



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

本科生毕业设计

基于工业机器人的谐波减速器装配生产线
实训平台设计

**Design of Training Platform for Harmonic Reducer
Assembly Line Based on Industrial Robot**

姓 名 党文涛

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 郭卉

职 称 讲师

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

基于工业机器人的谐波减速器装配生产线
实训平台设计

姓 名 党文涛

学 院 智能制造学院

专 业 自动化

指导教师 郭卉

职 称 讲师

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

现今我国人工利息不时上升的大环境下，工业机器人必将迅速发展，逐渐成为工厂自动化生产线的主要发展形式。目前国内各大高校大多已经开设工业机器人应用方面的对口专业，从事工业机器人现场编程、机器人自动线维护、工业机器人安装调试人员逐年增加，本设计中的实训装置为相关人才培养提供了支持。

本课题研究的主要目标是设计一种基于工业机器人的谐波减速器装配生产线实训平台。通过分析谐波减速器的零件结构和装配步骤，明确系统的主要组成部分为仓储单元、输送检测单元及装配单元。系统采用六轴工业机器人作为装配平台的执行装置，PLC 作为主控制器，结合触摸屏、步进系统、伺服系统、变频系统及视觉检测等协同完成谐波减速器钢轮、柔轮、中间法兰及输出法兰从零件到成品装配流程。

关键词：谐波减速器；工业机器人；可编程逻辑控制器；装配系统；生产线

ABSTRACT

Nowadays, with the rising of labor interest in China, industrial robots will develop rapidly and gradually become the main development form of factory automation production line. At present, most domestic universities have set up the corresponding specialty of industrial robot application, and the number of personnel engaged in industrial robot field programming, robot automatic line maintenance, and industrial robot installation and debugging is increasing year by year. The training device in this design provides support for relevant personnel training.

The main goal of this research is to design a harmonic reducer assembly line training platform based on industrial robot. By analyzing the parts structure and assembly steps of harmonic reducer, it is clear that the main components of the system are storage unit, transport detection unit and assembly unit. The system uses six axis industrial robot as the executive device of the assembly platform, PLC as the main controller, combined with touch screen, stepping system, servo system, frequency conversion system and visual inspection to complete the assembly process of harmonic reducer steel wheel, flexible wheel, intermediate flange and output flange from parts to finished products.

Key words : Harmonic reducer; Industrial robot; Programmable logic controller; assembly system; production line

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究的目的和意义.....	1
1.2 国内外发展现状.....	1
1.3 本课题主要研究内容.....	2
第二章 系统的方案设计.....	3
2.1 谐波减速器零件装配流程.....	3
2.2 系统总体结构.....	3
2.2.1 控制系统结构图.....	3
2.2.2 系统硬件结构图.....	4
2.2.3 系统模块介绍.....	4
2.3 系统控制流程图.....	5
第三章 系统的硬件设计及选型.....	7
3.1 控制操作系统.....	7
3.1.1 可编程控制器.....	7
3.1.2 触摸屏.....	7
3.2 仓储单元.....	7
3.2.1 立体仓库模块设计与选型.....	7
3.2.2 旋转供料模块设计与选型.....	9
3.2.3 井式供料模块设计与选型.....	11
3.3 输送检测单元.....	13
3.3.1 皮带输送模块设计与选型.....	13
3.3.2 视觉检测模块设计与选型.....	14
3.4 装配单元.....	15
3.4.1 伺服变位模块设计与选型.....	15
3.4.2 工业机器人模块.....	16
3.4.3 末端快换模块.....	17
3.5 系统电路原理图设计.....	17
第四章 系统软件的设计与实现.....	20
4.1 系统通信的建立.....	20
4.2 系统程序设计.....	20

4.2.1 机器人程序设计.....	20
4.2.2 PLC 程序设计.....	21
4.2.3 触摸屏画面设计.....	23
4.2.4 工业相机程序设计.....	24
4.3 系统模块参数设置.....	25
4.3.1 V90 伺服系统调试.....	25
4.3.2 V20 变频器参数设置.....	26
4.3.3 步进系统细分设置.....	26
4.4 系统联调.....	27
4.4.1 通信测试.....	27
4.4.2 手动调试.....	28
4.4.3 自动调试.....	28
第五章 总结与展望.....	29
5.1 总结.....	29
5.2 展望.....	29
参考文献.....	30
致谢.....	31

第一章 绪论

1.1 研究的目的和意义

工业机器人技术是世界强国重点发展的高科技，也是世界公认的核心竞争力之一。机器人的应用也成为一个国家工业自动化水平的重要标志，如汽车、摩托车、家电、烟草、陶瓷、工程机械、矿山机械、物流、铁路机车等诸多行业。并在弧焊、点焊、涂胶、切割、搬运、码垛、喷漆等方面的应用和研究又进一步促进了机器人的发展^[1]。

在当今社会发展趋势下，利用工业机器人来代替人工完成装配工作，不仅提高了装配工作效率，并且可以减少采用人工装配时所支付的劳动资金^[2]。除此之外，工业机器人可以无休止的进行快速装配工作，不会由于长时间工作而产生疲劳感。并且一些较差的工作环境中，完全可以利用工业机器人来取代人工完成装配工作，保护了工人的人身安全^[3]。

谐波减速器的装配对于人工要求、环境要求、精度要求等都非常高，目前大多数谐波减速器的装配都是以半自动化方式进行，避免不了精度的降低，并且大量的人工会导致生产线工人的重复劳动，增加企业运营成本。而利用工业机器人来装配不仅减少了大量的劳动力，并且工业机器人重定位精度完全符合谐波减速装配的精度要求^[4]。

由教育部、人社部和工信部联合印发的《制造业人才发展规划指南》指出高档数控机床和机器人行业到 2020 年人才需求总量 750 万人，人才缺口 300 万，形势严峻^[1]。目前国内各大高校大多已经开设工业机器人应用方面的对口专业，从事工业机器人现场编程、机器人自动线维护、工业机器人安装调试人员会逐年增加，因此急需一种模块化、综合性的实训装置为相关人才培养提供支持。

1.2 国内外发展现状

美国是最早发明工业机器人的国家，现在经过多年的发展，美国的工业机器人生产技术依然一直处于国际前列，在技术和经验等方面具有很大的优势。日本的工业机器人生产数量和生产密度优势明显。德国的工业机器人在很多危险性岗位应用较多，且发挥着较大的功能和作用。意大利、瑞典、芬兰等国家工业机器人技术和生产等方面也取得了全面突破和发展^[1]。

当前国外的工业机器人技术逐渐成熟，已作为标准设备在工业中广泛应用。据国外相关人员预测，工业机器人是在汽车和计算机之后出现的一种新型高科技产业^[5]。在发达国家中，以工业机器人为核心的自动化生产线设备已经成为自动化装备的主体。国外的汽车制造行业、电子器件行业、机械工程等自动化行业已经大量使用工业机器人，不仅保证了产品质量，同时又可以避免人工操作事故。自在此之前，德国、意大利、欧盟、日本及美国等国家产业中的工业机器人人均拥有量为世界前列，据诸多国家近 50 年的使用实践表明，工业机器人的普及应用是实现自动化生产、提高生产效率、推动生产力发展的有效手段。

我国的工业机器人最早出现是在 20 世纪 80 年代,但是由于受到经济发展和管理体制等制约,当时工业机器人发展速度和技术相对低下,后来随着科技水平的提升和经济实力的增强,对于工业机器人生产和研发等方面越来越重视,目前我国国家工业机器人生产和研发等方面也具有相对较强的优势,且培养了一大批相关的技术人才^[6]。但是与国外相比我们国家的工业机器人发展还处于相对较弱的地位,虽然在安装量等方面逐渐突破,但是与其他先进发达国家相比,还存在较大的差距。随着中国实体经济的全面发展和政策的逐渐放宽,工业机器人在我们国家的应用领域将进一步拓展和延伸,发展方向将进一步向着多元化、集约化、规模化、标准化、高端化方向发展,未来发展前景一片广阔。

根据国务院印发的《中国制造 2025》中明确将工业机器人列入大力推动突破发展的十大重点领域之一;工信部装备工业司在《〈中国制造 2025〉规划系列解读之推动机器人发展》中明确我国未来十年机器人产业的发展重点主要为两个方向:一是开发工业机器人本体和关键零部件系列化产品,推动工业机器人产业化应用,满足我国制造业转型升级的迫切需求;二是突破智能机器人关键技术,开发一批智能机器人,积极应对新一轮科技革命和产业变革的挑战^[1]。

