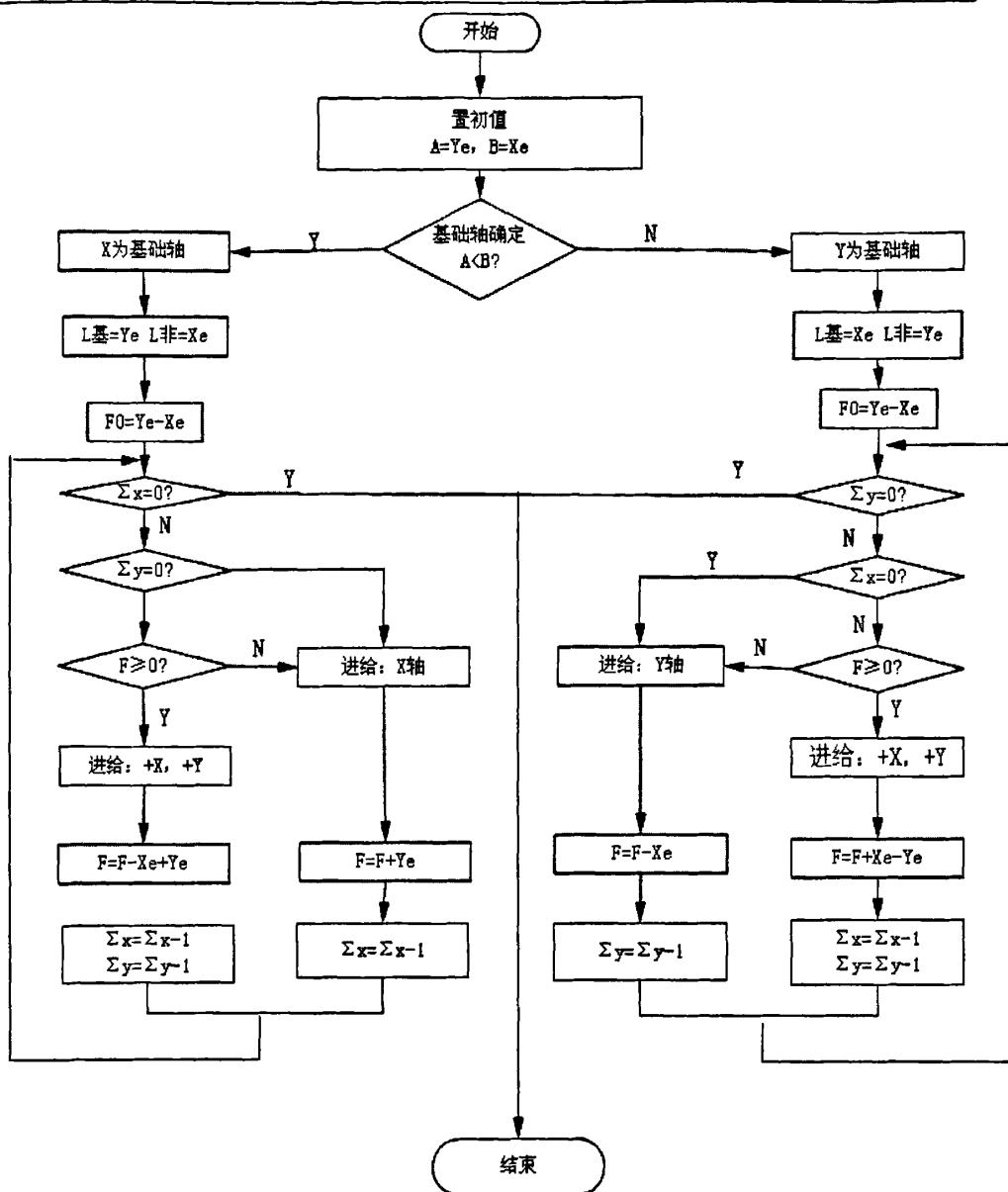


图 5-2 第一象限插补程序框图

Fig.5-2 Diagram of interpolating Program in First Area

表 5-3 为在不同象限中的直线插补进给与判别函数的关系:

表 5-3 不同象限的偏差判别与进给方向

Tab.5-3 Deviation Distinguish and Feeding Direction in Differen Areas

基础轴	判别函数	进给	函数 F 的计算
x 轴 ($ Xe > Ye $)	$F \geq 0$	$\Delta X \quad \Delta Y$	$F = F - Xe + Ye$
	$F < 0$	ΔX	$F = F + Ye$
y 轴 ($ Xe < Ye $)	$F \geq 0$	$\Delta X \quad \Delta Y$	$F = F + Xe - Ye$
	$F < 0$	ΔY	$F = F - Xe$

其中, ΔX 、 ΔY 的进给方向要求根据该直线所在的象限以及直线的走向来判断。

5.3.3.3 比较积分法圆弧插补原理

在推导普通二次曲线时可以看出圆弧方程是在满足圆心坐标为原点的基础上来进行推导的, 故在圆弧插补之前首先得计算出该段圆弧的圆心的坐标, 其次要计算该象限中该段圆弧的插补到终点的总步数, 再次考虑圆弧的过象限的问题。

首先, 圆心计算流程及程序。在 R 编程的格式下^[38], 求圆心, 即已知圆弧的起点 A ($X1, Y1$), 终点 B ($X2, Y2$) 和半径 R 求该段圆弧的圆心坐标 (Xc, Yc)。做辅助线连接 AB, 再作 AB 的垂直平分线, 相交于 M (Xm, Ym) 点。有三种情况需要考虑: 圆心连线与 x 轴平行、圆心连线与 Y 轴平行、除上述两种特殊位置以外的情况。

(1) 圆心连线与 y 轴平行

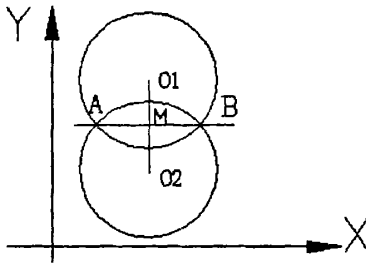


图 5-3 圆心连线与 Y 轴平行

Fig.5-3 Center's Connection Parallel to Y

从图 5-3 中可以看出:

$$Ym = Y1 = Y2 \quad (5.10)$$

$$Xm = \frac{X1 + X2}{2} \quad (5.11)$$

则圆心坐标

$$Xc = Xm = \frac{X1 + X2}{2} \quad (5.12)$$

$$Yc = Ym \pm \sqrt{R^2 - AM^2} \quad (5.13)$$

由 (5.13) 式可以看出, 要确定圆心坐标的值, 必须先确定 Yc 的符号, 确定 Yc 符号的程序框图见图 5-4:

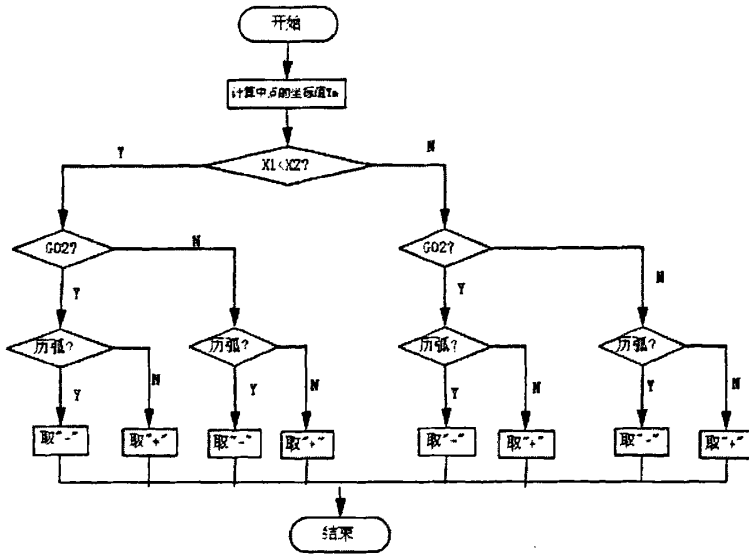


图 5-4 圆心连线与 Y 轴平行的程序框图

Fig.5-4 Diagram of Line Parallel to Y Program

(2) 圆心连线与 x 轴平行

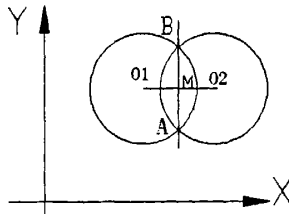


图 5-5 圆心连线与 X 轴平行

Fig.5-5 Line Parallel to X

$$X_m = X_1 = X_2 \tag{5.14}$$

$$Y_m = Y_{c1} = Y_{c2} = \frac{Y_1 + Y_2}{2} \tag{5.15}$$

由图 5-5 可知：

$$X_c = X_m \pm \sqrt{R^2 - BM^2} \tag{5.16}$$

故要求确定圆心坐标只要确定取“+”还是取“-”，其程序设计流程见图 5-6：

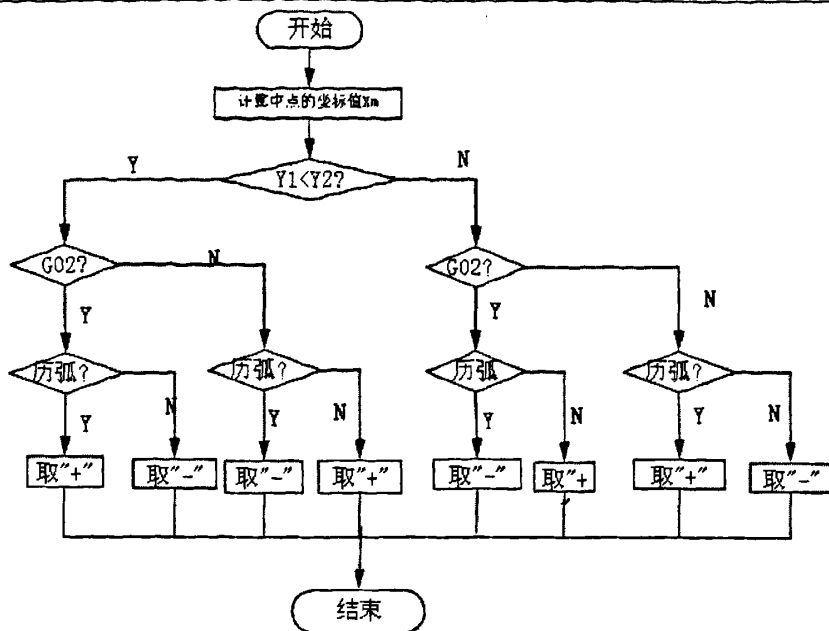


图 5-6 圆心连线与 x 轴平行的程序款图

Fig.5-6 Diagram of Line Parallel to X Program

(3) 一般情况

在一般的位置关系中有以下两种情况，但是在计算圆心时的坐标关系时，是一致的所以只要求考虑一种情况。

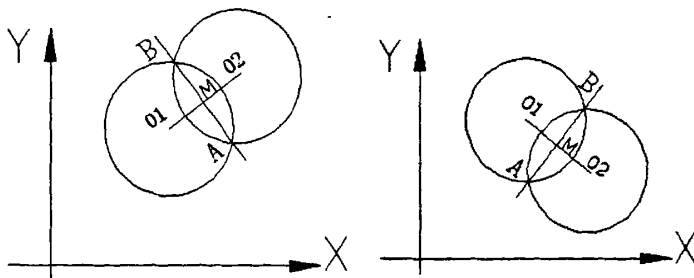


图 5-7 圆心连线的一般情况

Fig.5-7 General Situation of Line Connecting Circles's Centers

$$X_m = \frac{X_1 + X_2}{2} \tag{5.17}$$

$$Y_m = \frac{Y_1 + Y_2}{2} \tag{5.18}$$

O₁O₂ 直线的斜率为:

$$K = \frac{X_2 - X_1}{Y_1 - Y_2} \tag{5.19}$$

直线 O₁O₂ 的方程:

$$y = Kx - \frac{K(X_1 + X_2)}{2} + \frac{Y_1 + Y_2}{2} \tag{5.20}$$

根据圆心到 A 点之间的距离等于半径得:

$$(Y_c - Y_1)^2 + (X_c - X_1)^2 = R^2 \quad (5.21)$$

而圆心 (X_c, Y_c) 在直线 O_1O_2 上, 把圆心坐标代入 (5.20) 式得:

$$Y_c = KX_c - \frac{K(X_1 + X_2)}{2} + \frac{Y_1 + Y_2}{2} \quad (5.22)$$

把 (5.21) 式与 (5.22) 式联立得:

$$aX_c^2 + bX_c + C = 0 \quad (5.23)$$

$$\text{其中, } a = \frac{(X_1 - X_2)^2}{(Y_2 - Y_1)^2} + 1 \quad (5.24)$$

$$b = \frac{(X_1 - X_2)(X_1^2 - X_2^2 - Y_1^2 - Y_2^2 + 2Y_1Y_2)}{(Y_2 - Y_1)^2} + 2X_1 \quad (5.25)$$

$$C = \frac{(X_1^2 - X_2^2 - Y_1^2 - Y_2^2 + 2Y_1Y_2)^2}{4 \times (Y_2 - Y_1)^2 + X_1^2 - R^2} \quad (5.26)$$

