

ABSTRACT

Except plank stuff, tube is a kind of proximate matter that is most widely used in aviation, automobile, petrochemical industry, furniture and transportation. With the development of machinery manufacture technology, computer technology, modern control technology and sensor measuring technology, the development of machining industry become fast and the demand of tube become higher. As a device of the tube-end machining, it is very important to increase the accuracy of tube-end machine.

This paper designed a control system of tube-end forming machine. It can implement accurate machining to tube-end. The control core of the machine is PLC. The machine is composed of servo motors, hydraulic components, touch screen and some other mechanism. With the HSC of the PLC, it can get very high accuracy by using linear encoder as the position detect component.

On the base of the enterprise's situation, considering the requirement of the technology and system accuracy, this paper discussed general design of control system of the tube-end forming machine, and selected and designed the main controller, optical grating, AC servo system and Human Interface Machine. By the installation of the mechanical structure of the machine and the debugging of the control software, the motion control of the machine was implemented, and the requirement of the accuracy was implemented, too.

The system can implement auto control and manual control. Its' HMI can monitor every link of tube-end machining. Its operation is very simple. At the same time, it also has higher reliability and friendly human-machine interface.

【key words】 PLC, HMI, AC Servo System

东南大学学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个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，也不包含为获得东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了谢意。

研究生签名： 杨宏宇 日期： 2008.5.8

东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名： 杨宏宇 导师签名： 杨宏宇 日期： 2008.5.8

第1章 绪论

1.1 课题背景和意义

机械制造业是国民经济的基础产业，国民经济中很多行业的发展，都依靠机械制造业的支持；它的发展直接影响到国民经济各部门的发展，也影响到国计民生的提高和国防力量的加强，因此，各国都把机械制造业的发展放在重要位置。随着机械产品市场竞争的日益加剧，各公司都把高新技术注入机械产品的开发中，作为竞争取胜的重要手段。因此，机械制造业是其他高新技术实现工业价值的最佳集合点^[1]。

管类结构具有强度高、刚度好、外形美观、节省材料的特点，其成形加工性也非常优良。除了传统的车、铣、刨等机械切削方式外，管材还可以用冲裁、弯曲、缩口、扩口、胀形、翻转等塑性方法加工。以各种金属薄壁管件为主的中空截面管件，广泛应用在航空航天、车辆、石油化工、家具及交通运输等领域，特别在汽车、摩托车上，管件是除板材外使用最多的一类型材。以管件为坯料，进行各种加工以得到制件，称为管件的二次加工，简称管件加工。其中对管件端头进行扩口、缩口、胀形、旋沟、倒角等加工，称为管端成形加工。

目前，以不锈钢、优质合金等材料制造水管、油管和气管是世界的潮流和发展方向。管件端头形状的加工要求、形式、深度都发生不同变化，成形精度、同轴度、粗糙度、通用互换率的特定要求均明显提高，提出了高智能化的要求。“十一五”计划期间，建设部把“薄壁不锈钢建筑排水管应用技术”等建设项目列入科技成果推广项目，为多工位管端机械提供了更好的发展机遇。

为了加快管材加工机械技术的研究和开发步伐，提高机械设备的科技含量，开发具有市场竞争能力的新产品，江苏合丰机械有限公司与东南大学合作开发一款管件端头成形加工的生产母机——“SG35CNCVⅧ全自动管端成形机”。该设备采用一次装夹完成整个工序，高精度光栅尺闭环检测，成熟可靠的工业控制设备，交流伺服传动和电液比例阀控制系统，从根本上提高了管端成形加工的精度，解决了以前管件端头加工设备的重复定位精度低，加工精度差，手动操作多等问题，大大提高了国产设备的管端成形加工的效率。该项目的实施推进了工业界与大学之间的合作交流，促进了科技成果的转化。

1.2 管端成形机概述及工艺流程

管端成形机是对管件端头成形的机械加工设备，可利用不同的模具对管件端头进行扩口，缩管，切削，倒角，旋沟等加工。

管件端头成形加工的工艺作过程大致可以分为以下几个步骤：

首先管件定位，管件夹紧，选择模具，进模，加工（成形，切削，倒角，旋沟），加工完毕退模。根据管件的工艺要求，重新选择模具，即换模，重复上述步骤，直至加工完成后，模架归位，退夹，取下管件。管件端头成形加工的工艺过程如图 1.1 所示：

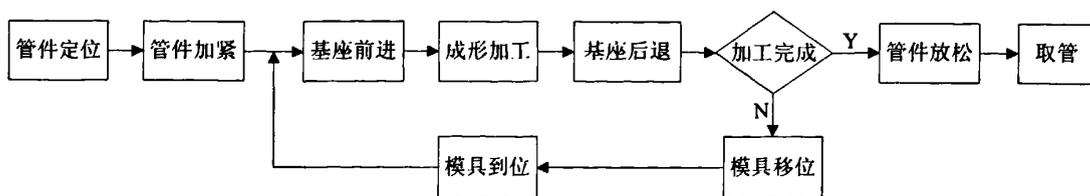


图 1.1 管端成形工艺过程

1.3 国内外管端成形机的现状

目前,国内三~六工位机型制造厂家趋于增多,已经初步形成产业集群,为世界高新技术产业的梯度转移和调整提供了机遇。但其技术成熟程度,仅处于一~六工位扩管、缩管的功能,机构最多为6工位,局限于安装扩、缩管模具。为此,多数管端成形机只能进行N次扩、缩管加工,遇到旋沟和倒角工序就不能一次装夹加工完成,需在不同机床上分次加工。国内行业中的设备大都集中在大中型合资和合资企业手中,设备的电气控制系统通常采用单片机或PLC控制,例如:乔升机械的“EF30-6缩管机”、人和机械的“RH-38缩管机”。该设备局限在对管端扩、缩、钝变径加工,机械结构简单,产品精度低,不能满足高精度复杂管件一次成形的要求。其缺点在于管端形状复杂的管子要分两台及其以上的设备才能完成。二次加工造成装夹定位精度差,生产效率低。

国外在这个行业领域中已经发展多年。追溯到上世纪中期国际高端市场在对管端成形机的机械结构、工艺工程、控制技术、加工精度和整机可靠性、稳定性的研发中,就开始把扩、缩、旋沟、倒角等4个主要功能集中为一体,形成产业化。目前已有美国的Eagle、RMD、意大利BLM、BEMA、STARBEND等公司的产品成功投放市场。其电气控制系统通常采用工控机和HMI界面,设备操作方便,管件端头的成形精度高。

1.4 SG35CNCVⅧ全自动管端成形机的组成

SG35CNCVⅧ全自动管端成形机(如图1.2所示)是由机械系统、电气系统、液压传动系统等部分组成。

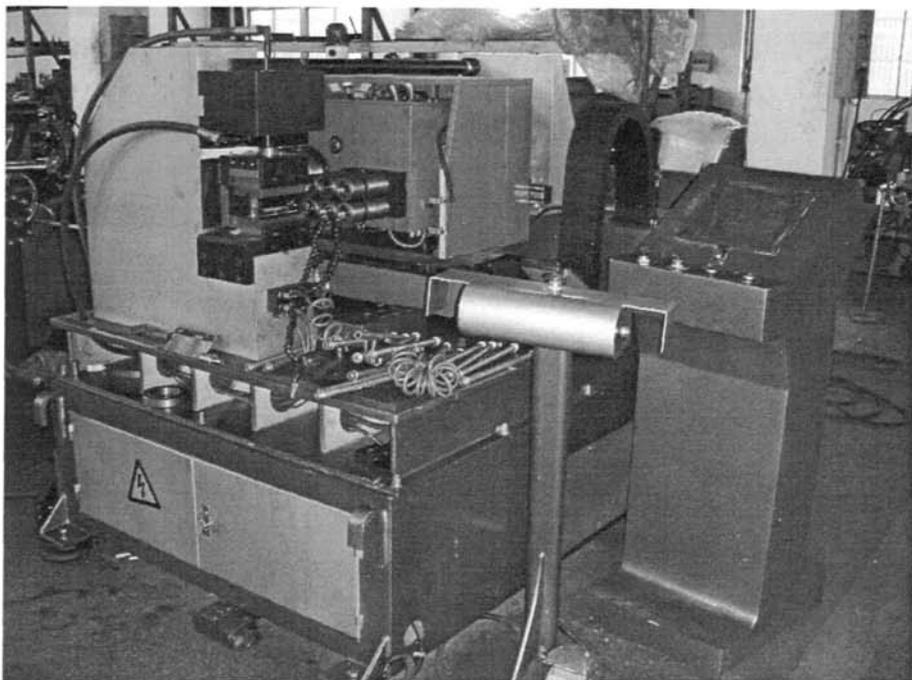


图 1.2 管端成形机

1、机械系统

管端成形机的机械系统包括机身、滚珠丝杆机构、箱体、模具基座、管件加紧装置、双手起动手柄和触摸屏操作台。机身是由板材、型材焊接铸造而成的床身,床身上装有导轨,导轨上的所有机械装置都能在主油缸的牵引下在X方向上前进后退。床身导轨上面是滚珠丝杆机构,滚珠丝杆镶嵌在两侧装有导轨的U形槽内。导轨上面的箱体和模具基座在滚珠丝杆的驱动下在Y方向上左右移动。箱体是由板材连接而成,

左右内侧各有2个竖直方向的导轨。箱体底部有一小型油缸，油缸的活动杆和模具基座相连。箱体后面装有一个气缸，气缸的活动杆连接一个垫块。油缸顶起，模具基座沿着两侧的导轨上升，到位后，气缸推出垫块至模具基座下方，油缸压下，模具基座压在垫块上；这样就实现了模具基座的上升。模具基座的下降是逆过程：油缸先顶起，气缸退回，垫块退到模具基座外侧，油缸再压下，直到模具基座回到箱体底部。模具基座上装有6个扩管/缩管的模具和旋沟、倒角装置。这8个成形模具间的位置关系如图1.3所示。模具基座实际位置如图1.4所示。管件加紧装置是由2个单相阀控制的油缸，以实现对管件的固定。双手起动手柄上面左右两侧各装有一个按钮，自动控制方式下，这两个按钮同时按下才有起动信号。手柄下面装有一个脚踏开关。放好管件后，踩下脚踏开关，装置自动抱紧管件。触摸屏操作台是由板材焊接而成，上面固定了人机界面，旁边装有钥匙式电源按钮、紧急停止按钮、液压电机起动按钮、电机停止按钮和系统复位按钮。

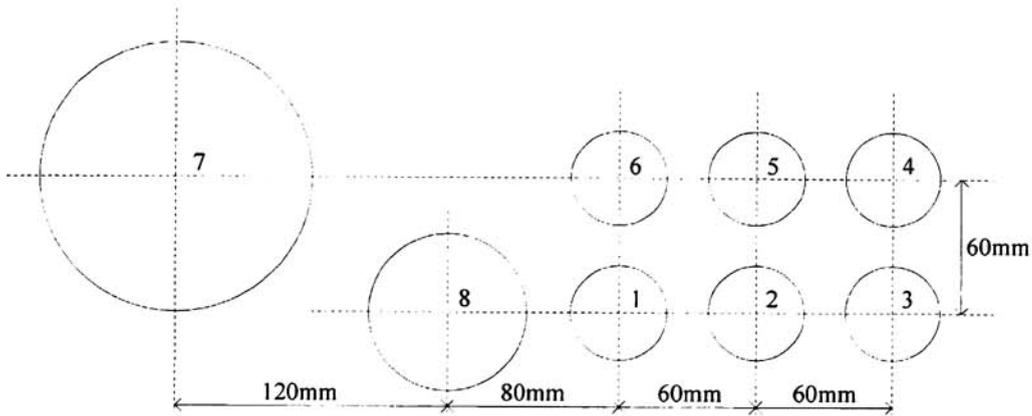


图1.3 模具位置示意图

注：1到6号是扩管或缩管成形模具；
7号是旋沟模具，8号是倒角模具

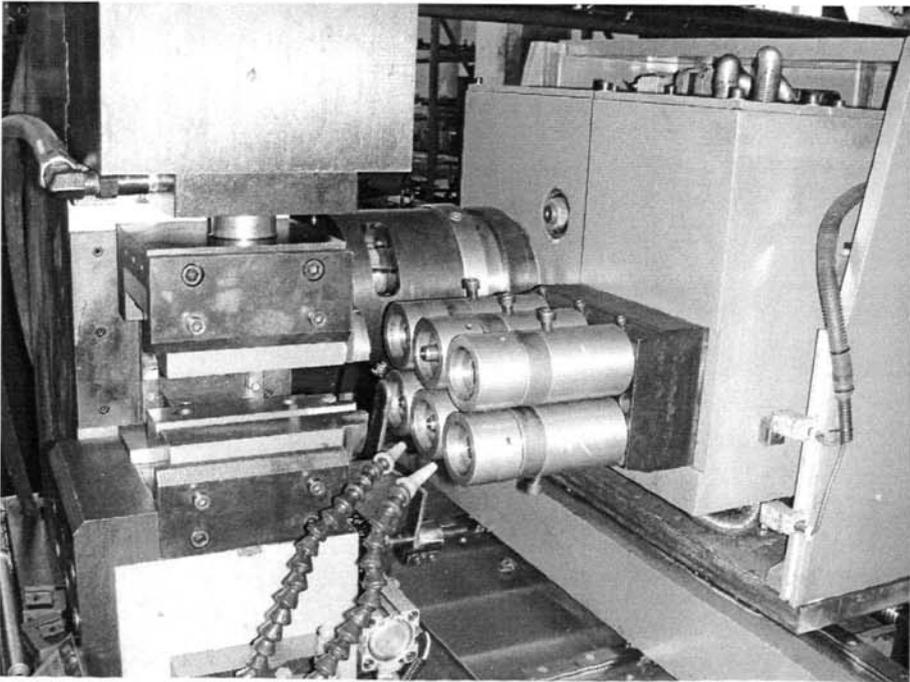


图1.4 模具基座图

2、电气系统

管端成形机的电气系统由电气控制柜、可编程控制器、人机界面、光栅尺、伺服电机及其控制器等部分组成。本系统采用 380V 三相电源供电,其中液压泵电机由 380V 供电,伺服系统主电源由变压器输出的 220V 电源供电,可编程序控制器和伺服系统的控制电路由开关电源提供 24V 直流电压,光栅尺等测量部件由开关电源提供 5V 直流电压。电气控制柜中配有交流接触器、中间继电器、功率放大器、伺服驱动器,具有较高的稳定性、可靠性和抗干扰性。

3、液压传动系统

液压传动是以液压油作为介质来实现各种机械量(力、位移或速度等)的传递。现在,许多新型的工程机械、数控加工中心、自动化生产线都采用了液压传动。近十年来,液压技术与传感技术、微电子技术密切结合,出现了许多诸如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机(液)电一体化器件,使得液压技术在高压、高速、大功率、低噪声、使用寿命长、高度集成化等方面有更大发展。当今液压技术亦发展成为包含传动、控制与检测在内的自动化技术,作为柔性制造系统(FMS)在包装设备、自动化生产线和机器人等方面成为不可缺少的重要手段^[2]。

与机械传动和电力拖动系统相比,液压传动具有以下优点^[2]:

- 1) 液压元件的布置不受严格的空位位置限制,系统中个部分用管道连接,布局安装有很大的灵活性,可以构成用其它方法难以组成的复杂系统。
- 2) 可以在运行过程中实现大范围的无极调速,调速范围可达 2000:1。
- 3) 液压传动传递运动均匀平稳,易于实现快速启动、制动和频繁的换向。
- 4) 操作控制方便、省力,易于实现自动控制、中远程距离控制、过载保护。与电气控制和电子控制相结合,易于实现自动工作循环和自动过载保护。
- 5) 液压元件属机械工业基础件,标准化、系列化、通用化程度较高,有利于缩短机器设计、制造周期和降低制造成本。

除此之外,液压传动突出的优点还有单位质量输出功率大。液压传动的功率元件可采用很高的压力(一般可达 32MPa,个别场合更高),因此,在同等输出功率下,具有体积小、质量小、运动惯量小、动态性能好的特点^[2]。

管端成形机的液压系统由夹紧油缸、顶起油缸、主油缸和液压马达 4 个部分组成。夹紧油缸用于夹持管件,保证加工过程中管件的固定。顶起油缸用来切换上下两排模具。主油缸控制模具基座的前进后退。系统中的夹紧油缸、顶起油缸和主油缸均由液控单向阀锁紧,减少了工作中的压力损失,保证了油缸活塞在任意位置保持不动,从而使管端成形机的夹紧、支撑等动作可靠。主油缸回路由光栅尺、PLC 的高速输入模块、电液比例流量压力阀、叠加式液控单向阀和电磁换向阀构成闭环控制回路,控制模具的前进与后退,实现模具的精确定位。液压马达回路由 PLC 的高速输出模块、电液比例阀、叠加式液控单向阀和电磁换向阀构成控制回路,实现模具的旋沟或倒角操作。液压系统原理如图 1.5 所示。

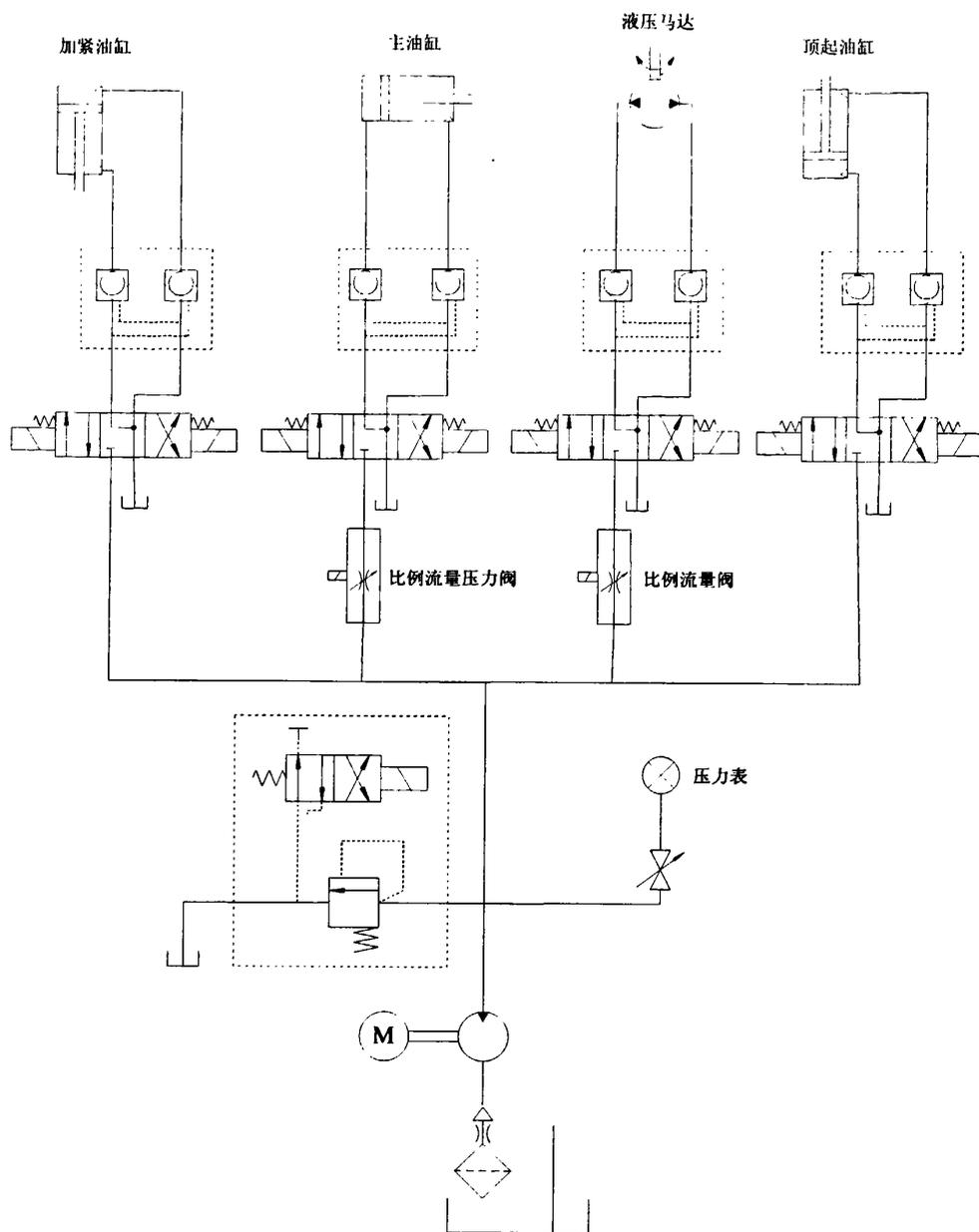


图 1.5 液压系统原理图

1.5 管端成形机的控制要求

整个机器由主控制器，触摸屏，脚踏开关，伺服电机，光栅尺和比例液阀等构成，可以测量模具基座的进给距离，可以通过比例阀控制模具基座给进的速度，可以通过伺服电机驱动滚珠丝杆调整模具基座位置。双手启动按钮作为自动加工的启动信号。该系统能够完成手动、自动两种工作方式。对管件成形过程中的各个开关、按钮的状况可以进行实时监控和显示，使得操作人员对机器的工作状态有一个快速直观的了解。在工作过程中，工作参数具有可选性与可调性。