1.3 本课题主要研究内容

本课题研究的主要是基于工业机器人对谐波减速器装配生产线实训平台的设计。此实训平台主要包括:工业机器人模块、伺服变位模块、末端快换模块、旋转供料模块、皮带输送模块、立体仓库模块、井式供料模块及视觉检测模块。

本课题将从以下五章对该实训平台进行设计:第一章分析工业机器人在装配行业中的价值体现和当前国内外发展现状,了解工业机器人在当今制造行业中起到至关重要的作用;第二章对系统的整体方案进行设计,明确系统的整体架构组成以及控制流程;第三章对系统硬件进行选型设计,确定系统选型表并绘制系统电路原理图;第四章对系统软件进行设计,针对谐波减速器的装配流程对机器人、PLC、触摸屏、视觉等进行编程调试。第五章对本次设计整体进行一个总结,并分析本设计是否还能继续提升一个高度^[7]。

第二章 系统的方案设计

2.1 谐波减速器零件装配流程

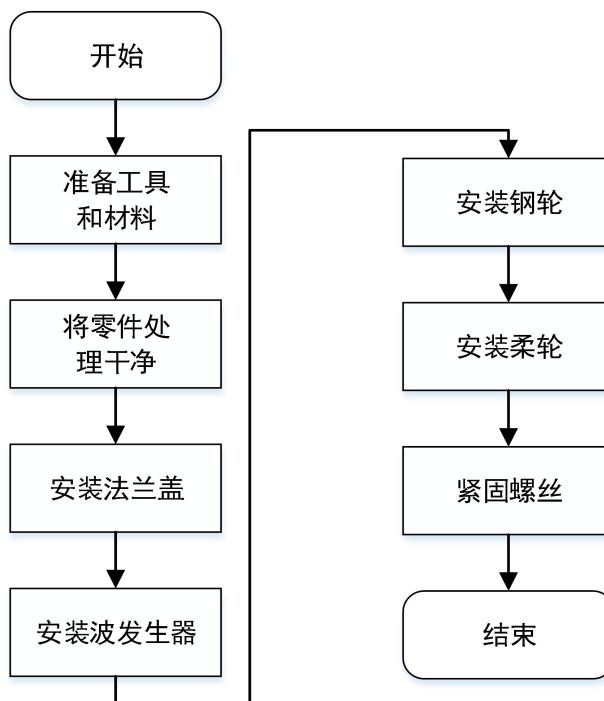


图 2-1 谐波减速器装配流程图

如图 2-1 所示谐波减速器的具体安装步骤，第一步准备安装工具、油脂、手套、无尘纸等；第二步用无尘纸将减速器和波发生器内外表面的防锈油擦拭干净；第三步将法兰盖安装在电机轴上，并在电机与法兰盖间的空腔内涂抹油脂；第四步将波发生器安装到电机轴上，并使用螺丝进行轴向固定；第五步在波发生器外表面涂抹油脂；第六步在钢轮与法兰盖之间安装 O 型圈进行密封，然后安装钢轮；第七步将柔轮长轴对准波发生器长轴进行安装，并在柔轮空腔内涂抹油脂；第八步将所有螺丝使用扭力扳手进行固定。

谐波减速器安装时应注意必须在足够清洁的环境下安装，安装过程中不能有任何异物进入减速器内部，安装人员不得暴力安装。

2.2 系统总体结构

2.2.1 控制系统结构图

谐波减速器装配生产线实训平台是一个按照实际生产要求装配谐波减速器的应用实训平台。如图 2-2 所示为控制系统结构图，其主要由控制操作系统、仓储单元、装配单元及输送检测单元这四部分构成。其中控制操作系统用于完成对其它模块的控制和监控；仓储单元用于存放谐波减速器的零件和成品；装配单元用于完成谐波减速器的装配；输送检测单元用于完成谐波减速器部分零件的输送及检测。

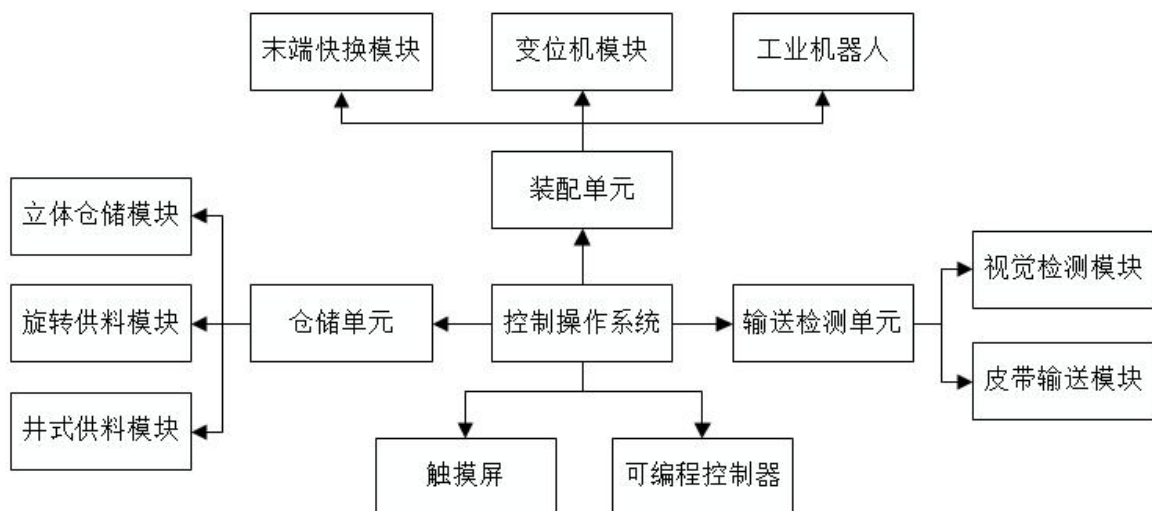


图 2-2 控制系统结构图

2.2.2 系统硬件结构图

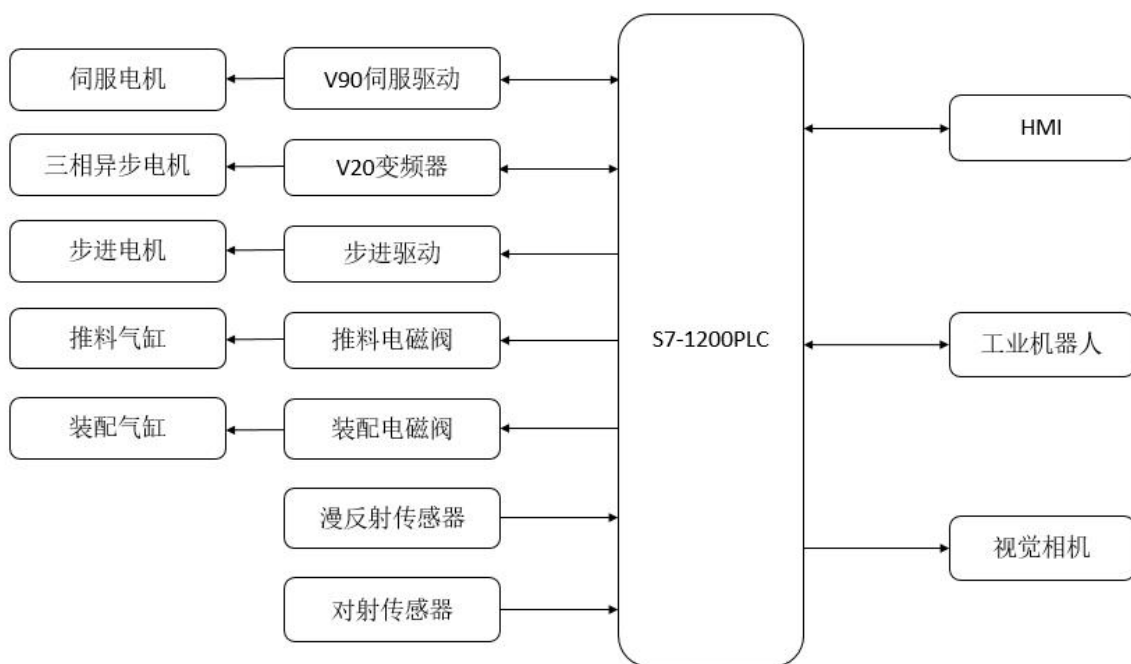


图 2-3 系统硬件结构图

谐波减速器装配生产线实训平台是一个按照实际生产要求装配谐波减速器的应用实训平台。其主控制系统为西门子 1200PLC，和机器人之间通过 TCP 协议进行通信控制实训平台上的其它模块之间相互配合，以完成系统装配流程。如图 2-3 所示为系统硬件结构图，其中包括 PLC、机器人、HMI、视觉相机、V90 伺服系统、V20 变频器、步进驱动、电磁阀、传感器等。