对 (5.23) 式进行求根公式得:

$$X_c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4aC}}{2a} \quad (5.27)$$

当确定了 X_c 的值, 代入到 (5.22) 式中就可以确定唯一的 Y_c 的值。要唯一确定圆心的坐标只要求在 (5.27) 式中, 确定“+”或者“-”。程序设计流程框图与第 (2) 种情况一致。

其次, 终点计算。终点的计算根据起点终点的象限不同、顺圆逆圆不同算法不一样。在计算之前需要把坐标轴进行归象限的处理。把 +y 轴归入第一象限, +x 轴归入第四象限, -y 轴归入第三象限, -x 轴归入第二象限^[35]。分为两部分实现: 起点与终点在同一象限; 起点与终点不在同一象限;

(1) 起点与终点在同一象限的程序流程图:

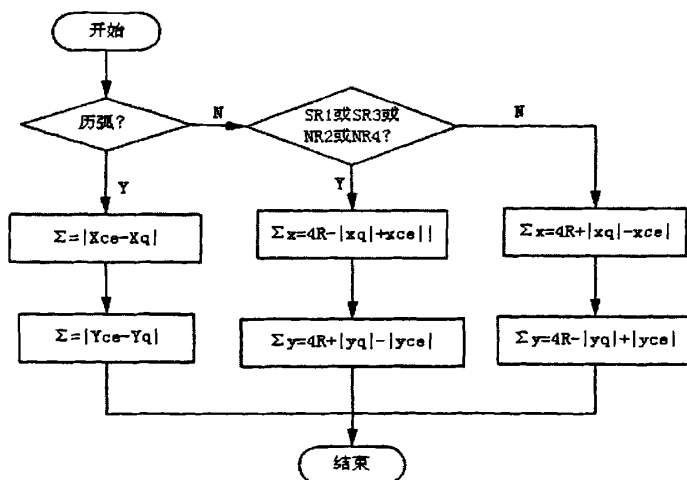


图 5-8 起点与终点在同一象限的终点计算程序框图

Fig.5-8 Culcutting Diagram of Beginning Point and Ending Point in the Same Area

(2) 起点与终点在不同的象限的终点计算

程序思路：首先判断起点在哪个象限，当起点在第一象限时，然后判别终点在哪个象限，程序框图省略。

再次，自动过象限。在插补过程中，直线插补只可能在同一个象限内，也就是不存在过象限的问题，因为在加工直线时始终是把坐标的原点与直线的起点相重合。而圆弧插补有可能存在过象限的问题，因为坐标的原点是与圆弧的圆心相重合。当圆弧过象限时，具有如下特点：其一是过象限前后动点坐标值的符号会变化；其二过象限前后圆弧走向不变；其三圆弧过象限过程中当动点处于坐标轴上时必有一个坐标值为 0，据此可以作为过象限的标志。故当加工的圆弧跨象限时，为了简化编程，需要进行自动过象限处理。

自动过象限要求包括边界的处理和过象限判断^[36]。

过象限边界处理：在进行过象限判别之前必须进行象限的边界处理。象限边界判别就是判别各坐标轴归入到哪个象限，而对于顺圆与逆圆都不一样的处理。对于逆圆弧来讲，(+x)轴归入 NR1，(+y)轴归入 NR2，(-x)轴归入 NR3，(-y)轴归入 NR4；对于顺圆弧，(+x)轴归入 SR4，(+y)轴归入 SR1，(-x)轴归入 SR2，(-y)轴归入 SR3^[37]。

过象限判别的依据：在本文中采用在插补过程中设置动点的方法来判断是否已经过象限。思路：由一个动点 (Xd, Yd) 在插补一步完成时， $X_d = X_d + \delta$ 或者 $Y_d = Y_d + \delta$ ，这样然后判别 X_d 与 Y_d 的正负关系就可以判别现在的动点是在哪个象限，然后调用相应的插补程序。

5.3.3.4 比较积分法圆弧插补原理

根据前一节所推导的插补公式可以看出，对二次曲线而言等式左边与等式右边都是等差数列，圆弧的公差为+1 或者-1，其符号与插补点所在的象限有关。由于 $\Delta A \neq 0$ ， $\Delta B \neq 0$ ，所以 x 轴和 y 轴的脉冲间隔 A 和 B 是不断修改的。

引入偏差函数：根据不同象限和顺逆圆弧引入不同的偏差函数
对于 NR2 或 NR4 或 SR1 或 SR3 而言的偏差函数为

$$F = \sum_{i=0}^n (Y_s - i) - \sum_{j=0}^m (X_s + j) \quad (5.28)$$

而 NR1 或 NR3 或 SR2 或 SR4 的偏差函数为：

$$F = \sum_{i=0}^n (Y_s + i) - \sum_{j=0}^m (X_s - j) \quad (5.29)$$

当偏差函数 $F \geq 0$ 时，往 x、y 方向进给，偏差函数 $F < 0$ 时只往基础轴方向发一个脉冲。

具体实现过程为：

(1) 基础轴的确定：圆弧的基础轴设置跟直线的不一样，圆弧的基础轴是根据当前动点 (X_i, Y_i) 的坐标来决定。当 $X_i < Y_i$ 时，则基础轴为 x 轴，否则就是 y 轴为基础

轴，也就是说基础轴是需要改变的。

(2) 坐标进给方向的确定：由偏差判别函数来确定，当 $F \geq 0$ 时，则往基础轴和非基础轴同时进给，否则就往基础轴进给。

(3) 偏差值的计算：引入两个中间变量 A, B 用来存放进给后的中间偏差值。具体的偏差计算见表 5-4。

(4) 终点判断：根据从起点到终点的总步数来判断是否到达终点。

表 5-4 偏差函数计算及进给

Tab.5-4 Calculating and Feeding of Deviation Funcions

基础轴	偏差判别与进给		中间变量 AB 的变换	偏差函数的计算
x 轴 $A \leq B$	$F \geq 0$	$\Delta X \Delta Y$	$A = A + \Delta A$ $B = B + \Delta B$	$F = F + A - B$
	$F < 0$	ΔX	$A = A + \Delta A$	$F = F + A$
y 轴 $A > B$	$F \geq 0$	$\Delta X \Delta Y$	$A = A + \Delta A$ $B = B + \Delta B$	$F = F - A + B$
	$F < 0$	ΔY	$B = B + \Delta B$	$F = F + B$