具体步骤说明如下：

- 1) 模具对管件工位定位，等待放管。（即定位气缸驱动定位挡板，管件端头接触挡板放置）。

- 2) 管件夹紧装置的夹紧动作, 由时间控制, 时间长短可设定, 精度 0.1 秒, 夹紧动作到位后电磁铁断电, 由单向阀保持油缸压力。
- 3) 模具基座上的八个成形模具的工作顺序可任意选择, 其中旋沟和倒角动作的模具由液压马达进行控制, 动作时通电, 不工作时断电。
- 4) 左右换模: 模具基座的横向移动由伺服电机驱动滚珠丝杆完成。
- 5) 上下换模: 选择下排模具则油缸做顶起动作, 模具上移到位后, 下方的垫块气缸动作, 将垫块推入, 油缸再把模具基座下压至垫块上。选择上排模具, 同样, 油缸先将模具顶起, 气缸移出垫块, 油缸再把模具基座下压至箱体底部。
- 6) 前后移模: 主油缸推动模具基座, 对管件进行成形, 平面倒角、旋沟等动作, 前进到位的精度 $\pm 0.02\text{mm}$, 前进位置的数据可以单独设定。前进速度在到位前逐步降低, 以提高到位精度、降低冲击。
- 7) 管件夹紧装置的松开动作, 由时间控制, 时间长短可调, 精度 ± 0.1 秒, 返回后松开电磁铁断电。
- 8) 取管。

1.6 管端成形机的精度要求

该机器采用一个机体八个工位的设计, 一次装夹, 连续加工完成多工序流程, 排出了重复装夹带来的误差, 保证了管端口的同轴度、光洁度; “旋沟头”和“倒角头”两个工位采用了新技术结构传动, 避免了其工作中的重复定位不稳定, 动作不规则的缺点; 扩、缩管工位呈双排结构布置。

系统性能指标:

- 1) 夹紧、退夹的时间分辨率 0.1s;
- 2) 换模精度: $\pm 0.02\text{mm}$, 换模最快速度: 0.05~0.16m/s;
- 3) 加工精度: $\pm 0.02\text{mm}$, 加工最快速度: 0.08~0.2m/s;
- 4) 旋沟速度: 0~500rpm;
- 5) 倒角转速: 0~1400rpm;
- 6) 整循环成形周期: 10~30s。

1.7 本文所做的主要工作

- 1) 结合企业具体情况, 在分析管端成形机的工艺要求的基础上, 通过比较论证, 确定控制系统的设计方案, 实现了管端成形机的动作要求, 达到对管材加工精度的要求。
- 2) 完成了管端成形机的伺服驱动, 位移测量、主控制器和人机界面触摸屏等的硬件选型与设计。
- 3) 根据管端成形机的工艺要求, 完成了管端成形机控制系统 PLC 软件设计和触摸屏人机界面监控程序设计。
- 4) 完成了管端成形机控制系统的安装、实验和调试。

第2章 管端成形机电气控制系统的研究

2.1 管端成形机的电气控制系统

由系统的工艺流程和动作可知,该管端成形机的电气控制系统主要实现对液压马达的起/停控制和转速大小的控制,以及实现模具基座在空间 X、Y、Z 三个方向上的位移控制。电气系统的操作界面是触摸屏,控制核心是可编程序控制器,传动系统是交流伺服控制器和伺服电机,位移检测元件是直线光栅尺。管端成形机的电气系统组成结构如图 2.1 所示。

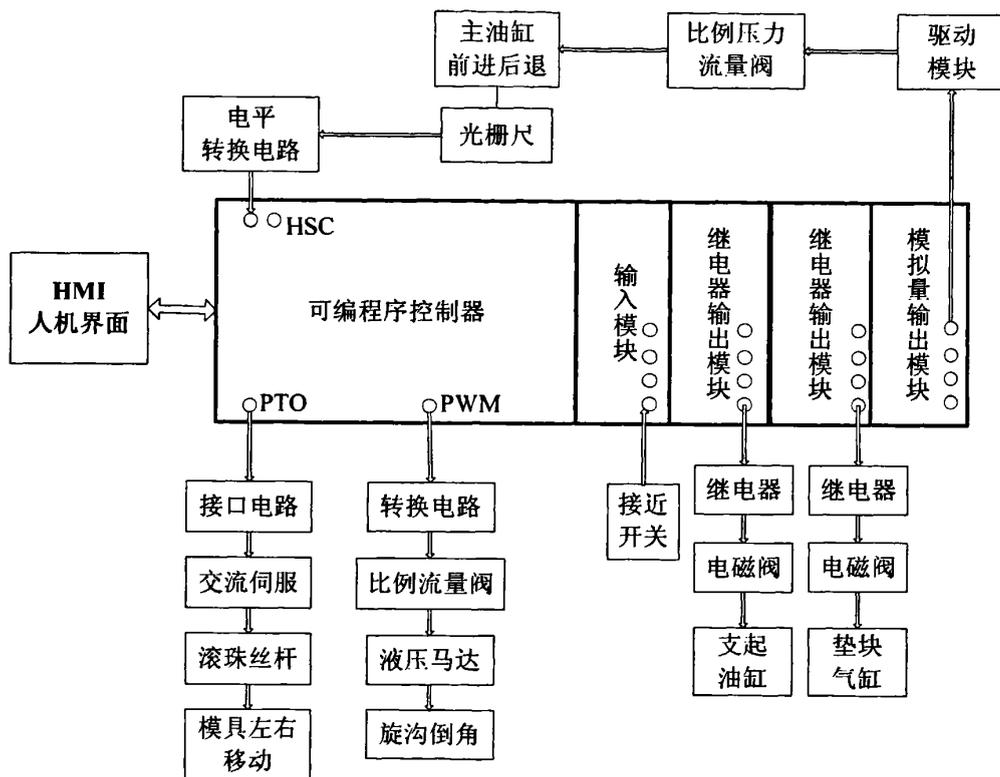


图 2.1 管端成形机电气控制系统结构图

系统中的人机界面负责工艺流程、工艺参数的设置,手动操作,自动操作以及报警信息的提示等。模具基座在 X 方向上的前后移动由主油缸来驱动,其运动速度的大小由比例阀的流量线圈控制,前进推力的由比例阀的压力线圈控制。比例阀的驱动信号是电流,所以,驱动模块负责把 PLC 的电压输出信号转换为比例阀所需要的电流信号。模具基座在 Y 方向上的左右移动由交流伺服驱动器控制伺服电机驱动滚珠丝杆顺时针/逆时针旋转来实现。模具基座的在 Z 方向上的上下移动由箱体底部的支起油缸和垫块气缸配合动作来实现。模具基座的上移是支起油缸先把基座抬起到位,气缸把垫块推倒基座底部,然后支起油缸在把基座下放至垫块上;模具基座的上移是支起油缸先把基座抬起,气缸把垫块缩回到基座外部,然后支起油缸把基座下放至箱体底部。液压马达的主轴通过齿轮箱驱动旋沟头和倒角头一起转动。两者与液压马达主轴的齿轮比不同,所以,旋沟头的最大转速为 500r/s,倒角头的最大转速为 1400r/s。液压马达的转速是由比例流量阀控制的。通过改变控制器的 PWM 波形的占空比可以实现对比例阀的流量调节。液压马达的旋转方向是由一对换向阀控制来实现的。图 2.2 所示的为管端成形机的电气原理图。

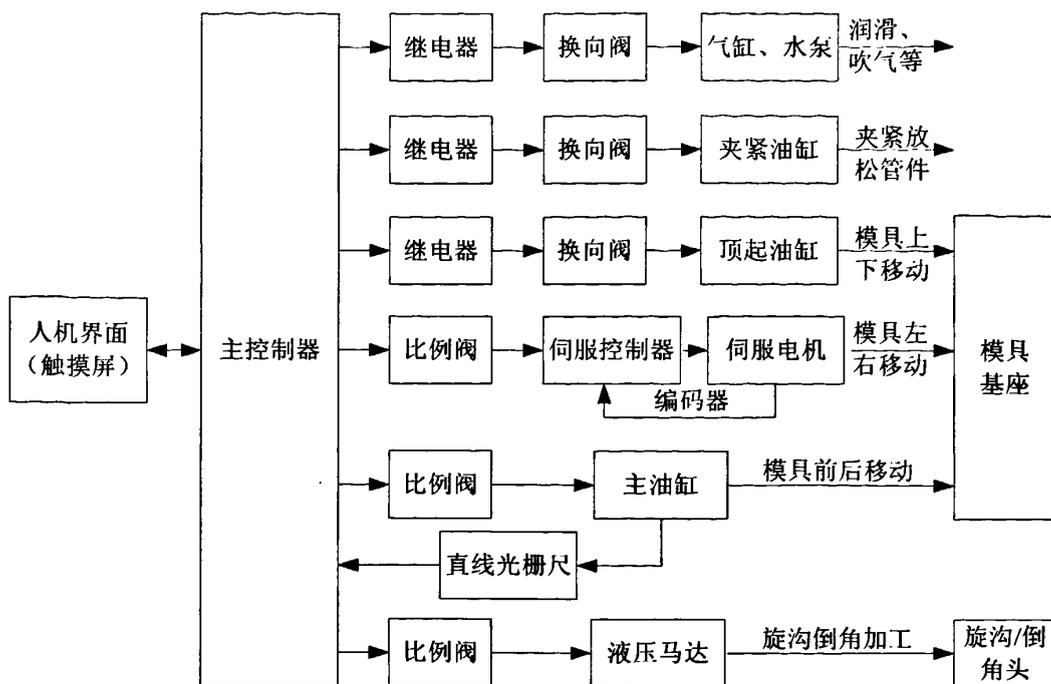


图 2.2 管端成形机电气控制系统原理图

2.2 交流伺服系统及选型

2.2.1 伺服系统

伺服 (servo) 意味着“伺服”和“服从”，广义的伺服系统是指精确地跟踪或复现某个过程的反馈控制系统，也可称为随动系统。而狭义伺服系统的被控制量（输出量）是负载机械空间位置的线位移或角位移，当位置给定量（输入量）作任意变化时，系统的主要任务是使输出量快速而准确地复现给定量的变化，又称作位置随动系统^[3]。

伺服系统的功能是使输出快速而准确地复现给定。伺服系统应该具有如下的基本特征^[3]：

- 1) 稳定性好。伺服系统在给定输入和外界干扰下，能在短暂的过渡过程后，达到新平衡状态，或者恢复到原先的平衡状态。
- 2) 精度高。伺服系统的精度是指输出量跟随给定值的精确程度，如精密加工的数控机床，要求很高的定位精度。
- 3) 动态相应快。动态响应是伺服系统重要的动态性能指标，伺服系统对给定的跟随快、超调小，甚至无超调。
- 4) 抗扰能力强。在各种扰动作用下，系统输出动态变化小，恢复时间快，振荡次数小，甚至无振荡。

伺服系统由伺服电机、功率驱动器、控制器和传感器四部分组成，除了位置传感器外，可能还需要电压、电流和速度传感器。伺服系统结构如图 2.3 所示^[3]。

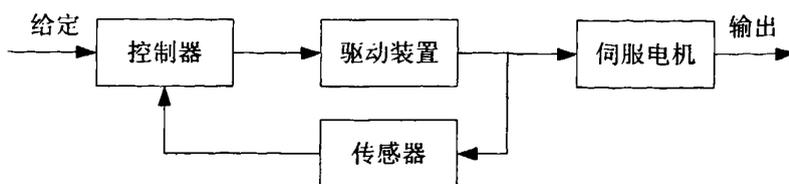


图 2.3 伺服系统结构图

2.2.2 松下 MINAS 系列交流伺服系统

MINAS 系列全数字交流伺服系统是日本松下电器公司于 1993 年投入批量生产的全数字化（位置、速度、电流三环全数字化）的交流伺服系统。MINASA4 驱动器可满足从 50W 到 5.0KW 的各种容量要求，其内部控制采用高性能 CPU，输出级采用 IGBT、PWM 控制方式，高达 1KHZ 的速度响应频率，因此系统响应快、精度高，实现了运转机器的高速化并大幅缩短了生产（间隔）时间。电机标准对应全闭环控制并具备自动增益调整功能，在低刚性且电机高速旋转的机器上仍可稳定的减震控制。驱动器标配 2500P/R 增量编码器和高分辨率 17 位绝对式/增量式通用编码器规格的电机。控制器可进行反转速度显示等监控、参数的设定、试运转（JOG 运转）、复制参数等操作，使用简便。MINAS 系列伺服系统是世界上最小、重量最轻的全数字交流伺服系统，具有以下特点^{[4][5]}：

- 1) 控制和使用简便。松下伺服系统是一种全数字化的操作系统，各种实时参数和控制方式均可通过数字面板调整，非常适合于现场整定。面板可以显示运行速度、位置脉冲、实际转矩、接线 I/O 状态、参数设定和错误原因等大量信息。
- 2) 控制方式多样化。有多种控制方式可供选择：①速度控制方式；②转矩控制方式；③位置控制方式，输入信号为脉冲，有正/反转脉冲、A/B 相脉冲、脉冲/符号三种方式。以上三种方式均可以进行复合控制。这里，速度控制方式和转矩控制方式的输入信号均为模拟电压。
- 3) 对实时控制作了特别的考虑。速度环、位置环的调节器参数可以随整个系统特性而随时设定，还可以采用前馈补偿达到极快速的响应。如果用户对参数设定没有经验，可以采用“自动增益调整”功能，自动进行参数设定。
- 4) 接线方便。对系统的外部接线进行了优化，使得接线十分方便、可靠。它还配有自动检查接线状态的功能，可判断接线是否正确。
- 5) 保护措施齐全。系统配有各种自诊断保护措施，硬件软件双重保护，并可三倍过载。一旦发生错误，立即停机，报警并告以故障原因，在解除故障后方可重新工作，因此可靠性极高。

2.2.3 伺服电机的选型

在设计一个运动控制系统时，应该遵循一个原则：选择其转动惯量与负载惯量相等的电机，如果负载惯量较大，也不应大于 10 倍的电动机转动惯量^[5]。

如果电机和负载惯量不匹配，就会引起电机的振动和超速，也会引起机械共振。但是，可以通过增加减速机来降低负载的惯量，以适配伺服电机。

负载速度 = 电机速度 / 齿轮比

电机力矩 = 负载力矩 / 齿轮比

电机惯量 = 负载惯量 / 齿轮比

因为本系统要求的精度较高，增加减速机后，传动误差就会增大，并且很难消除，所以，在设计中力争不采用增加减速机方案^[5]。

第一步：依据传动结构，计算负载惯量。

在选择合适的伺服电机之前，需要了解伺服电机控制对象的机械传动结构。典型的传动结构有带减速

机的传动结构、齿轮齿条传动结构、齿形带传动结构。本系统中，伺服电机驱动的模具基座的传动机构是滚珠丝杠。

$$I = \frac{1}{2} M \cdot r^2$$

由惯量公式：

式中 I —滚珠丝杠的转动惯量

M —滚珠丝杠的质量

r —滚珠丝杠的侧面圆半径

式中滚珠丝杠的质量 M 为 3.76kg，丝杠侧面圆半径 r 为 0.016m。计算得：

滚珠丝杠的转动惯量 $I=9.63 \times 10^{-4}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

第二步：根据工艺要求，设定运动曲线。

管端成形机的工艺要求是 Y 轴的最大速度是 0.16m/s，1s 的时间内运动距离为 128mm。根据要求，设定的运动曲线如图 2.4 所示。

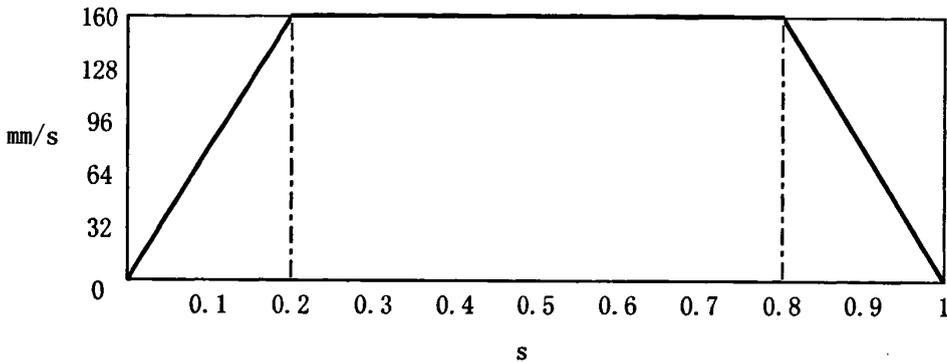


图 2.4 伺服运动曲线图

此运动曲线为负载侧的运动特性，还需根据传动结构的类型，计算电机轴的转速。系统中的滚珠丝杠的螺距为 5mm/r，所以，电机侧最高转速为 1920r/min。

第三步：选择伺服电机。

根据以上得到的转动惯量，以及运动特性要求，计算出伺服电机的最高转速。依据这些性能指标选择的电机为：MHMD082P1U，驱动器为 MCDDT3520003。电机的转动惯量为 1.38×10^{-4} ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)。负载与电机的转动惯量比约为 7，符合伺服电机的选型原则。依据 3.1 节中的伺服驱动器组态的参数，伺服电机的位移精度为 5/625mm，即 0.008mm。滚珠丝杠中丝牙与滚珠的啮合精度为 0.005mm。则 Y 轴方向上换模精度为 $0.0008+0.005=0.013$ (mm)。不超过系统要求的换模精度： $\pm 0.02\text{mm}$ 。

2.3 可编程序控制器及选型

2.3.1 可编程序控制器、特点及其应用

可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 是仿照传统的继电器、接触器控制系统的基本概念，在半导体技术、自动控制技术、计算机技术的基础上发展起来的一种新型工业自动控制装置。它以微处理器为基础，用程序仿真继电器控制电路，具有较强的运算、控制功能，应用方便灵活，易于调试、维护和扩展；采用循环执行用户程序的方式工作，运行速度快，适合于实时控制；编程语言除采用电气人员熟悉的梯形图语言，还支持指令表、功能块、SFC、计算机高级语言等编程方式^{[7][8]}。

国际电工委员会 (IEC) 对 PLC 作了如下定义：“可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为工业环境下应用而设计。它采用可编程的存储器，用来在其内部存储，执行逻辑运算、顺序控制、定时、

计数、算术运算等操作的指令，并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器机器的有关设备，都应按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”^[7]

可编程序控制器的特点如下^{[7][8]}：

1) 抗干扰能力强，可靠性高。

PLC 是专用于工业环境的，在设计和制造 PLC 时，就已经着重强化了抗干扰能力和耐环境性。在 PLC 内部，硬件方面采取了屏蔽电磁干扰、I/O 光电隔离、滤波、电压调整、自诊断电路等措施，严格筛选元器件，采用了大规模集成电路技术和先进的生产制造电路工艺；在 PLC 内部系统软件方面，采取了故障软件检测报警、程序检查、警戒时钟、数据备份、信息保存恢复等措施。在 PLC 的外部控制电路方面，PLC 构成的控制系统与继电器、接触器控制系统相比，连接电线和接点能减少 90% 以上，因此，故障率大大降低。以上各方面的措施使得以 PLC 为核心的控制系统具有极高的可靠性和抗干扰能力。

2) 编程简单，易学易用。

PLC 是面向用户的设备，大部分都充分考虑到电气工程技术人员的能力与习惯，一般都支持梯形图编程语言。梯形图编程语言的图形符号与表达方式和继电器控制电路非常相似，表达电路原理清晰直观，容易掌握，不需要专门的计算机知识和语言，只要具有一定的电工和工艺知识的人员都可在短时期内学会。

3) 系统设计、安装、调试的工作量小，维修方便，利于柔性制造。

PLC 用软件逻辑取代继电器电路的硬接线逻辑，能大量减轻控制电路的外部接线，减少设计施工的工作量；PLC 的自诊断报警、故障信息提示等功能可以帮助操作人员维护维修控制系统；当控制工艺变化时，不须改变控制电路硬件，只要修改用户程序就能适应工艺的变化，有利于实现柔性制造。

4) 体积小、重量轻、功耗低。

PLC 与继电器控制电路相比，体积减少 95% 以上，功耗减少 70% 以上。由于体积小、功耗低、抗干扰能力强，易于安装在机械设备内部，是实现机电一体化的理想控制设备。

5) 硬件配套齐全。功能强，通用性好。

PLC 配备有品种齐全的各种功能模块，可以方便灵活地组成不同规模和功能的控制系统，用户基本不用自己设计和制作硬件装置。除了逻辑处理功能以外，PLC 还具有数学运算、定时、计数、通信等功能，还能提供位置控制、温度控制、模拟量、高速计数、通信联网等模块让用户选用，能满足控制系统的各种要求。

PLC 的应用领域很广，主要有以下几个方面的应用^[8]：

1) 顺序控制

PLC 的顺序控制取代了传统的继电器、接触器的顺序控制，是 PLC 最基本、最广泛的应用。

2) 闭环过程控制

PLC 通过模拟量输入模块，把温度、速度、压力、位置等连续变化的模拟量转换为数字量，在 PLC 内部进行控制运算，并用模拟量输出模块把数字量运算结果以电压、电流形式输出去控制外部设备，此运算控制过程就是模拟量的闭环控制。实际应用中，配合 PID（比例、积分、微分）算法，能实现对控制过程中某些物理量稳定、精确的闭环控制。

3) 数据处理

PLC 具有很强的数据处理能力，能实现数据采集、分析和处理等功能。它不仅能实现四则运算、函数运算、字逻辑运算等数字运算功能，还有数据传送、数据比较、数据显示、查表排序等功能。