2.2.3 系统模块介绍

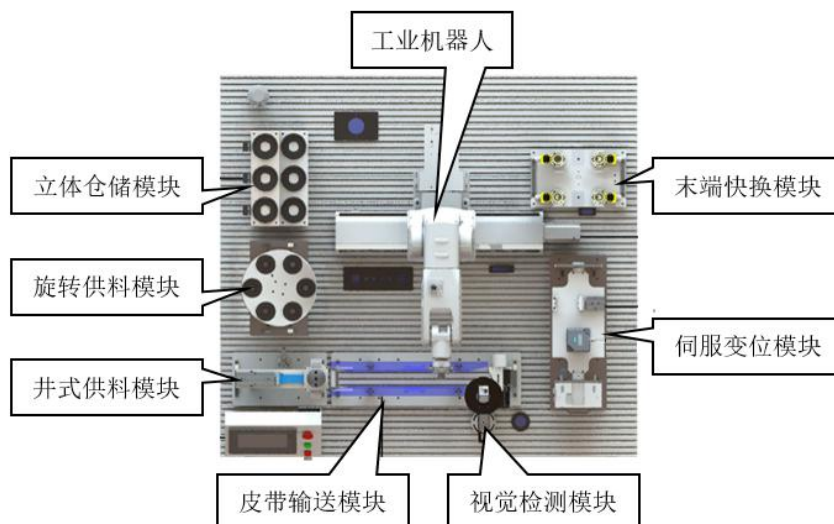


图 2-4 设备模块布局图

如图 2-4 所示，该实训平台由工业机器人、立体仓储模块、旋转供料模块、井式供料模块、皮带输送模块、视觉检测模块、末端快换模块、伺服变位模块等组成。

系统模块中工业机器人是配合末端工具进行动作示教，完成谐波减速器从零件出库到零件装配再到成品入库的标准流程；立体仓储模块是用于存放谐波减速器的钢轮组件和最终装配完成的谐波减速器成品；旋转供料模块是用于存放谐波减速器的柔轮组件，采用步进电机控制旋转盘进行柔轮组件供料；井式供料模块用于存放谐波减速器的中间法兰和输出法兰，由气缸进行推料；皮带输送模块是输送谐波减速器的中间法兰和输出法兰，该模块由变频器控制三相异步电机驱动皮带进行物料输送；视觉检测模块是检测由皮带输送模块传输的中间法兰和输出法兰的 X、Y 坐标和角度，配合机器人进行抓取；末端快换模块用于机器人完成对谐波减速器零件的抓取和装配任务；伺服变位模块用于对谐波减速器的整体装配，工件由气缸进行固定，变位机由伺服电机驱动。

2.3 系统控制流程图

如图 2-5 所示为系统控制流程图，第一步工业机器人安装大夹爪工具，夹取钢轮组件放置于伺服变位机并控制气缸夹紧；第二步机器人切换小夹爪工具，等待旋转供料模块供料完成后，夹取柔轮组件并装配在钢轮组件上；第三步机器人切换为吸盘工具，等待物料输送到位并检测完成后，吸取中间法兰和输出法兰安装在钢轮组件上；第四步机器人切换大夹爪工具，夹取装配完成的谐波减速器成品进行入库。

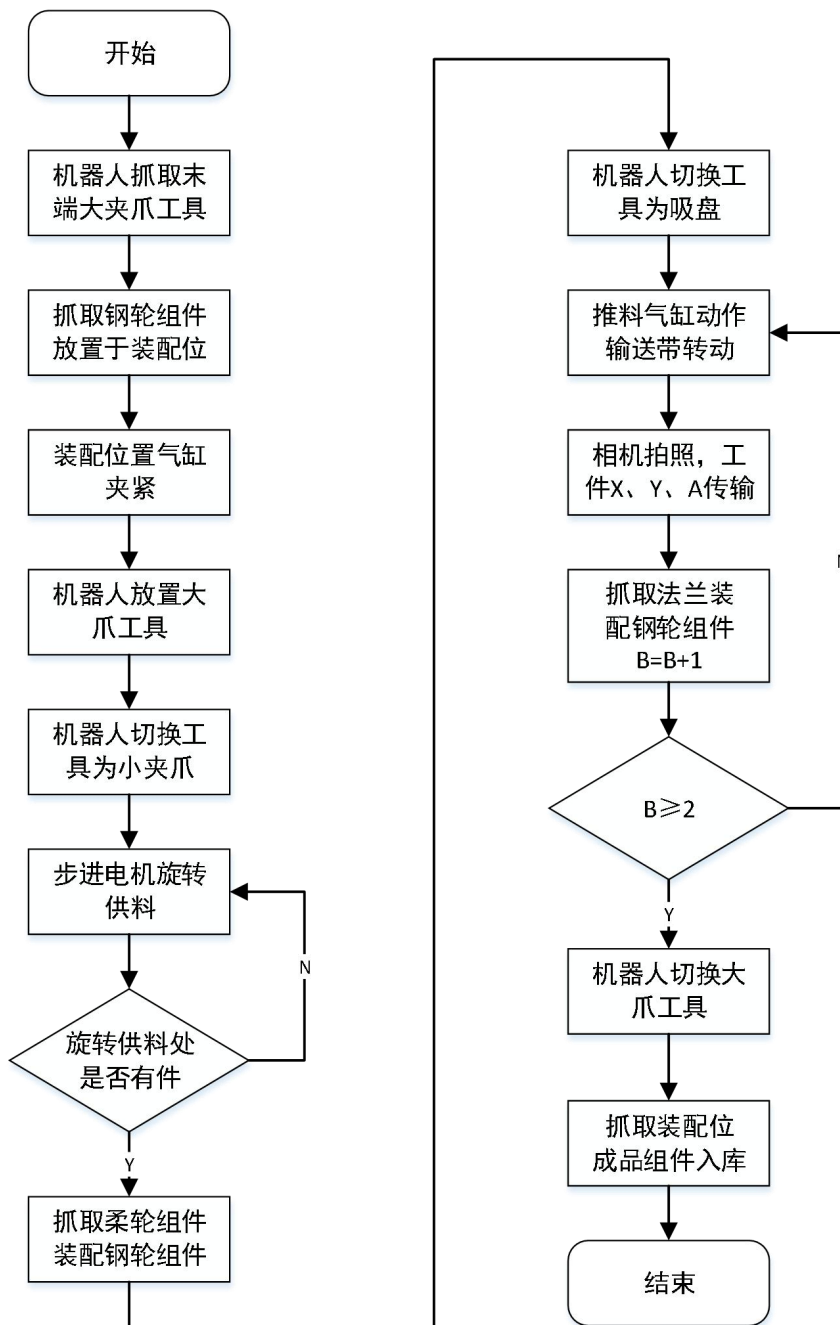


图 2-5 系统控制流程图

第三章 系统的硬件设计及选型

3.1 控制操作系统

3.1.1 可编程控制器



图 3-1 1214C DCDCDC 展示图

如图 3-1 所示为本系统所使用的西门子 1214C PLC。该 PLC 板载 14 点数字量输入、10 点数字量输出和 2 点模拟量输入，具有 6 个高速计数器、4 路脉冲输出和 1 个以太网通信端口，支持 Profinet 通信，可以直接在线测试和诊断，拥有闭环控制的 PID 功能和人机交互系统工程组态在下载用户程序后，CPU 将包含监控应用中的设备所需的逻辑^[8]。该 PLC 使用博途软件进行编程，通过工业以太网通信配合工业机器人完成外围控制任务。

3.1.2 触摸屏

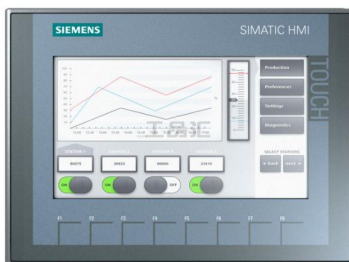


图 3-2 KTP700 Basic PN 触摸屏展示图

如图 3-2 所示为本系统所使用的西门子 TP700 Basic PN 触摸屏，主要用于监控和操作控制整个系统。该触摸屏具有 7 寸可调背光宽屏显示界面和 6.5 万色的高分辨率，不仅支持触屏操作还具有 8 个可任意组态的按键，支持各种组合操作，还可以通过 USB 连接进行项目传输、数据归档、键盘与鼠标连接^[9]。该触摸屏和 PLC 采用 Profinet 通讯方式，两者可在博途 TIA 软件中进行高效的组态连接。

