



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

基于 S7-315T PLC 的 XYZ 直角坐标型机器人  
控制系统设计

**Design of XYZ rectangular coordinate robot control  
system based on S7-315T PLC**

姓 名 申义虎

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 李云龙

职 称 副教授

完成时间 2021.06.04



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

基于 S7-315T PLC 的 XYZ 直角坐标型机器人  
控制系统设计

姓 名 申义虎

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 李云龙

职 称 副教授

完成时间 2021.06.04

**天津中德应用技术大学**  
**本科生毕业设计（论文）的声明**

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

## 摘 要

随着工业现代化的不断进步，工业的生产方式也随之发生了改变。机器人作为自动化进程中不可缺少的设备，对工业生产过程产生了巨大的影响，促使生产效率明显提升，让人们从各种恶劣的生产环境中解脱。当前，工业机器人行业具有良好的发展势头与市场环境，随着中国制造 2025 计划的提出，中国对于机器人研究正在迈入新的台阶。本文主要设计了一种可以在平面写字的直角坐标型机器人。其中用到的控制方式和工作原理可直接应用到自动化生产过程中。

根据本课题项目需要，机器人主控制器选择了西门子 S7-315T 运动控制系列 PLC，明确了机器人控制系统设计方向，该系统可以实现手动自动切换，运动路径实时显示，出现故障输出报警等功能。并且在此基础上，采用人机界面作为上位机，在上位机进行运动参数设置及显示，调整系统结构，监控操作过程。由 PLC 直接对伺服驱动器以及其他设备进行控制。实验结果表明，直角坐标机器人结构简单，开发周期短，可维护能力强，具有非常大的应用前景。

**关键词：**直角坐标机器人；PLC；伺服电机；定位

## ABSTRACT

With the continuous progress of industrial modernization, industrial production methods have also changed accordingly. As an indispensable device in the automation process, robots have had a huge impact on the industrial production process, which promoted a significant increase in production efficiency, and freed people from all kinds of evil production environments. At present, the industrial machinery industry has a good development momentum and market environment. With the introduction of the Made in China 2025 plan, China's robotics research is entering a new level. This article mainly designs a Cartesian coordinate robot that can write on a plane. The control methods and working principles used therein can be directly applied to the automated production process.

According to the needs of this project, the main controller of the robot selected Siemens S7-315T motion control series PLC, which clarified the design direction of the robot control system. The system can realize manual and automatic switching, real-time display of motion paths, and output alarms when failures occur. And on this basis, the man-machine interface is used as the host computer, and the motion parameter setting and display are performed on the host computer, the system structure is adjusted, and the operation process is monitored. The PLC directly controls the servo drive and other equipment. The experimental results show that the Cartesian coordinate robot has a simple structure, a short development cycle, strong maintainability, and has a very large application prospect.

**Key words:** Cartesian coordinate robot; PLC; servo motor; positioning

# 目 录

第一章 概述.....	1
1.1 直角坐标型机器人国内外应用情况.....	1
1.1.1 国外工业机器人的发展现状.....	1
1.1.2 国内工业机器人的发展现状.....	1
1.2 直角坐标型机器人的应用领域.....	1
1.3 课题研究目的及意义.....	2
1.4 课题主要研究内容.....	2
第二章 直角坐标型机器人介绍.....	3
2.1 直角坐标型机器人的分类.....	3
2.2 直角坐标型机器人的结构.....	3
2.3 直角坐标型机器人的特点.....	4
2.4 直角坐标型机器人的控制方式.....	5
第三章 直角坐标型机器人控制系统硬件设计.....	6
3.1 控制系统.....	6
3.1.1 PLC 的硬件结构.....	6
3.1.2 PLC 的选型.....	8
3.2 驱动系统.....	10
3.2.1 驱动系统的选型.....	10
3.2.2 驱动控制系统组件结构.....	12
3.3 电气原理图设计.....	15
3.3.1 PLC 与伺服驱动器、HMI 的连接.....	15
3.3.2 PLC 端子接线图.....	15
3.3.3 S120 主电路接线图.....	16
3.3.4 控制系统程序流程图.....	17
第四章 直角坐标型机器人控制系统软件设计.....	18
4.1 I/O 地址的分配.....	18
4.2 系统通讯设置.....	18
4.3 伺服控制器设置.....	19
4.4 PLC 主要程序设计.....	20

4.5 触摸屏程序设计.....	24
第五章 总结与展望.....	26
5.1 总结.....	26
5.2 展望.....	27
参考文献.....	28
致谢.....	29

## 第一章 概述

### 1.1 直角坐标型机器人国内外应用情况

#### 1.1.1 国外工业机器人的发展现状

美国是工业机器人的发源地。1950 年代末，美国 Unimation 公司设计并生产了世界上第一台工业机器人。1970 年之后，美国工业机器人产业的发展放缓，机械制造业的生产能力逐渐转移到亚洲<sup>[1]</sup>。

在 1970 年代中期，意大利的 Olivetti 公司成功开发了第一代笛卡尔坐标机器人。该公司开发的笛卡尔坐标机器人“Sigma”是装配领域中使用的工业机器人<sup>[2]</sup>。

日本的机器人工业在 1980 年代打破了欧美的垄断，成为机器人设计和制造的主要国家<sup>[3]</sup>。今天，日本和欧洲是全球工业机器人市场上的两个最大派系。经过长期的经验积累，欧洲和日本已成为全球工业机器人行业的领导者。

#### 1.1.2 国内工业机器人的发展现状

虽然国产直角坐标机器人的综合实力无法与国外品牌匹敌，但直角坐标机器人仍然是目前国内国产化最多的工业机器人。

目前，直角坐标机器人最常见的应用行业是 3C 电子产品市场<sup>[4]</sup>。直角坐标机器人在 3C 行业的销售额占总销量的一半以上。除 3C 产业外，直角坐标机器人在食品、医药、注塑、机械等领域的需求也逐年增长<sup>[5]</sup>。

中国本土的直角坐标型机器人公司正在迅速成长，但是由于其开发成本高，工厂规模小和技术缺乏等因素，与积累了 30 多年的外国品牌仍存在差距。我国大多数直角坐标机器人的速度，精度和稳定性均不如国外品牌，其控制系统需要从国外进口<sup>[6]</sup>。据有关统计，2014 年，在中国市场上，中国制造的直角坐标机器人占 42.22%，其余 57.78%是外国品牌。在生产和加工过程中，由于加工精度，系统刚度和关键零件的购买价格等因素，一些核心零部件还是要依赖于进口。

### 1.2 直角坐标型机器人的应用领域

由于机器人终端工具的不同，它可以非常方便地用于各种自动化设备，如点胶行业，金属焊接行业，物料搬运行业等。特别适用于多品种，多批量，柔性化的生产过程，它对提高产品的稳定性和质量，提高劳动生产率，改善劳动条件，快速实现产品的更新换代具有十分重要的作用<sup>[7]</sup>。

这种机器人广泛应用于数控机床和三维打印。最简单的应用是铣床和拉丝机，笔或铣刀在 X-Y 平面上移动，刀具升降到表面以产生精确的设计。物料搬运机构和绘图机构也是基于直角坐标机器人的工作原理。

### 1.3 课题研究目的及意义

随着科学技术的不断发展,人们对直角坐标机器人的性能提出了更高的要求,如高速、高精度、高可靠性、操作方便、可维护性强等。直角坐标机器人可以再三维空间中实现任意点位的横向和纵向运动。在工业应用中,该装置可通过不同的设定程序实现自动控制,形成多功能操作机构。

直角坐标型机器人在中国的使用量非常大,据统计,在中国使用的机器人中约有三分之一以上为直角坐标型机器人。作为一种结构简单的工业机器人,其价格低廉,可根据不同情况灵活装配。广泛应用于点胶、注塑、喷涂、堆垛、装卸等工业生产领域。它在替代劳动力、提高生产管理效率、稳定产品质量等方面具有重要的应用价值<sup>[8]</sup>。更重要的是,它可以在恶劣和危险的工作环境中使用<sup>[9]</sup>。

### 1.4 课题主要研究内容

对于不同的应用场合,直角坐标机器人有不同的设计要求,如根据精度和速度的要求选择不同的传动方式,选择不同的夹紧装置(夹爪、夹具、安装架等),根据具体工艺要求调整末端执行器,以满足不同领域、不同工况的应用要求。该系统组成示意图如图 1-1 所示:

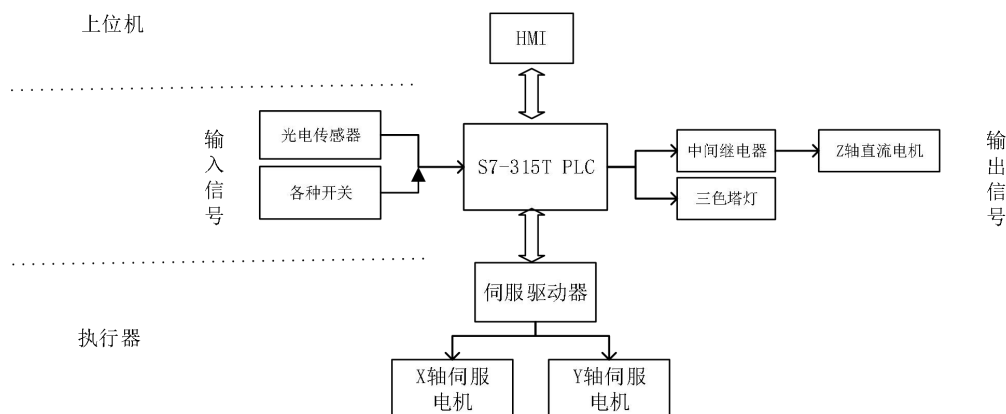


图 1-1 控制系统硬件结构图

本设计将设计一种基于西门子 T 系列 PLC 的三维直角坐标系机器人的控制系统。该系统以平面直角坐标系为参考模型,西门子 S120 伺服控制器驱动的伺服电机为基本工作单元,齿轮齿条为传动方式。该机器人控制系统可以在三维空间中任意设置运动轨迹,并沿着设置好的轨迹精准重复完成该运动轨迹<sup>[10]</sup>。该系统控制器采用西门子 S7 315T-2DP,执行器采用西门子 S120 伺服驱动器和伺服电机,控制对象为 XYZ 三轴丝杠组合平台。因此末端夹具可以在 XYZ 空间的任何点移动,并完成写入任务。如果更换端部夹具,可以迅速应用于各种工业领域。