4) 通信和网络

目前大多数的 PLC 都有通信联网功能。PLC 能以通信方式与其它职能控制设备（如变频器、运动控制器、职能仪表等）配合使用，可以节约成本，提高控制水平。PLC 还能组成网络、控制远程 I/O、执行和上位机的数据通信任务，实现“集中管理、分散控制”的多级分布式控制方式，提高工厂自动化水平。

目前可编程序控制器已广泛应用于冶金、石油化工、汽车制造、机床、纺织、环保等行业。长远来看，以后 PLC 会有更好的应用和发展前景。

2.3.2 可编程序控制器的硬件结构

可编程序控制器的硬件结构及各部分的作用^[7]

PLC 包括的硬件结构主要由以下几部分组成：

- 1) 处理器 (CPU) —— 执行用户程序, 读取输入信息, 经逻辑判断、运算后输出。
 - 2) 存储器 —— 存储系统和用户程序及数据。
 - 3) 输入接口 —— 从外部读取信息, 也称为输入点, 通常分为离散量输入点和模拟量输入点。离散量输入点只能接收导通、断开 (1 或 0) 的信号, 模拟量输入点能接收 0~10V 电压、0~20mA 电流的信号。
 - 4) 输出接口 —— 将运算结构输出给外部, 也称为输出点, 通常分为离散量输出点和模拟量输出点。离散量输出点只能发出导通、断开 (1 或 0) 的信号, 模拟量输出点能发出 0~10V 电压、0~20mA 电流的信号。
 - 5) 电源 —— 向各部分提供电源。
 - 6) 通信接口 —— 和外部编程设备、人机界面等相连, 用于传输及监控、调试程序。
- PLC 的硬件结构如图 2.5 所示。

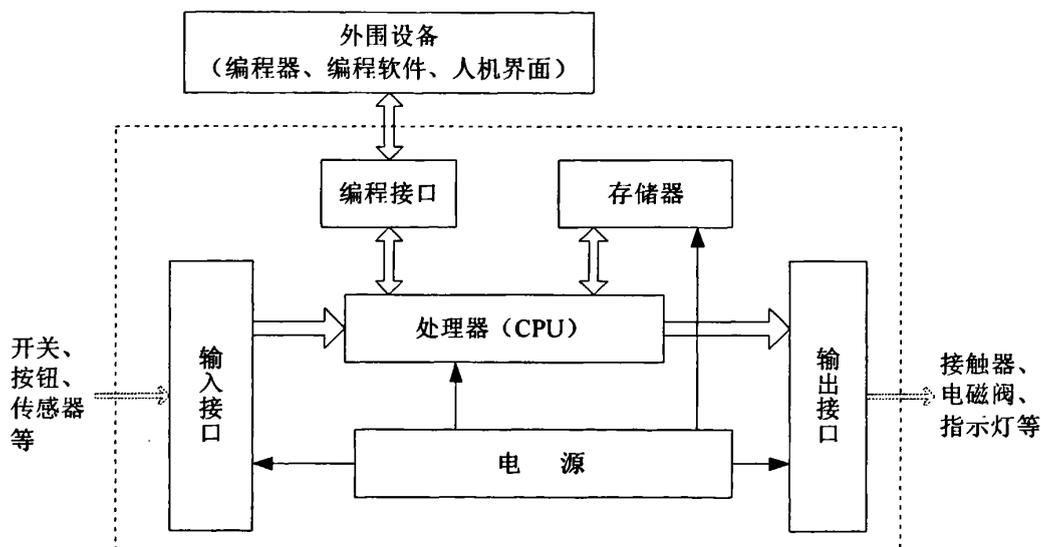


图 2.5 PLC 的硬件结构

另外, 编程器、编程软件等编程装置虽不属于 PLC 的硬件结构部分, 但它们是应用、维护 PLC 不可缺少的重要外部设备。编程器有简易型和智能型两类: 简易型编程器只能联机编程, 往往支持语句表的编程方式; 智能型编程器既能联机编程, 也能脱机编程, 可支持梯形图编程。近年来, 采用个人计算机加 PLC 编程软件的开发方式得到推广, 用户可以方便地直接在计算机上以联机或脱机的方式编程, 可以采用指令表、梯形图、功能块等多种编程语言。

2.3.3 可编程序控制器的工作原理

1) PLC 的扫描工作原理

PLC 是通过执行包含控制逻辑要求的用户程序来实现自动控制的, 而 CPU 在执行用户程序时, 不可能同时执行多条指令, 它只能按串行工作、分时操作的原则, 一次执行一条指令, 一次逐条执行。因此, PLC 的工作过程有两个特点: 一个是周期性顺序扫描用户程序, 另一个是集中批处理。^[7]

周期性顺序扫描执行用户程序的工作方式是 PLC 特有的。PLC 运行时, 为了保证 PLC 的输出能对可能随时变化的输入信号产生及时的响应, 如果只执行一次一次用户程序是不能满足快速响应的要求的, 用

户程序必须周而复始地被重复执行，即 CPU 循环地顺序扫描并执行每条指令。由于 CPU 扫描执行一次用户程序的时间极短，所以从外部看来，PLC 的输出结果几乎是同时的、按并行方式完成的。这种串行的、按顺序、循环扫描执行每条指令的工作过程就是 PLC 的扫描工作原理。

I/O 点采用集中批处理方式是和 PLC 的扫描工作原理相适应的。CPU 在执行到一条和 I/O 点有关的指令时，只是对输入、输出映像区进行访问和操作，并不需要立即采集当时输入点的状态或立即刷新输出运算结果。对 I/O 点采用集中批处理的方式，可以简化操作、易于控制、提高可靠性。

扫描工作方式执行用户程序时，按程序指令顺序，逐条执行用户程序。在无中断程序、跳转、子程序的情况下，从第一条指令开始，执行到最后一条指令结束，进行 I/O 点的批处理刷新操作。然后再从第一条指令开始扫描执行，上述过程周而复始^[7]。

PLC 周而复始的扫描过程除了扫描执行用户程序、集中批处理刷新 I/O 点之外，还要完成通信服务，硬件自检等内部处理。PLC 完成一次扫描工作过程所用的时间称为一个扫描周期。扫描周期的长短由 CPU 指令执行速度、用户程序大小、有无外围设备与 PLC 交换信息等多种因素决定。每隔一个扫描周期的时间，PLC 才能执行一次集中批处理刷新 I/O 点，因此，扫描周期的长短对输入、输出响应速度的影响很大。一个扫描周期由下面几部分组成：

内部处理：系统检测该程序存储容量、实时时钟当前值的修改、状态指示灯的改变、检测 PLC 运行/停止的变化、检测其它系统参数、处理来自编程端口的请求以及硬件自检等。

输入采样：将输入点的信息以批处理的方式读入输入映像区。

程序执行：扫描执行用户程序，运算结果写入输出映像区。

输出刷新：以批处理的方式将输出映像区的运算结果刷新到输出点。

PLC 一个扫描周期的循环如图 2.6 所示：

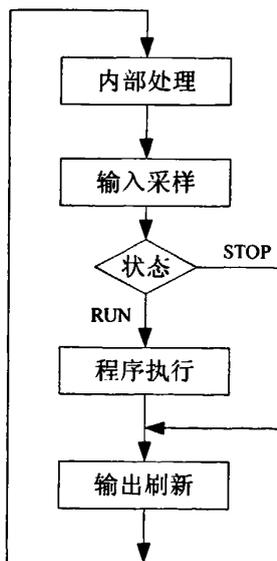


图 2.6 PLC 一个扫描周期循环图

2) PLC 对 I/O 点的处理原理

PLC 的内存有两个区域：输入映像区和输出映像区。用来保存批处理读入的输入点的状态信息和准备刷新输出到输出点的运算结果数据。在扫描周期的不同阶段，PLC 对 I/O 点的处理原则如下：

输入采样阶段：在输入采样阶段，PLC 批量读入所有输入点的状态和数据，存入输入映像区。输入采样结束后，进入扫描执行用户程序阶段和更新输出映像区阶段。在这两个阶段，即使输入状态变化，输入映像区的数据也不会改变。因此，输入信号是脉冲性质，则脉冲信号的宽度必须大于一个扫描周期，才能保证此信号被正确读入。

用户程序执行阶段：PLC 总是按从上到下，从左到右的顺序扫描执行用户程序的。CPU 从输入映像区

读入输入点的状态，对用户程序指令进行逻辑运算，然后根据逻辑运算结果，刷新输出映像区中的内容，或者执行该指令对应的特殊功能，如通信等操作^[7]。

输出刷新阶段：在输出刷新阶段，PLC 的 CPU 按照输出点映像区内对应的状态刷新所有的输出锁存器，再经输出端子驱动相应的外部设备，实现批量的输出刷新处理。

PLC 对输入、输出的处理原则，如图 2.7 所示。

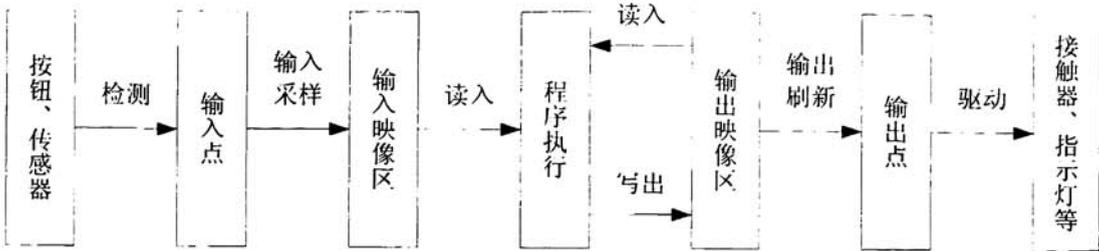


图 2.7 PLC 对输入/输出的处理原则

2.3.4 可编程序控制器的选型

罗克韦尔自动化公司的 A-B PLC 产品与其它公司相比，除性能好、可靠性高等特点外，在运动控制、通信网络、编程软件等方面还具有独特的优势，适合本系统的控制要求，故采用 A-B PLC 控制系统。

罗克韦尔自动化公司有适合小型应用系统的 MicroLogix1000、MicroLogix1100、MicroLogix1200 和 MicroLogix1500。其中，MicroLogix1000，体积小，功能全面，是小型控制系统的理想选择；Micrologix1200 适用于空间有限的环境；MicroLogix1500，不仅功能完善，而且还能根据应用项目进行扩展，适用于有较高要求的控制系统。MicroLogix1100 是 MicroLogix 系列的最新成员，它进一步扩大了 MicroLogix 系列的应用领域，同时价格方面也较便宜，是一款性价比较高的产品。MicroLogix 系列控制器性能比较如表 2.1 所示^{[8][9]}。

表 2.1 MicroLogix 系列控制性能比较表

控制器型号	MicroLogix1000	MicroLogix1100	MicroLogix1200	MicroLogix1500
用户存储器容量	1KB	4KB	2KB	10KB
数字 I/O 点数	32	16	40	28
I/O 扩展能力	无	64	96	512
高速计数器	1@6.6kHz	1@20kHz	1@20kHz	2@20kHz
PWM/PTO 输出	无	2@20kHz	1@20kHz	2@20kHz

系统要求至少 1 个 20kHz 的高速输入点，以满足光栅信号的采集处理；至少 2 个高速输出点，以分别驱动伺服控制器和液压马达电路。结合上面表格的比较，考虑到成本问题，故选用 MicroLogix1100 为本系统的控制器。

MicroLogix1100 控制器是最新加入到 MicroLogix 家族的一个控制器类型，它在现有 MicroLogix 控制器的所有特点中成功加入了用于工业控制的 Ethernet/IP。内置 DH-485/ModbusTMRTU 网络，以及通过 LCD 屏幕显示为操作原与控制程序提供接口的能力，因而 MicroLogix1100 控制器具有更好的连通性和更远的有效应用距离。

MicroLogix1100 控制器结构图如右图所示，MicroLogix1100 具有 10 路数字信号输入，2 路模拟信号输入端和 6 路数字信号输入端，能处理各式各样的控制任务。还可以以嵌入式的方式扩展 4 个同样用于 MicroLogix1200 控制器的 1762I/O 模块，可以扩展 80 个数字信号



的 I/O 口。

MicroLogix1100 控制器具有在线编辑和内置 10/100Mbit/s Ethernet/IP 点对点信息传递功能。内置 LCD 屏幕能够显示控制器状态、输入/输出状态和简单的操作员信息，还能够监控和处理位和整形数。提供了数字式斩波电位计功能，还可以灵活地在编程、远程和运行三种工作状态下切换^{[8][10]}。

MicroLogix1100 控制器是各种小型应用一种理想选择。尤其适用于 SCADA RTU、封装和材料处理应用的需求。

2.4 触摸屏及选型

触摸屏技术 (Touch Screen Technology) 是随着计算机技术的发展,为满足非专业计算机用户操作计算机的需要而逐渐成熟与发展起来的。它是计算机的一种输入技术,由用户通过显示屏输入信息以实现计算机的控制。从计算机与人组成的人机系统来讲,触摸屏是一种交互输入设备,计算机的交互输入设备很多,如键盘、鼠标器、跟踪球、操纵杆、数字化输入板等,但它们都是为专业人员或具有一定计算机基础的用户提供的;触摸屏技术则是面向非计算机专业人或未接触过计算机的用户。由于触摸屏技术的应用,提供了良好友善的交互界面,消除了用户操作计算机时面对诸如键盘等交互设备时的畏惧、困惑心理,只需利用手指或光笔等触摸屏上的内容即可控制计算机的运行,操作非常简单,提高了用户的兴趣,并且因为感受到了计算机对信息处理的强大功能,从而激发用户学习、掌握计算机技术的积极性。触摸屏技术对于计算机技术的普及和利用,可以发挥非常重要的作用^[11]。

2.4.1 触摸屏的特点

1) 简单易用

利用触摸屏进行人机对话,在屏幕界面上,使用者仅需使用手指触摸所需要的内容即可完成交互过程。对没有接触过计算机的用户来说,使用触摸屏不会产生面对键盘时的困惑、恐惧心理,也不会像鼠标或轨迹球一样难以控制,不需要培训即可操作自如。

2) 灵活性

触摸屏不像利用数字接口的按钮或键盘,它完全由软件进行各项设置,即可实现交互输入。如果是兼容鼠标的触摸屏,则只需加载它的驱动程序即可代替鼠标操作。凭借系统提供的菜单,用户可输入并获得大量的信息。

3) 经济性

触摸屏具有很好的商业价值,无论功能多么强大的产品,都应该具有易操作使用的特点。像早期的计算机,程序语言全用机器代码,输出的结果只是圆孔,非专业人员根本不可能掌握,故应用范围受到很大限制。而现在应用程序可以方便地利用触摸屏进行交互,并且触摸屏与其它输入设备相比,耐用性与可靠性明显增强。从这种意义上讲,触摸屏具有良好的经济性。

2.4.2 MagelisXBTGT

MagelisXBTGT 是施耐德生产的一系列高端的人机界面产品,它支持与 Rockwell MicroLogix 系列的 DF1 通讯,不需要增加适配器和编写通讯协议,因此使用起来十分方便^[11]。

MagelisXBTGT 系列触摸屏具有一下特点:

- 1) 颜色最丰富的工业面板,出色臻美,单色 16 级灰度, TFT 面板 65536 色。
- 2) 最快最强的处理器,性能超群, 64 位 RISCCPU, 大型 266MHz/小型 133MHz。
- 3) 容量大,寿命长, 16Mb 闪存/32Mb 内存, 50000~75000 小时背光灯寿命。
- 4) 采用 CF 卡: 外部数据存储、下载程序。
- 5) 铝制壳体,抗冲击和防护能力强。

- 6) 显示屏表面加保护膜, 增强防护和耐用性, 触摸寿命 3500 万次。
- 7) 多通讯能力, 2 个串口、1 个 USB 端口、1 个 100BaseEthernet 端口; 多重连接同时多设备监视; 高度灵活性, 可与不同 PLC 连接; 支持多种通讯协议。
- 8) 标准 USB 端口提高了开放性, 多设备互连 (打印机, 条码读卡器, 读/写器, 调制解调器), 通过 Hub 多重连接。
- 9) 高速 Ethernet 端口通讯功能强大, 高端型号提供 10/100BaseT 端口, 数据共享, FTP 服务器提供 Web 服务。

选用的是 XBTGT5330 这一款触摸屏, 它使用 24V 外接电源, 功耗约为 30W。其 LCD 屏幕采用彩色 TFT, 640×480 像素, 10.4", 触摸区是模拟, 分辨率 1024×1024。内存可分为 32Mb 的 EPROM, 512Kb 的 SRAM。

2.4.3 触摸屏与 PLC 的通讯

DF1 全双工协议提供 2 个设备间的点对点通信, 综合了数据透明性和带内部响应的 2 路同步传送 (子类 F1)。

MicroLogix1100 控制器支持 DF1 全双工协议, 它通过 RS-232 与外部设备连接。DF1 是开放的协议。需要 RS-232 点对点通信时, 应使用全双工协议 (也称为 DF1 点对点协议)。该协议支持 2 个设备间的双向同步通信。组态参数如表 2.2 所示。DF1 协议控制信息流量, 检测和提示错误, 并在检测到错误后重发。

表 2.2 DF1 全双工协议组态参数

参数	可选值	缺省值
波特率	300600120024004800960019.2K38.4K	19.2K
奇偶校验	无, 偶校验	无
源 ID	十进制数 0—245	1
控制线	无信号交换方式, 全双工调制解调器信号交换方式	无信号交换方式
错误检测	CRCBCC	
内部响应	自动检测, 选通	自动检测
重复包 (信息) 检测	选通, 无效	选通
ACK 超时	1 至 65535 (每次递增 20ms) 计数值	计数值 50
NAK 重发	0 至 255	3 次重发
ENQ 重发	0 至 255	3 次重发
停止位	不能设置, 一直为 1	1

2.5 电液比例阀的特点及选型

习惯上, 把使用比例控制元件 (比例阀、比例控制泵及比例放大器) 的液压系统称为电液比例控制系统。电液比例控制是介于普通液压阀的开关式控制和电液伺服控制之间的控制方式, 它能实现对液流压力和流量连续地、按比例地跟随控制信号而变化, 其响应速度和控制精度能满足一般工程需要, 且具有抗油污、成本低、简化液压系统、改善控制性能等优点, 技术和产品都比较成熟^[12]。其结构图如图 2.8 所示。电磁比例控制系统主要分为:

- 1) 指令组件: 是给定控制信号的产生与输入组件。可以是信号发生装置或过程控制器。在有反馈信号的情况下, 它给出与反馈信号有相同形式和量级的控制信号。
- 2) 比较组件: 作用是把给定信号与反馈信号进行比较, 得出偏差信号作为电控器的输入。进行比较的信号必须是同类型的, 比例控制器的输入量为电学量, 因此反馈量也应当转换为同类型的电学量。如遇不同类型的量作比较, 在比较前要进行信号类型转换, 例如 A/D、D/A 转换、机—电转换等。
- 3) 比例阀: 内部分为两部分, 即电—机械转换器及液压放大组件, 还可能带有阀内的检测反馈组件。电—机械转换器是电液的接口组件。它把经过放大后的电信号转换成与其电学量成正比的力或位移。这个输出量改变了液压放大级的控制液阻, 经过液压放大作用, 把不大的电气控制信号放大成足以驱动系统负载的液压能。这是整个系统的功率放大部分。
- 4) 液压执行器: 通常指液压缸或液压马达, 它是系统的输出装置, 用于驱动负载。
- 5) 检测反馈组件: 对于闭环控制需要加入检测反馈组件。它检测被控量或中间变量的实际值, 得出系统的反馈信号。

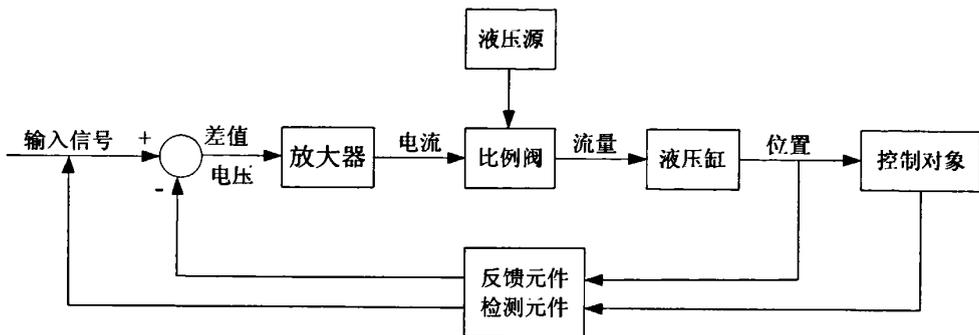


图 2.8 电液比例控制系统结构图

此系统将电气元件和液压元件的结合, 发挥了两者的优点。它既具有电气元件的信号传递速度快, 线路连接方便, 易于测量、比较和校正的特点, 又具有液压元件的输出功率大, 结构紧凑, 重量轻, 惯性小, 反应快, 适合作动力元件等优点。所以结合起来的电液控制系统具有控制精度高, 响应速度快, 信号处理灵活, 输出功率大, 结构紧凑, 重量轻等特点。因此这种电液结合的系统在很多技术领域里得到广泛的应用。

电液比例控制阀具有易于维修管理、抗油污染性强、精度高及价格低等特点。油研公司的电液比例控制阀可以把液压系统的压力或者流量(执行元件的输出力、速度或者转速), 以设定电气信号(输入电流)按比例连续地控制。它与以往的控制阀来配合的多级控制相比, 显著地简化了液压系统, 同时实现无冲击控制。广泛应用于成形机、弯管机、工具、液压冲床等设备中。考虑到油缸的前进速度以及模具成形的推力要求, 电液比例控制阀的型号为 EFBG-03-60-C-1720。