3.2 仓储单元

3.2.1 立体仓库模块设计与选型



图 3-3 立体仓库模块展示图

立体仓库模块如图 3-3 所示，由铝型材支架、漫反射传感器、SmartLink 远程 IO 等组成。主要用来存储谐波减速器的钢轮组件和装配完成的成品。立体仓库共有 2*3 个仓位，每个仓位外侧安装有漫反射传感器检测工件的有无。

1) 漫反射光电开关



图 3-4 EW-D61 漫反射光电开关展示图

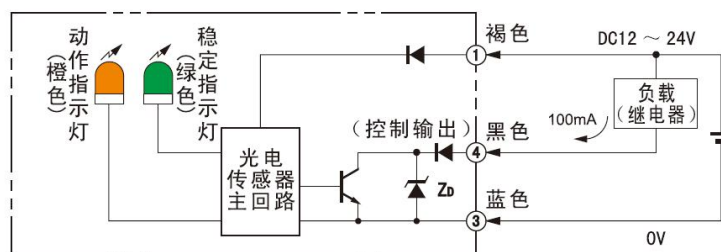


图 3-5 EW-D61 接线示意图

如图 3-4 所示为神武 EW-D61 漫反射光电开关，主要用来检测仓库的工件有无。漫反射光电开关是一种集发射器和接收器于一体的传感器，当有物体经过传感器时，物体将光电开关发射器发射的光线反射到了接收器，于是光电开关就产生了开关信号^[10]。

如图 3-5 所示为 EW-D61 的接线原理图，可以看到该传感器共有 3 根线，其中褐色和蓝色线为传感器的直流 24V 供电，黑色线为低电平信号线，和 PLC 输入口进行连接，完成信号的采集。

2) SmartLink 远程 IO

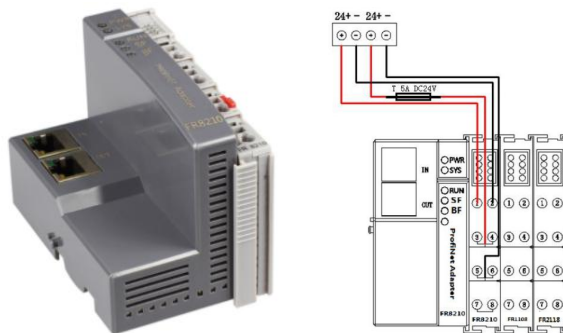


图 3-6 FR8210 适配器展示图

如图 3-6 所示为本系统使用的 FR8210 系列远程 IO 适配器，该适配器将每个仓位传感器的检测信号通过 Profinet 通信协传输到 S7-1200PLC 中，完成对仓位的实时监控，配合机器人完成工件的抓取和入库。如表 3-1 所示为 FR8210 适配器参数表。

表 3-1 FR8210 参数表

序号	名称	参数
1	I/O 点数	340Bytes
2	传输距离	100M
3	电源输入	DC18-36V
4	公共端电源	DC24V
5	输入输出	340 字节输入输出
6	防护等级	IP20

3.2.2 旋转供料模块设计与选型



图 3-7 旋转供料模块展示图

旋转供料模块如图 3-7 所示，主要由铝型材支架、步进电机、电容传感器、电感传感器等组成。该模块一共有 6 个仓位，主要用来存储谐波减速器的柔轮组件，由 S7-1200PLC 通过脉冲控制步进电机进行旋转，电容传感器检测工件的有无进行供料。

1) 电容传感器



图 3-8 DY-1220NB 电容传感器展示图

如图 3-8 所示为菲德科尔 DY-1220NB 电容传感器，主要用来检测旋转供料模块的供料处是否有料。电容传感器是以不同电容器作为传感元件，通过被测量变化使电容器的电容量发生变化，电容量通过测量电路可以把电容量的变化转换为电信号输出，从而完成物体的检测^[11]。

2) 电感传感器



图 3-9 RY-0804N 电感传感器展示图

如图 3-9 所示为菲德科尔 RY-0804N 电感传感器，在本模块中用于步进电机回原点时的原点信号检测。电感传感器的线圈匝数和材料导磁系数都是固定的，其电感量的变化是由位移输入量导致线圈磁路的几何尺寸变化而引起的。当把线圈接入测量电路并接通激励电源时，就可获得正比于位移输入量的电压或电流输出^[11]。

3) 步进系统

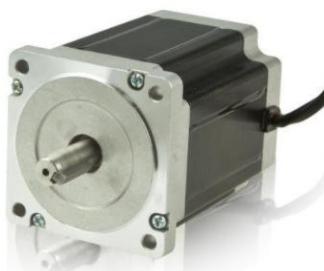


图 3-10 57BYGH051 步进电机参考图

如图 3-10 所示为信捷 57BYGH051 两相混合步进电机，用于带动旋转供料盘的旋转。它是由 PLC 控制步进驱动器向步进电机发送脉冲，步进电机进行角度定位实现供料。如表 3-2 所示为 57BYGH051 的参数。

表 3-2 57BYGH051 步进电机参数

序号	名称	参数
1	步距角	1.8°
2	静力矩	0.72N.m
3	相电流	3A
4	转动惯量	228g.cm ²
5	轴径	8mm



图 3-11 DPL425 步进驱动器

如图 3-11 所示为信捷 DPL425 步进驱动器，用于驱动步进电机进行旋转送料。该步进驱动器具有参数自整定功能，控制信号为 24V，直接和 PLC 连接，供电电压在 20-50VDC 任意选择，输出电流有效值可在 0.7-3.0A 之间选择，内置高细分，细分动态可选，每转脉冲数最大可达 40000，静止时电流自动减半，光隔离差分信号输入，具有过压、过流保护功能^[11]。

在设置细分时要注意驱动器的细分数不能设置的太大，因为当脉冲频率不变的情况下，细分数越大，步进电机的转速就越慢，并且电机的输出力矩会减小。驱动步进电机的脉冲频率一般不能超过 2KHz，否则会导致电机输出的力矩迅速减小^[11]。

3.2.3 井式供料模块设计与选型

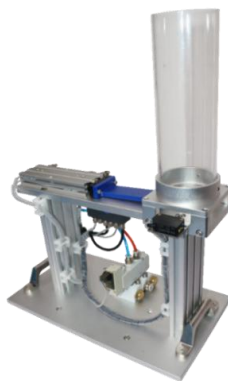


图 3-12 井式供料模块展示图

如图 3-12 所示为井式供料模块，由气缸推料装置、井式落料装置、电磁阀、安装底板及对射传感器等组成，完成中转法兰和输出法兰的自动落料及推料。由对射传感器检测物料的有无，推料气缸进行送料，送料完成后气缸缩回，下一个工件自动落下。

1) 推料气缸



图 3-13 TN10*75S 气缸

如图 3-13 所示为亚德客 TN10*75S 气缸，用于推送井式落料装置中的中间法兰和输出法兰。该气缸缸径为 10mm，行程为 75mm，动作形式为复动式，使用压力范围为 0.1-1Mpa。气缸工作原理是当压缩空气进入无杆腔时，有杆腔排气，气缸两腔的压力差作用在活塞上所形成的力克服阻力负载推动活塞运动，使活塞杆伸出；当有杆腔进气，无杆腔排气时，使活塞杆缩回。若有杆腔和无杆腔交替进气和排气，气缸实现往复直线运动^[12]。

2) 电磁阀



图 3-14 5V11006B200 电磁阀

如图 3-14 所示为亚德客 5V11006B200 电磁阀，用于驱动气缸进行推料控制。该电磁阀功耗低、工作频率高，有利于复杂的控制场合，它采用端子式接电方式，方便接线，内孔采用特殊工艺加工，摩擦阻力小，启动气压低，使用寿命长。