## 第二章 直角坐标型机器人介绍

### 2.1 直角坐标型机器人的分类

直角坐标型机器人的种类很多，可以根据结构形式、用途、自由度等方面进行分类

- (1) 按用途分为码垛机器人、焊接机器人、检测机器人、点胶机器人等。
- (2) 按结构形式分可以分为悬臂机器人、龙门机器人、倒挂机器人等。
- (3) 按自由度可以分为二坐标至五坐标机器人。

### 2.2 直角坐标型机器人的结构

直角坐标机器人的主要功能是使末端执行器到达空间指定点。根据笛卡尔坐标系的的知识可以得出空间中的任何点都可以分别用 X、Y、Z 三个方向上的点的集合来表示<sup>[1]</sup>。因此，为了便于研究，可以将空间中任意两点的曲线运动分别简化为三个自由度方向的直线运动<sup>[1]</sup>。

直角坐标型机器人的外形主要分为两大类，它们各有特点，如下表 2-1 所示：

表 2-1 两种机器人性能对比表

类型	优点	缺点
门式直角坐标机器人	可承受较大载荷， 结构稳定	占据空间大
悬臂式直角坐标机器人	使用灵活方便， 占据空间小	具有悬臂梁结构除第一根轴安装在基础上外 其余各轴行程不易过长

由于该写字机器人的负载非常小，近乎于空载运行，不需要承受很大的负荷，所有该写字机器人选择的是悬臂式的 XYZ 直角坐标机器人。该系统模型如图 2-1 所示：

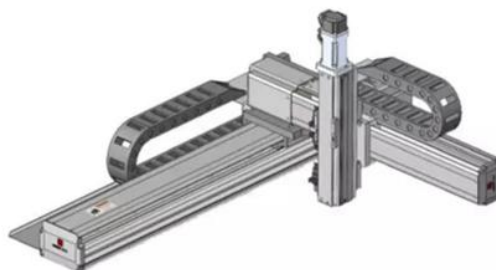


图 2-1 系统模型图

在各种各样的机械、电气产品中，实现直线运动是最为基本和重要的，下表中列举了常见几种可以实现直线运动的机构，从中可以对比出各种直线运动方式的优缺点，各种传动方式的性能对比如表 2-2 所示：

表 2-2 传动性能对比表

方案	优点	缺点
滚珠丝杠	传动精度高，且速度平稳。摩擦阻力小，轴向冲击，钢性较好，可以传递较大扭力，位置准确	传动速度较慢，且机构不能自锁，长度较大时承受径向载荷能力差
齿轮齿条	传递的功率大、速度范围广、效率高、工作可靠、寿命长、结构紧凑、能保证恒定传动比	制造及安装精度要求高，成本高，不适于两轴中心距过大的传动
同步带	传动准确，平稳，噪音小，可获得恒定速比，且速比范围大，允许线速度高，传动结构紧凑	对中心及其尺寸稳定性要求较高
液压传动	可产生较大轴向力，传动速度快	结构复杂，维护困难，整个装车质量大。工作介质对周围条件反映敏感，直接影响定位精度
气压传动	瞬间产生很大轴向力，传动速度快	对传动时间要求不易过长，密封困难

通过上表所示，在本次直角坐标型机器人的硬件设计中，滚珠丝杠的方式精度可以得到更好的保证，并且其传动效率较高，更为适合本次设计。

选择末端工具:

根据不同的工作内容与任务要求，可以选择不同的末端工具，较为常见的工具有电动夹爪，气动夹爪，焊接枪，专用的监测仪器等。

该系统的末端工具为专用笔筒，用于固定写字画笔，该笔筒设计有弹簧复位，目的在于减小 Z 轴移动误差，可以使笔尖贴合纸张，增加摩擦力。

## 2.3 直角坐标型机器人的特点

- (1) 各个轴的空间自由度的夹角为直角。
- (2) 所完成的运动轨迹可以重复执行，也可更改运动轨迹。
- (3) 直角坐标机器人结构简单，一般由机械机构、伺服系统、和控制系统组成。
- (4) 结构灵活多样，可根据实际环境灵活调整其结构。
- (5) 具有很高的可靠性，速度快精度高。
- (6) 使用不受时间、空间以及工作环境的限时，日常维护保养较为方便。

## 2.4 直角坐标型机器人的控制方式

机器人的传动方式主要有三种形式：液压传动，气压传动和电气传动。这三种传动方式的特点比较在表 2-3 中给出：

表 2-3 三种驱动方式的特点比较表

项目	液压	气动	电动
输出力	油液压力大，抓取重量可达 100~800kg	压力较小，抓取重量一般小于 30kg	可得到中小程度输出力抓取重量为 1~200kg
传动性能	传动平稳，无冲击，反应灵敏，最高速度可达 2m/s	可达较高的速度，但高速时冲击较大	动作速度低，最高 1m/s
控制性能	可实现无级调速，达到较高定位精度	低速时不易控制，定位精度低	步进、伺服电机的定位也较高
使用维护性能	温度对介质影响大，间接影响工作性能，会有不同程度漏油	适合在恶劣条件下工作，排气噪声大	使用维护方便
体积重量	在同样输出力的条件下体积小	压力小，体积大，输出力小	电机本身体积小，减速装置体积大
寿命	润滑性能好，寿命长	空气无润滑性，寿命短	寿命较长
应用	适于抓取重量较大的机械手，可实现连续轨迹控制	抓取质量不易太大，但要求速度快	可适用于程序复杂运动要求严格的机器人

通多以上几种驱动控制方式，可以得出以下结论：

液压传动方式可以获得更大的抓力或力量。并且容易控制，误差小<sup>[12]</sup>。但是回路复杂，不便于调试安装及后期维护。电动传输方式在自动控制系统中较为常见，其中以步进电机与伺服电机的应用较多，主要因为其控制准确，灵活。快速性好，并且易于控制，回路设计较为简单，方便后期设备升级与维修。

通过综合考虑，根据项目要求可以得出，选择电动伺服传输方式更为合理。

### 第三章 直角坐标型机器人控制系统硬件设计

#### 3.1 控制系统

##### 3.1.1 PLC 的硬件结构

PLC 又称可编程控制器。主要由三大部分组成，输入部分，输出部分以及 CPU。PLC 硬件结构如图 3-1 所示：

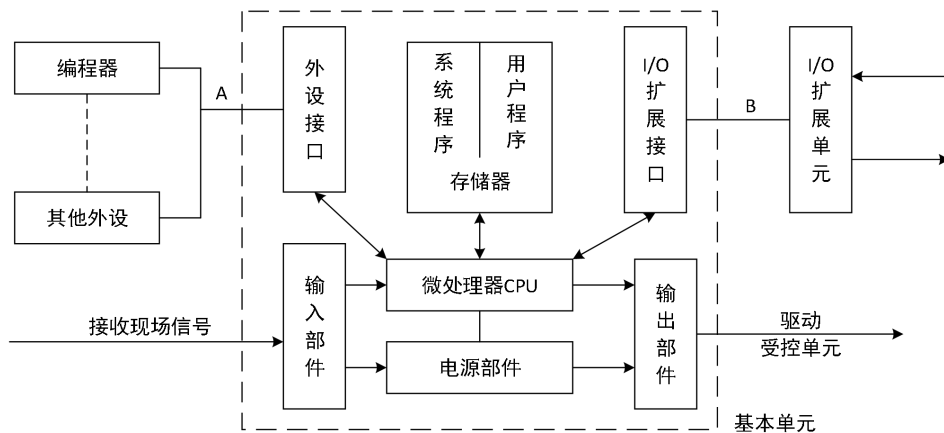


图 3-1 PLC 硬件结构

##### (1) 中央控制处理单元 (CPU)

CPU 的功能是完成 PLC 的所有控制和监控操作。CPU 通过数据总线、地址总线、控制总线与其他外设相连。PLC 中的中央处理单元主要有 ARM 单片机或者微处理器组成。

##### (2) 存储器

PLC 的存储器分为两部分，一种是随机存储器 RAM，一种是只读存储器 ROM，PLC 内存分为五个区域，如图 3-2 所示：

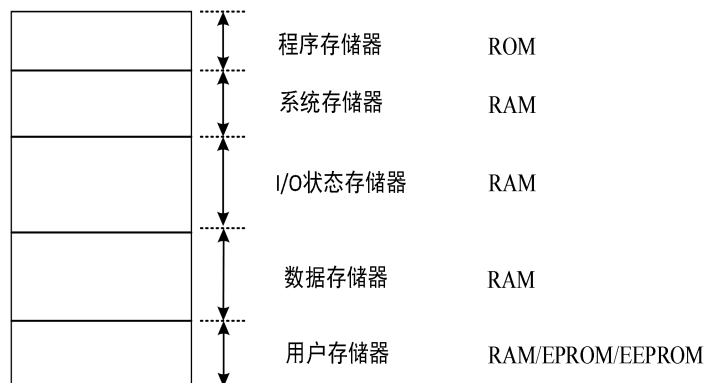


图 3-2 PLC 内存分区

只读存储器(ROM)可以用来存储系统的底层程序和数据。PLC 掉电后，系统内容保持不变，重新执行。只读存储器还可以用来固化用户程序和一些重要参数，避免因误操作

而损坏或丢失程序和数据。随机存储器(RAM)可以存放用户编写的程序以及程序中需要存放的数据指针等数据。当 PLC 运行时, RAM 中的程序将送往中央处理器, 待处理完成后产生输出结果。在用户程序执行期间产生的中间结果也临时存储在 RAM 中。内存通常是由 CMOS 集成电路类型、工作数量很小, 但内容会随着断电而消失, 所以大电容器或备用锂电池通常被用来确保 PLC 的内容不会因为断电而消失。

### (3) 输入/输出接口电路

PLC 的输入输出信号可以是逻辑开关量信号, 也可以是模拟信号。I/O 接口是 PLC 之中弱电与工业强电信号转换的必要电路。I/O 接口有两个主要功能: 其一是可以实现光电隔离, 只是一种防护措施, 如果将外部强电流错误接至 PLC 中, 很可能造成 PLC 内部电路损坏, 采用光电隔离后, 将内外电路分开起到保护作用。其二是调节信号, 将不同的输入电压经过调节后变成 PLC 内部所需要的标准电流与电压, 供 PLC 做后续处理, 如图 3-3 所示:

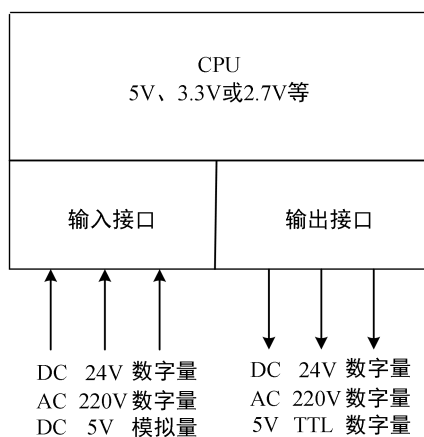


图 3-3 PLC 的输入/输出接口

PLC 可以通过输入信号感知现场环境, 以此来控制各种工艺流程。常用的输入器件有: 各种开关、按钮, 以及各种传感器等。控制流程如图 3-4 所示:

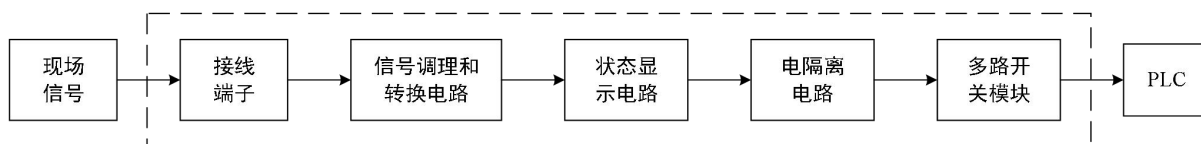


图 3-4 PLC 控制流程图

PLC 的常用的输出量有两种形式, 分别是继电器输出和晶体管输出。两种形式电路如图 3-5、图 3-6 所示。

继电器输出的优点是输出大电流与电压信号, 可以使用直流电源输出也可以使用交流电源输出。但其控制频率不能过高, 不可以输出高速脉冲信号。

晶体管输出的电源是直流电源，输出频率快，可发出高速脉冲驱动步进电机或者伺服电机。

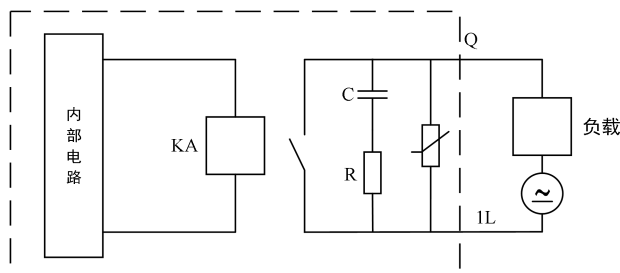


图 3-5 PLC 继电器输出类型

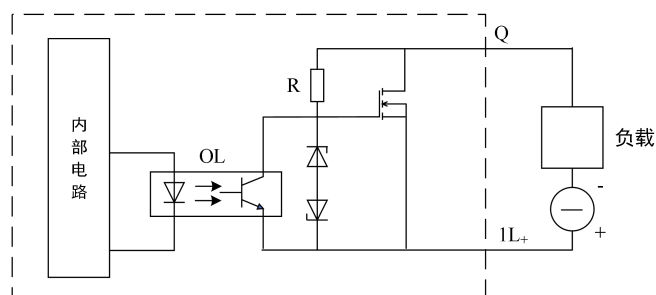


图 3-6 PLC 晶体管输出类型

#### (4) 电源

PLC 的供电电源有两种形式，一种是交流 220V 供电，一种是直流 24V 供电。

#### (5) PLC 的软件结构

在 PLC 中，程序大体分为两大部分，一部分是系统程序，一部分是用户程序。

系统程序是出厂自带的程序，由 PLC 制造厂商编写，出场后不可更改。其作用是控制 PLC 本身的运行，以及 PLC 的型号，执行逻辑等等重要数据。用户程序由用户编写后下载至 PLC，可重复编写并覆盖上次的程序，可以根据工艺对象自行调整程序内容。

### 3.1.2 PLC 的选型

在编写 PLC 程序之前，第一步要做的是根据任务要求，工艺流程估算出大致需要的 I/O 点位以及估算出存储容量等信息。

在此项目中，为满足项目要求，我采用了 S7 315T-2DP 这款 PLC，选型原则主要从以下几方面考虑。最后根据现场的安装环境等具体信息从符合要求的 PLC 中挑选出最适合的，性价比最高的 PLC 品牌及型号。

#### (1) 输入输出(I/O)点数的估算

在估算输入输出点数的时候，最重要的一点是考虑余量，余量过少不方便后期维护，余量过多成本又增加许多。一般估算量大约为输入输出点数加上百分之十五左右。

在此项目中，估算数字量输入为 15 个点位，数字量输出为 5 个点位。S7 315T-2DP 这款 PLC 自带有 4 点高速数字量输入，8 点高速数字量输出，另配 DI16/DO16 DC24V 数字量输入输出模块完全满足项目要求。S7 315T-2DP PLC 外形如图 3-7 所示：



图 3-7 S7 315T-2DP PLC 外形

## (2) 存储器容量的估算

内存容量指的是 PLC 中随机存储器的容量，程序容量是用户应用程序项目在内存中使用的存储单元的大小，因此内存容量应大于程序容量。在设计阶段，由于在设计阶段程序容量未知，需要在程序调试后知道。所以通常要给存储器容量留有一定余量。

一般来说，它们是数字 I/O 点数的 10-15 倍加上模拟 I/O 点数的 100 倍。这个数字是内存中字的总数(16 位是一个字)。另外，这个数字的 25%考虑余量。在此项目中，由于使用到了西门子 Technology 工艺包，占用了较多存储空间，所以在选型时采用了 4 兆的 MMC 存储卡，在程序编写完成后，存储空间大约占用了总空间的 92%左右。此项目所使用的的实际内存采用 4 兆 MMC 存储卡。PLC 内存使用情况如图 3-8 所示：

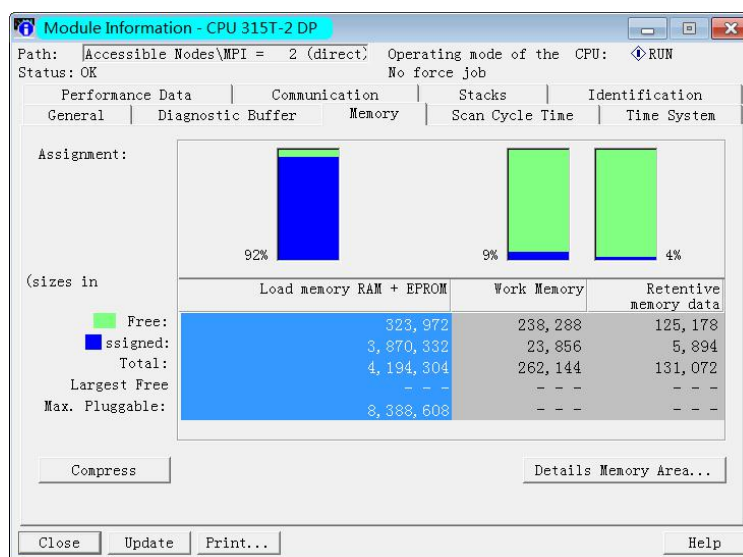


图 3-8 PLC 内存使用情况

### (3) 通信功能

PLC 作为工业控制的核心部件，要与外部设备进行通讯，因此 PLC 一般包括了串行接口、并行接口以及 RJ45 网口。各种接口的通信速率大不相同。通信速率越快，系统的实时性越好。

西门子 S7 300T-PLC 具有两个 DB9 串行端口：

DP/MPI 接口，可以支持 MPI 协议或作为 PROFIBUS 总线上的主站、从站。

DP 接口，支持 PROFIBUS-DP 协议或 MODBUS RTU 等协议。其可以连接变频器或者伺服驱动器等要求时钟同步或者实时性要求较高的设备如可以实现定位控制、同步控制以及凸轮控制。最高可以支持高达 12MBps 的通信速率。

### 4、处理速度

PLC 的工作方式基本相同，通过寻回扫描各个输入点位根据用户程序输出结果至输出点。一般来说 PLC 的处理速度越快越好，但是如果输入点位变化的时间小于 PLC 扫描的时间，PLC 将接收不到输入信号的变化造成信号丢失或者误判断。小型 PLC 的扫描时间大多可以达到微秒级。S7 315T-2DP PLC 性能数据如表 3-1 所示：

表 3-1 S7 315T-2DP PLC 性能数据表

执行时间	
位操作	通常为 0.1 $\mu$ s
字指令	通常为 0.2 $\mu$ s
整数数学运算	通常为 2.0 $\mu$ s
浮点数学运算	通常为 3.0 $\mu$ s

此外，该 PLC 可以使用西门子 Step 7 软件环境，Step 7 编程库中的 S7 Tech 库(T-CPU 专用运动控制指令库 FB Block)，符合 PLCopen 标准，方便用户直接使用现成的运动控制命令来实现复杂的运动控制任务。它可以使工程和配置、调试和维护的成本最小化。SIMATIC S7 315T-CPU 还集成了许多过程控制功能，如运动控制、凸轮控制器、高速计数器、PID 控制器等。综上所述，此次项目选取 SIMATIC S7 315T-2DP 这款 PLC。

## 3.2 驱动系统

### 3.2.1 驱动系统的选型

电机是实现机械运动的执行元件。随着现代科学技术的发展，电机在实际应用中的焦点已经开始从简单驱动转向复杂控制，特别是电机转速、位置和转矩的精确控制。但由于不同的应用，电机有不同的设计和驱动方式，所以基本上是按用途进行分类的。控制电动机主要用作精确的速度和位置控制，是控制系统中的“执行器”。可以分为伺服电动机，步

进电动机，转矩电动机，开关磁阻电动机，无刷直流电动机等。控制电动机的分类和用途如下表 3-2 所示。

表 3-2 电机的分类与用途

电机名称	用途
交、直流伺服电动机	堵转转矩与信号电压成正比，转速随转矩的增加而均匀下降。 在系统中，通过齿轮带动负载，作为执行元件
步进电动机	定子上有多相绕组，由专门电源供给电脉冲。角位移与接受的电脉冲数成正比，转速与每秒电脉冲数成正比。一般须开环系统中作执行元件
力矩电动机	能长期在堵转矩状态下工作，低速运行时，能产生足够大的转矩。 在系统中作用直接驱动负载的执行元件
电机扩大机	用输入端较小的功率变化来控制输出端较大的功率变化。在系统中作用功率放大元件
低速电动机	不需齿轮减速，每分钟公仅可转数十转。其转动惯量小，起动、停止快。通入交流电可低速旋转，通过脉冲可步进运转。在系统中可作为直接驱动负载的执行元件