2.6 直线光栅尺的工作原理及选型

直线光栅尺具有广泛的应用范围, 它是机床和其它设备闭环控制轴的理想选择, 例如铣床、加工中心、镗床、车床和磨床。直线光栅尺动态性能出色, 运动速度高度可靠以及其测量方向的加速度能力使它能满足常规轴和直接驱动设备对高动态性能的要求^{[13][14]}。

直线光栅尺测量直线轴位置时不存在任何附加的机械传动元件。在直线光栅尺位置控制环中已包括了所有进给机构。安装在滑板上的直线光栅尺可以检测出机械传递误差并能在控制系统电路中给予修正, 能消除潜在的误差源。因此, 直线光栅尺已成为满足高精度定位和高速加工机床不可或缺的测量工具^[13]。

大多数直线光栅尺都采用光电扫描原理。光栅尺的光电扫描是非接触式的, 因此无摩擦。这种光电扫描方法能检测到非常细的线条, 通常不超过几微米宽, 而且能生成信号周期很小的输出信号。光栅尺栅距

越小，光电扫描的衍射现象越明显^[14]。

光栅尺是由光源、透镜、扫描光栅、主光栅和光电电池组成，如图 2.9 所示。扫描光栅的基体是透明的，而作为测量基准的主光栅可以是透明的也可以是反射的。当平行光穿过一个光栅时，在一定距离处形成明/暗区，扫描光栅就在这个位置处。当连个光栅相对运动时，穿过光栅尺的光得到调制。如果狭缝对齐，则光线穿过，如果一个光栅的刻线与另一个光栅的狭缝对齐，则光线无法通过。一组规则排列的光电池将这些光强变化转化成电信号。当扫描光栅和主光栅呈一个很小的 θ 角相对倾斜重叠放置时，两光栅尺的线纹交叉。在光源的照射下，交叉点附近的小区域内黑线重叠形成明暗相间的莫尔条纹。该条纹与光栅线纹成垂直方向排列。当标尺光栅相对主光栅沿垂直刻线移动时，莫尔条纹跟随其移动。莫尔条纹的光强度近似呈正弦曲线变化，经光电电池组所感应的电信号为正弦曲线。它们经放大、整形，形成脉冲。光栅输出信号一般为两路相角相差 90° 的方波，因此可以通过记录这两路方波的个数来测量位移的方向和大小^{[13][14]}。

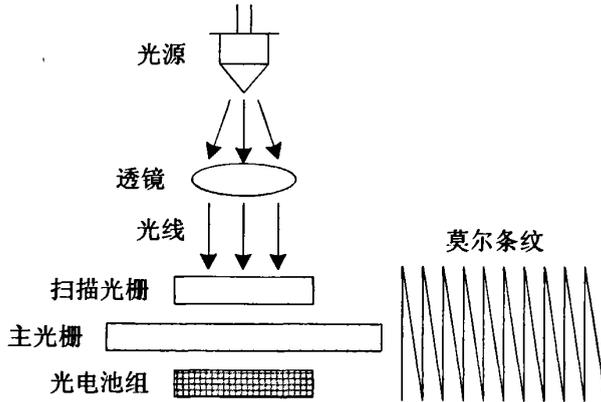


图 2.9 光栅尺的光电扫描工作原理

本系统选用 Fagor 公司的通用型直线编码器 M 系列 MKVT32C，精确度可达 $\pm 10\mu\text{m}$ ，输出信号为 5VTTL 方波，输出信号周期为 $20\mu\text{m}$ 。根据系统要求，光栅尺的最大运动速度为 0.4m/s 。在 1s 内产生的最大脉冲数为 $0.2\text{m}/20\mu\text{m} = 10000$ 个，和控制器的高速输入点的频率要求相匹配。

第3章 管端成形机电气控制系统的硬件设计

3.1 伺服驱动器的参数设定

松下 MINASA4 系列伺服电机共有 7 种控制模式：①位置控制模式；②速度控制模式；③转矩控制；④位置/速度控制；⑤位置/转矩控制；⑥速度/转矩控制；⑦全闭环控制。

位置控制模式驱动器的外围接线如图 3.1 所示。

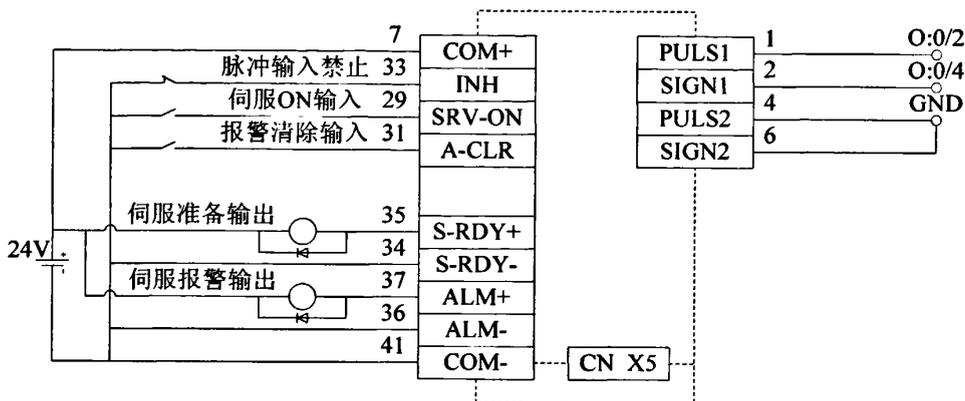


图 3.1 伺服驱动器接线图

伺服电机驱动器参数设置

Pr02=0, 控制模式设定为位置模式；

Pr20=7, 惯量比。设置机械负载惯量对电机转子惯量之比率。

设定值 (%) = (负载惯量/转子惯量) × 100。

Pr40=0, 指令脉冲输入选择集电极开路 (OC) 电路输入, 输入接口是 X5 插头的 1 号、2 号、4 号、6 号引脚。其中, 1 号引脚为指令脉冲控制, 2 号引脚为指令方向控制。脉冲接口的接线如图 3.2 所示。

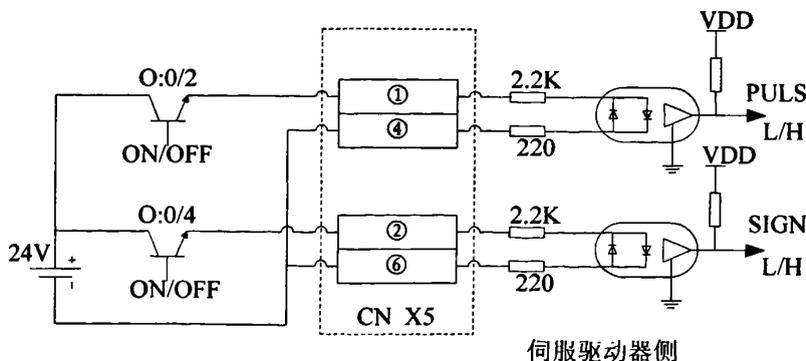


图 3.2 脉冲接口的接线图

脉冲串指令信号输入的集电极开路 (OC) 电路

注：这种接法，指令脉冲的最高频率是 200kpps；而 PLC 的 PTO (O:0/2) 输出脉冲串的最高频率是 20kpps，所以此种电路接法可行。

Pr41=0, Pr42=3, 结合上面的输入的指令脉冲类型, 可知: O:0/2 输出脉冲、O:0/4 关断时, 伺服电机正转; O:0/2 输出脉冲、O:0/4 接通时, 伺服电机反转。其对应关系如图 3.3 所示^[5]。

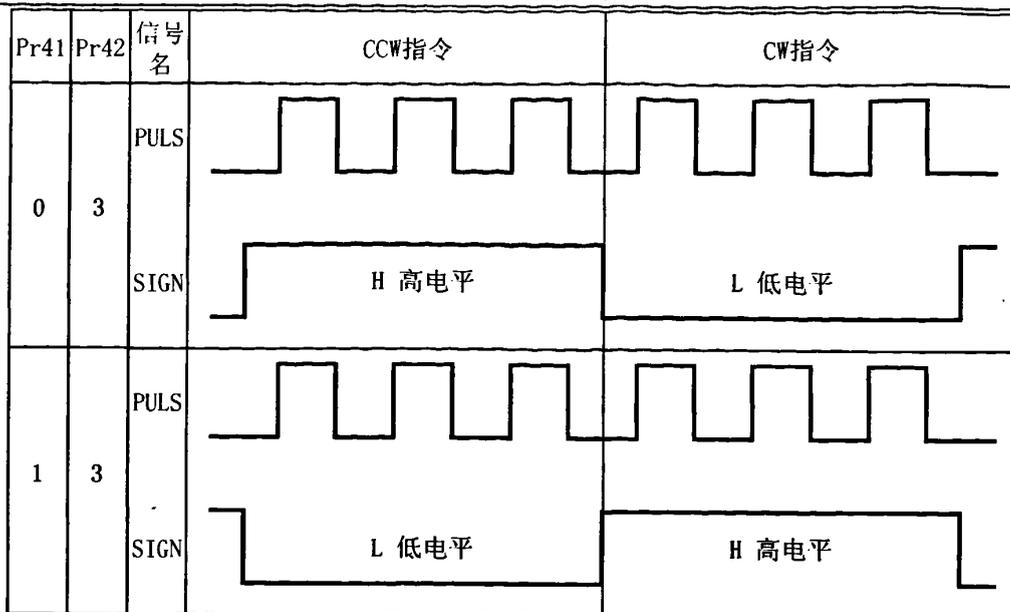


图 3.3 参数设置对应的电机转向图

电子齿轮的用途^[5]:

- 1) 电子齿轮功能, 可以用来任意的设置每单位指令脉冲对应的电机速度和位移量(脉冲当量)
- 2) 当上位控制器的脉冲发生器(最高可输出频率)不足以获得所需速度时, 可以用电子齿轮功能(指令脉冲倍频)来对指令脉冲作 $\times m$ 倍频。

如果编码器分辨率记作 F (单位: 脉冲 pulse), 而电机每转一圈所需脉冲数是 f (单位: 脉冲 pulse), 那么指令脉冲分倍频的分子 Pr48 或 Pr49、分子倍率 Pr4A 和分母 Pr4B 必须满足:

$$F = f \times \frac{\text{Pr}48 \times 2^{\text{Pr}4A}}{\text{Pr}4B}$$

①如果分子 Pr48 (或 Pr49) $\neq 0$, 那么分倍频比率根据上式计算。而每转所需指令脉冲数的计算如下式:

$$\text{每转所需指令脉冲数} f = \text{编码器分辨率} F \times \frac{\text{Pr}4B}{\text{Pr}48 \times 2^{\text{Pr}4A}}$$

②如果分子 Pr48 (或 Pr49) = 0, 则实际分子 (Pr48 \times 2Pr4A) 计算值等于编码器分辨率 F , Pr4B 即可设为电机每转一圈所需的指令脉冲数。

电机每转一圈所需的指令脉冲数与驱动负载位移的最大速度、滚珠丝杠的螺距等参数有关。在上节的伺服电机选型中计算出电机最高转速为 1920r/min, 即 32r/s, 工作状态下伺服电机每秒钟转 32 圈。而脉冲发出点 (PLC 的 PTO) 最高频率为 20KHZ, 所以电机每转一圈所需的指令脉冲数不得大于 625 (20000 \div 32)。在设定参数 Pr48 (或 Pr49) = 0 的前提下, 选取 Pr4B=625。

3.2 PLC I/O 接口的连接与地址分配

MicroLogix1100 的输入输出端口对于外接电流的方向是有要求的, 即有灌入电流 (汇流) 与拉出电流 (源流) 之分。拉出电流型 I/O 接口是指电流从 PLC 模块流向现场设备; 而灌入电流型 I/O 接口是电流从现场设备流向 PLC 模块。接线规则如图所示, 灌入电流型现场设备必须接拉出电流型 I/O 接口; 拉出电流型设备必须接灌入电流型 I/O 接口电路。各接口与现场设备接线如图 3.4 所示^{[15][16]}。

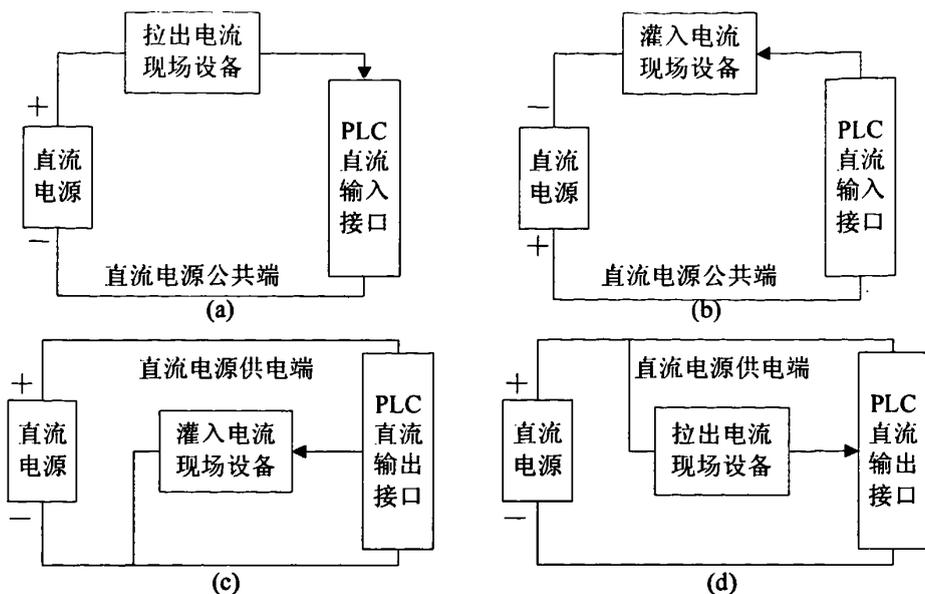


图 3.4 (a) 灌入电流输入 (b) 拉出电流输入
(c) 拉出电流输出 (d) 灌入电流输出

现场的接近开关、光栅尺等检测设备是拉出电流型，因此 MicroLogix1100 输入接口接线为灌入电流型，如图 3.5 所示。同理，由于现场伺服控制器、继电器等控制设备是灌入电流型，所以，MicroLogix1100 输出接口接线为拉出电流型，如图 3.6 所示^[10]。

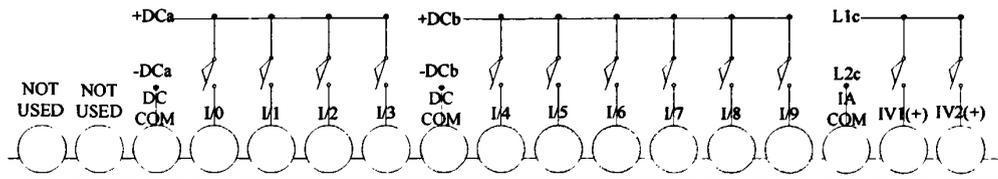


图 3.5 MicroLogix1100 灌入电流型输入接口

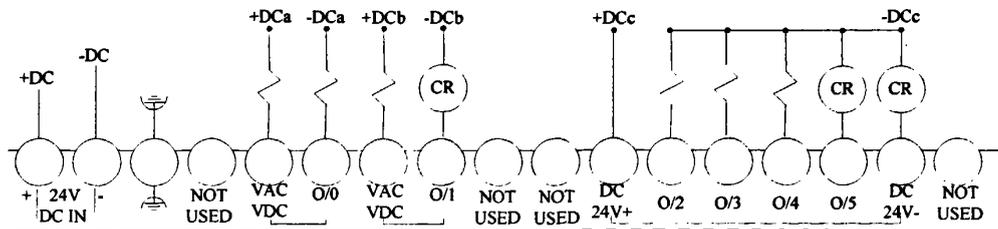


图 3.6 MicroLogix1100 拉出电流型输出接口

根据功能要求可编程序控制器的 I/O 口的地址分配如表 3.1 所示。

表 3.1 MicroLogix1100 I/O 分配表

PLC 输入映像	成形机输入信号	PLC 输出映像	成形机输出信号
I:0/0	高速输入点	O:0/0	
I:0/1	高速输入点	O:0/1	磨具左移
I:0/2		O:0/2	丝杆换模
I:0/3		O:0/3	旋沟倒角控制

I:0/4	液压油泵起动手按钮	O:0/4	报警输出
I:0/5	液压油泵停止按钮	O:0/5	故障输出
I:0/6	左起动手按钮	O:2/0	风机运行
I:0/7	右起动手按钮	O:2/1	油泵运行
I:0/8	紧急停止按钮	O:2/2	水泵运行
I:0/9	安全挡极限位开关	O:2/3	电磁溢流阀
I:1/0	磨具在前接近开关	O:2/4	主油缸前进电磁阀
I:1/1	磨具在后接近开关	O:2/5	主油缸后退电磁阀
I:1/2	磨具在左接近开关	O:2/6	管件放松电磁阀
I:1/3	磨具在右接近开关	O:2/7	管件加紧电磁阀
I:1/4	磨具在上接近开关	O:2/8	油缸顶起电磁阀
I:1/5	磨具在下接近开关	O:2/9	油缸压下电磁阀
I:1/6	气缸推出接近开关	O:2/10	气缸推出电磁阀
I:1/7	气缸退回接近开关	O:2/11	气缸退回电磁阀
		O:2/12	旋沟加工电磁阀
		O:2/13	倒角加工电磁阀
I:1/10	脚踏开关	O:2/14	喷油电磁阀
I:1/11	伺服报警输入	O:2/15	吹气电磁阀
I:1/12	系统复位按钮	O:3/0	喷水电磁阀
I:1/13	定位气缸退回接近开关	O:3/1	定位电磁阀
I:1/14		O:3/2	定位退回电磁阀
I:1/15		O:3/3	旋倒逆时针
		O:3/4	旋倒溢流电磁阀
		O:3/5	旋倒顺时针
		O:3/6	旋倒比例流量
		O:4/0	流量输出控制
		O:4/1	压力控制

3.3 直线光栅尺的接口设计

PLC 内部输入电路要求输入端子和 COM 之间应是无电压接点或 NPN 集电极开路连接, 而光栅尺输出形式为+5V 方波, $V_{LOW} \sim 0.3V$; $V_{HIGH} \sim 4.9V$ 。输入信号的电压介于 10V 和工作电压 24V 之间时,

MicroLogix1100 才认为输入信号有效。光栅尺的输出与 PLC 的输入不匹配，所以，光栅尺的输出信号经过放大后才能接入 PLC 的高速输入模块。该信号的同相比例电气原理图如图 3.7 所示。

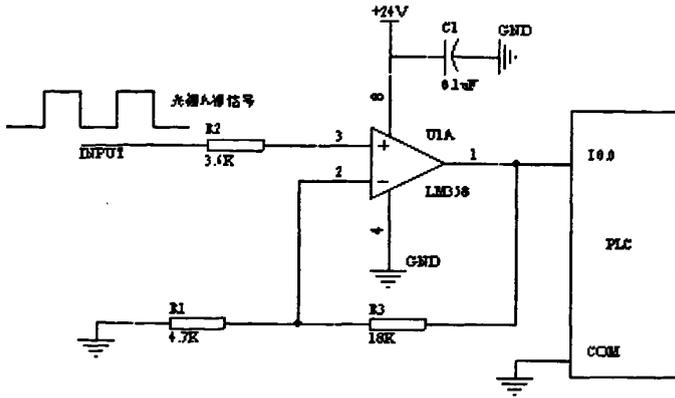


图 3.7 光栅尺与 PLC 接口电路图

第 4 章 管端成形机电气控制系统的软件设计

4.1 PLC 控制程序的设计

该系统的 PLC 程序结构包括主程序、手动控制子程序、自动控制子程序、抬起模具子程序、放下模具子程序、伺服参数子程序和原点定位子程序等 7 个程序单元。根据 PLC 的扫描工作原理，主程序是一直循环扫描的。由主程序来分别调用手动控制子程序和自动控制子程序，可以优化程序结构，降低程序扫描时间。原点定位子程序只能在手动运行下调用，而抬起模具子程序、放下模具子程序和伺服参数子程序可以分别由手动控制子程序和自动控制子程序来调用。控制程序的结构流程如图 4.1 所示。