3) 光电对射传感器

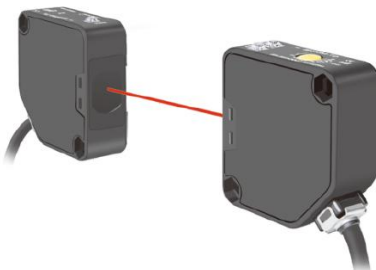


图 3-15 DN-16NT 对射光电传感器

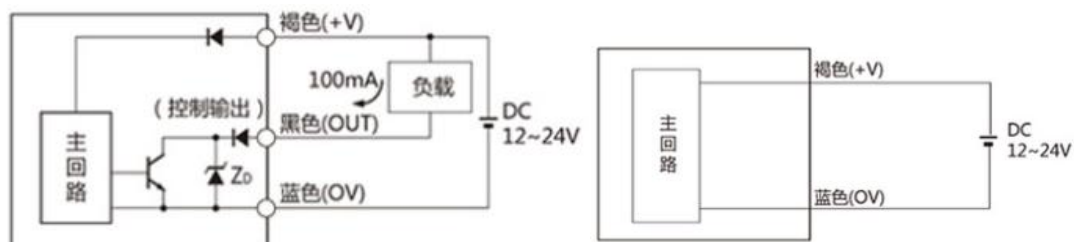


图 3-16 对射光电传感器接线图

如图 3-15 所示为神武 DN-16NT 对射光电传感器,用于检测井式落料装置下方是有工件。它是由发射端、接收端两个基本模块组成,发射端向接收端发射光束,如果中间有物体经过切断光线,接收端便输出信号。其接线图如图 3-16 所示,接收端(左边)的控制输出为低电平,并直接传输到 PLC 端,供电为直流 12V-24V 供电,发射端(右边)只需进行供电即可,供电电压为直流 12-24V^[13]。

3.3 输送检测单元

3.3.1 皮带输送模块设计与选型

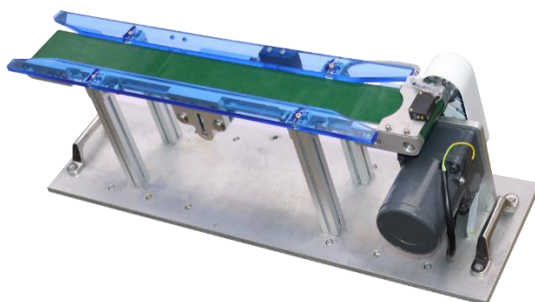


图 3-17 皮带输送模块展示图

如图 3-17 所示为皮带输送模块,由铝合金框架、三相异步电机、漫反射传感器、PVC 传送带及安装底座组成,可与井式供料模块及视觉检测模块配合使用,共同完成中转法兰和输出法兰的落料、传输及检测等任务。其中三相异步电机采用西门子 V20 系列变频器驱动。

1) 三相异步电机



图 3-18 3IK15GN-S 三相异步电机

如图 3-18 所示为 3IK15GN-S 三相异步电机,用于带动皮带旋转,完成中间法兰和输出法兰的供料。三相异步电动机具有运行性能好、节省材料、结构简单、价格低廉、坚固

耐用、制造使用和维修方便等优点，并且它还具有较高的效率及接近于恒速的负载特性^[14]。如表 3-3 所示为该三相异步电机的参数。

表 3-3 3IK15GN-S 三相异步电机参数

序号	名称	参数
1	额定功率	15W
2	额定转速	1350r/min
3	额定电流	0.76A
4	额定转矩	0.79N.m
5	电机频率	50/60HZ

2) V20 变频器



图 3-19 V20 变频器

如图 3-19 所示为西门子 V20 变频器，用于控制驱动皮带的三相异步电机进行转动和转速的调节。它和 PLC 采用 RS485 通信方式实现控制数据的传输和监控。该变频器具有过流、过压、过载保护功能，其所配备的控制技术能够通过自动减少磁通来实现最佳的能量效率。内部具有应用宏和连接宏，可随时根据实际现场设置所应用的场合。并且可以设置异常不停机功能，时刻保证生产的不间断运行^[15]。

3.3.2 视觉检测模块设计与选型



图 3-20 视觉检测模块展示图

如图 3-20 所示为视觉检测模块，由工业相机、镜头、视觉处理软件、光源控制器、光源、连接电缆、铝材支架等组成，可与皮带输送模块配合使用，完成中转法兰和输出法兰的定位识别。工业相机选用大华旗下华睿科技公司的 12CG-E，配套 MVP 视觉算法平台。如表 3-4 所示为 12CG-E 相机的参数。

表 3-4 12CG-E 相机参数表

序号	名称	参数
1	分辨率	1280*960
2	FPS 帧率	30
3	接口	Gige, POE
4	类型	CCD
5	靶面	1/3"
6	快门	Global
7	颜色	C

3.4 装配单元

3.4.1 伺服变位模块设计与选型

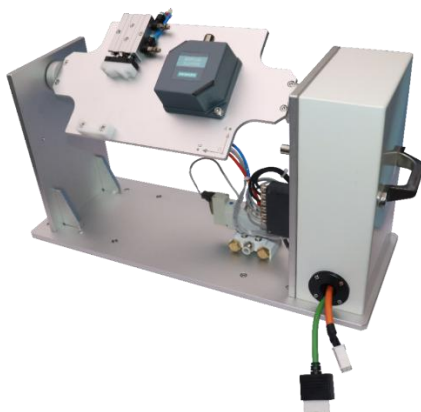


图 3-21 伺服变位模块展示图

如图 3-21 所示为伺服变位模块，由支撑架、安装底板、伺服驱动系统、气动工装等组成。变位机采用西门子 V90 系列伺服驱动，总线通信，全闭环控制，协助工业机器人完成谐波减速器的装配任务。

1) V90 伺服驱动

如图 3-22 所示为西门子 V90 伺服系统，用于驱动和控制变位机的角度旋转，可通过博途软件组态进行实时监控和定位控制，它和 PLC 之间采用 Profinet 通信方式，控制编程简单便捷。该伺服驱动内置数字量输入/输出接口、脉冲接口和模拟量接口，具有多种定位控制方式。PLC 可通过 RS485 端口可以读出伺服驱动的绝对位置信息。在电脑上安装配置软件工具 SINAMICS V-ASSISTANT 可以进行参数设置、试运行、状态显示监控、增益调整等操作^[16]。



图 3-22 V90 伺服展示图

3.4.2 工业机器人模块

1) 工业机器人本体



图 3-23 ER3B-C30 工业机器人

如图 3-23 所示为埃夫特 ER3B-C30 工业机器人，该机器人负载为 3kg、6 自由度工业机器人，重复定位精度 $\pm 0.02\text{mm}$ ，臂展为 593mm，采用工业以太网通信和 PLC 通讯，完成谐波减速器的抓取和装配任务。

2) 工业机器人控制柜



图 3-24 工业机器人控制柜

如图 3-24 所示为工业机器人控制柜，该控制柜由机器人运动控制器、伺服驱动器、外部 IO、机箱等组成，用于控制工业机器人本体。工业机器人控制系统配置有数字量 I/O 模块和工业以太网及总线模块，便于工业机器人和外部设备进行数据交互^[17]。

3) 工业机器人示教器



图 3-25 示教器参考图

如图 3-25 所示为工业机器人示教器，它是操作者与机器人交互的设备，使用示教器操作者可以完成控制机器人的所有功能。比如手动控制机器人运动、编程控制机器人运动、设置 IO 交互信号等等。如表 3-5 所示为该示教器的基本参数。

表 3-5 示教器基本参数

序号	项目	技术参数
1	显示器尺寸	TFT 8-inch LCD
2	显示器分辨率	1024*768
3	是否触摸	是
4	功能按键	急停、模式选择、28 个薄膜按键
5	模式旋钮	三段式模式按钮
6	外接 USB	一个 USB2.0 接口

3.4.3 末端快换模块



图 3-26 末端快换工具展示图

如图 3-26 所示为末端快换工具模块，由工业机器人快换夹具、支撑架、检测传感器、工具坐标顶针、两爪夹具及吸附工具组成。每个夹具放置位置都有对应的漫反射光电传感器进行检测，机器人根据谐波减速器的装配流程，自动切换快换夹具，抓取不同的零配件完成谐波减速器的装配。

3.5 系统电路原理图设计

如图 3-27 所示为系统主电路接线图，其中系统供电电源为单相 220V，通过三孔插座

进行供电；总开关 QF1 为施耐德 2P25A 带漏保空开，用于控制设备总电源；电源经过 QF1 后进入 KM1 交流接触器，可通过按钮控制交流接触器线圈吸合进行下端空开供电；下端空开分别为 QF11-2P16A 电器柜供电、QF12-2P10A 工业机器人供电、QF13-2P10A 伺服供电，采用汇流排进行并行供电，分别控制对应设备供电。