根据任务内容，选出两种电机符合要求，分别是步进电机与伺服电机，以下对两者的使用性能作比较：

#### (1) 步进电机

步进电动机是基于最基本的电磁铁原理制造的，又被称为为脉冲电机。由定子和转子构成。属于开环控制电机，其应用十分广泛且成本较低。当步进电机收到一组脉冲信号，就会使得电动机转动一个角度，这个角度称为步距角。它决定步进电机的控制精度。

#### (2) 伺服电机

伺服电动机可以使控制速度和位置精度非常精确，并且可以将电压信号转换成转矩和速度来驱动控制对象。具有机械特性以及调节性能好、堵转力矩大、电机时间常数小、线性度高等特点。伺服电机实现了位置，速度和力矩的闭环控制。一般额定转速能达到 2000~3000 转。在低速运行状态时，仍能保持平稳，并反响速度很快。伺服电动机在高精度高速度的控制系统中具备极为突出的优势。当电压为 0V 时不会产生自转，转速与转矩成反比关系。步进电机和伺服电机性能比较如表 3-3 所示：

表 3-3 步进电机和伺服电机性能的综合比较

	运行性能	控制精度	低频特性	矩频特性	过载能力	速度响应性能
步进电机	开环控制，启动频率较高或者负载过大的情况下会出现丢步等状态，停止情况下转速过高将会发生过冲状况	步进电机的相数和拍数越多，它的精确度就越高	在低速时易出现低频振动现象，振动频率与负载情况和驱动器性能有关	输出力矩随转速升高而下降，且在较高转速时会急剧下降	通常自身不含有过载能力	从静止加速到工作运行状况，通常为每分钟几百转，消耗的时间为 300ms
伺服电机	闭环控制，驱动器直接对电机编码器反馈信号信息进行采样，内部构成位置和速度环，通常不会发生丢失状态，控制性能比较稳定	取决于自带的编码器，编码器的刻度越多，精度就越高，一般而言，分辨率相比步进电机要高	伺服电机运转非常平稳，即使在低速时也不会出现振动现象	伺服电机为恒力矩输出	自身含有一定的过载能力	加速性比高，从静止加速到额度转速 3000 EPM 仅仅需要消耗几毫秒，能够应用在要求快速停止的环境中

本控制系统须实现 X 轴、Y 轴同步运行，精度要求高，电机加减速时间短。故伺服电机的特性更加符合本次课题的系统要求。故选择西门子交流伺服电动机，本次课题将驱动系统选为交流伺服控制系统。根据电机参数选取西门子 1FK7 系列电机。电机铭牌如下图所示：

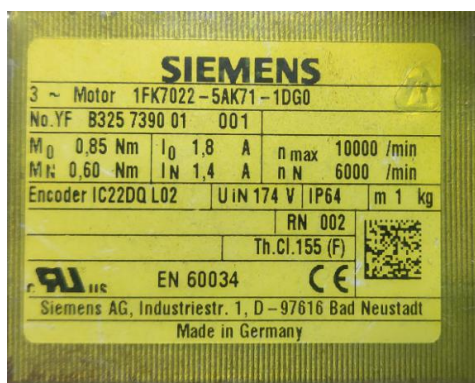


图 3-9 西门子 1FK7 电机铭牌

1FK7 电机是西门子紧凑型的永磁同步电动机。该电机主要用于不带外部通风的运行方式，通过表面导出产生的损耗热量 1FK7 电机过载能力很强。

### 3.2.2 驱动控制系统组件结构

SINAMICS S120 可以实现 V/F 控制，矢量控制以及伺服控制，可用于实现单机或多机变频调速的传动应用，也可用于实现单轴或多轴的运动控制。S120 伺服驱动器中不同类型的各个模块可以通过 DRIVE-CLiQ 接口到一起，例如，装置型电源模块可以与书本型电机模块自由组合以满足总输出较高的多轴应用要求。

SINAMICS S120 驱动系统可分为以下两个大类：AC/AC 单轴驱动系统和 DC/AC 多轴驱动系统。下面分别介绍这两类驱动系统组件结构。

西门子 S120 单轴伺服驱动系统中，整流单元与逆变单元集成到了一起，适用于单轴的模块化驱动系统，如图所示，由一个控制单元(CU)或控制单元适配器(CUA)、一个功率模块(PM)构成，其系统组件结构如下图 3-10 所示：

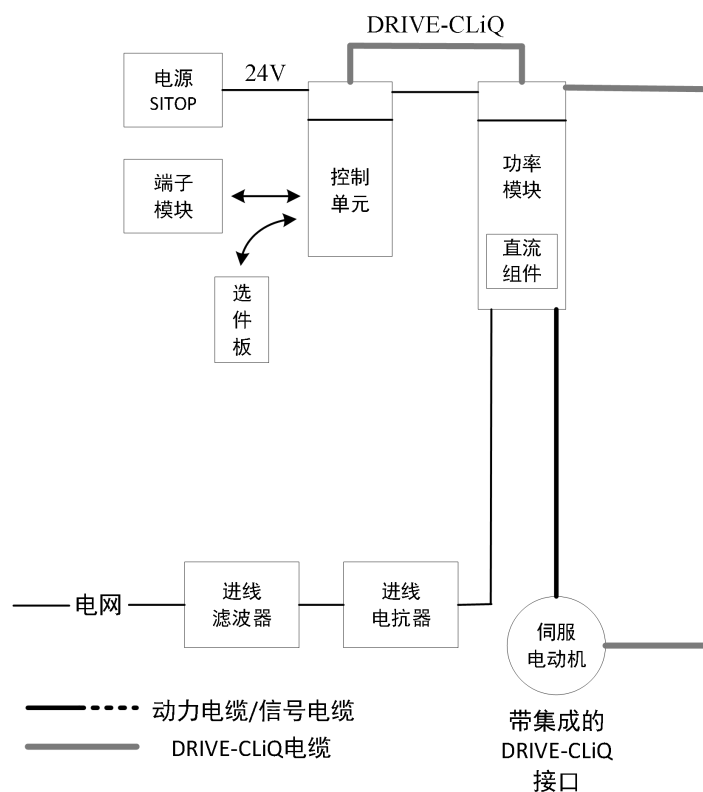


图 3-10 系统组件结构图

西门子 S120 多轴伺服驱动系统中，整流单元与逆变单元是分开的，这样可将多个逆变单元连接到直流母线上，实现多轴控制，多个逆变单元之间也可以实现能量交换。DC/AC 多轴驱动系统如图 3-11 所示：

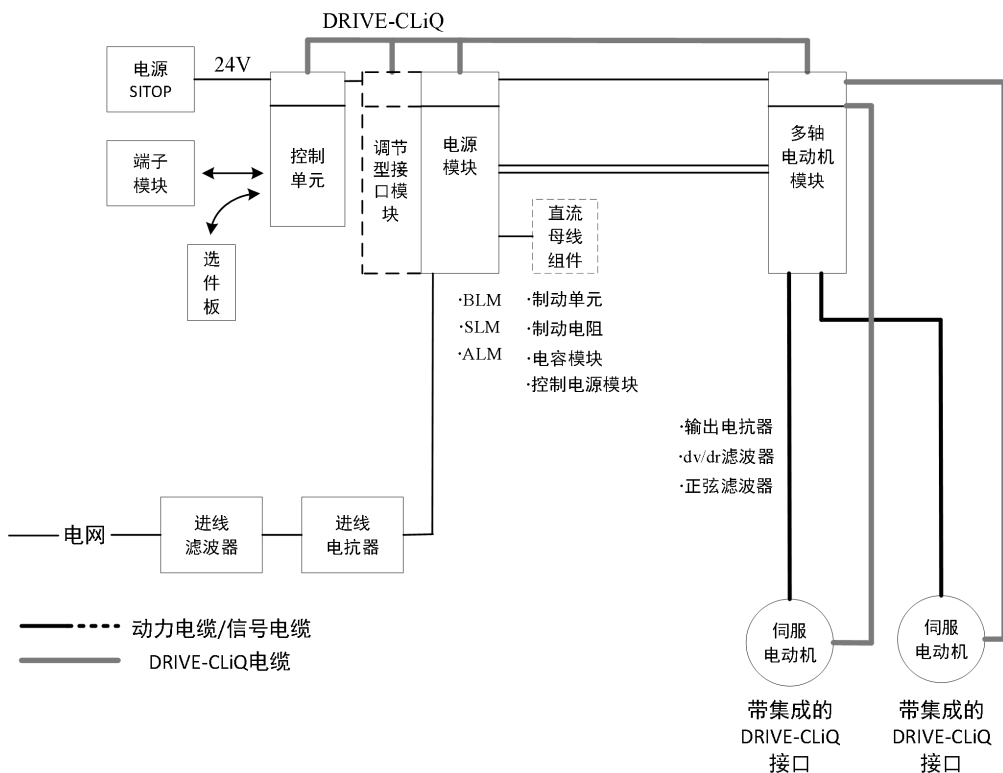


图 3-11 DC/AC 多轴驱动系统结构图

西门子 S120 伺服驱动系统可以实现双闭环控制(转速闭环、电流闭环)，也可实现三闭环控制(转速闭环、电流闭环、位置闭环)。其控制结构如图所示，包括给定环节(目标设定值)偏差比较(目标值与实际值做差)、控制器(位置控制器、速度控制器、电流控制器)执行机构(PWM 脉宽调制方式的交直交变频器)、被控对象(电动机)、检测反馈(电流检测、编码器速度检测、编码器位置检测)，还包括速度预控制和转矩预控制环节。其系统框图如图 3-12 所示：