其中 ΔX 、 ΔY 、 ΔA 、 ΔB 的值与圆弧所在的象限和顺逆圆有关，详细见表 5-5。

表 5-5 不同象限的进给方向与中间变量的值

Tab.5-5 Feeding Direcion and Middle Variables in Different Areas

象 限	顺圆				逆圆			
	第一 象限	第二 象限	第三 象限	第四 象限	第一 象限	第二 象限	第三 象限	第四 象限
ΔA	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
ΔB	-1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1
ΔX	+X	+X	-X	-X	-X	-X	+X	+X
ΔY	-Y	+Y	+Y	-Y	+Y	-Y	-Y	+Y

偏差函数的计算过程，见图 5-9

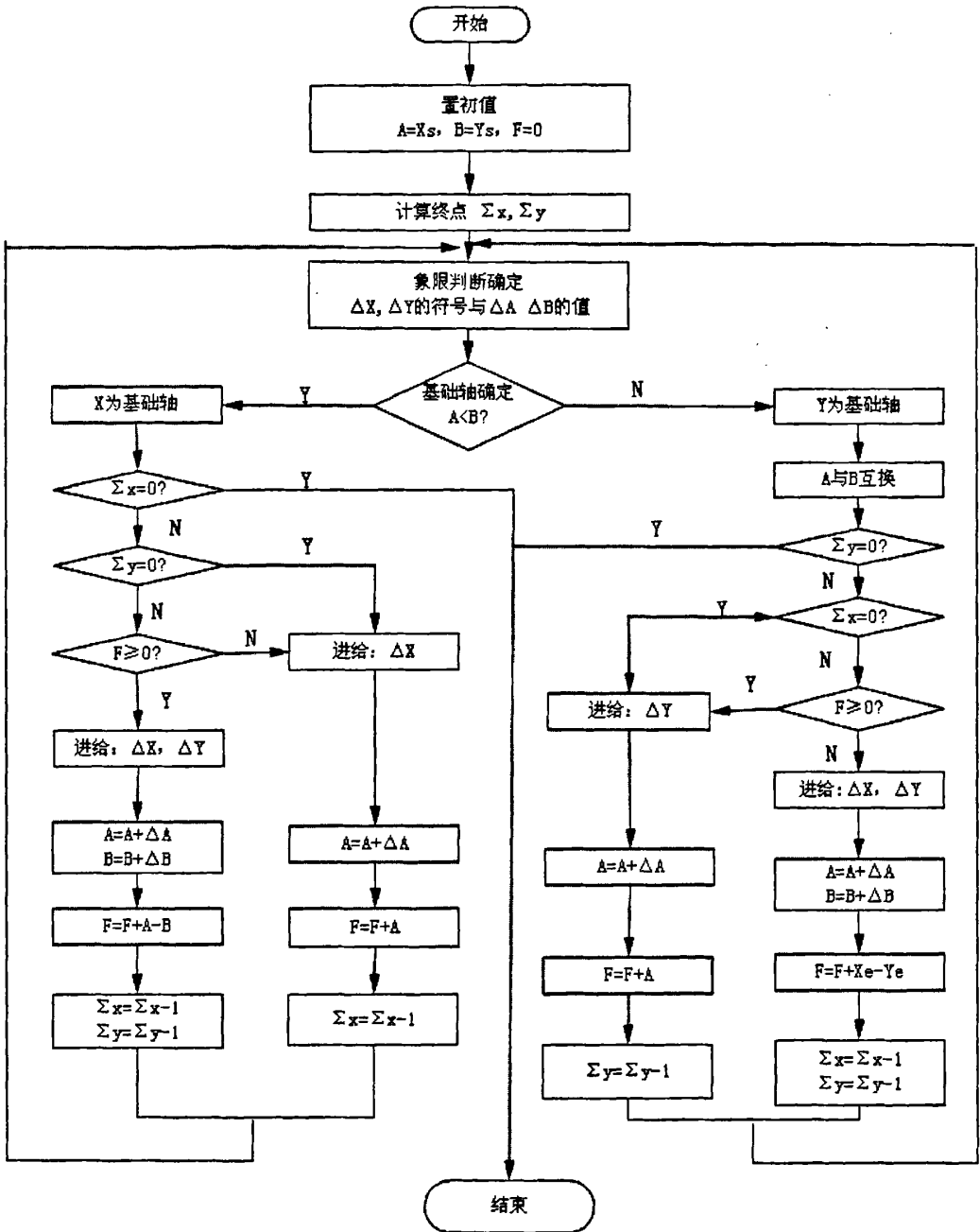


图 5-9 某一象限圆弧插补程序框图

Fig.5-9 Diagram of Interpolating Program in someone Areas

5.4 本章小结

本章首先介绍了数控代码的编写格式，然后介绍了插补的基本概念，最后通过查阅相关资料，详细地介绍了通过比较积分法进行数控插补的算法原理、编程思路和程序框图，由于现有资料中很少有关于比较积分法的介绍，通过跟导师讨论以及在样机上的试验，认为在本论文中的比较积分法的编程思路正确可靠。

第六章 抗干扰系统的设计

实际工作中，雕刻机的控制系统所处的工作环境非常恶劣，如果不对系统采取有效的抗干扰技术，系统将难以可靠正常运行，直接影响到系统工作的可靠性、稳定性。因此在控制系统设计中就要考虑设计抗干扰的措施以尽可能保证雕刻机的正常工作^[39]。

要解决系统干扰问题首先要找到干扰源，然后再采用硬件和软件措施消除或削减干扰源对系统的干扰。

6.1 硬件抗干扰设计

6.1.1 干扰源的分析

一般而言，导致干扰的原因有：电源的干扰、数据通道之间的干扰、电磁干扰及温度、湿度的干扰，这些是系统可靠性设计方面的问题。

电源的干扰，属于公共阻抗耦合方式。

I/O 数据通道干扰，通过与主控制器相连的输入通道、输出通道及与其他主机相连的相互通道进入。

电磁干扰，通过电磁波辐射串入系统。

6.1.2 抗干扰措施

具体硬件抗干扰主要措施如下：

(1) 采用良好的电源供电可以提供整个系统的可靠性，本设计中采用开关电源供电。

(2) 进行电路板设计的时候采用多层电路板，为电源和地提供独立的电源层和接地层，避免电流通过电源线和地线时产生压降导致电源不稳定。本系统设计电路板时采用的是双层板，其中电源线在顶层，接地线在底层，这样确保电源能够稳定供电。