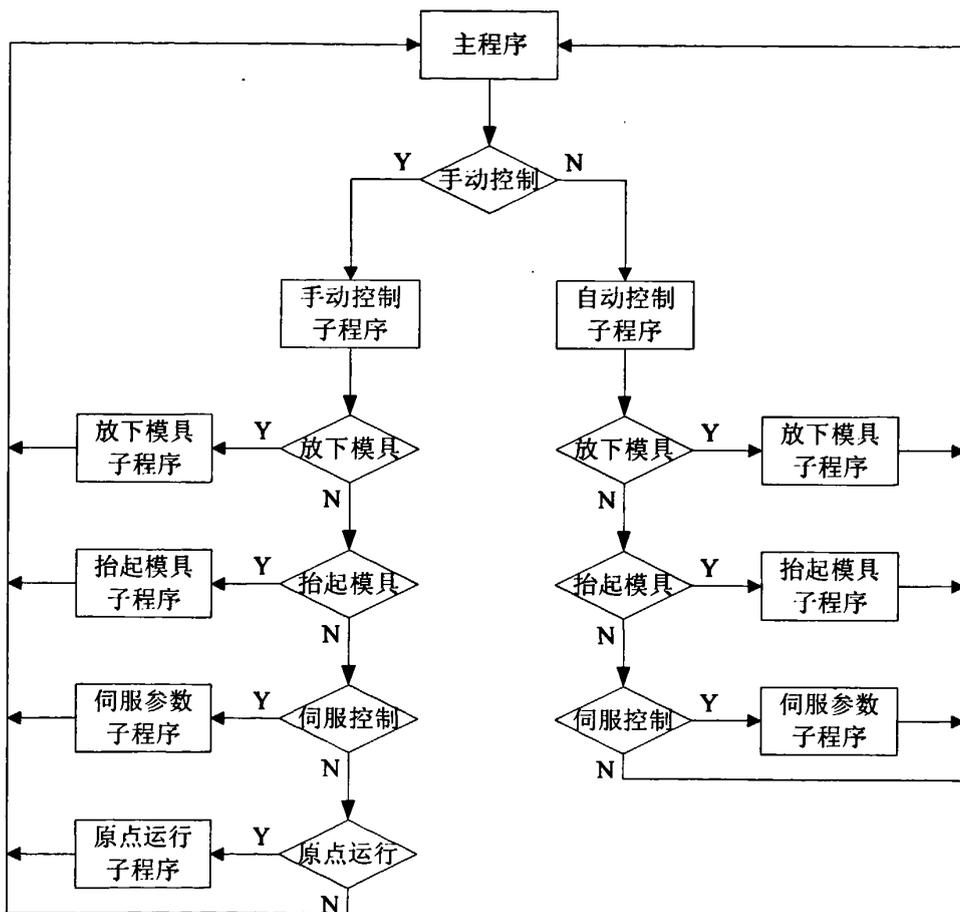


图 4.1 PLC 控制程序结构流程图

其中，主程序包含油泵电机的起/停控制、水泵电机的起/停控制、散热风机的起/停控制、系统报警控制、系统复位控制等。结合触摸屏操作，主程序调用手动控制子程序或自动控制子程序中的一个。

手动控制子程序通过触摸屏操作界面上的按钮来实现机器的单步运行，以验证机器各部件的工作是否正常；还可以通过一系列操作，来完成对管件端头的成形加工。手动控制子程序通过调用放下模具子程序、抬起模具子程序来实现模具基座在 Z 方向的上下移动；通过调用伺服参数处理子程序来实现模具基座在 Y 方向的左右移动；通过调用原点定位子程序，使模具基座回到某个模号位置，为校准机械精度和后续的自动加工运行提供了保证；通过点动“手动控制”操作界面中的模具前进按钮、模具后退按钮实现模具基座在 X 方向的前后移动。

自动控制子程序是系统中最重要、最常用的程序，该程序控制模具基座按照设定工序一步一步完成加工要求，模具基座在空间的三个方向上按顺序移动，完成对夹持管件的扩管、缩管、旋沟、倒角加工。首先，在手动控制中调用原点定位子程序使模具定位到需要加工的第一号模具；其次，设定需要加工的模具顺序；接着，启动自动控制子程序；最后，按下双手启动按钮。模具基座首先进入到设定位置，对管件端头进行扩管加工；之后，模具基座后退到位并更换到第二号模具位置；再前进进行成形加工，再后退……如此循环，直至完成整个工序，模具基座回到第一号模具位置。自动控制的程序结构流程如图 4.2 所示。

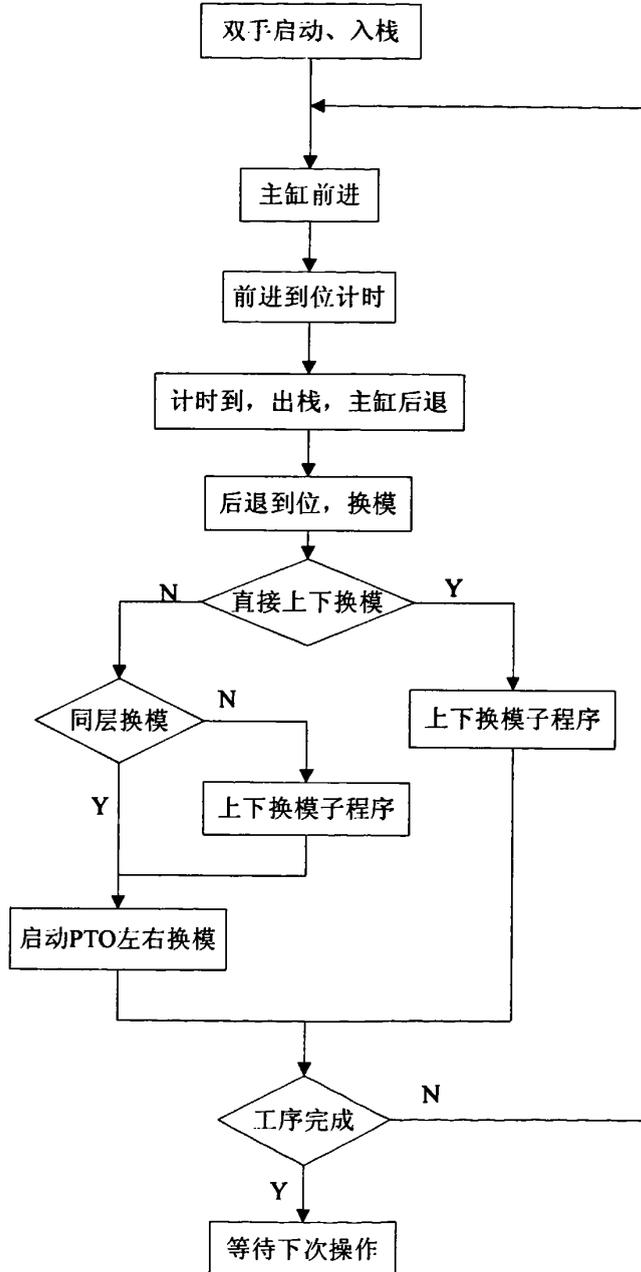


图 4.2 自动控制程序流程图

放下模具子程序是控制模具基座在 Z 方向上实现由上到下的运行。其动作过程如下：支撑油缸顶起（模具基座上移）—垫铁气缸退回—气缸退回到位—支撑油缸下压（模具基座下移）—模具基座到位—支撑油缸下压、保压。程序语句如图 4.3 所示。

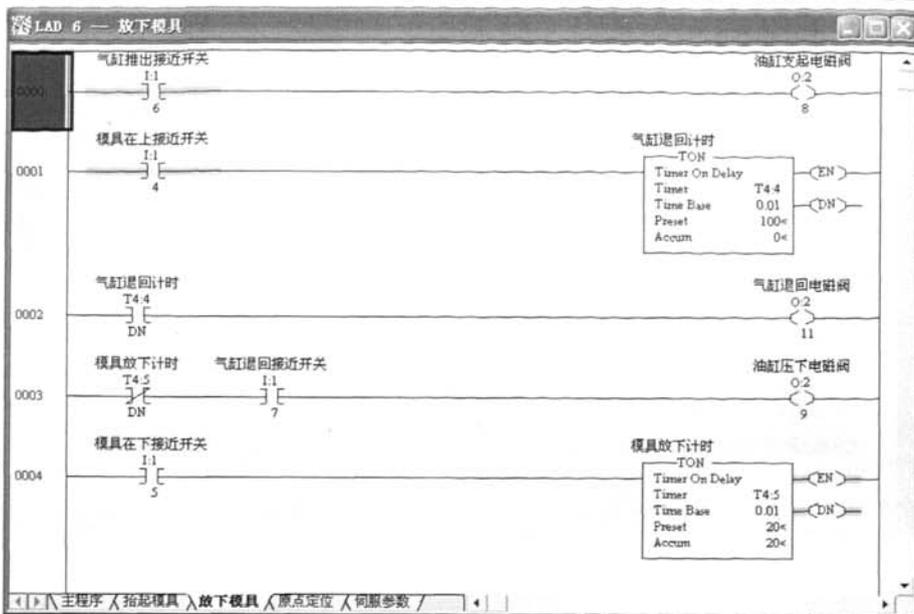


图 4.3 放下模具子程序

抬起模具子程序是控制模具基座在 Z 方向上实现由下到上的运行。其动作过程如下：支撑油缸顶起（模具基座上移）—模具上移到位—垫铁气缸伸出一气缸伸出到位—支撑油缸下压、保压。程序语句如图 4.4 所示。放下模具子程序和抬起模具子程序控制同样的油缸支起电磁阀、油缸压下电磁阀。由于它们是分时调用，所以不存在控制上的冲突。

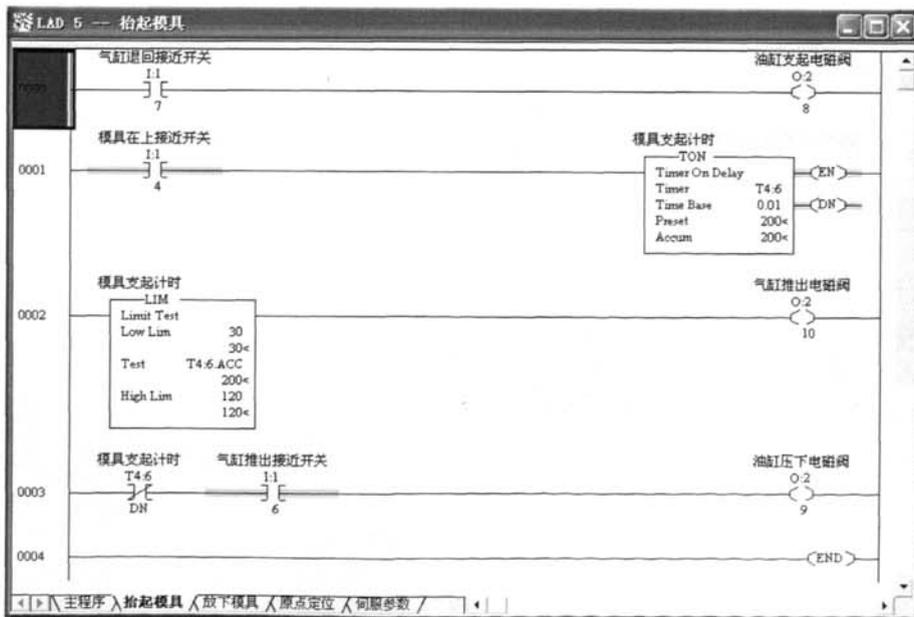


图 4.4 抬起模具子程序

4.2 PLC 编程软件 RSLogix500

随着计算机软件技术的迅速发展和 PLC 的广泛应用，人们越来越多地使用计算机编程软件编制 PLC 用户程序。不同的 PLC 产品有不同的编程软件，这些软件除界面的差异和适用于不同型号的 PLC 外，其

基本功能是相似的，都有文件管理、程序编辑、程序传送、运行监控和文件打印等功能^[17]。

RSLogix500 编程软件是针对 SLC500 系列和 MicroLogix 系列控制器的 32 位以 Windows® 操作系统为基础的梯形图逻辑编程软件包，其运行环境是 Microsoft® Windows95 和 WindowsNT™，它与 Rockwell Software 基于 DOS 的任何编程软件所创建的程序兼容。RSLogix500 编程界面如图 4.5 所示^[17]。

RSLogix500 软件的功能包括^[17]：

自由格式的梯形图编辑器，它确保用户在书写程序式专心于应用程序的逻辑而不用注意语法的对错；

强有力的工程校验器，用户可用它创建错误清单，在方便的时候进行修改；

拖放式编辑功能，使用户能够在数据文件之间快速移动数据表元素，在了程序或工程之间快速移动梯级，或者在一个工程内部的梯级与梯级之间快速移动指令；

查询和替换功能，能够快速改变特定地址或符号的值；

用户数据监控器功能，可同时显示独立的数据元素以观察它们之间的相互作用；

工程目录为点击式界面，用户可访问包含在工程目录内的所有文件夹和文件；

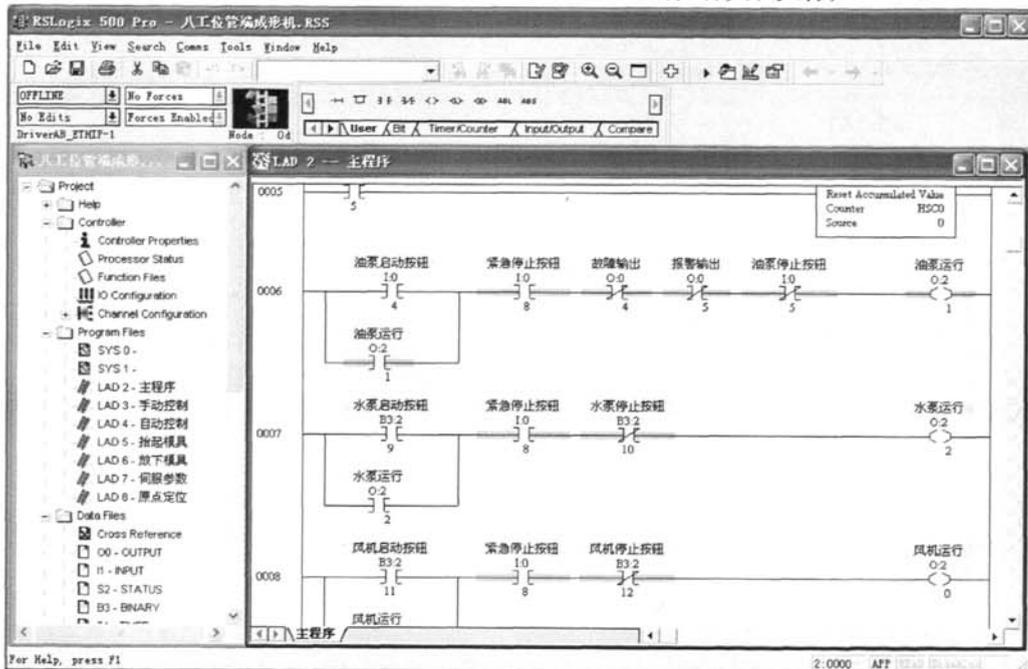


图 4.5 RSLogix500 编程界面

4.3 嵌入式 I/O 参数设定

嵌入式 I/O 就是 MicroLogix1100 控制器内置的离散 I/O。对于直流型嵌入式 I/O，用户可组态成多种特殊功能，如：可选的输入滤波、高速计数、事件中断、脉冲锁定输入和高速输出（只用于 FET 晶体管输出型）^[18]。

对于直流型控制器（1763-L16BBB），要改变输入滤波参数，则应先打开 RSLogix500 软件：

- 1) 打开“Controller”文件夹；
- 2) 打开“I/O Configuration”文件夹；
- 3) 打开 0 槽（MicroLogix1100）；
- 4) 选择“Embedded I/O Configuration”标签；
- 5) 可以在屏幕中任意改变输入组的滤波参数设置，组态脉冲锁定输入参数设置，如图 4.2 所示。

调整输入滤波时间常数，可以减少干扰造成的影响。滤波时间常数数值越大，该高速输入点的抗干扰能力就越强，但是对高频率的脉冲输入捕获能力也就越低。由 2.6 节知：机器在正常运行情况下，光栅尺

信号的最高频率为 10KHz。所以，本系统的高速输入点的参数设置如图 4.6 所示，兼顾了系统对外界干扰的抑制和设备工作的准确性。

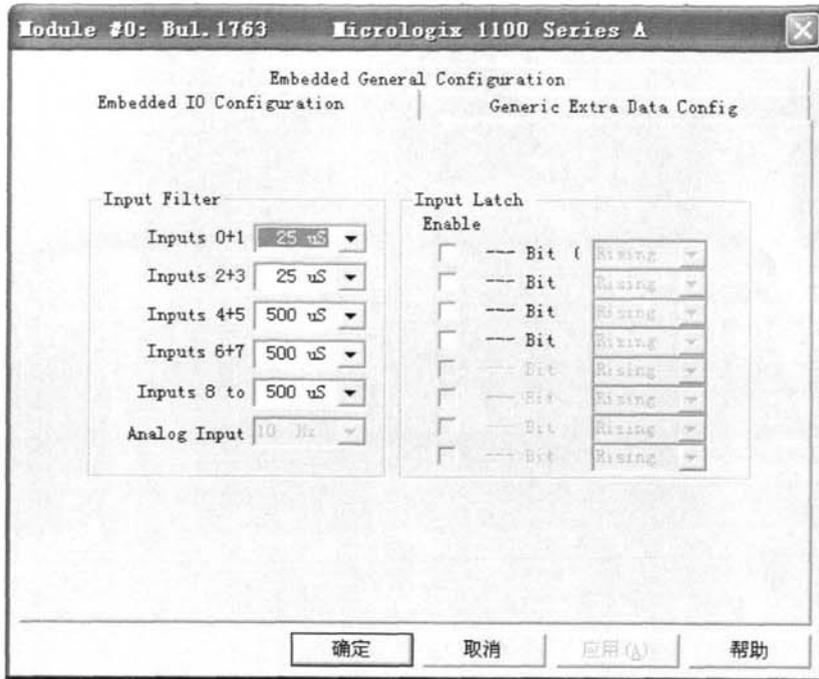


图 4.6 高速输入点的设置

4.4 MicroLogix1100 功能文件的应用

MicroLogix1100 功能文件以固定长度和固定位置存储在控制器的非用户存储器中，包含控制器功能和一些相关指令的控制信息。本系统中用到的功能文件包括：HSC、PTO 和 PWM。

4.4.1 高速计数器（HSC）的应用

MicroLogix1100 具有一个 20kHz 的高速计数器。在控制器基本单元上，高速计数器有 4 个与其他输入点隔离的专用输入点。HSC0 使用输入点 0-3。普通计数器指令的运行原理采用 PLC 常用的扫描方式，其计数过程占用 PLC 的扫描周期时间，对信号的时间计数发生在“程序执行”阶段，因此，可计数的输入信号脉冲频率受 PLC 扫描周期的限制，对于频率很高脉冲信号无法正常计数。高速计数属于硬件计数，采用中断的运行方式，独立于 PLC 的扫描周期，因此它的计数频率不受 PLC 扫描周期的影响，能够及时地响应外界信息。高速计数器正常使用需要对其功能文件的参数进行组态^[19]。

在 RSLogix500 编程软件的“Function File”（功能文件）夹内，有一项“HSC Function File”（功能文件），功能文件内有 HSC0 元素。通过这个元素，用户可以存取 HSC 组态数据，也允许控制程序存取有关高速计数器（HSC）的所有信息。如果控制器处于“运行”模式，则 HSC0 内的各个参数可能是随着实际状态而变化的。

HSC 的功能（与 PTO、PWM 指令一起使用）与以前的绝大多数指令是不同的。它们的工作情况是由用户电路决定的，而用户电路与控制器是并行处理的，因为许多高性能的场合需要这样功能。

MicroLogix1100 内置的 HSC 具有多种功能，使用非常灵活，用户可以将 HSC 组态为 8 种工作模式中的任意一种。MicroLogix1100 的 HSC 的其它改进性能包括：①20kHz 最大输入频率；②直接控制器的高速输出点；③32 位带有正/负号的指示型数据（±2147483647）；④可以编程设定“上溢出值，高设定值，

低设定值,下溢出值”;⑤根据累加计数,可自动进行中断处理;⑥可在“在线”或“运行”状态下编辑参数^[19]。

HSC 具有 36 个子元素。子元素的数据结构包括“位、字、长字”等,用于对 HSC 功能的控制,或为用户程序提供 HSC 的状态信息。并非所有的子元素都能在使用过程中用到,表 4.1 列出在程序中用到的子元素及其信息。

表 4.1 HSC 元素功能表

子元素名称	地址	数据格式	HSC 模式	文件类型	用户程序存取方式
PFN-程序文件号	HSC:0.PFN	字(整型)	0-7	控制	只读
UIX-中断运行中	HSC:0.UIX	位	0-7	状态	只读
UIE-允许中断	HSC:0.UIE	位	0-7	控制	读/写
CE-允许高速计数	HSC:0.CE	位	0-7	控制	读/写
AS-自动启动	HSC:0.AS	位	0-7	控制	只读
FE-中断功能选通	HSC:0.FE	位	0-7	控制	读/写
LPI-低设定中断	HSC:0.LPI	位	0-7	控制	读/写
HPI-高设定中断	HSC:0.HPI	位	0-7	控制	读/写
MOD-HSC 模式	HSC:0.MOD	字(整型)	0-7	控制	只读
ACC-累加值	HSC:0.ACC	长字(32位,整型)	0-7	控制	读/写
HIP-高设定值	HSC:0.HIP	长字(32位,整型)	0-7	控制	读/写
LOP-低设定值	HSC:0.LOP	长字(32位,整型)	2-7	控制	读/写
OVF-上溢出值	HSC:0.OVF	长字(32位,整型)	0-7	控制	读/写
UNF-下溢出值	HSC:0.UNF	长字(32位,整型)	2-7	控制	读/写

PFN 变量用来定义中断子程序号,如果 HSC0 达到“高设定值、低设定值”、或超过“上溢出值、下溢出值”时,HSC0 就会调用此程序。该变量的整数值为被执行的程序文件号,PFN 变量的有效范围为 3-255。本程序中为 7,即到达低设定值时,启动中断程序,进行换模。

AS 是一个控制位,用于控制程序中。该位组态位“1”,只要控制器进入“运行”或“测试”模式,HSC 功能就会自动被启动。

FE 位是一个状态、控制位,它定义了什么时候会选通 HSC 中断,以及 HSC 产生的中断如何按照优先权执行。HSC 设定为自动启动时,如果 HSC 被自动启动,控制器就会自动将此位置 1。