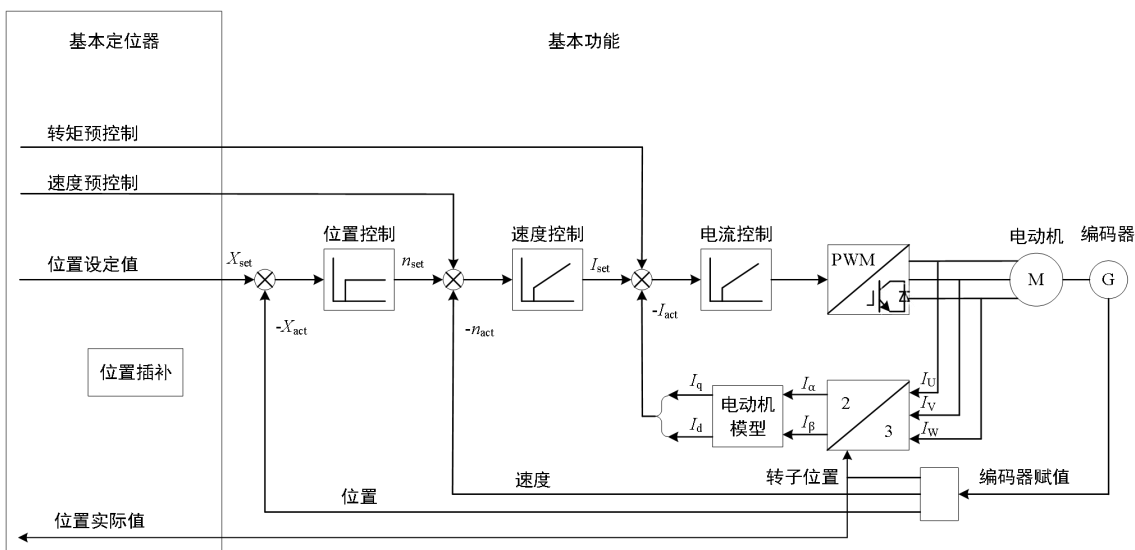


图 3-12 伺服系统框图

### 3.3 电气原理图设计

#### 3.3.1 PLC 与伺服驱动器、HMI 的连接

在本项目中，PLC 做为控制器，伺服驱动器作为执行器，HMI 作为上位机。

S7-315T 与 SINAMICS S120 通过 PRO-FIBUS-DP 网络通讯，通过 S120 基本定位功能实现各种运行路径。人与产品系统之间的连接桥梁称为"人机界面"(HMI)。通过 HMI，可以将用户的要求告诉控制器，亦可以从控制器中读取人们关心的参数供人们监控。通常，HMI 与 PLC 直接连接，但如果没有或不需 PLC 时，HMI 也可以与变频器也可以直接与伺服驱动器(如 SINAMICS S120)连接，以修改目标位置，运行速度，加速/减速和其他参数。系统结构如图 3-13 所示：

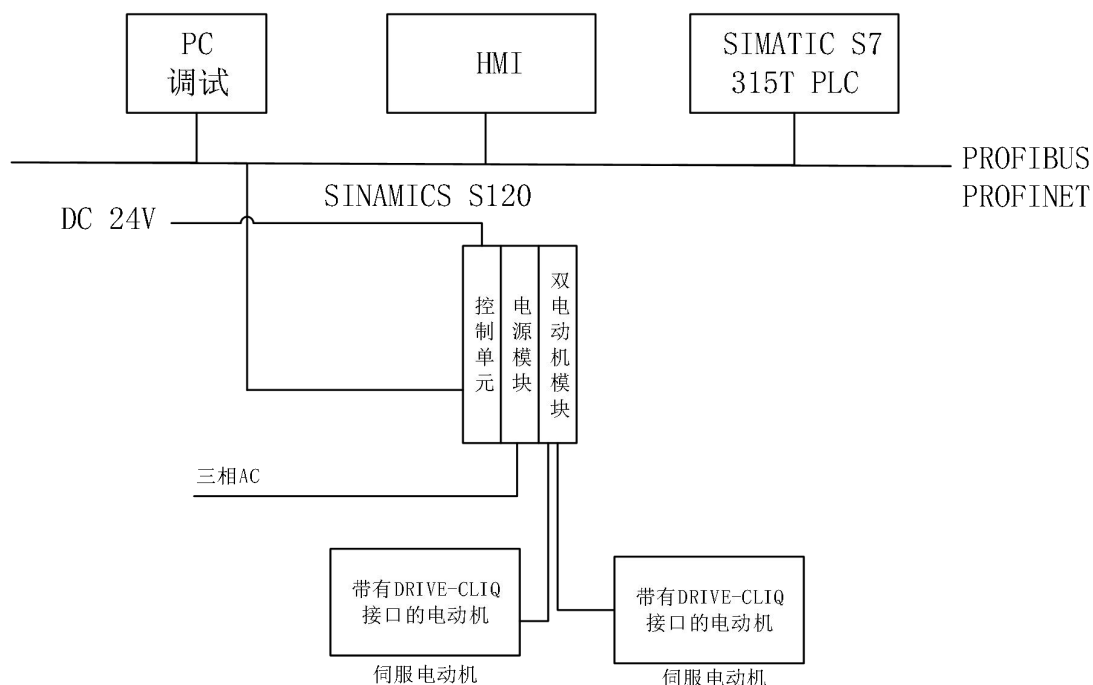


图 3-13 系统结构图

#### 3.3.2 PLC 端子接线图

PLC 的端子主要由四部分组成，XYZ 三轴的限位传感器以及原点传感器接线，Z 轴的上下行运动控制接线，运行控制按钮及开关，运行状态显示灯塔等部分组成。

在每次系统上电后都会进行各轴的原点运行检测，检测成功后方可运行自动运行程序。各个限位传感器起到保护作用，可有效防止意外装机事故的发生。

PLC 端子接线图如图 3-14 所示：

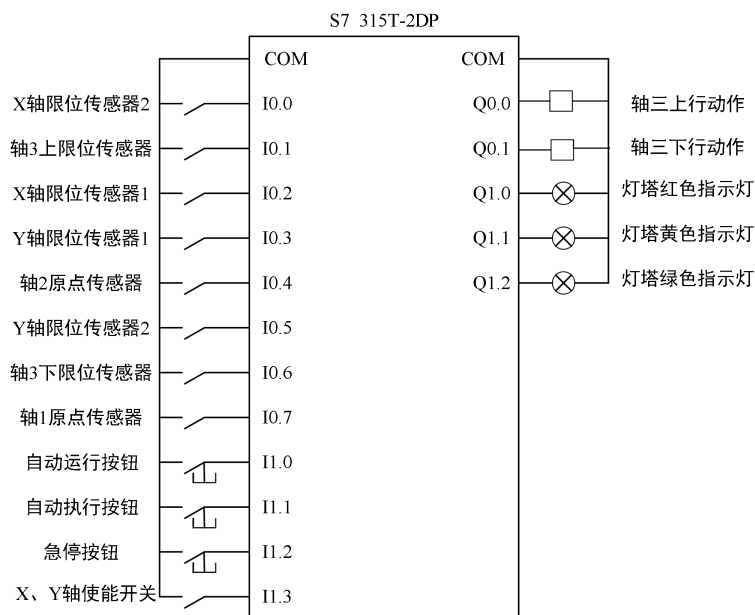


图 3-14 PLC 接线图

### 3.3.3 S120 主电路接线图

将三相交流电源接入伺服驱动器，经整流逆变后输出给伺服电机。  
S120 主电路接线图如图 3-15 所示：

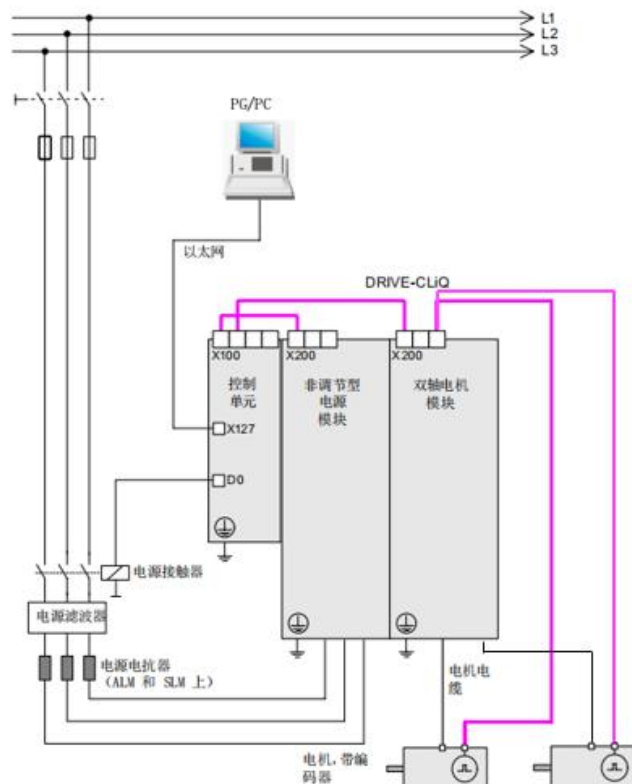


图 3-15 S120 主电路接线图

### 3.3.4 控制系统程序流程图

控制流程图如下图所示，程序开始后需要通过接入 PLC 手自动切换按钮判断当前状态，当 PLC 程序处于自动运行时，需要执行回零操作，如当前位置正在原点则跳过此过程。当伺服驱动器执行完回零操作后会向 PLC 发出执行完成命令，而后开始执行基本定位指令，每当 S120 伺服驱动器执行完毕一步后都会向 PLC 发送指令执行完毕信号后进入到下一程序步，直至程序运行完毕。程序流程图如图 3-16 所示：