(3) 在每个接电源正极的引脚输入端与地之间增加 0.01-0.1 μ f 的去耦电容；每个芯片的电源并联 0.01-0.1 μ f 的去耦电容，通过这种方法可以有效的解除引脚之间、芯片之间存在的干扰^[40]。

(4) 对于 I/O 数据通道采用数据线之间平行布线，且都以圆角转弯。

(5) 电磁干扰一般发生在步进电机河伺服电机的发送脉冲上故采用光电隔离器屏蔽干扰源。

(6) 光电隔离消除外部干扰。系统的输入输出通道是干扰信号窜入的另一个途径，系统设计中分别对每一路输出和输入信号经过光耦隔离，阻断外部信号进入控制系统。

6.2 软件抗干扰设计

为进一步提高系统的可靠性，仅仅有硬件抗干扰措施在很多场合下是不够的，本系

统还采用了必要的软件抗干扰措施，具体有以下几种方式：

(1) 在软件设计过程中采用模块化设计方式，将一个系统划分为若干个独立的功能模块。在进行模块编程的时候尽量不采用跳转指令，通过这种设计方法使得编程思路清晰，编写的程序可读性高、维护方便^[5]。

(2) 编写软件的时候采用自顶向下、逐步细化的方法。从开始设计就要有一条明确的设计思路，避免了将较多的大量时间纠缠在底层问题上。

(3) 对于开关量输入要进行软件滤波，保证输入的数据稳定可靠，降低因随机干扰带来的误差。

(4) 在程序段的空闲存储器里填入空操作指令，并且在其末尾放入一条无条件转移指令，使程序跳到出错处理子程序。这样当系统受到干扰时，能够快速响应，及时补救，防治出现意外。

6.3 本章小结

通过反复的研究现有的资料，在本章中详细地介绍了抗干扰形成的原因，以及抗干扰的措施，并在本设计制作的电路板中得到了验证，证明本系统工作性能稳定，抗干扰能力强。

第七章 课题总结与展望

雕刻机数控系统是一种专用数控系统，侧重实现加工的高速性和性价比。研究开发高性价比的雕刻机数控系统，是我国雕刻行业进一步发展的前提保证。

针对数控雕刻加工的特殊要求，本文对雕刻数控系统研发中的若干关键技术进行了研究，并成功开发出雕刻数控系统样机。

7.1 总结

本文针对计算机雕刻数控系统进行了研究。分析了当代雕刻数控系统发展的趋势，围绕着雕刻数控系统的运动控制技术，从运动控制的体系结构、插补精度、速度控制以及相邻轮廓曲线无间隙加工等方面进行了设计和研究。本课题主要工作如下：

(1) 分析比较了现有雕刻数控系统的不足，结合高速数控的技术发展，提出了基于 U 盘的雕刻机技术，采用单片机完成人机界面、数控雕刻、识别 U 盘的设计方案，可以较好的兼顾系统的性价比。

(2) 在运动控制算法上，应用比较积分法插补，结合良好的进给升降速控制算法，实现了高速雕刻加工相邻线段之间的平滑过渡，以及能够加工出复杂曲面，满足了雕刻加工对速度及加工平稳性的要求。

(3) 采用 C 语言编程完成了本系统的软件设计，利用 C 语言的各种函数的调用，构成整个软件的主体框架、实现非实时性任务，既提高了系统软件的编程效率和可维护性，又保证了系统良好的实时性。

(4) 最后，成功通过了样机系统的软硬件联调。联调结果表明，样机系统的功能和性能达到了预期设计要求。

其中本文的最大创新点就在于单片机能识别、读取 U 盘中的信息，并将数控系统中传统的数据传输模式转变为以 U 盘为媒介的数据传输；还有就是推导出了比较积分法插补二次曲线的方程的偏差函数及其插补过程。

7.2 研究展望

雕刻机数控系统是一门综合技术，需要先进的计算机软硬件技术支持。随着计算机技术、网络技术和微电子技术的不断发展，雕刻数控系统要不断的吸收新的科技成果。本系统在以下几个方面有待提高和完善。

(1) 本系统没有涉及位置反馈，目前只是开环控制系统，没有形成闭环控制。为进一步提高系统的控制精度，后续工作可以对此进行完善。

(2) 本系统采用的是一个单片机的控制系统，这样就会使得加工速度不会很高，故在接下来的课题研究中可以采取双单片机或者多单片机的主从式控制。

(3) 在本系统中缺少一个对刀的程序，在后续的工作中可以自制一个自动对刀仪。

致 谢

本论文是在指导教师吕彦明副教授的具体指导下完成的。在这两年的研究生学习期间，吕老师在科研、生活上给了我悉心的指导和亲切的关怀，同时还给予了我充分的信任和广阔的发展空间。在这两年的研究生学习期间，在吕老师的教导下，我学到了很多关于数控这个行业的前沿知识。吕老师严谨求实的治学作风和一丝不苟的工作态度使我受益终生，他广博的知识和敏锐的洞察力对我的科研工作给予了极大的指导。在此，我向吕老师表达深深的敬意和谢意。