CE 控制位用来决定是否选通高速计数器。次位组态为 1,即选通高速计数器。

UIE 是控制位,用来选通或禁止 HSC 子程序的执行。该位组态为 1,即允许中断程序执行。

LPI 是一个状态位,当 HSC 累加值达到“低设定值”时,则此位被置 1。同时触发 HSC 中断。当高设定值中断开始执行或者控制器进入执行模式时,此位被自动清零。

LPR 是一个状态标志位,只要 HSC 的累加值(HSC:0.ACC)小于或者等于低设定值变量(HSC:0.LOP),此位就会被置 1。

HPI 是一个状态位,当 HSC 累加值达到“高设定值”,则此位被置“1”,同时触发 HSC 中断。当低设定值中断开始执行或者控制器进入执行模式时,此位被自动清零。

HPR 是一个状态标志位,只要 HSC 的累加值(HSC:0.ACC)大于或者等于低设定值变量(HSC:0.LOP),此位就会被置“1”。

MOD 变量可以指定高速计数器的 8 种工作模式，具体设置如表 4.2 所示。

表 4.2 高速计数器的工作模式表

模式号	类型
0	加计数
1	减计数
2	双向计数
3	双向计数，并有“外部复位”信号
4	双输入计数器（一个加法计数，一个减法计数）
5	双输入计数（一个加法计数，一个减法计数），并有“外部复位”
6	90°相位差计数
7	90°相位差计数，并有“外部复位”

本文使用模式 6，即 90°相位差计数。90°相位差计数的优点是能够检测旋转方向和旋转位置。方向计数器还可以对 90°相位差编码器进行计数。

图 4.7 所示的 90°相位差编码器与 PLC 控制器的高速输入点 0、1、2 相连，通过 A、B 两相角来判断旋转方向，如果 A 超前 B，则计数器累加值增加；反之，如果 B 超前 A，则累加值减少。

使用 Z 输入信号可以使计数器复位，一般地，每一个正交周期，编码器会向 Z 送出一个脉冲信号。

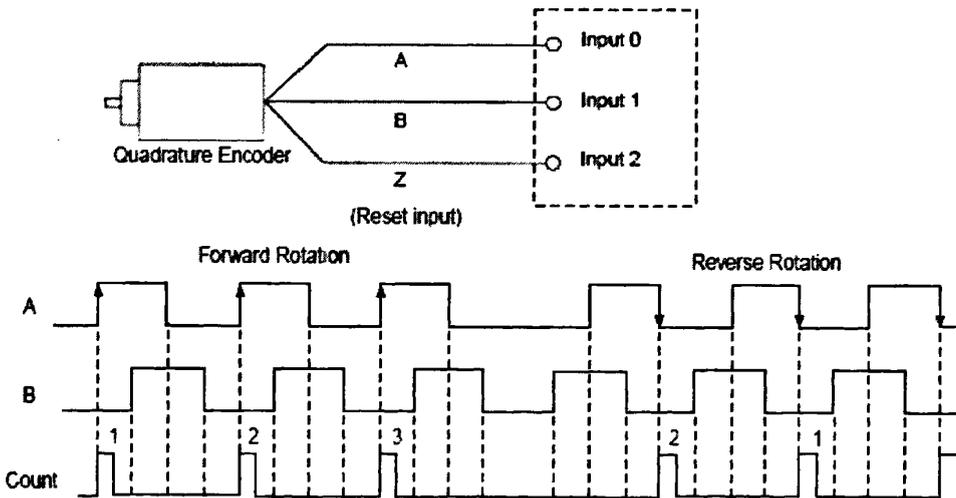


图 4.7 90°相位差计数图

HIP 是计数的上设定点，当计数达到高设定值，HSC 就会产生中断。LOP 是计数的下设定点，当计数达到低设定值，HSC 就会产生中断。其中，这两个参数的改变要用 HSL 指令来完成。

由 2.6 节知，光栅尺的动尺和定尺每相对移动 20 μm 就产生一个周期的脉冲。所以，读取 HSC 的累加

值 (HSC:0.ACC) 可得：模具 X 方向上的位移
$$L = \frac{20 \cdot HSC : 0.ACC}{10^6} (m)$$
，其测量精度为 ±20 μm，即 ±0.02mm。在控制程序中，通过 HSL 指令把每个模具的前进位移值实时传递给 HSC 的 HIP。比较 HSC:0.ACC 与 HIP:0.ACC 的值，控制主油缸前进后退所需要的流量大小，以此实现主油缸前进后退速度的控制。

4.4.2 脉冲串输出 (PTO) 的应用

基本单元为 1763-28BBB 的控制器, 支持 2 个高速输出点。这些输出点既能用作标准输出 (非高速输出), 又能分别组态为 PTO 或 PWM 输出。PTO 功能可以输出一串脉冲 (占空比为 50%), 使控制器可以直接控制运动曲线或脉冲分布曲线。脉冲分布曲线有 3 个主要部分: 脉冲总数、加速/减速时间和匀速运动时间^[19]。

在 PTO 功能文件内, 有 2 个子元素。每个元素都可用来控制高速输出点 2 (O0:0/2) 或高速输出点 3 (O0:0/3)。通过扫描在主程序文件 (文件号 2) 中的 PTO 指令, 或扫描在任何子程序文件中的 PTO 指令, 可以与 PTO 子系统接口。PTO 的工作顺序如下^[19]:

- 1) PTO 指令所在的梯级逻辑由假转为真。
- 2) PTO 指令被启动, 按照“加速/减速”(ACCEL) 参数产生脉冲。
- 3) ACCEL (加速) 阶段完成。
- 4) 进入 RUN (匀速运动) 阶段, 输出 RUN 脉冲数。
- 5) RUN (匀速运动) 阶段完成。
- 6) 进入 DECEL (减速) 阶段。
- 7) DECEL (减速) 阶段完成。
- 8) PTO 指令执行完毕。

在自动控制子程序中, 根据相邻两个模具的关系判断是同层之间换模, 还是上下层间换模。同层模具之间换模, 当模具基座后退到位, PTO 指令所在的梯级逻辑即由假转为真; 上下层间换模, 当模具基座完成 Z 方向的上下换位后, PTO 指令所在的梯级逻辑即由假转为真^[19]。

系统中用到的 PTO 子元素内的各变量如表 4.3 所示。

表 4.3 PTO 元素功能表

子元素名称	地址	数据格式	数值范围	文件类型	用户程序存取方式
OUT-输出	PTO:0.OUT	字 (整型)	2 或 3	控制	只读
DN-完成	PTO:0.DN	位	0 或 1	状态	只读
RP-斜坡曲线	PTO:0.RP	位	0 或 1	控制	读/写
JC-连续点动	PTO:0.JC	位	0 或 1	控制	读/写
EH-允许急停	PTO:0.EH	位	0 或 1	控制	读/写
OF-设定输出频率	PTO:0.OF	字 (整型)	0-20000	控制	读/写
JF-点动频率	PTO:0.JF	字 (整型)	0-20000	控制	读/写
TOP-输出脉冲数	PTO:0.TOP	长字 (32 位, 整型)	0-2147483647	控制	读/写
ADP-加/减速脉冲数	PTO:0.ADP	长字 (32 位, 整型)	0-2147483647	控制	读/写

OUT 变量定义了 PTO 指令所控制的输出点号 (O0:0/2 或 O0:0/3)。本文中用的是 PTO0, 其输出位 OUT 组态为 2, 表示基本单元 1763-L16BBB 的输出点 2 (O0:0/2) 是脉冲串输出。

DN 位是由 PTO 子系统控制。只要 PTO 成功执行完成, 此位就置 1。在文中此位用来标识伺服电机换模完成, 启动机器的后续动作。

RP 位是用来控制 PTO 输出脉冲如何加速到“设定输出频率”、或如何从“设定输出频率”加速。该位被组态为 0, 即是高速输出点 2 输出“梯形”脉冲分布曲线。

EH 位是用来紧急停止 PTO 子系统。该系统中, 紧急停止按钮的按下或者模具左右限位其中一个触发, 就使该位置“1”, 使 PTO 子系统停止 (如空闲、正常、连续点动、脉冲点动等), 则伺服电机停止转动。

OF 变量指定了 PTO 在“RUN (匀速运动)”阶段的输出脉冲频率。

JF 变量指定了 PTO 在点动阶段的输出脉冲频率，即机器左右换模的手动速度。

TOP 是用户设定的需要 PTO 产生的输出脉冲总数 (包括加速、减速阶段在内)。系统中的滚珠丝杠的螺距为 5mm/r，伺服电机的电子齿轮参数 Pr4B 为 625，即电机每转一圈所需的指令脉冲数为 625。由此可

$$\frac{625}{5} = 125$$

知，模具基座在 Y 方向上左右移动 1mm 需要 5 个指令脉冲。所以，把模具之间的距离转换成相应的指令脉冲数传递给 TOP，就可以实现模具基座在 Y 方向上的准确移位。

ADP 变量定义了加速、减速的脉冲数量 (加速脉冲和减速脉冲相等)。

要启动 PTO 指令，必须符合以下条件：

- 1) PTO 指令处于空闲状态 (空闲状态包括：脉冲点动位、连续点动位、允许急停位、正常工作状态位都必须为 0，并且输出没有被强制)
- 2) PTO 所在的梯级逻辑有一个从 0 到 1 的转换。

在启动 PTO 功能之前，必须定义对应全程要输出的脉冲串总数 (TOP)，以及用于加速/减速段的脉冲数 (ADP)，这样就可以计算出匀速运动阶段的脉冲数。

$$\text{RUN (匀速运动) 脉冲数} = \text{TOP} - 2 \times \text{ADP}$$

斜坡阶段的运动时间 (加速时间/减速时间) 如下

$$\text{加速时间/加速时间} = 2 \times \frac{\text{ADP}}{\text{OF}}$$

式中 OF——设定输出频率。

S 形脉冲分布曲线的最大输出频率 FS 见式 ()，梯形脉冲分布曲线的最大输出频率 FT 见式 ()。

$$F_s = \text{OF} \times \frac{\text{OF}}{4} + 0.5$$

$$F_t = 0.999 \times \text{OF} \times \frac{\text{OF}/6}{2}$$

应用中，ADP 变量必须小于 TOP 的一半，否则会产生 PTO 故障。本系统中，PTO 组态为梯形脉冲输出。脉冲输出与伺服电机转速的关系如图 4.8 所示。

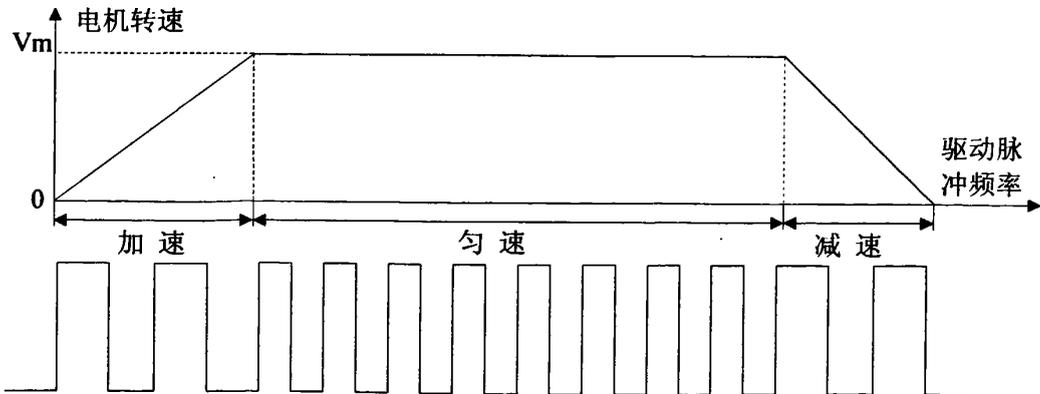


图 4.8 PTO 脉冲分布与伺服电机转速关系

4.4.3 脉宽调制输出 (PWM) 的应用

MicroLogix1100 控制器基本单元的高速输出端同样可以组态成脉宽调制 (PWM) 输出方式。PWM 功能使控制器可以输出一段占空比可调的脉冲，通过 PWM 波形来控制现场设备的速度。PWM 有 2 个主要

部分：输出频率和占空比。其功能文件如图 4.7 所示^[19]。

通过扫描程序文件中的 PWM 指令，或扫描在任何子程序文件中的 PWM 指令，可以与 PWM 子系统接口。PWM 的典型工作顺序如下^[19]：

- 1) PWM 指令所在的梯级逻辑转为真（PWM 指令被启动）。
- 2) 产生指定频率的波形。
- 3) 进入 RUN（匀速运动）阶段，输出所设定的输出频率和占空比的波形。
- 4) PWM 指令所在的梯级逻辑转为假。
- 5) PWM 指令回到空闲状态。

系统中用到的 PWM 子元素内的各变量如表 4.4 所示。

表 4.4 PWM 元素功能表

子元素名称	地址	数据格式	数值范围	文件类型	用户程序存取方式
OUT-输出	PWM:0.OUT	字(整型)	2 或 3	状态	只读
RS-匀速运动状态	PWM:0.RS	位	0 或 1	状态	只读
EH-允许急停	PWM:0.EH	位	0 或 1	控制	读/写
OF-设定输出频率	PWM:0.OF	字(整型)	0-20000	控制	读/写
DC-设定输出占空比	PWM:0.DC	字(整型)	1-1000	控制	读/写

OUT 变量定义了 PWM 指令所控制的输出点号（O0:0/2 或 O0:0/3）。本文使用的是 PWM0，其输出位 OUT 组态为 3，表示基本单元 1763-L16BBB 的输出点 3（O0:0/3）是脉宽调制输出。因为，输出点 2（O0:0/2）已经用作高速脉冲串输出。

RS 位是由 PWM 子系统控制，只要 PWM 指令处于输出分布曲线的匀速运动阶段，此位就置 1。它所反应的 PWM 的输出状态可以作为输入指令用在控制程序中。

EH 位是用来紧急停止 PWM 子系统。该系统中，触发模具前限位或紧急停止按钮按下，即将该位置 1，使 PWM 子系统立即停止输出。

OF 变量指定了 PWM 的输出频率，组态 PWM:0.OF=10000。

DC 变量用来控制 PWM 子系统产生的输出信号。在控制程序内改变此变量，可以改变输出波形。典型的 DC 变量值与输出波形如下：

DC=1000：100%输出“接通”，0%输出“断开”（恒定不变，没有波形）；

DC=750：75%输出“接通”，25%输出“断开”；

DC=500：50%输出“接通”，50%输出“断开”；

DC=250：25%输出“接通”，75%输出“断开”；

DC=0：0%输出“接通”，100%输出“断开”（恒定不变，没有波形）。

在控制程序中，需要驱动液压马达时，使 PWM 指令所在的梯级逻辑由假转为真，同时

$$DC = \frac{HSC:0.ACC}{HSC:0.HIP} \times 1000$$
，使得 PWM 的输出占空比随着模具基座的前进而增加。在模具基座前进到

位时，液压马达的转速达到最大。

4.5 通讯软件 RSLinx 的应用

RSLogix500 需要运行 RSLinx Classic™(Windows NT 运行环境)。在 RSLogix500 软件内包含了 RSLinx Classic Lite 软件。RSLinx 是一个完善的通信服务，为多种 Rockwell 软件应用程序提供底层驱动连通性，如 RSLogix5/500/5000，RSView32，RSView 企业服务和 RSSI/RSBiz Ware。A-B 可编程序控制器的 RSLinx

(以下称 RSLinx)是在 Microsoft WinNT、Win95、Win98、以及 Win2000 操作系统下建立工厂所有通信方案的工具。它为 A-B 的可编程控制器与各种 Rockwell Software 及 A-B 应用软件,如 RSLogix500™/5000™、RSView32™、RSBatch™、PLC-5A.I.系列、Ladder Logistics™以及 PanelBuilder™等软件之间建立起通信联系。RSLinx 的 Advance DDE™接口支持处理器与 MMI (Man-MachineInterface)和组件软件之间进行通信,也可与 DDE 兼容软件,如 Microsoft Excel™、Access™及其它用户定制的 DDE 应用软件通信。它的 C 应用程序编程接口(API)支持用户使用 RSLinxCSDK 开发的应用软件。作为开发出的 32 位应用程序,RSLinx 充分利用了 Windows 操作系统的多处理性能。通过各种通信接口,RSLinx 可以同时为所支持的应用程序组合运行服务^[20]。

RSLinx Classic 是 RSLinx 的其中一个版本,是一套为 PC 机与网上各种 PLC 组成的控制网建立通信的软件。它的作用相当于网络中的通信与数据交换服务器。它在车间级设备(DH485 协议),波特率,驱动程序等,完成网络的初始化和令牌管理。RSLinx Classic 是在 Windows XP, Windows2000, Windows NT, Windows Me 及 Windows98 操作系统下建立工厂所有通信方案的工具。它为 A-B 的可编程控制器和各种 Rockwell Software 及各种 A-B 应用软件之间建立起通信联系。RSLinx Classic 的 Advance DDE 接口支持处理器与 MMI (Man-Machine Interface)和组件软件间进行通信,也可与 DDE 兼容软件,如 Microsoft Excel, Access 及其他用户定制的 DDE 应用软件通信。它的 C 应用程序接口(API)支持用户使用 RSLinx Classic CSDK 开发的应用软件。作为开发出的 32 位应用程序,RSLinx Classic 充分利用了 Windows 操作系统的多处理功能。通过各种通信接口,它可以同时为所支持的应用程序组合运行服务^[20]。

RSLinx Classic (for Allen-Bradly Programmable Controllers)是具有完整特征的产品。具有以下特点:兼容 Rockwell Software 和 AB 开发的产品,支持多个通信设备的开发运行,可通过六种不同的桥设备进行远程路由,提供传统网络连接的支持。图形 RSWHo 树型结构控制功能与易于理解的诊断功能使系统观察更直观,块读写获取较快的通信速度,减少了网络负荷^[20]。

打开 RSLinx Classic 标题栏中的“Communications”菜单下的“Configure Driver”,添加驱动器类型为“Ethernet/IP Driver”的结果如图 4.9 所示。

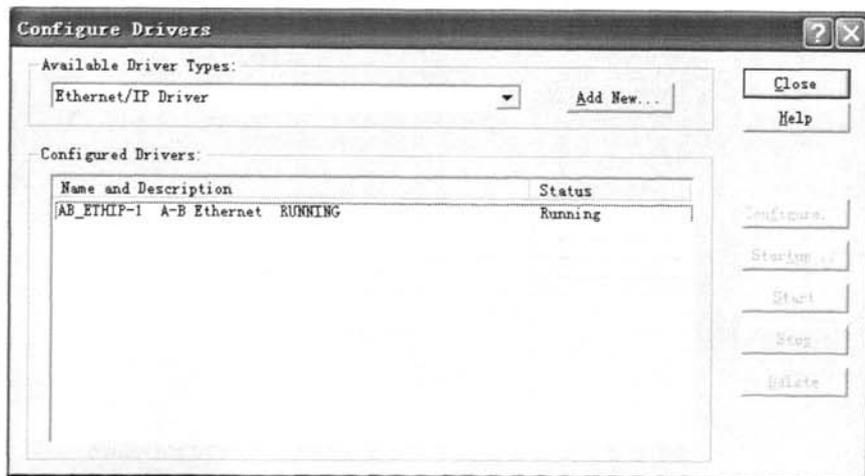


图 4.9 RSLinx 驱动类型配置图

然后双击“Configured Drivers”下的项目,出现该项目的配置菜单如图 4.10 所示,在该菜单中选择“Browse Local Subnet”。

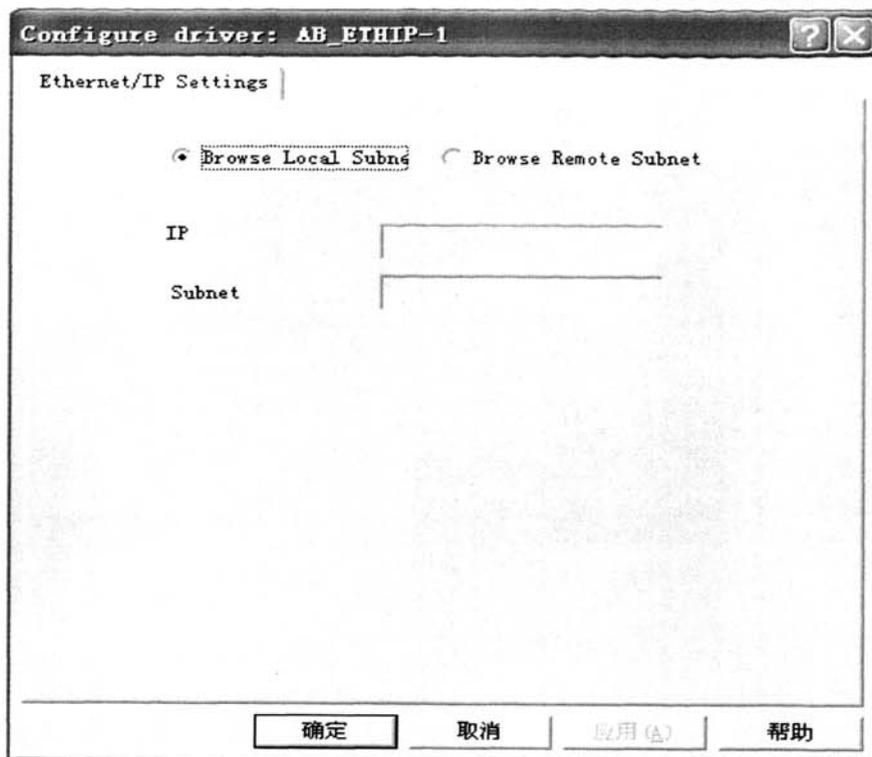


图 4.10 驱动器配置图

配置完成后, 选择“Communications”菜单下的“RSWho”就出现如图 4.11 所示的画面。证明通信配置成功。

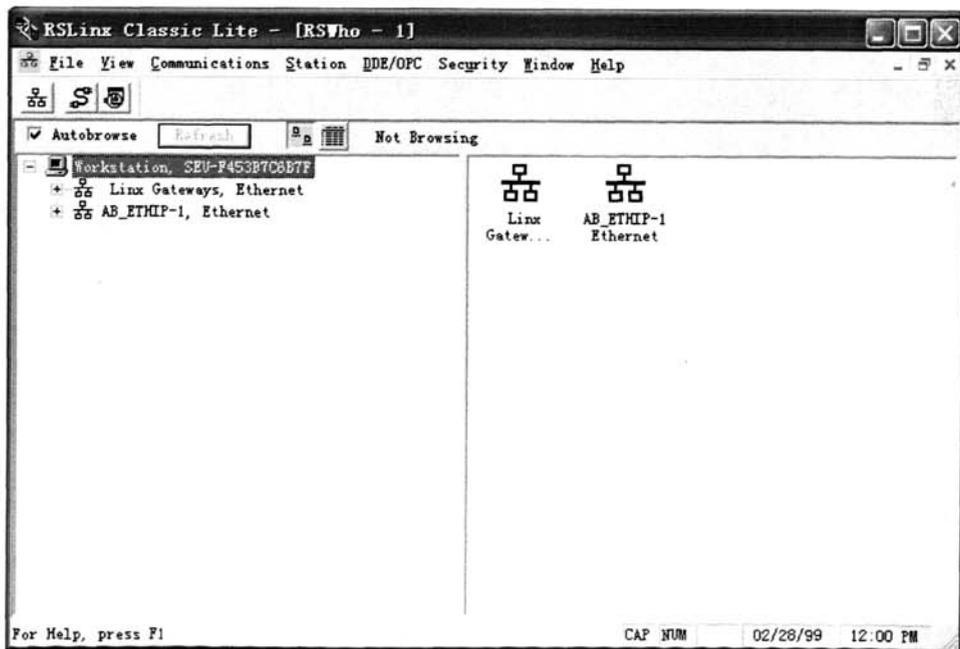


图 4.11 RSWho 树状结构图

4.6 Vijeo-Designer 开发软件

4.6.1 Vijeo-Designer 开发软件及其特点

Vijeo-Designer 是一个由 Schneider Electric Industries SAS 开发的人机界面 (HMI) 工程开发软件。该软件类似 Microsoft Studio 的设计环境, 拥有高级用户界面, 带有许多可配置窗口, 能够迅速、简便地开发项目^[11]。