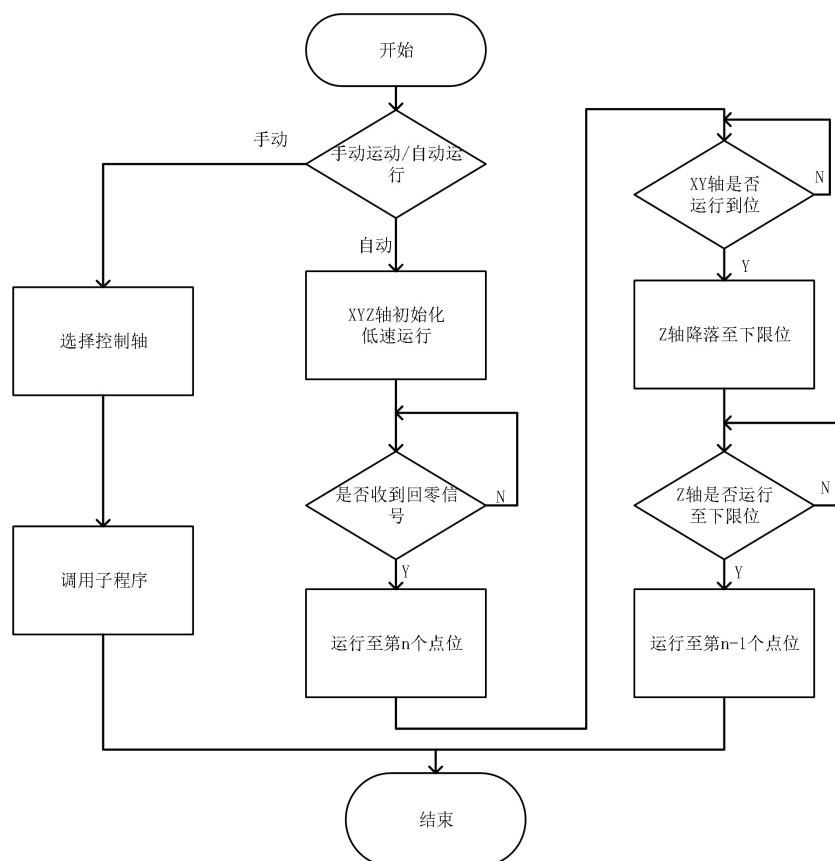


图 3-16 程序流程图

## 第四章 直角坐标型机器人控制系统软件设计

### 4.1 I/O 地址的分配

如图 4-1 所示，接入 PLC 的器件只要分为三大类。

第一类是开关及按钮，用来实现状态切换。第二类为光电传感器，主要用来监测位位移，从而实现基本定位。第三部分为各种输出显示灯，用来起到提示和警示作用。

表 4-1 PLC I/O 分配表

变量	地址	数据类型
自动运行按钮	I 1.0	BOOL
自动执行开关	I 1.1	BOOL
急停按钮	I 1.2	BOOL
XY 轴使能开关	I 1.3	BOOL
轴 1 原点传感器	I 0.7	BOOL
轴 2 原点传感器	I 0.4	BOOL
X 轴限位传感器 1	I 0.2	BOOL
X 轴限位传感器 2	I 0.0	BOOL
Y 轴限位传感器 1	I 0.3	BOOL
Y 轴限位传感器 2	I 0.5	BOOL
轴 3 上限位传感器	I 0.1	BOOL
轴 3 下限位传感器	I 0.6	BOOL
轴三上行动作	Q 0.0	BOOL
轴三下行动作	Q 0.1	BOOL
灯塔红色指示灯	Q 1.0	BOOL
灯塔黄色指示灯	Q 1.1	BOOL
灯塔绿色指示灯	Q 1.2	BOOL

### 4.2 系统通讯设置

本项目中，采用了多种通讯方式。

- (1) PC 与 PLC 的连接采用西门子专用下载器，通过 MPI 协议在电脑端调试 PLC、伺服驱动器等。
- (2) PLC 与 S120 伺服驱动器采用 RS485 线，使用的通讯协议为 PROFIBUS 协议。
- (3) HMI 与 PLC 的连接使用 RJ45 网线，通讯协议为 PROFINET 协议。
- (4) S120 各个部件之间的通讯则采用西门子专用通讯协议 DRIVE-CLiQ。

DRIVE-CLiQ 是用于西门子指定的专用于数控系统、传动系统系统组件之间通讯的协议。通过 DRIVE-CLiQ 接口，将控制单元(SINUMERIK 840D SL、828D 或 CU320 等)与 SINAMICS 驱动部件(如电源模块，电机模块，电机和编码器，编码器接口模块等)连接在

一起。具有 DRIVE-CLiQ 接口的部件内部有电子铭牌功能，通过控制单元自动拓扑识别，并可对组件进行诊断和维修。系统拓扑图如图 4-1 所示：

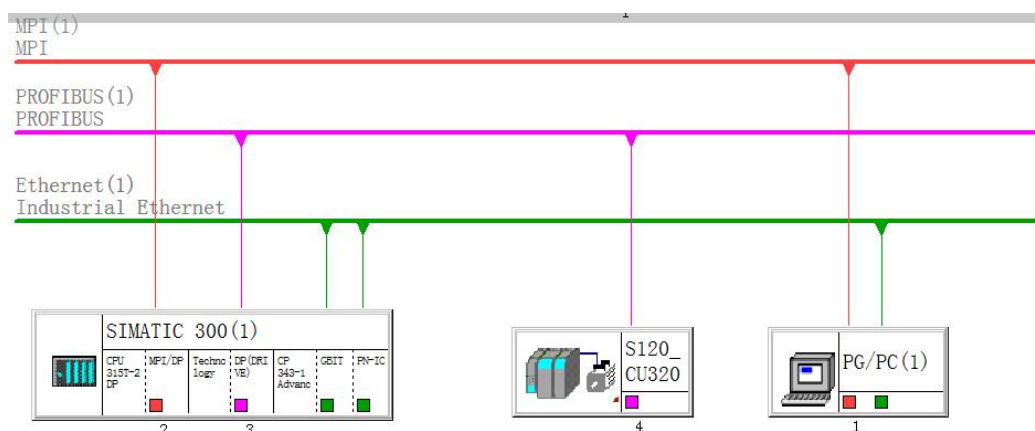


图 4-1 系统拓扑图

### 4.3 伺服控制器设置

#### (1) 虚拟轴的建立

当 PLC 与多轴伺服电机的连接方式为总线方式连接时，需要采用虚拟轴的方式进行通讯。

其原因在于，当采用实体轴控制时，需要伺服电机按照预定的位置速度转动时，首先由 PLC 对程序命令进行分析，其运算结果通过总线传输给伺服驱动器，伺服控制器将传入的总线数据转换成电压电流传送给伺服电机，此时 PLC 并不知道伺服电机有没有按照预定命令动作，而是需要伺服电机上的编码器将反馈信号传回伺服驱动器而后传回 PLC 后才完成一组运动。从 PLC 命令发出到接收到反馈信号存在时间差。当多轴协调动作时，存在主轴、从轴协作关系或同步关系。由于时差无法消除，使得控制精度降低。

采用虚拟轴方式后，将 PLC 中的一个虚拟内存作为虚拟轴，虚拟轴参与到 PLC 运算之后，由虚拟轴作为主轴控制，其余各轴作为随动轴。各个轴之间的动作配合均以虚拟轴作为参考，从而使得各个轴的时间误差相同，从根本上解决了时间差的存在，提高系统控制精度。虚拟轴的方式多采用在多轴数控机床以及印刷机床之中。

自动组态之后，对 S120 做报文配置。对 DP 的设备来说，PLC 通过 DP Drive 与 CU320 通信，可以使用 Step7 中西门子集成的一套工艺指令来控制虚拟轴，通过虚拟轴来操作实体轴。

#### (2) 建立通信报文

这些工艺指令是通过西门子 105 号报文使 PLC 与 S120 进行通信的，在建立虚拟轴之前，首先要设置 S120 的报文以及地址。这里各个轴分别对应 105 号报文，对应输入输出的长度均为 10word(报文固定长度);CU 对应自由报文，长度可根据点数需要自定义。这里 CU 模块 DI/DO 点对应触摸屏旁边的按钮，因此输出输入长度都定义为 2word。

### (3) 主动回零和被动回零

主动回零指令是由原点命令(home)启动,回零期间需要完成某个指定的模式,完成后同步 home 的状态。

被动回零用于轴工作于任意定位状态时动态修改当前位置为零点。

## 4.4 PLC 主要程序设计

当伺服驱动器使能完毕后,在运行自动程序之前一定要进行初始化操作,其目的是保证程序不会发生错乱,让程序正确执行各项定位指令。并且在执行初始化命令式要判断各个轴的伺服电机有没有进行回零操作。如果电机位置不在设定的原点,需要给出回零指令,使伺服电机回零。初始化程序如图 4-2 所示:

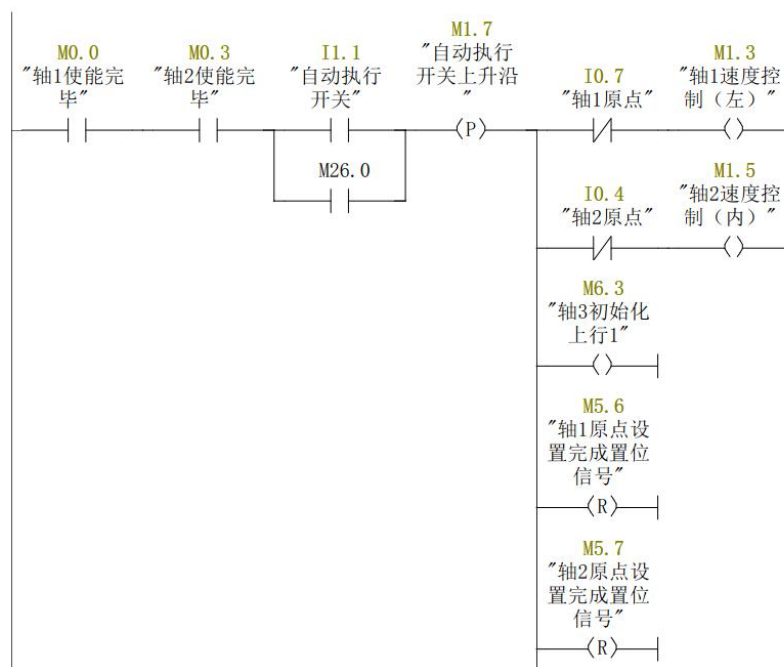


图 4-2 初始化程序

当到达定位点后应进行写字动作,该条指令主要功能是控制 Z 轴下行,对应“落笔”动作。借用 SR 触发器使得程序在执行完定位指令后反馈回 PLC 定位完毕信号,SR 触发器接收到此信号后执行落笔动作。当接触到纸张后停止向下移动。Z 轴下行程序如图 4-3 所示:

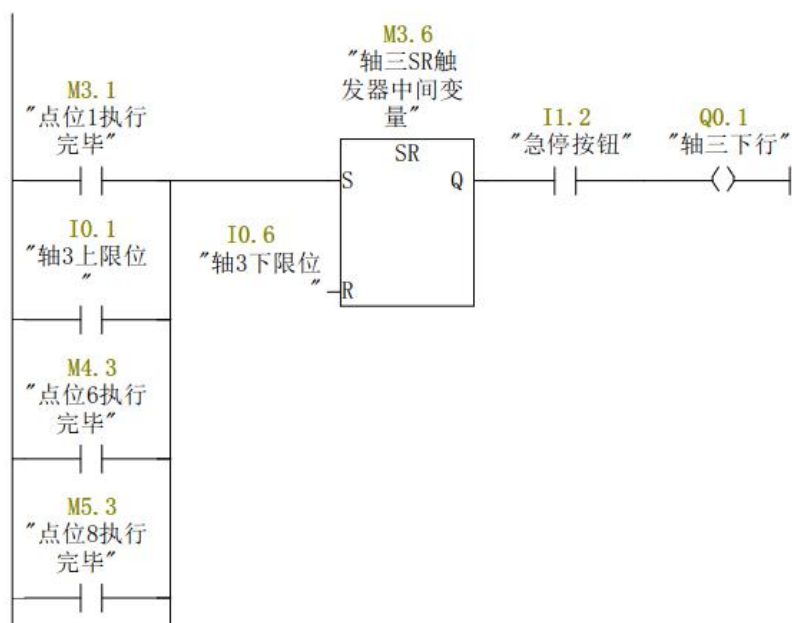


图 4-3 Z 轴下行程序

采用 FB410 功能块实现伺服电机的绝对定位。当启动命令发出后，定位指令逐条执行，定位指令的执行信号由上一条定位指令执行完毕后反馈回的执行完毕信号给出。Position 和 Velocity 分别对应该指令执行的目标位置与运行速度。绝对轴一绝对定位指令如图 4-4 所示：

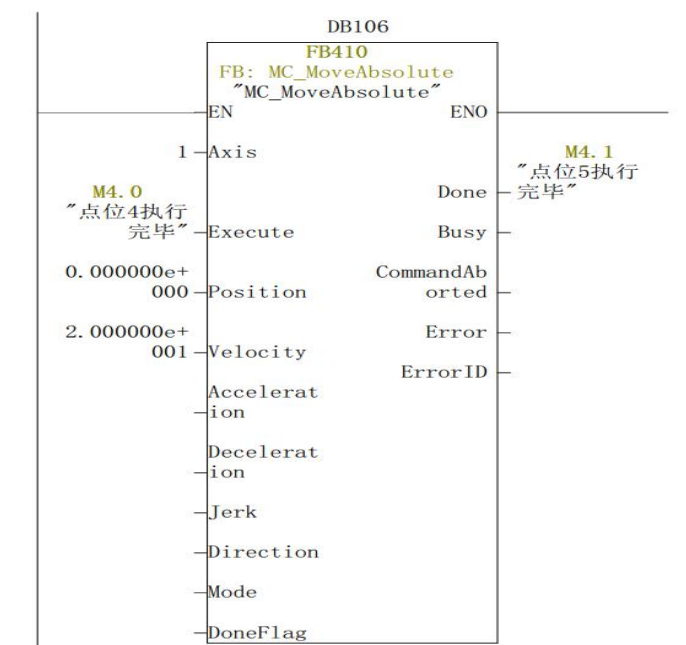
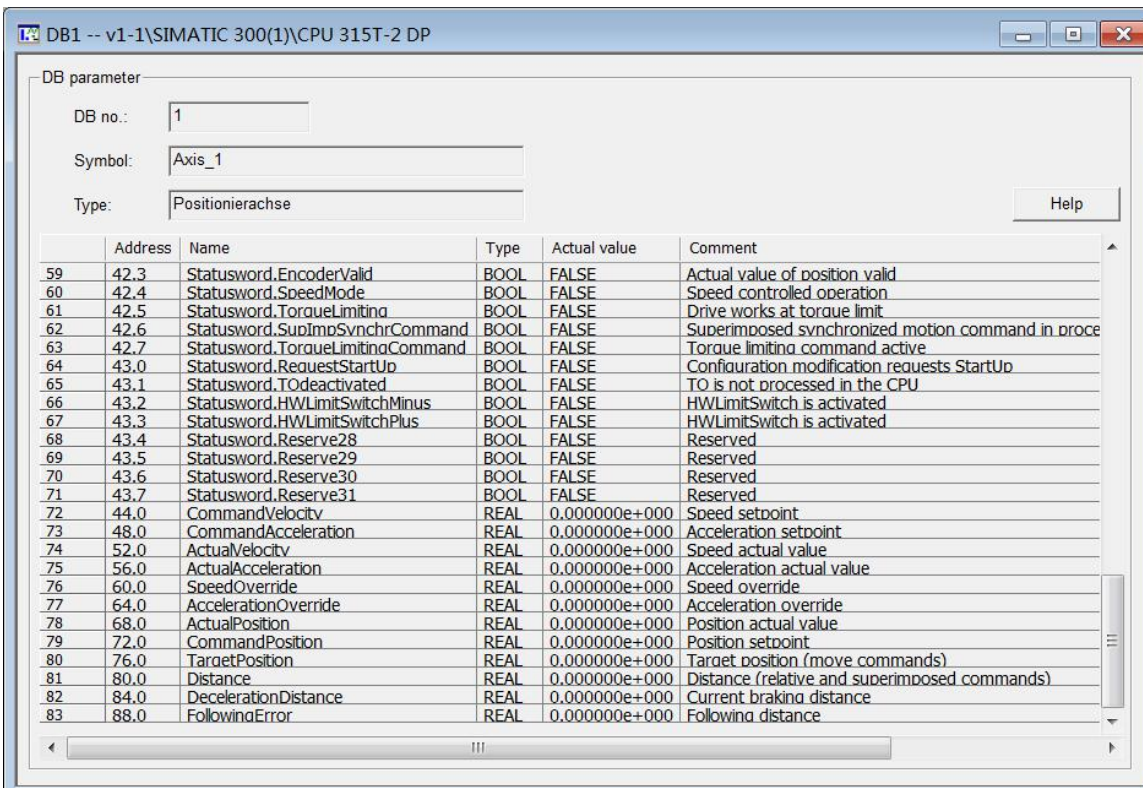


图 4-4 X 轴绝对定位指令

在 DB1、DB2 中主要存放 PLC 与伺服驱动器的通讯报文数据，通过读取该 DB 块中的数据可以得到伺服电机的速度、转矩、位置等信息。该信息可以读取后发送给 HMI 用

作监控，也可通过 HMI 关联对应数据进行写入，如改变速度等。轴一运行数据如图 4-5 所示：



	Address	Name	Type	Actual value	Comment
59	42.3	Statusword.EncoderValid	BOOL	FALSE	Actual value of position valid
60	42.4	Statusword.SpeedMode	BOOL	FALSE	Speed controlled operation
61	42.5	Statusword.TorqueLimiting	BOOL	FALSE	Drive works at torque limit
62	42.6	Statusword.SuperImposedSynchronCommand	BOOL	FALSE	Superimposed synchronized motion command in proce
63	42.7	Statusword.TorqueLimitingCommand	BOOL	FALSE	Torque limiting command active
64	43.0	Statusword.RequestStartUp	BOOL	FALSE	Configuration modification requests StartUp
65	43.1	Statusword.TOdeactivated	BOOL	FALSE	TO is not processed in the CPU
66	43.2	Statusword.HWLimitSwitchMinus	BOOL	FALSE	HWLimitSwitch is activated
67	43.3	Statusword.HWLimitSwitchPlus	BOOL	FALSE	HWLimitSwitch is activated
68	43.4	Statusword.Reserve28	BOOL	FALSE	Reserved
69	43.5	Statusword.Reserve29	BOOL	FALSE	Reserved
70	43.6	Statusword.Reserve30	BOOL	FALSE	Reserved
71	43.7	Statusword.Reserve31	BOOL	FALSE	Reserved
72	44.0	CommandVelocity	REAL	0.000000e+000	Speed setpoint
73	48.0	CommandAcceleration	REAL	0.000000e+000	Acceleration setpoint
74	52.0	ActualVelocity	REAL	0.000000e+000	Speed actual value
75	56.0	ActualAcceleration	REAL	0.000000e+000	Acceleration actual value
76	60.0	SpeedOverride	REAL	0.000000e+000	Speed override
77	64.0	AccelerationOverride	REAL	0.000000e+000	Acceleration override
78	68.0	ActualPosition	REAL	0.000000e+000	Position actual value
79	72.0	CommandPosition	REAL	0.000000e+000	Position setpoint
80	76.0	TargetPosition	REAL	0.000000e+000	Target position (move commands)
81	80.0	Distance	REAL	0.000000e+000	Distance (relative and superimposed commands)
82	84.0	DecelerationDistance	REAL	0.000000e+000	Current braking distance
83	88.0	FollowingError	REAL	0.000000e+000	Following distance

图 4-5 X 轴运行数据

如图所示，如何实现在平面上画曲线是本设计的难点，工程中主要应用在数控机床或涂胶机等设备需要根据建模型数据控制铣刀或胶枪沿着不规则运动轨迹运动。根据任务要求，常用的方法是进行直线插补或者圆弧插补等。

此次任务中，由于任务较为简单，不涉及复杂轨迹的运动，所以没有采用插补或者电子凸轮运动。而是通过控制两个轴的速度与加、减速度实现曲线动作轨迹。

当 XY 两轴同时以相同速度运动，运动轨迹一定斜率为  $45^\circ$  的斜线，当 XY 两轴以不同速度运动，运动轨迹则为斜率不同的斜线。XY 两轴同时以相同速度运动的二维坐标如图 4-6 所示：

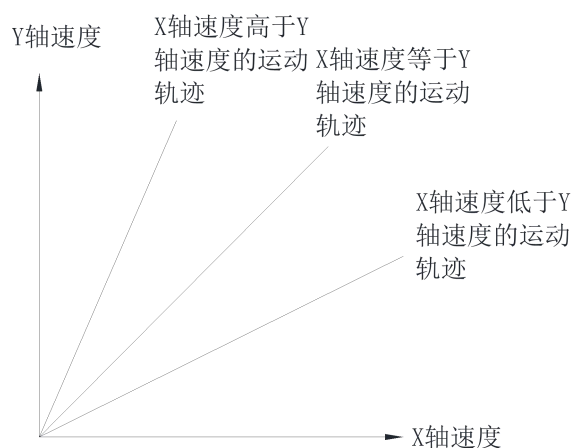


图 4-6 XY 两轴同时以相同速度运动

当 XY 轴运动时，控制 XY 两轴的加、减速度，就可以控制运动轨迹出线弧度，弧度的大小根据加减速的设置而不同。XY 两轴通过加减速控制的二维坐标如图 4-7 所示：