此外，在我学习和课题完成期间，得到了寇伟、秦忠、史亚文等师兄弟的热情帮助，借此机会表示衷心的感谢！

最后衷心感谢我的父母对作者多年的养育之恩和辛勤培育之情，他们的无私支持帮助作者顺利的完成了学业。

陈 涛

2008年7月

参考文献

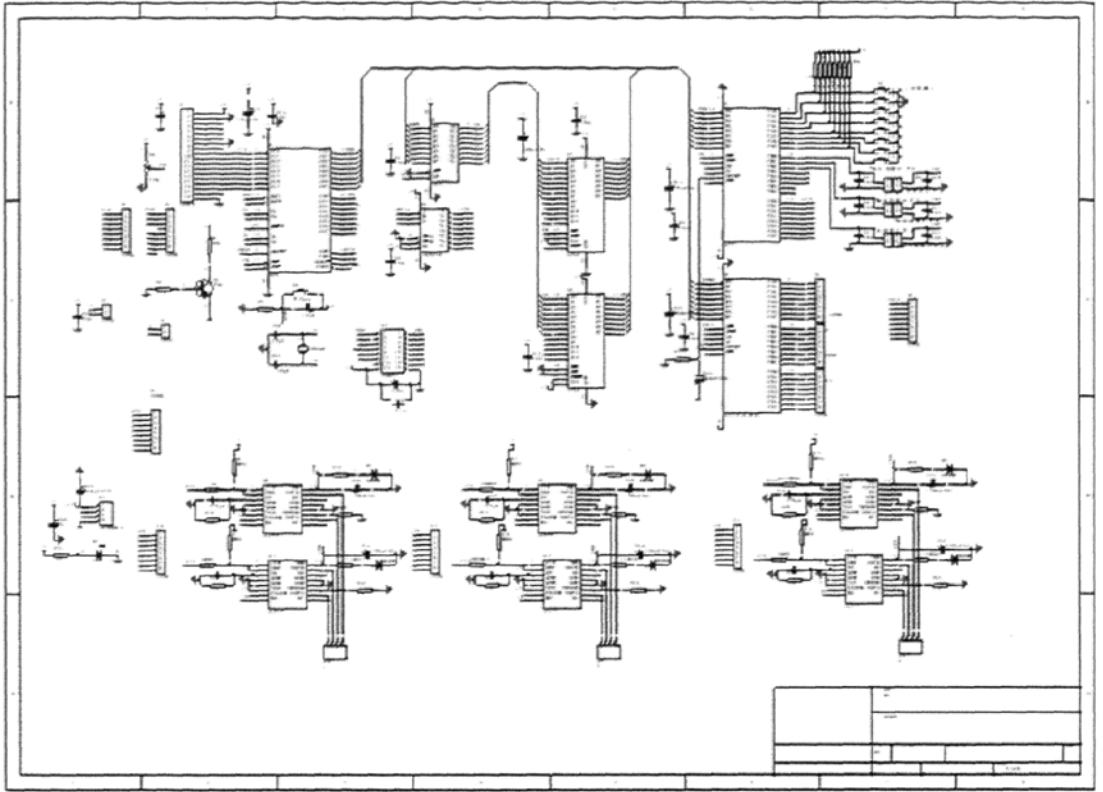
- [1] 蔡悦华, 刘文清, 何哲明. 基于 MCS-51 单片机的普通机床数控改造[J]. 常德师范学院学报(自然科学), 2001, 13(1): 12-13
- [2] 王传海. 经济型数控机床的改造及应用[J]. 煤矿机械, 2003(4): 1-72
- [3] 蔡悦华, 王恒奎, 廖德刚等. 一种基于主从控制的经济型数控系统[J]. 机电工程, 2007, 17(1): 40-42
- [4] 越玉刚, 邢建国, 江世成. 数控工艺画雕刻机机械装置的设计[J]. 机械设计与研究, 1999(2): 66-67
- [5] 曾伟梁, 王青松, 傅建中. 计算机数控雕刻系统软硬件研究[J]. 机械与电子, 2001, (5): 43-45
- [6] 李元强, 那明君, 杨晓丽等. 仿形雕刻机的设计[J]. 农机化研究, 2004(4): 87-88
- [7] 张昱, 刘志峰. 经济型三维机械雕刻机的开发[J]. 机械制造与研究, 2006, 35(4): 28-31
- [8] 赵玉刚, 周锦进, 江士成等. 基于 PC 总线的三维数控雕刻机 CNC 系统[J]. 大连理工大学学报, 1998, 38(2): 202-206
- [9] Universal Host Controller Interface (UHCI) Design Guide Rev1.1. Intel Corporation. 1996
- [10] MCF5272 USB Developer Manual[J]. UC/OS Device Driver for CBI&Isochronous Transfers, 2002, 3(5): 100-101
- [11] 陈亮, 刘开华. 通用 USB 总线接口设计与应用[J]. 电子测量技术, 2006, 29(3): 164-165
- [12] SL811HS1SL811HST Application Notes. Cypress Semiconductor Corporation. 2002
- [13] 南京沁恒电子有限公司. CH375 总线接口芯片数据手册(第二版)[Z], 2004, 12.
- [14] ATMEL. AT89S52.pdf[Z].
- [15] 吴金成, 沈庆阳, 郭庭吉. 8051 单片机实践与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. 1-410
- [16] 李华. MCS-51 系列单片机使用接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003. 1-100
- [17] YUNDI. HY6264A series 8kx8bit coms sram.pdf[Z].
- [18] Intel. 8255A/8255A-5.pdf[Z].
- [19] 王鸿钰. 步进电机控制技术入门[M]. 北京: 同济大学出版社, 1995. 97-200
- [20] 万文. 经济型数控车床中步进电机的选择[J]. 南昌航空工业学院学报(自然科学版), 2003, 17(4): 80-83
- [21] DB810A 数字直流伺服驱动器使用手册[Z]. 深圳雷赛机电技术开发有限公司. 2007
- [22] YKA2304ME 细分驱动器使用手册[Z]. 深圳市研控自动化科技有限公司. 2006
- [23] 刘滨, 赵艳华, 周鹏. U 盘在数据采集系统中的应用[J]. 电测与仪表, 2005(11):