具有最丰富的图形库: 比其它触摸屏软件都丰富 (仅 ImageLibrary 就包含 4000 多个), 客户也可自定义; 还可以方便的进行动画制作, 只需要设置参数, 即可获得流畅的动画效果; 采用组件方式, 只要简单配置, 就可以直接完成报警、趋势、配方、事件记录、系统设置、历史数据查询等功能; 仿真彻底, 可仿真画面和 PLC, 大大方便工程开发; 此外, Vijeo-Designer 还提供先进的功能和用户接口, 支持 JavaScript; 细微处灵活强大: 按钮支持复杂的表达式, 提供变量交叉报表等等; 全中文界面, 美观友好。编程界面如图 4.12 所示。



图 4.12 Vijeo-Designer 编程界面

编制好的程序可以有以下几种方式下载到触摸屏中:

- 1) 以太网下载: 通过以太网端口将文件下载到目标机器。通过网络成功地将用户应用程序下载至目标机器之后, Vijeo-DesignerRuntime 就会加载并运行该程序。
- 2) USB 下载: 通过 USB 端口下载文件至目标机器。当用户应用程序成功下载到目标机器之后, Vijeo-DesignerRuntime 就会加载并运行该程序。
- 3) CF 卡下载: 将用户应用程序及 Runtime 系统文件下载至 CF 卡。启动时, 目标机器将 Runtime 系统文件复制至内存中, 并运行用户应用程序。
- 4) 串口下载: 将文件下载到连接于串行端口的目标机器。当用户应用程序成功下载到目标机器之后, Vijeo-DesignerRuntime 就会加载并运行该程序。

Vijeo-Designer 提供以下组件:

1. 开关

开关是最基本的一种组件。开关可进行多种操作，如位操作、字操作、字符串操作，即将字符串写入指定的字符串变量，或者将字符串添加至指定的字符串变量。还可以进行画面的切换，或者打开或者关闭弹出式窗口，设置报警操作、声音和语言。另外还可以在点击开关时，运行脚本，设置系统操作或者视频操作。

2. 单选按钮

使用多个单选按钮时，同一组中的单选按钮在同一时间只有一个能够开启。

3. 指示灯

根据变量值，改变指示灯的颜色或标签。

4. 数据显示器

可以进行数据和文本的显示和输入，还可以显示系统日期和时间。

5. 棒状图

有水平棒状图和垂直棒状图两种。用棒状图来表示变量值，棒的方向既可以是垂直方向也可以是水平方向。

6. 测量计

以文本字符串的形式显示指定变量的当前值。

7. 信息显示

以文本字符串的形式显示指定变量的当前值。

8. 图像显示

以图像形式显示指定变量的当前值。

9. 选择器

这是一种用于显示指定变量的当前值并且在点击时执行特定操作的开关。

10. 报警汇总表

列出报警信息，并提供一份全部报警信息的记录。也可以将报警信息以日志的形式存入磁盘。

11. 趋势图

在趋势图中显示变量的当前值。

12. 视频显示

你可以通过视频：显示来自目标机器摄影机中的实况视频；通过目标机器摄影机录制实况视频；重放目标机器录制的视频；播放添加至目标机器的视频；进行视频快照，保存至文件或打印。

4.6.2 触摸屏的主要操作

主要分成以下几类操作^[21]：

- 1) 系统参数设置：主要设置管端成型机的一些控制参数，如模具前进的距离、旋沟、倒角的转速、模具的进退的最大速度、模具位置修正参数等。
- 2) 工艺流程设定：设定管件的端头成形加工的顺序流程图。
- 3) 工艺参数设定：设定工艺流程中每个工艺环节的加工工作时间、进位量、吹气与否、润滑与否、以及吹气的时间、润滑的时间等。
- 4) 显示加工过程：加工工件过程中，显示当前正在进行的操作以及已经加工的工件总数目。
- 5) 手动操作：设置夹紧、退夹、模具归零、模具前后移动、模具上下移动、模具左右移动等操作按键。

4.6.3 操作界面介绍

全部操作界面按照功能集成的原则分为：参数设置、自动控制、手动控制、端口查看、密码管理和操

作说明 6 大部分。各个操作界面的结构顺序清单如图 4.13 所示。

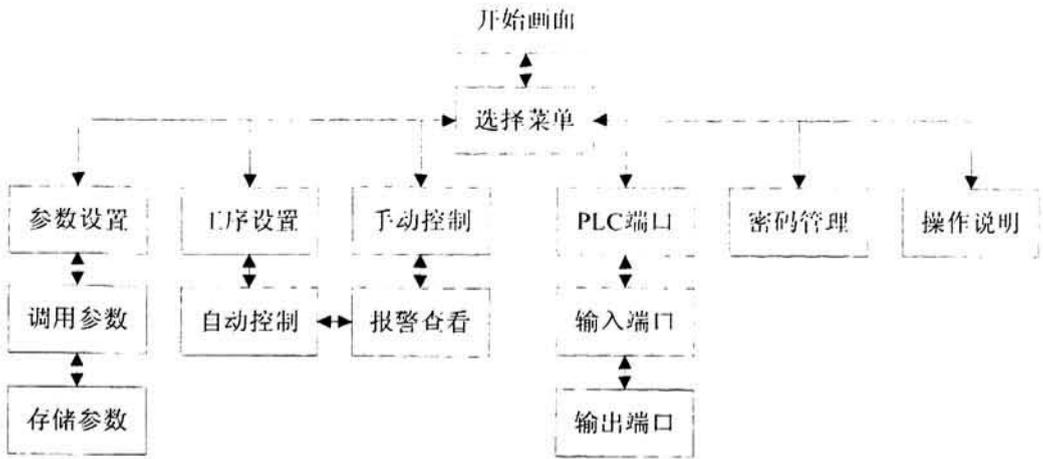


图 4.13 触摸屏画面流程

1、开始画面

该画面主要功能是欢迎画面和操作语言的选择。分别见图 4.14 和图 4.15。



图 4.14 开始菜单界面

Vijeo-Designer 自带六种系统语言：简体中文、英语、法语、德语、意大利语、西班牙语。用户可以选择需要的系统语言。这里设置两种操作语言，中文和英文。首先在【语言】文件夹里添加所要使用的语言。在触摸屏画面中，当要设置文本字符串、组件的标签和报警信息时，分别输入两种语言的字符串。

选择点击语言选择按钮时所执行的操作，这里选择执行切换用户语言。

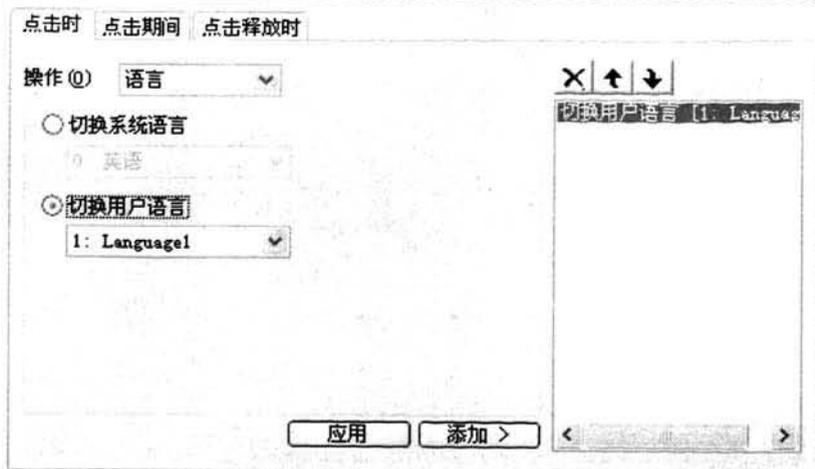


图 4.15 语言设置菜单

2、选择菜单

选择中文语言后就进入如图 4.16 所示的选择菜单。该菜单为操作的主要切换界面，依次完成六个主要界面转化。

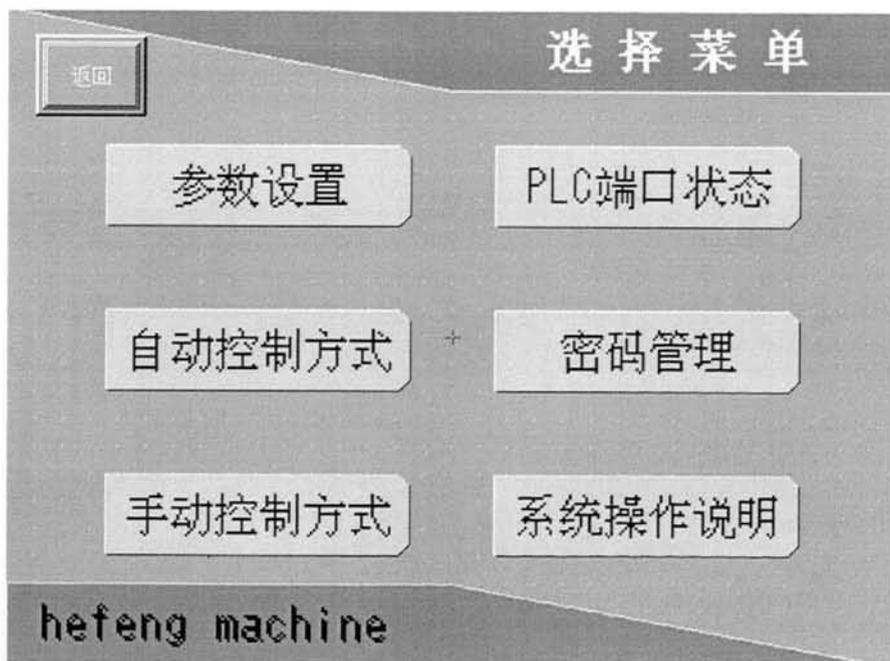


图 4.16 选择菜单界面

3、参数设置

系统参数设置页面（如图 4.17 所示）中创建了多个外部变量。所谓外部变量，是相对触摸屏而言的外部，即 PLC 内的变量。内部变量是为触摸屏的数据，与 PLC 无关。该页面中主要设置每个模具的进位量，工作时间，旋沟、倒角转速、模具前进的最大速度等参数。设置完成后保存，按“预存设置”进入调用工艺参数页面（如图 4.18 所示）。按“下一页”进入存储参数页面（如图 4.19 所示）。存储参数和调用参数中使用了大量的触摸屏内部数据单元。可以存储、调用 31 项数据组，包含工艺流程、模具的进给量等参数。

对于数据显示器的设置，在常规选项卡中，需要设置数据的变量地址，数据类型，数据的显示方式，以及显示字体。然后在输入模式中设置，显示弹出式键盘。此外若有需要，还可以在高级选项中设置输入的触发条件。

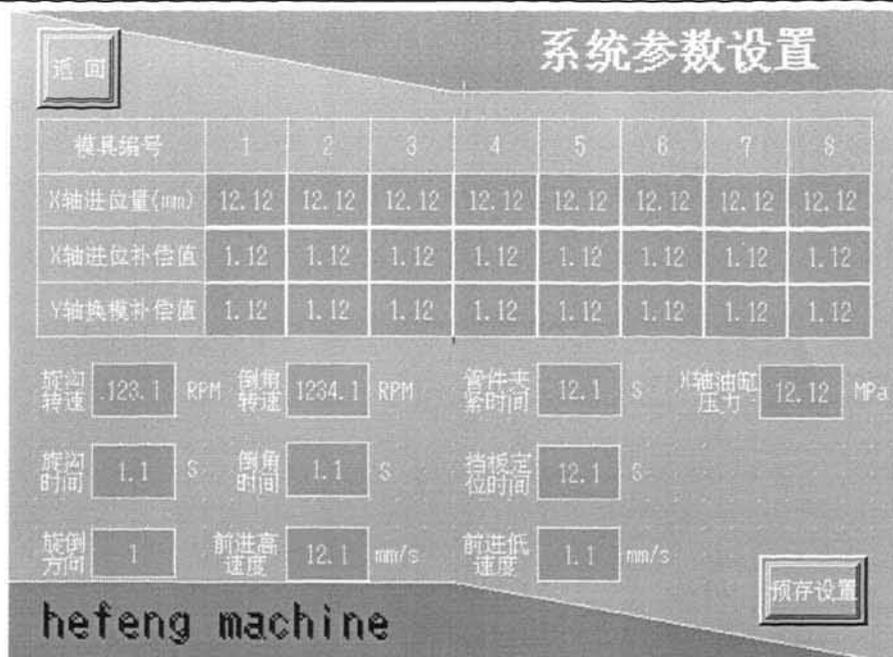


图 4.17 参数设置界面

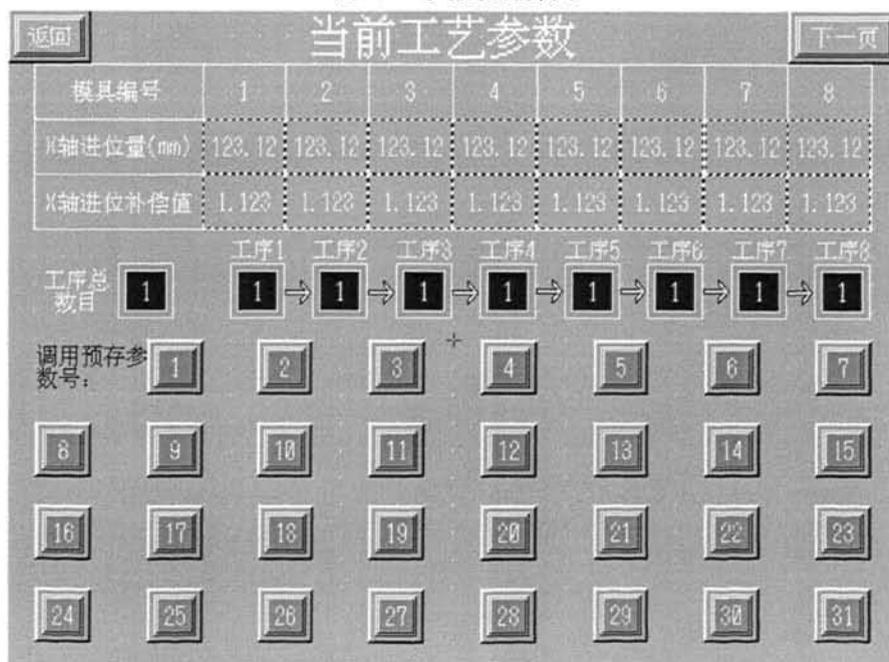


图 4.18 调用参数界面

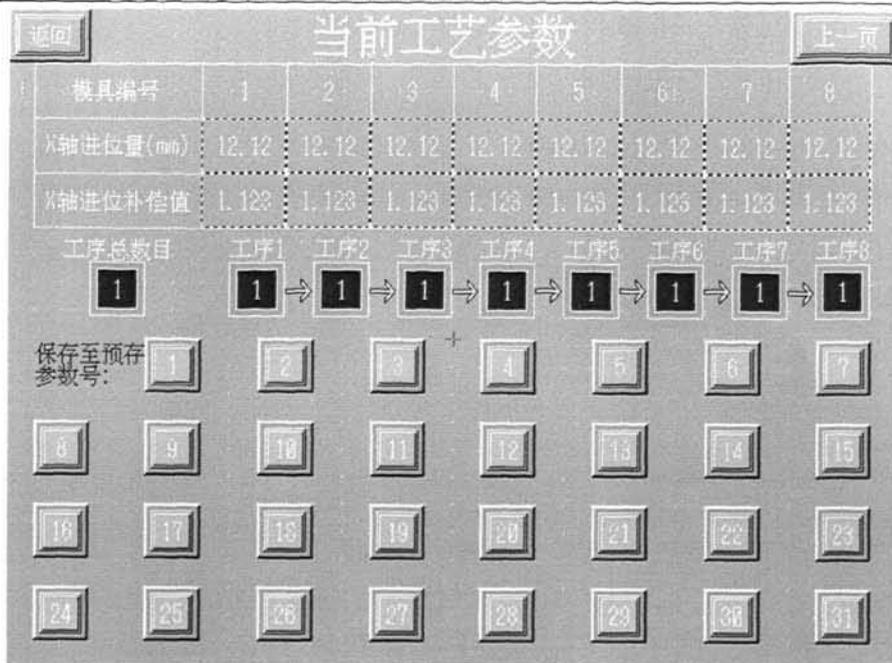


图 4.19 存储菜单界面

4、手动控制

手动控制用于机器调试和修理。设置夹紧、退夹、换模、模具前进、模具后退等操作按键。其中手动控制1主要测试各个部件的功能是否正常，如图4.20所示；手动控制2是模具基座在X、Y和Z向三个方向控制的集成，可以完成管材加工整个过程，如图4.21所示。