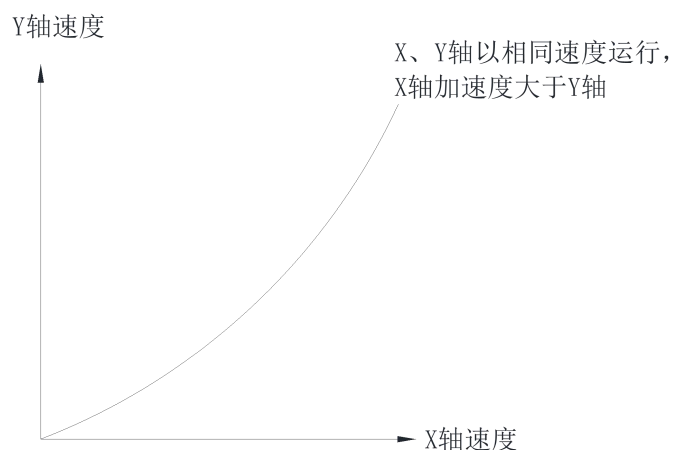


图 4-7 XY 两轴通过加减速控制

如图 4-8 所示，DB112 控制轴一进行绝对定位，DB214 控制轴二进行绝对定位。M9.2 的启动命令发出后，XY 两轴分别以不同速度运行，轴一运行速度为 13mm/s，轴二速度为 30mm/s，轴二加速度为 25mm/s<sup>2</sup>，其运动轨迹为一条曲线。

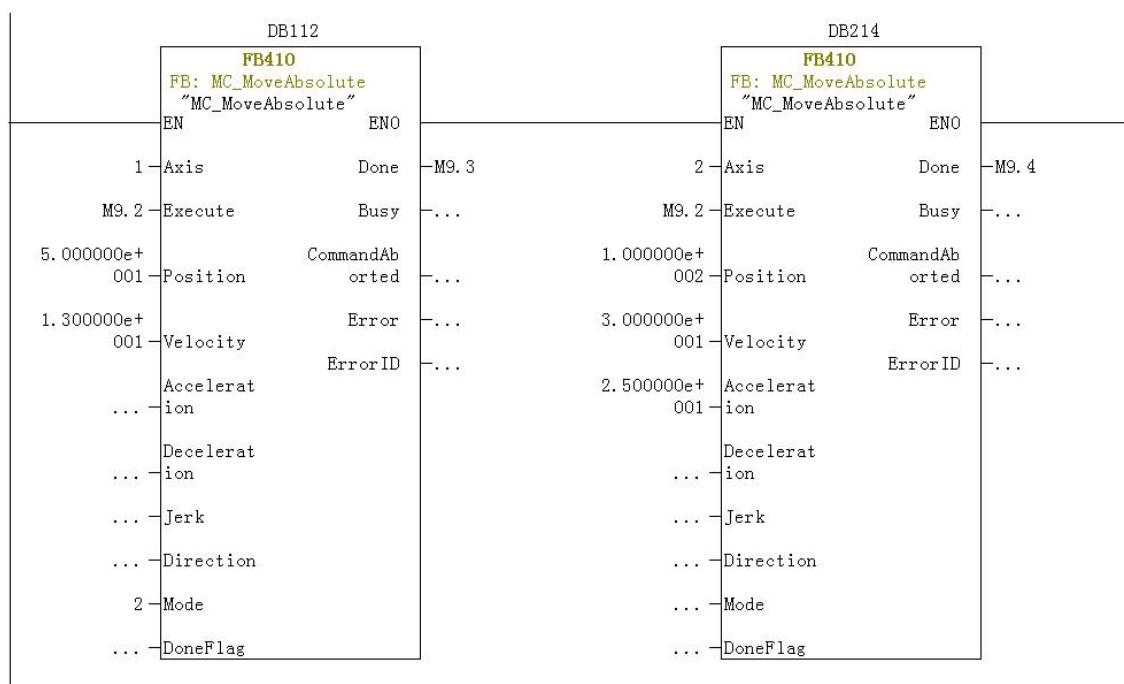


图 4-8 XY 两轴运动程序

#### 4.5 触摸屏程序设计

起始页面如下图所示，起始页面可以完成手自动程序的选择，以及伺服电机使能状态的查看与修改，XY 轴的当前位置通过触摸屏显示。初始画面如图 4-9 所示：



图 4-9 初始画面

自动运行程序界面如下图所示，当电机运动时，HMI 中的两台电机可以做到实时位置显示。XY 轴的位置速度通过电机反馈信号读取并显示。自动运行画面如图 4-10 所示：



图 4-10 自动运行画面

手动运行界面如下图所示。手动程序可以在自动程序运行前检验各个轴的功能是否正常，也可在发生故障时手动复位。手动运行画面如图 4-11 所示：



图 4-11 手动运行画面

## 第五章 总结与展望

### 5.1 总结

本设计历时两个多月才完成,在设计初期由于对设备软硬件的不熟悉而经历了许多困难与难题,最终在老师的指导下完成本毕业设计。直角坐标型机器人是工业生产过程中非常重要的一环,在中国有着广阔的应用场景。

本文根据直角坐标机器人的特点,根据凸轮插补的工作原理,完成了直角坐标型机器人控制系统结构、硬件、控制方案设计。此次的设计包括了系统的软、硬件设计,设计成果如图 5-1 所示,主要工作如下:

(1) 首先分析了直角坐标机器人在国内的发展现状及应用领路。并对直角坐标型机器人的特点与控制方式系统进行了简单概述,在此基础上,引出本文研究内容。

(2) 对本课题控制系方案的设计进行了详细的阐述,并且对 PLC、伺服系统的选型原则作了简要介绍。

(3) 系统硬件方面,运用了 S7 315T-2DP 与 S120 通过 105 报文通讯、并且采用了多种通讯协议。

(4) 系统软件方面,只做了上位机监控画面,可以完成手自动程序原则,传感器状态监测,伺服电机位置、速度显示等功能。



图 5-1 设计成果

## 5.2 展望

在直角坐标型机器人控制系统的设计工作中，通过查阅大量资料与手册，从而不断完善此次设计内容，初步实现了画笔写字的运动效果。但仍有着提高和改进的空间，可以从以下几方面进行改进：

(1) 在运动轨迹规划的过程中需要做大量实验，从中选择最佳的曲线路径。耗时较长，并且控制精度不够准确。采用电子凸轮、插补等形式可以提高控制精度并且操作更为简单，调试程序更加便捷，由于时间紧张，未能调试成功。

(2) 将此设计应用于工业行业中，需要快速、便捷、准确的得到运动轨迹，并且最重要的是需要运动路径要具有快速的、可更换性。一些国产 PLC 已经支持将 CAD 图纸导入，PLC 通过读取图纸坐标可以实时计算运动轨迹及运动速度，具有良好的可更换性。后期在此设计基础上做优化处理。

(3) 此设计 PLC 与伺服驱动器之间采用 PROFIBUS 通讯，通讯速率为 12M/bps，此速率相比较 PROFINET 等通讯协议速率较低，可以考虑提高通信速率，以此提高系统的稳定性，减小误差。

限于作者水平有限，文中难免存在不完善的地方，恳请各位专家批评指正。

## 参考文献

- [1] 王田苗.全力推进我国机器人技术[J].机器人技术与应用, 2018 (2): 17-23.
- [2] 凌志辉, 邹昊, 黄涛, 等. 二轴缠绕机 PLC 控制系统的设计 [J]. 自动化仪表, 2017, 35(5): 30-33.
- [3] 徐方.工业机器人产业现状与发展[J].机器人技术与应用, 2007 (05) .
- [4] 吕冬冬, 郑松. 工业机器人开放式控制系统研究综述 [J] . 电气自动化, 2017, 39(1): 88-91.
- [5] 陈彦宇, 田东庄, 许翠华, 等.基于 PLC 直角坐标式机器人控制系统的设计[J].自动化仪表, 2018, 39 (4) : 42-45.
- [6] 孟明辉, 周传德, 陈礼彬, 等. 工业机器人的研发及应用综述[J] . 上海交通大学学报, 2018, 50(S1): 98-101.
- [7] 王哲禄.基于 PLC 与工业机器人的抛光打磨工作站控制系统的设计与实现[J].制造业 自动化 , 2019, 41(07):103-105, 147.
- [8] 王蝉, 徐六喜, 周建 , 等.基于总线技术的螺钉拧紧机器人工作站设计[J].制造业自动化, 2018, 40(09):143-145, 159.
- [9] 王耀东,徐建明,徐胜华.基于 CoDeSys 平台的六自由度工业机器人运动控制器设计[J].计算机测量与控制,2018,13(24):244-245.
- [10] 基于西门子 S120 的自动化实践教学平台[J].魏磊, 李季, 朱义强.阜阳师范学院学报(自然科学版).2020(01)
- [11] 朱奎林.西门子新一代驱动器—SINAMICS S120[J].电气时代, 2011(11):72-73.
- [12] 徐清书. SINAMICS S120 变频控制应用指南 [M] . 北京: 机械工业出版社, 2014
- [13] Coronado E, Maya M, Cardenas A, et al. Vision -based Control of a Delta Parallel Robot via Linear Camera -Space Manipulation [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2017, 85(1): 93-106.
- [14] Wang J, Zhang X, Zhang W, et al. Study on the Improvement of Flexibility for an Industrial Robot Based on Machine Vision [J]. J. Journal of Robotics, Networking & Artificial Life, 2014, 1(1): 45-48.
- [15] Wang J, Zhang X, Dou H, et al. Study on the Target Recognition and Location Technology of industrial Sorting Robot based on Machine Vision [J]. J. Journal of Robotics , Networking & Artificial Life, 2015, 2(2): 108-110.

## 致谢

这篇论文的完成首先要感谢我的论文指导老师李云龙老师对我的指导与帮助。对我的论文做出了指导型的意见予推荐，在论文撰写过程中，对我实验过程中遇到的问题李老师在百忙之中也会不厌其烦的给我的论文提出宝贵的意见，而且还会给我的论文做出详细的批注。感谢汤海梅老师在我毕业设计进入关键时刻对我的指导与帮助。也要感谢各位老师同学们在论文撰写中对我的支持与鼓励，这给我带来了很大启发。也要感谢参考文献的作者们，透过他们的研究文章，对我的研究课题有了很好的出发点。

从论文的选题，前期准备工作到最终定稿，李云龙老师都十分尊重我的想法和意见，同时给予我许多中肯的意见和悉心的指导。每当我在论文的写作过程中遇到困难，疑惑不解之时，李老师总是耐心聆听我的问题，给我提供建议和帮助，令我有如醍醐灌顶。可以说，没有李云龙老师的帮助，就不可能有我这篇论文。

此外还要感谢所有在我论文写作过程中为我提供了无私帮助的老师 and 同学，祝愿他们在学业和工作上取得更大的成绩！