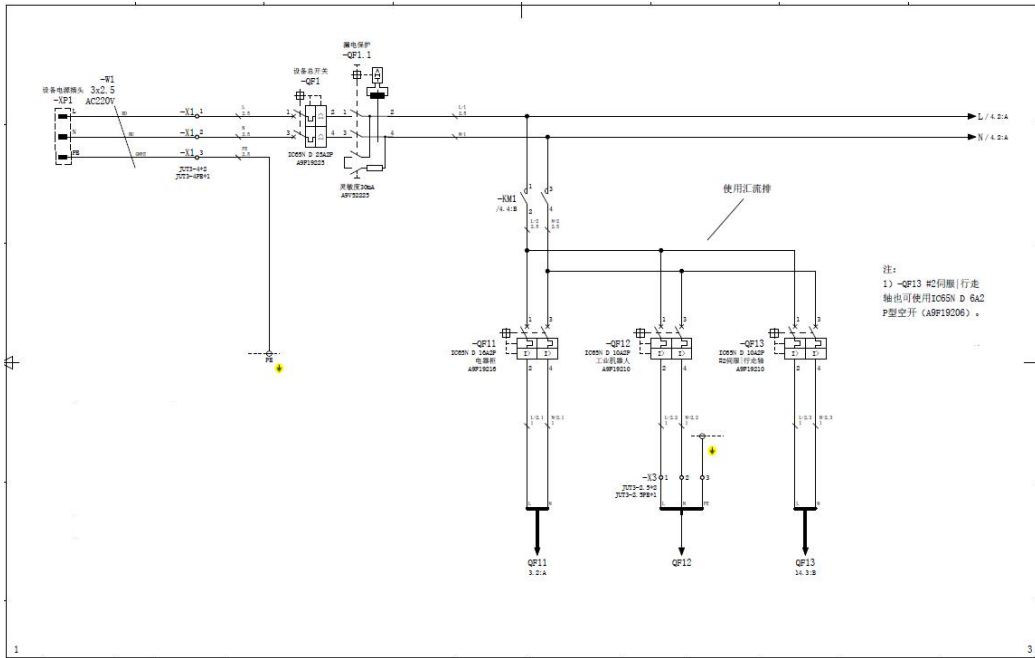


图 3-27 主电路接线图

如图 3-28 所示为 PLC 输入输出接线图，该 PLC 采用 24V 进行供电，输入端所有信号接线为低电平有效，因此输入公共端为 24V，输入端的信号大多数为传感器的检测信号和按钮的输入信号，如 I0.0 为旋转供料模块步进电机的原点信号检测。PLC 输出默认为 24V 高电平，用于控制一些外部输出信号，如三色灯、步进电机的脉冲和方向等。

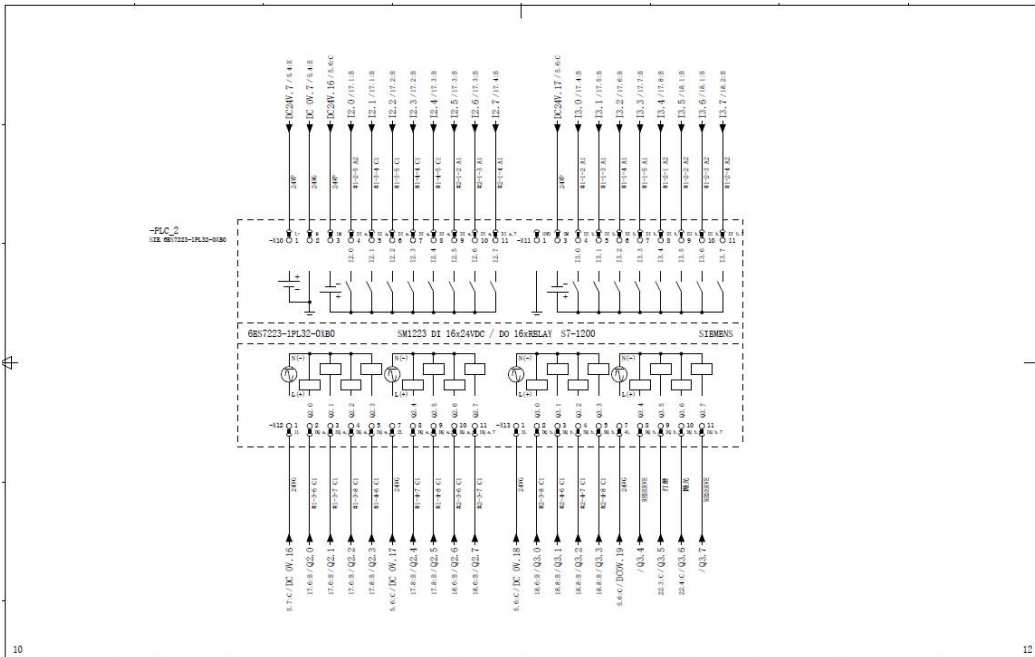


图 3-28 PLC 输入输出接线图

第四章 系统软件的设计与实现

4.1 系统通信的建立

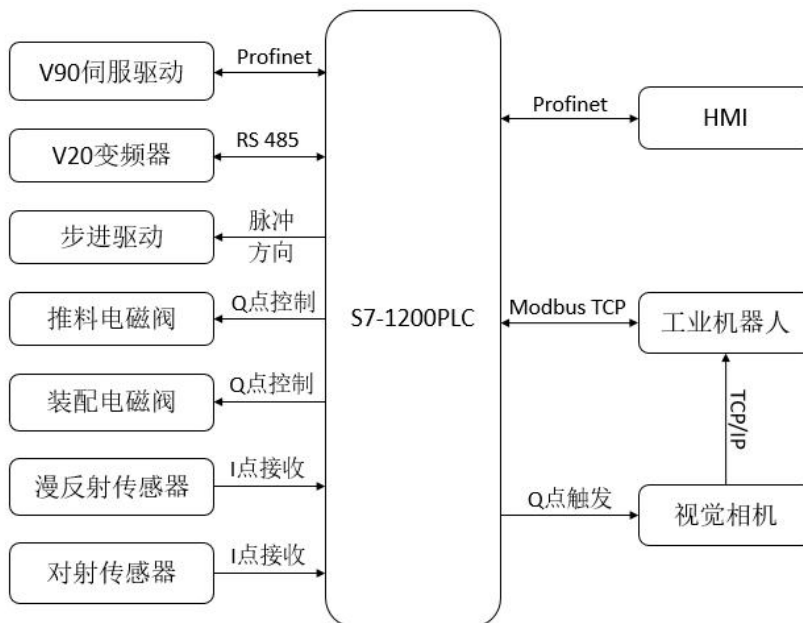


图 4-1 系统通讯示意图

如图 4-1 所示为系统通讯示意图,由 S7-1200PLC 作为主控制器和周边设备进行通信。PLC 和触摸屏之间采用 Profinet 进行通信,通过触摸屏控制和监控 PLC 端的数据;PLC 和机器人之间采用 Modbus TCP 进行通信,机器人根据 PLC 发送的命令执行相应的程序;PLC 和 V90 伺服之间采用 Profinet 进行通信,实现变位机的旋转定位;PLC 和 V20 变频器之间采用 RS 485 通信,实现传送带的运动控制;PLC 和步进驱动器通过 Q 点进行脉冲和方向的控制,实现旋转变位机的定位控制;PLC 通过 Q 点控制电磁阀的通断,实现气缸的控制;PLC 通过 I 接收各个传感器的检测信息,完成接下来的程序控制;工业相机由 PLC 的 Q 点进行拍照触发,将检测信息通过 TCP/IP 协议传输给工业机器人进行定位抓取。

4.2 系统程序设计

4.2.1 机器人程序设计

如图 4-2 所示为机器人程序执行流程图,第一步等待 PLC 发送启动信号后,机器人调用回原点程序,到达程序执行的初始位置;第二步调用取大夹爪工具程序,机器人抓取大夹爪工具;第三步机器人去立体仓库模块抓取钢轮组件,将钢轮组件放置到伺服变位机装配位置并夹紧气缸;第四步调用放大爪工具程序,并继续调用取小夹爪工具程序,机器人抓取小夹爪工具;第五步去旋转送料处抓取柔轮组件,并在钢轮组件上进行装配;第六步调用放小爪工具程序,并继续调用取吸盘工具程序,机器人抓取吸盘工具;第七步机器人去皮带输送模块抓取中间法兰和输出法兰,并在钢轮组件上进行装配;第八步切换工具