- [24] 郑宽磊, 赵娟, 王典洪等. 基于 MCU 和 CH375 的并口转 USB 口驱动器的设计[J]. 2006, 22 (8-2): 139-142
- [25] 李劲松, 武培秀. 点阵液晶显示器汉字程序设计[J]. 电测与仪表, 2003 (4): 52-56
- [26] 杨恢先, 杨穗, 王子菡等. 液晶显示模块 FM12232C 的原理及其在数控切割系统中的应用[J]. 电子器件, 2004, 27 (3): 443-447
- [27] 12232D 图形点阵 LCD 模块介绍[Z]. 深圳天正达电子有限公司. 2005
- [28] 张来勇, 李玉忍. 单片机与 JM12232A 图形液晶显示模块的接口设计[J]. 现代电子技术, 2001 (12): 81-83
- [29] 胡乾斌, 李光斌, 李玲等. 单片微型计算机原理与应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1996. 1-178
- [30] 于松章. 经济型数控系统的软件设计[J]. 机械管理开发. 2003 (3): 77-78
- [31] 黄诗涌, 王晓初, 廖永进等. 一种高性能的步进电机运动控制系统设计[J]. 微计算机信息(测控自动化), 2006, 22 (6-1): 38-39
- [32] 李海波, 何雪涛. 步进电机升降速的离散控制[J]. 北京化工大学学报, 2003, 30 (1) 92-94
- [33] 胡建华, 廖文和, 周儒荣. CNC 系统中的几种升降速控制区县的研究与比较[J]. 南京航空航天大学学报, 1999, 31 (6): 706-711
- [34] 杨建宁. 单片机对步进电机升降速的控制[J]. 中小型电机, 1997, 24 (6): 44-46
- [35] 任玉田, 焦振学, 王宏甫. 机床计算机数控技术[M]: 第二版. 北京: 北京理工大学出版社, 2002. 119-163
- [36] 严爱珍. 机床数控原理与系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999. 62-112
- [37] 周惠. 比较积分法插补过程的研究与仿真[J]. 机床与液压, 2004 (3): 70-73
- [38] 王健, 林述温. 数控 R 编程中求解圆心坐标的一种统一算法[J]. 现代制造工程, 2007 (6): 30-31
- [39] 曾伟梁, 王青松, 傅建中等. 计算机数控雕刻系统软硬件研究[J]. 机械与电子, 2001 (1): 44-45
- [40] 俞国林. 电路板制作方法的比较分析[J]. 科技信息, 2006 (1): 166-167
- [41] 张伟, 王力. Protel 99SE 基础教程[M]. 第 7 版. 北京: 北京人民邮电出版社, 2006. 1-2
- [42] 陈光东. 单片微型计算机原理及其 C 语言程序设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003. 70-212
- [43] Eli Flaxer. Compact Programmable Controller for a Linear Piezo-stepper Motor[J]. Mchatronice, 2003 (16): 303-308

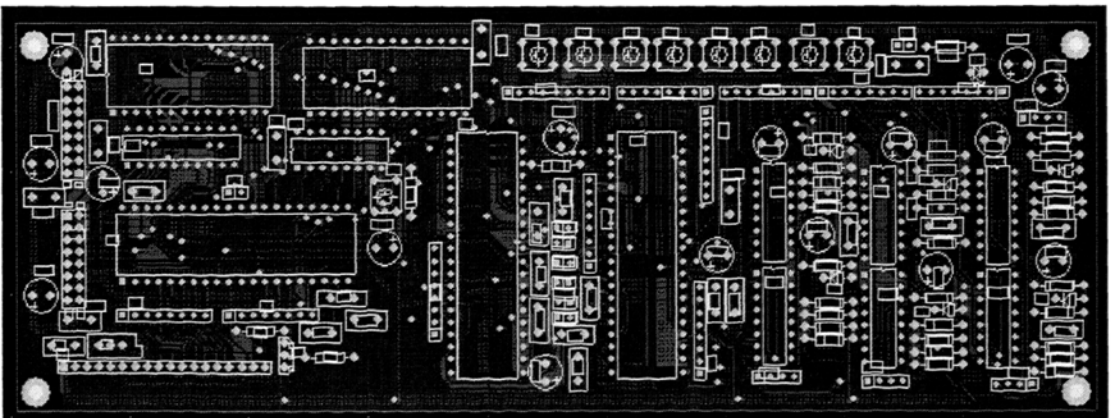
附录 1： 作者在攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] 陈涛, 吕彦明. U 盘技术在数控雕刻机中的使用[J]. 机械制造, 2007, 45 (12): 23-25