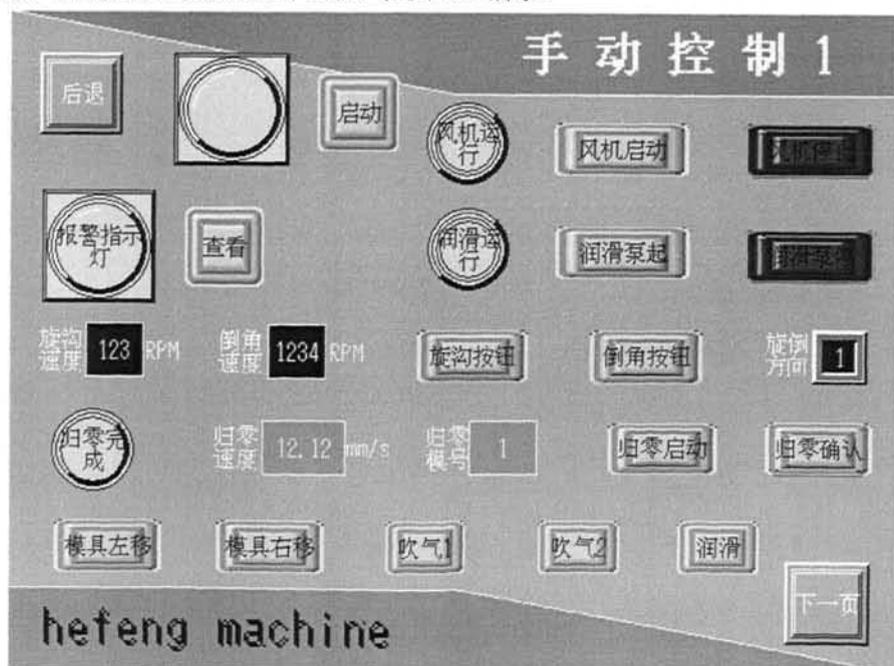


图 4.20 手动控制 1 界面

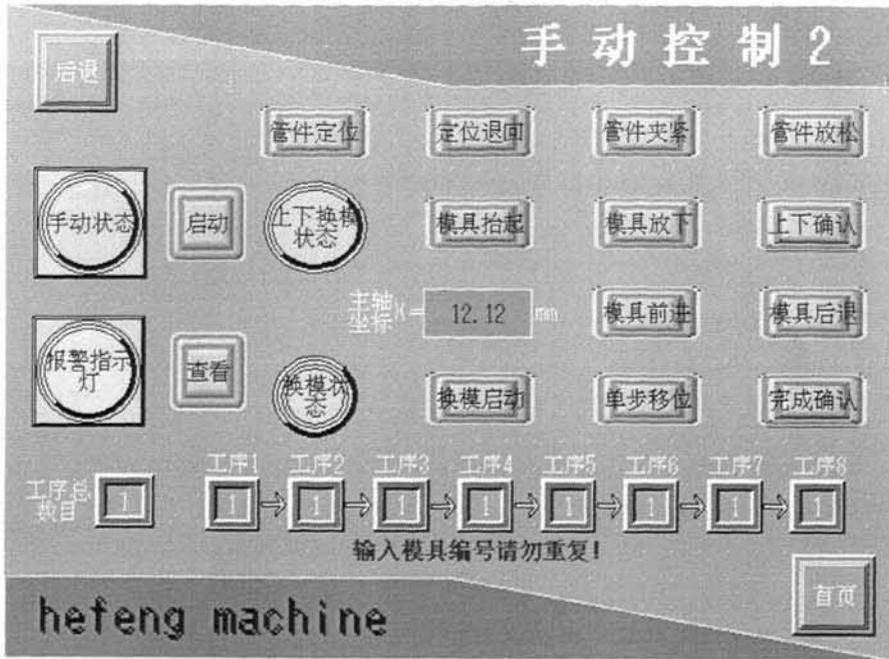


图 4.21 手动控制 2 界面

4、自动控制

在自动控制界面出来之前，先出现的是工艺流程设定界面，如图 4.22 所示。在该页面中，操作人员需要按顺序输入加工时模具的使用顺序，输入的数据在 1-8 之间。在数据输入高级选项中启用了互锁功能，只有正确输入 1-8 之间无重复的数字，才能进行下一步的操作。工艺流程设定完毕后，按下“确定”键，就跳转到自动操作界面，该界面主要用来监控自动运行时，机器主油缸的运行情况，如图 4.23 所示。

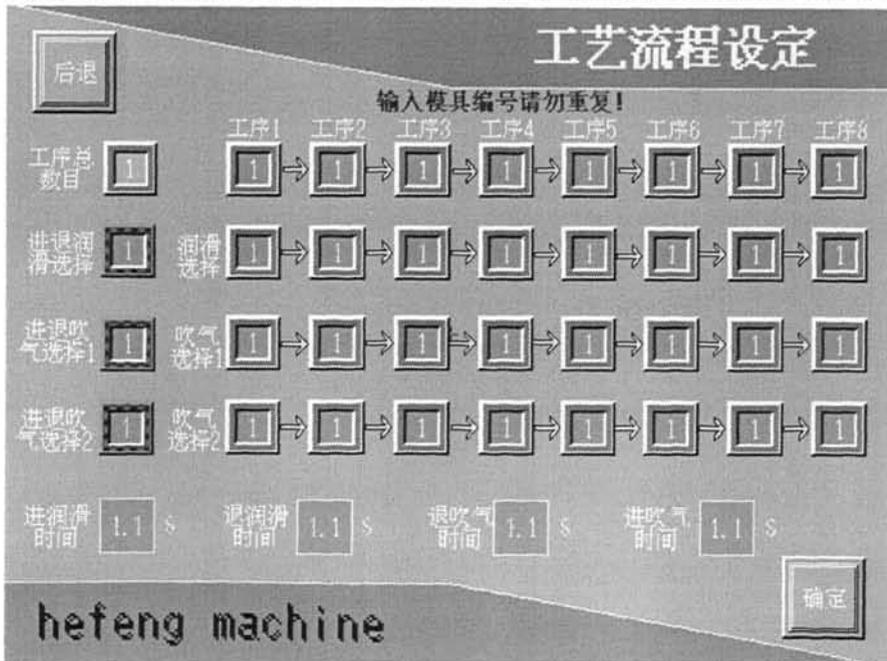


图 4.22 工艺流程设定界面

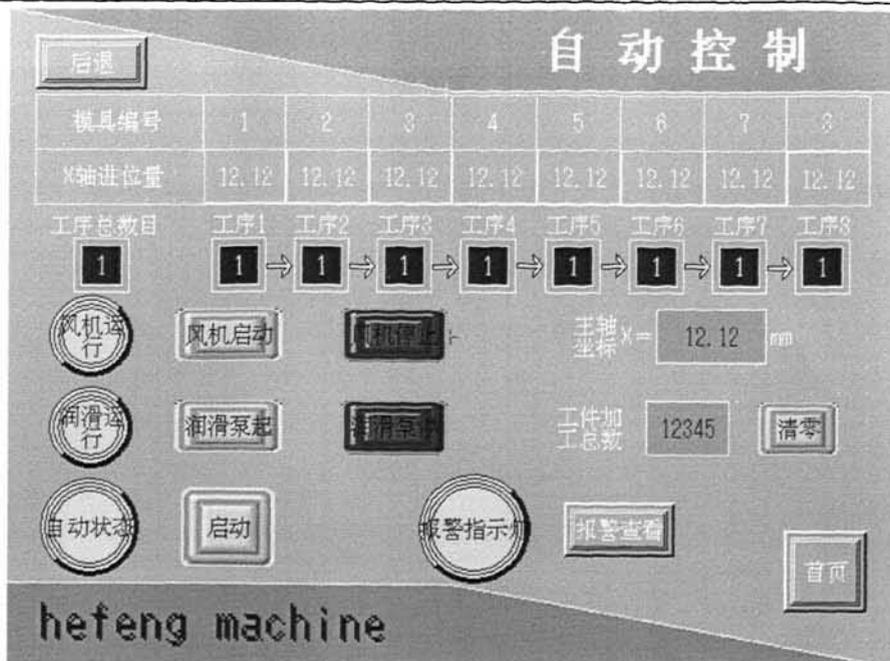


图 4.23 自动控制界面

5、操作说明

该界面主要对所用界面进行了介绍和说明，如图 4.24 所示。具体故障解决措施参考系统报警画面。

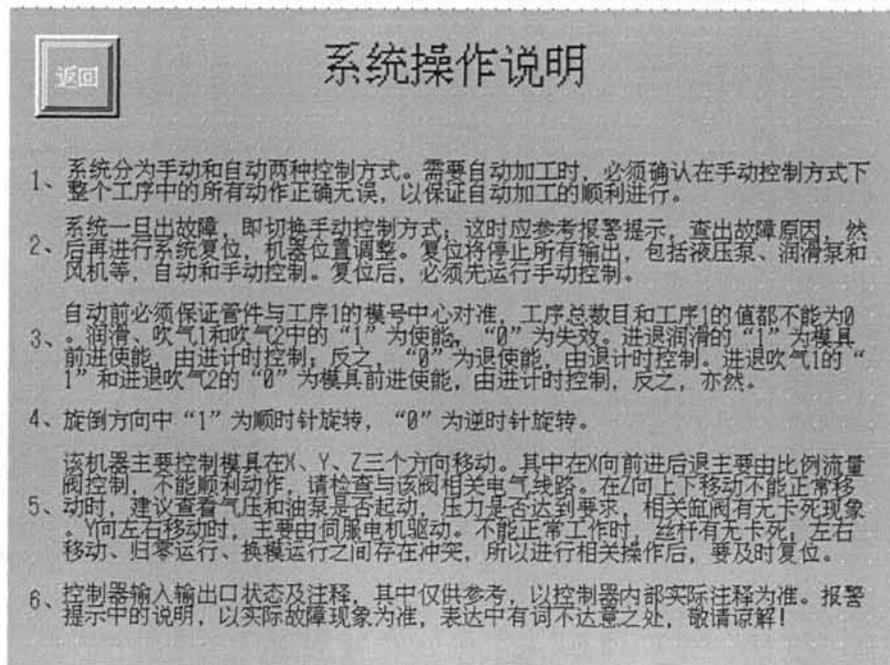


图 4.24 操作说明界面

6、PLC 端口界面

考虑到机器维修的方便，增加了控制器输入输出端口状态的界面。所使用到的 I/O 点及其含义都在界面中做了简要说明，具体界面如图 4.25 和 4.26。

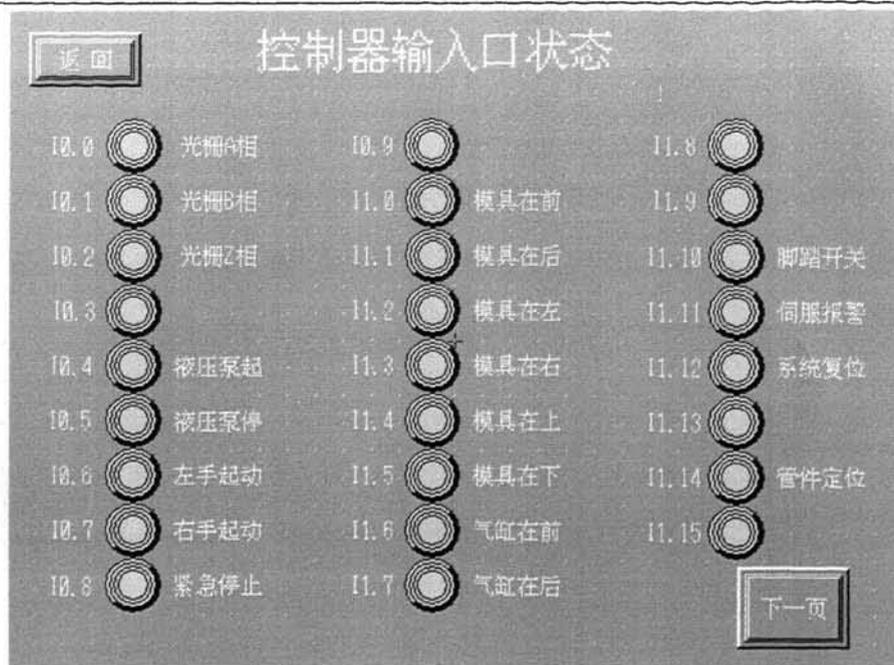


图 4.25 控制器端口界面 1

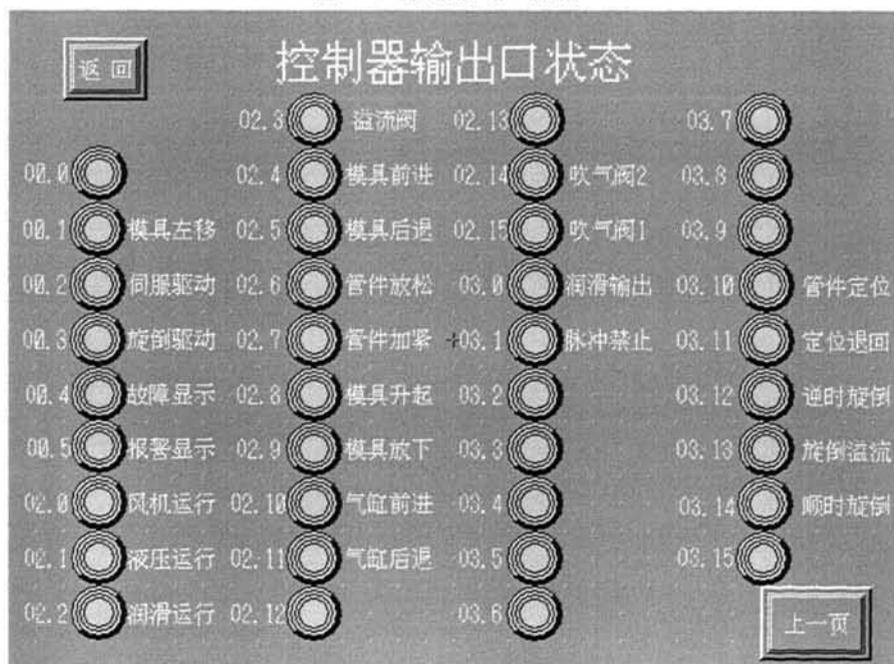


图 4.26 控制器端口界面 2

7、系统报警界面

该界面对系统中的机械结构不到位、工作顺序不正常等可能存在的错误做了说明。在机器出现故障的情况下，能够帮助电气技术员查找故障所在，降低故障停机时间。画面如图 4.27 所示。



图 4.27 系统报警界面

8、密码管理界面

存储工艺参数、手动操作等界面需要输入口令的。密码管理界面就是让操作人员修改口令用的，设计界面如图 4.28 所示。

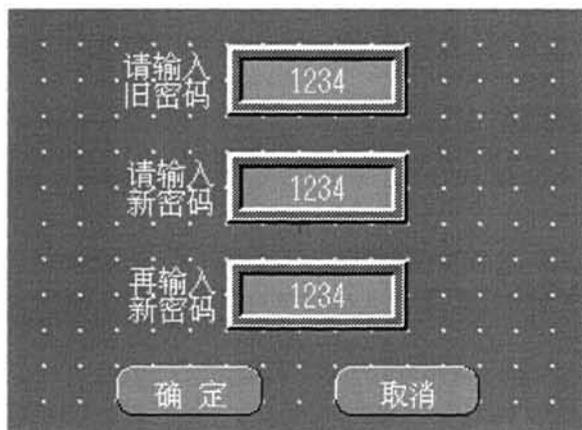


图 4.28 密码管理界面

第 5 章 总结与展望

5.1 全文总结

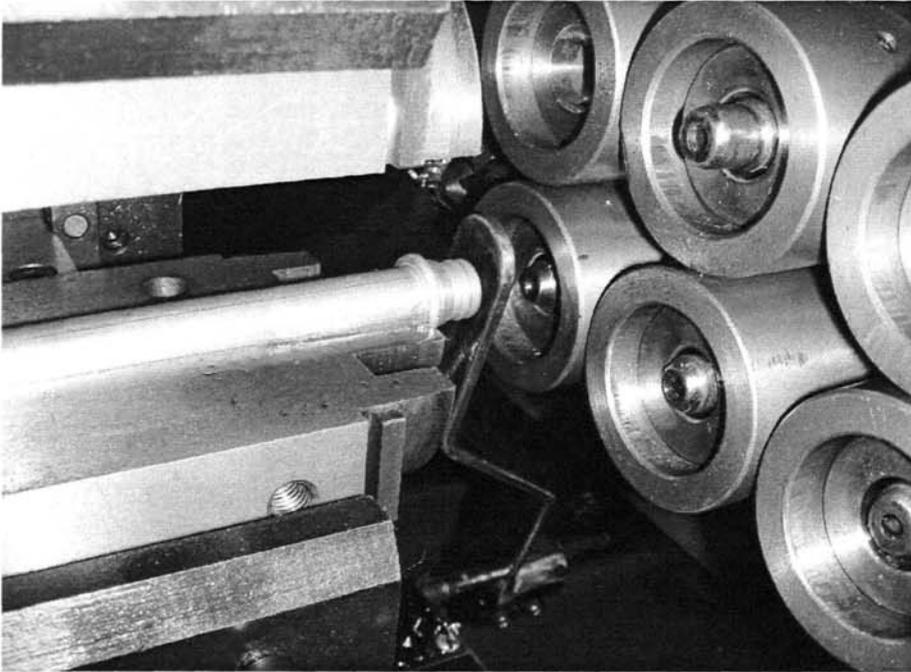


图 5.1 加工完成的管件

管件端头成形加工完成，如图 5.1 所示。机器动作满足了设计要求，管件形状符合设计标准。由此，本文所做的主要工作：

- 1) 对管端成形机的结构与工作原理做了深入的研究，制定了管端成形机的控制系统的详细设计方案。
- 2) 完成了控制系统各部分之间的接口设计与调试。
- 3) 针对管端成形机的各个技术指标的需求，通过深入研究 MicroLogix 系列 PLC，编写了控制系统的各个模块的程序；并完成了触摸屏操作界面的设计。
- 4) 完成了 PLC 控制程序和触摸屏操作程序的调试，机器试车成功。

5.2 课题展望

管端成形机是管件端部成形的重要设备。由于管端成形工艺的复杂性，还要在今后的研究中不断深入。控制系统的设计除了要满足现有的功能要求外，还要做到机器的稳定性和可靠性达到设计要求。

整机调试已经完毕，但是机器的电气、机械等部件要达到最佳工作状态还需时间的检验。此外，模具前进环节的设计中，保证精度和响应速度之间的矛盾还比较突出。随着管端工艺的成型，速度要求必然会进一步提高，对硬件系统的响应速度以及系统的可靠性必然会提出更高要求，有待于进一步开发。

本文目前所作的工作，实现了管端成形机控制功能的要求。随着管端成形工艺的深入研究，必然会对控制系统提出更多、更新的要求。控制系统也要随之不断完善。因此，本文做的工作仅仅是一个开始，还有许多细节的工作要做。

致谢

本论文是在导师胡仁杰教授的悉心指导下完成的。在攻读硕士学位近三年的时间里，胡老师广博的学识，严谨治学、勤奋科研的精神以及温厚乐观的生活态度，都给我留下极为深刻的印象，使我受益匪浅。在论文完成之际，特向胡老师表示衷心的感谢！

同时要感谢马智勇、黄伟玲同学以及合丰公司的林永才、马向阳，在他们通力协作下，整个项目才如期完成。感谢王慧、朱文刚、蒋玮同学，由于他们的无私帮助，我才把项目中的工作心得顺利转化为理论成果，使论文能够顺利完成。

最后，还要感谢我的家人及女友的理解和支持。他们对我的关心和帮助，是我战胜困难，永远向前的动力。

参考文献

1. 孙庆鸿. 面临 21 世纪的机械制造业高新技术发展[J]. 机械设计与制造工程, 1999.5
2. 许福玲, 陈尧明. 液压与气压传动[M]. 机械工业出版社, 2007
3. 敖荣庆, 袁坤. 伺服系统[M]. 航空工业出版社, 2006
4. 王振收. MINAS 全数字交流伺服系统在气象雷达中的应用[J]. 现代电子, 1998.1
5. 上海松浩自动化设备有限公司. MinasA4 系列 AC 伺服驱动器技术资料选编[Z].
6. 施耐德电气公司. 自动化解决方案指南[M]. 机械工业出版社, 2007
7. 储云峰. 施耐德电气可编程序控制器原理及应用[M]. 机械工业出版社, 2007
8. 李凤阁, 佟为明. 电气控制与可编程序控制器应用技术[M]. 机械工业出版社, 2008
9. Rockwell Automation. MicroLogix 可编程序控制器选型指南[Z]. 2005
10. Rockwell Automation. MicroLogix1100 可编程序控制器用户手册[Z]. 2005
11. 施耐德电气公司. Vijeo-Designer 软件使用手册[Z]
12. 许益民. 电液比例控制系统分析与设计[M]. 机械工业出版社, 2005
13. 北京发格数显技术服务中心. FAGOR 直线和旋转编码器综合样本[Z]
14. HEIDENHAIN. 直线光栅尺手册[Z]
15. David A. Geller. 可编程序控制器原理与设计[M]. 清华大学出版社, 2006
16. 浙江大学罗克维尔自动化技术中心. 可编程序控制器系统[M]. 浙江大学出版社, 2000
17. Rockwell Automation. RSLogix500 编程环境入门[Z]. 2000
18. 钱晓龙. MicroLogix 控制器应用实例[M]. 机械工业出版社, 2003
19. Rockwell Automation. MicroLogix1500 可编程序控制器用户手册[Z]. 1999
20. 丁金水. 基于 PLC&交流伺服混合控制的自动化制造系统的研究与实现[D]. 东南大学硕士学位论文, 2005
21. 黄伟玲. 基于 PLC 的八工位管端成形机控制系统的开发[D]. 东南大学硕士学位论文, 2007
22. 杨世兴. 现代电气自动控制技术[M]. 人民邮电出版社, 2006
23. 李幼涵. 伺服运动控制系统的结构及应用[M]. 机械工业出版社, 2006
24. 郭庆鼎. 直线交流伺服系统的精密控制技术[M]. 机械工业出版社, 2000
25. 贾德胜. PLC 应用开发实用子程序[M]. 人民邮电出版社, 2006
26. 杜鑫, 孙苓生. MicroLogix 系列 PLC 与交流伺服驱动器串口通信的实现[J]. 工业控制计算机, 2005.10
27. 陈启俊, 黄卫星. 光栅尺和 PLC 在高速精密压机上的应用[J]. 机电工程技术, 2006.7
28. 郑列勤, 易建军, 李辉. 万能材料试验机中交流伺服电机控制技术的研究[J]. 中国测试技术, 2006.5
29. 蔡军, 曹慧英. 罗克韦尔 MicroLogix1500 控制器系统的抗干扰问题的研究[J]. 中国测试技术, 2004.7
30. 赖指南. 基于 PLC 的机加工控制系统的设计与实现[D]. 湖南大学硕士学位论文, 2005
31. 梅江平. 可重构并联机构主模块机电伺服控制系统研究及硬件设计[D]. 天津大学博士学位论文, 2002
32. 谭国斌. 三轴加工中心机床电气设计及研究[D]. 哈尔滨工程大学硕士学位论文, 2006
33. 倪高红. 低速走丝线切割运动控制系统的设计与开发[D]. 南京航空航天大学硕士学位论文, 2005

在校期间发表的论文

1. 杨宏宇, 胡仁杰. 多工位管端成形机控制器的设计[J]. 电气技术, 2007年第05期 Page31—33.