为大夹爪工具，抓取装配完成的成品并入库，最后回到原点，程序结束。

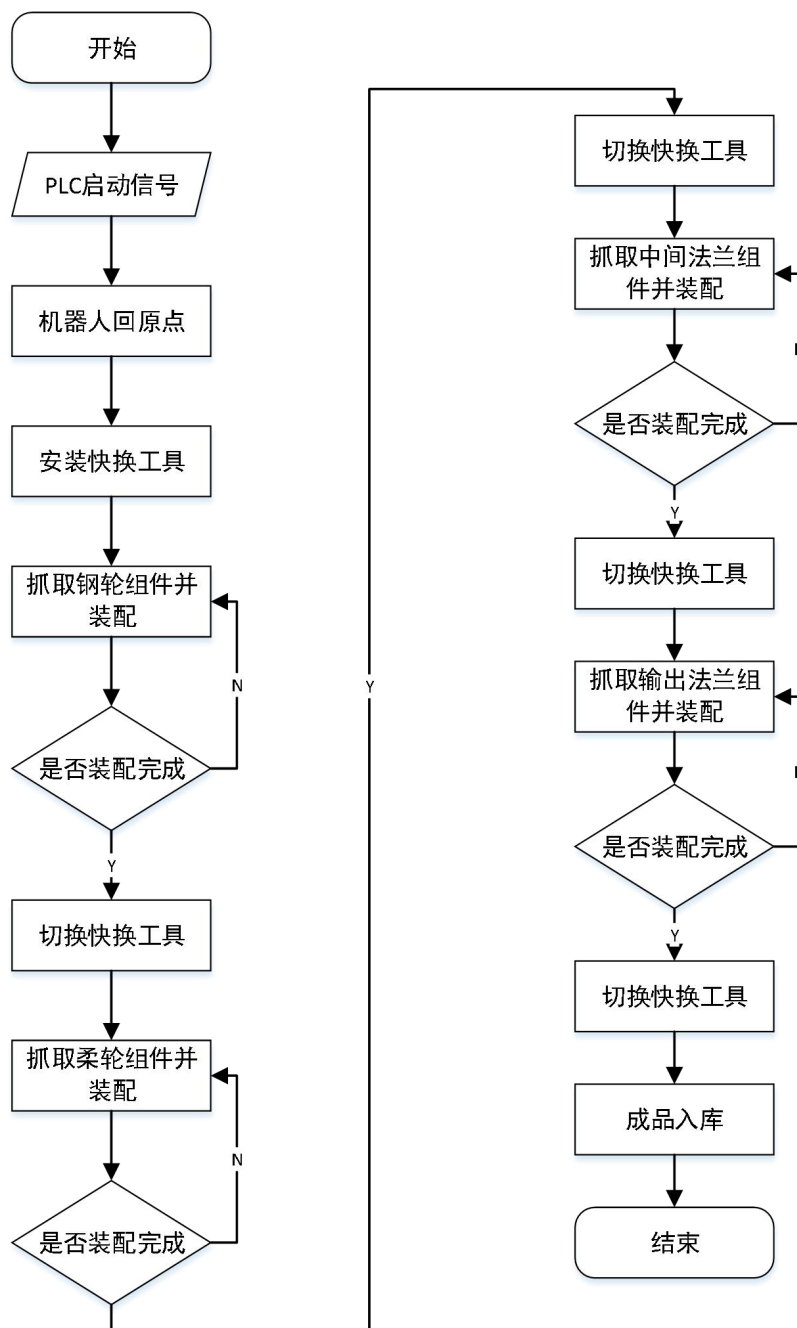


图 4-2 机器人程序流程图

4.2.2 PLC 程序设计

1) PLC I/O 分配

如表 4-1 所示为系统的 PLC I/O 信号分配表

表 4-1 PLC I/O 分配表

注释	地址	注释	地址
旋转变位机模块-原点信号	I0.0	旋转变位机步进脉冲	Q0.0
井式供料模块-料仓检测信号	I0.1	旋转变位机步进方向	Q0.1
井式供料模块-供料气缸工进信号	I0.2	相机拍照	Q0.2
井式供料模块-供料气缸复位信号	I0.3	使能	Q0.3
机器人行走轴原点信号	I0.4	正转	Q0.4
机器人行走轴左限位信号	I0.5	清除报警	Q0.5
机器人行走轴右限位信号	I0.6	反转	Q0.6
伺服变位机模块-原点信号	I1.0	井式供料模块-供料气缸工进	Q2.0
伺服变位机模块-左限位信号	I1.1	三色灯-红	Q2.3
伺服变位机模块-右限位信号	I1.2	三色灯-黄	Q2.4
旋转变位机模块-物料检测信号	I2.0	三色灯-绿	Q2.5
皮带输送模块-物料输送到位信号	I2.4	伺服变位-夹紧气缸工进	Q2.6
快换模块-#1 工具位信号	I4.1		
快换模块-#2 工具位信号	I4.2		
快换模块-#3 工具位信号	I4.3		
快换模块-#4 工具位信号	I4.4		
伺服变位-夹紧工装工进状态信号	I4.6		
伺服变位-夹紧工装复位状态信号	I4.7		
手自动旋钮信号	I5.0		

2) 程序设计

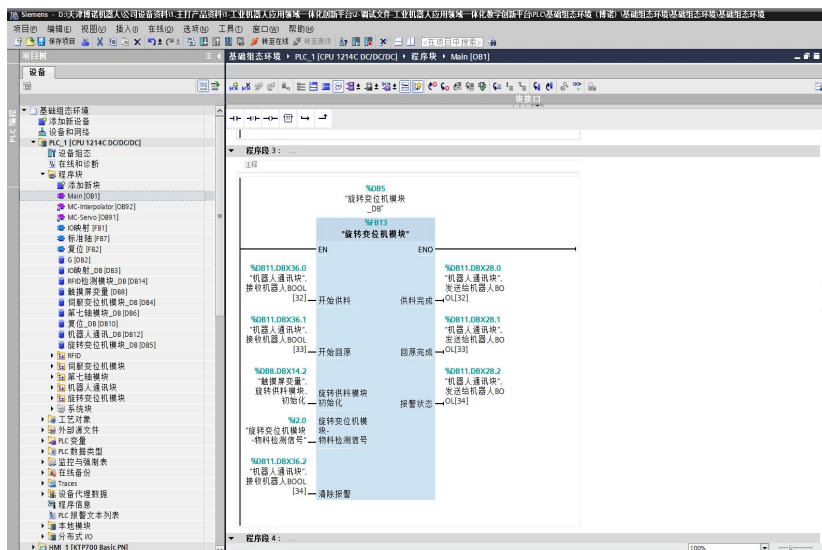


图 4-3 博途软件平台示意图

本设计中 PLC 编程软件使用的是 TIA 博途软件，它是西门子公司开发的一款组态软件，它将所有的自动化软件工具都统一到一个开发环境中，是首个采用统一工程组态和软件项目环境的自动化软件。可在同一开发环境中组态几乎所有的西门子可编程控制器、人机界面和驱动装置，可在控制器、驱动装置和人机界面之间建立通信时的共享任务，大大降低连接和组态成本^[18]。如图 4-3 所示为博途软件平台的示意图。

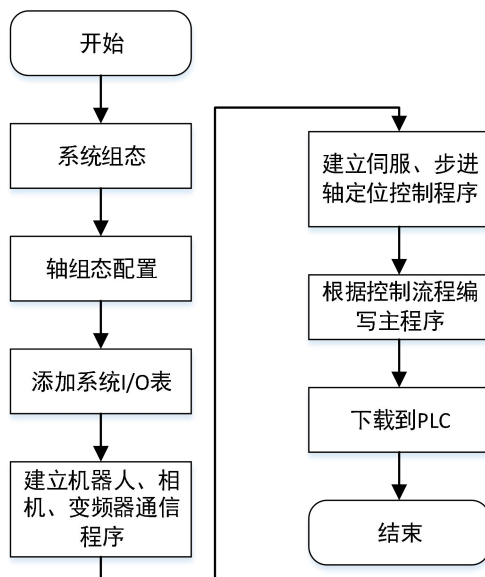


图 4-4 PLC 程序设计流程图

如图 4-4 所示为 PLC 程序设计流程图，第一步使用 TIA 博途软件新建一个项目，根据系统中的硬件模块完成系统的组态，并设置每个组态设备的参数信息；第二步在 PLC 中新建工艺对象，对伺服和步进进行轴工艺组态和参数设置；第三步新建系统通信程序，编写机器人、相机、变频器通信程序；第五步新建轴定位程序，编写伺服、步进的轴定位控制程序；第六步在 main 程序中根据控制流程编写主控制程序；第七步下载到 PLC 中。