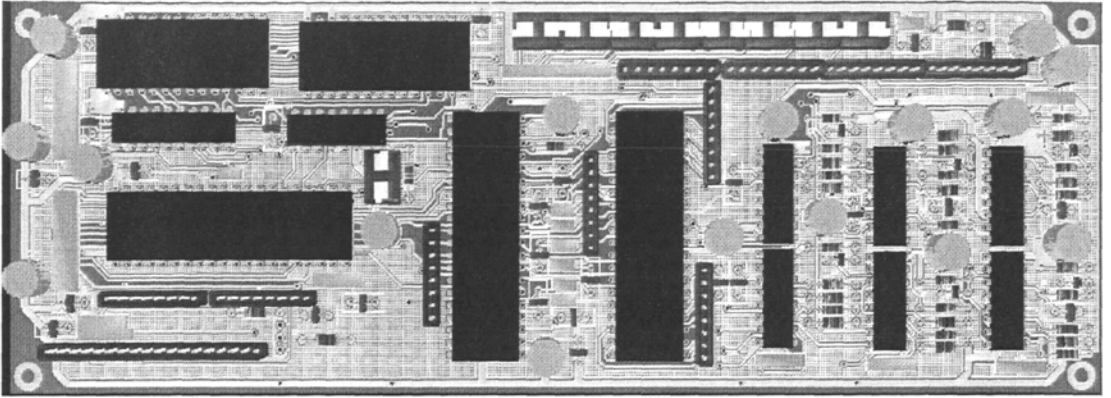
附录 2：电路原理图与实物图



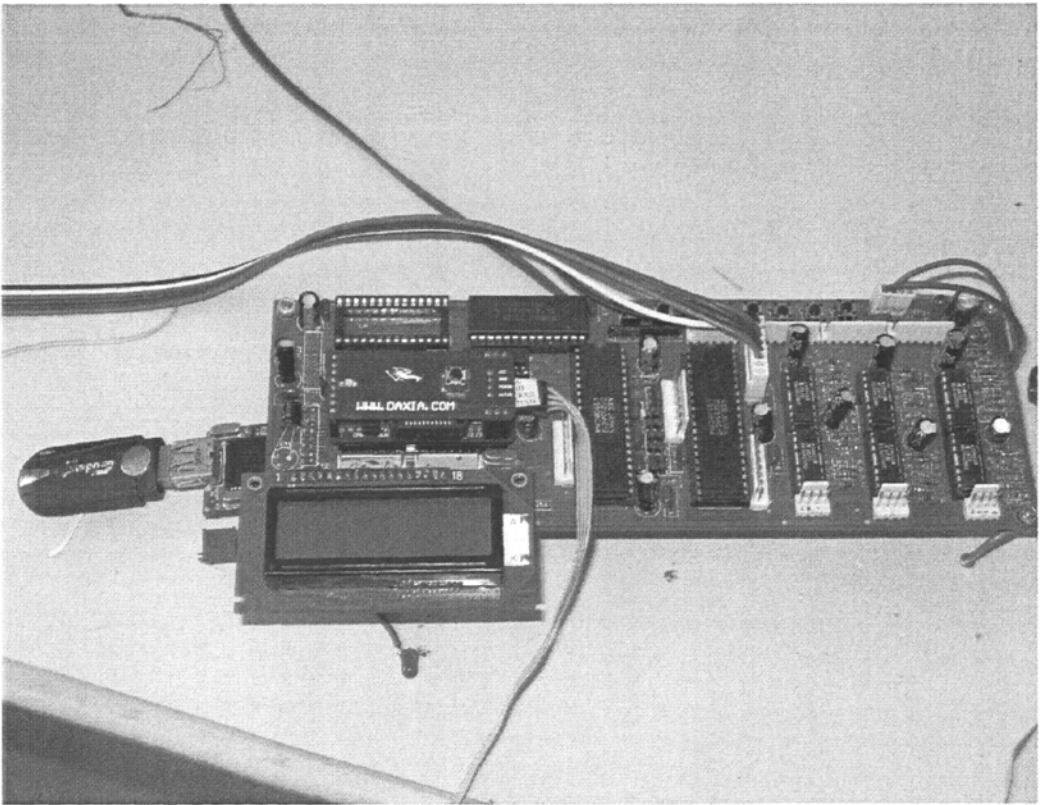
附图 1：系统接口原理图



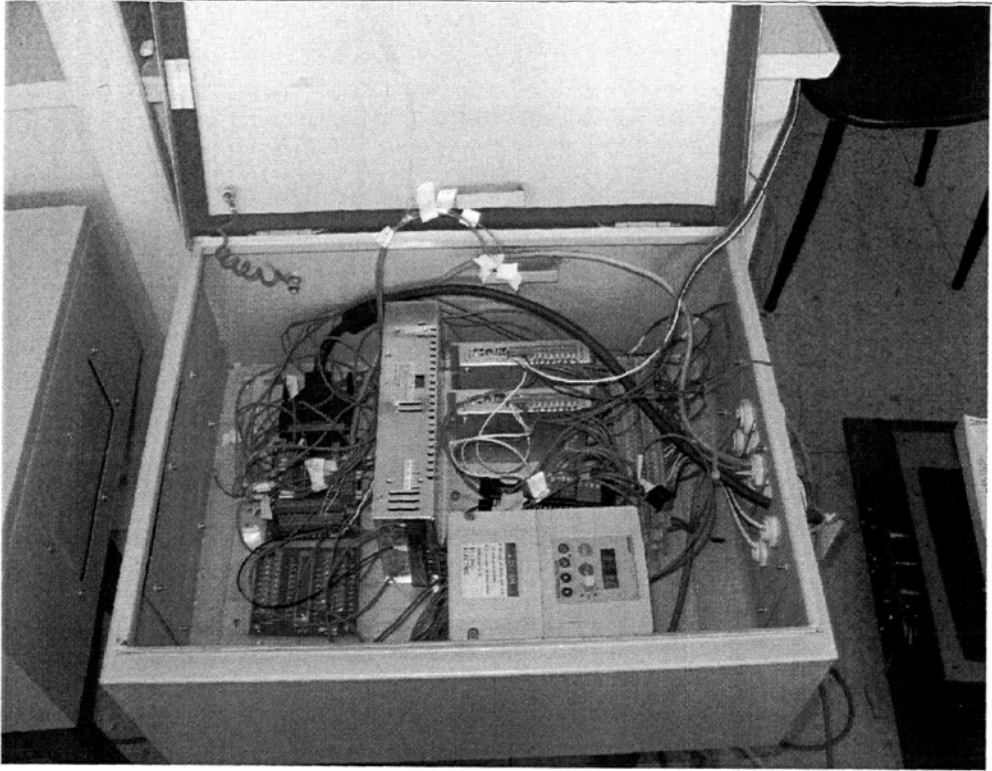
附图 2：印制电路板



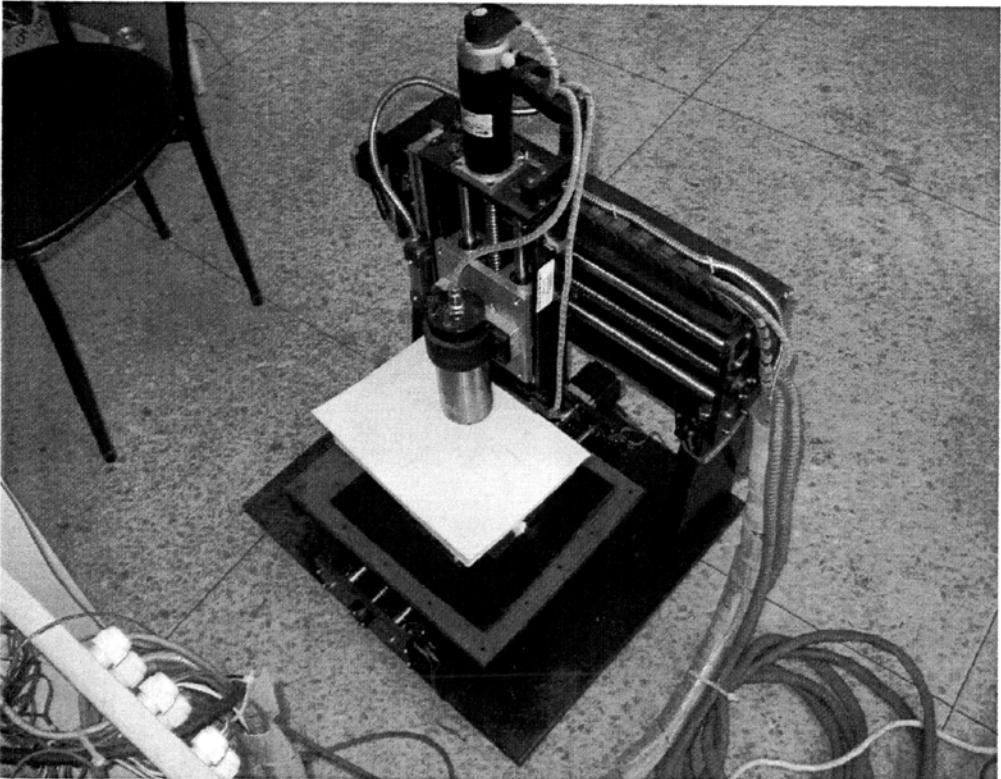
附图 3 protel 生成的三维印制电路板



附图 4 电路板实物图



附图 5 电机控制柜实物图



附图 6 雕刻机实物图