4.2.3 触摸屏画面设计



图 4-5 触摸屏界面示意图

本设计中使用的是西门子触摸屏，它的编程软件和 PLC 都是 TIA 博途软件。如图 4-5 所示为本设计触摸屏界面示意图，其中“系统启动”、“系统停止”、“系统复位”按钮分别用来控制系统的整体启动、停止、复位，这三个状态由“状态监控”指示灯来显示，分别为绿、红、黄；“伺服回原点”和“步进回原点”按钮用来手动控制系统启动前伺服变位机和旋转变位机回到初始位置；“伺服当前位置”和“步进当前位置”主要用来监控电机

实时位置，判断定位是否准确；“变频器正转”和“变频器反转”用来手动控制传送带的正反转；“机器人状态”和“PLC 状态”是用来显示机器人和 PLC 通信时互相传输的实时数据；“相机数据 X”、“相机数据 Y”、“相机数据 A”是用来显示相机拍照后传输给 PLC 端的工件坐标数据。

4.2.4 工业相机程序设计

本设计中使用的是大华工业相机，它所对应操作软件为如图 4-6 所示的“MVP”算法平台，该平台集成 9 类机器视觉系统基础功能算子，可以完成图像采集，目标定位，图像预处理，检测系统标定，目标长度、夹角测量，条码、二维码和字符识别以及处理图像自动保存等^[19]。



图 4-6 MVP 算法平台示意图

本设计中相机主要用来识别中间法兰和输出法兰的坐标和角度，因此相机程序的设计流程如图 4-7 所示，第一步添加相机工具，用于采集画面；第二步添加彩色转灰度工具，用来将三通道的彩色图像转换为单通道的灰度图像，方便处理；第三步添加模板匹配 1 工具，用来识别出中间法兰和输出法兰的坐标位置；第四步添加模板匹配 2 工具，用来识别输出法兰的旋转角度；第五步添加找圆工具，用来确定中间法兰和输出法兰的圆心；第六步添加坐标转换器，用来将相机识别的 XY 坐标转化为和机器人坐标系一致的坐标信息；第七步添加分析脚本，用于将转换后坐标的数据格式转换为机器人所能识别的格式；第八步添加网络配置，用于修改通信协议和地址；第九步添加报文发送工具，用于将发送内容组合成报文并通过网络发送给机器人端；第十步进行工件位置信息识别与传输测试。

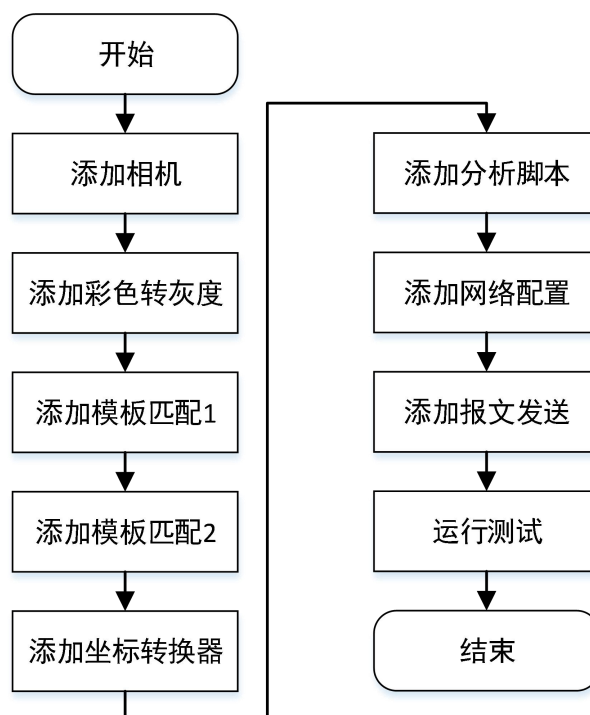


图 4-7 相机程序设计流程图

4.3 系统模块参数设置

4.3.1 V90 伺服系统调试



图 4-9 V-ASSISTANT 伺服调试软件示意图

本系统中伺服系统使用的是西门子 V90，如图 4-9 所示为其对应的调试软件 V-ASSISTANT，可以完成伺服系统的型号选择、网络设置、调试和诊断。伺服系统调试分为以下几步：第一步选择对应的驱动器、电机型号；第二步设置控制模式为速度控制；第三步设置转速，进行点动调试；第四步选择伺服驱动器的对应报文；第五步配置网络的

名称及 IP 地址；第六步设置位置角度并进行自动优化，伺服系统根据设置的角度来回运动，完成机械刚性测试并自动优化驱动参数；第七步将参数下载到驱动器中，驱动调试完成。

4.3.2 V20 变频器参数设置

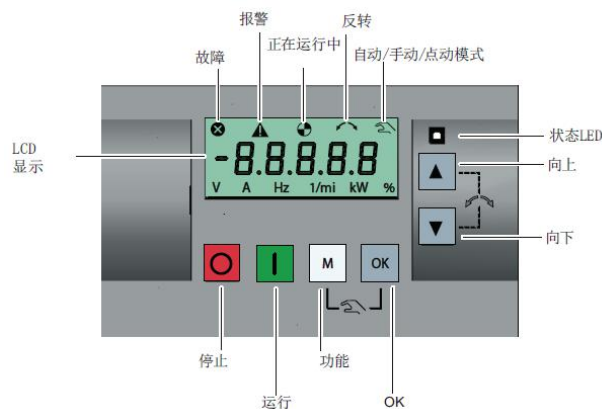


图 4-9 V20 面板展示图

如图 4-9 所示为 V20 变频器操作面板展示图，用来设置变频器的参数和监控变频器的当前状态。如表 4-2 所示为 V20 变频器的设置参数，首先对变频器进行工厂复位，避免变频器有其它参数影响电机运行；然后进行快速调试，完成对应电机的频率、电流、转速等基本参数的设置。V20 变频器和 PLC 之间采用 RS 485 通讯方式，因此需要设置对应的连接宏来完成通信设置。参数设定完毕后重启，完成变频器的调试。

表 4-2 V20 变频器参数

步骤	参数号	参数功能	设置值
1	P0010	调试参数	30
2	P0970	工厂复位	21
3	P0003	用户等级 (3 专家)	3
4	P0100	频率选择	0
5	P0304	电机额定电压	220
6	P0305	电机额定电流	0.76A
7	P0307	电机额定功率	15W
8	P0310	电机额定频率	50Hz
9	P0311	电机额定转速	1350r/min
10		连接宏	cn011
11		重启	

4.3.3 步进系统细分设置

XINJE DPL-425

Signal Input: PWR, ALM, PUL+, PUL-, DIR+, DIR-, ENA+, ENA-, ERR, COM

Output: SW4, SW3, SW2, SW1

Step Motor: GND, +V, A+, A-, B+, B-

CN1 (SW1-SW3):

Peak	RMS	SW1	SW2	SW3
1.0A	0.7A	OFF	OFF	OFF
1.7A	1.2A	OFF	OFF	ON
2.0A	1.4A	OFF	ON	OFF
2.4A	1.7A	OFF	ON	ON
2.8A	2.0A	ON	OFF	OFF
3.4A	2.4A	ON	OFF	ON
4.0A	2.8A	ON	ON	OFF
4.2A	3.0A	ON	ON	ON

CN2 (SW1-SW4):

Pulse/rev	SW1	SW2	SW3	SW4
200	OFF	OFF	OFF	OFF
400	OFF	OFF	OFF	ON
800	OFF	OFF	ON	OFF
1600	OFF	OFF	ON	ON
3200	OFF	ON	OFF	OFF
6400	OFF	ON	OFF	ON
12800	OFF	ON	ON	OFF
25600	OFF	ON	ON	ON
1000	ON	OFF	OFF	OFF
2000	ON	OFF	OFF	ON
4000	ON	OFF	ON	OFF
5000	ON	OFF	ON	ON
8000	ON	ON	OFF	OFF
10000	ON	ON	OFF	ON
20000	ON	ON	ON	OFF
40000	ON	ON	ON	ON

CN1 (SW4): OFF=Half Current; ON=Full Current
 PWR: DC-20V~DC+50V

图 4-10 步进驱动器参数

如图 4-10 所示为信捷步进驱动器的参数，本系统中步进电机带动一个圆形转盘转动，电机负载转矩很小，因此对应步进驱动器的输出电流 CN1 选择为峰值电流 2.8A、均值电流 2.0A。对应本系统中的定位精度要求，细分 CN2 设置为 3200。对于 CN1 和 CN2 中所对应的 SW 开关状态如表 4-3 所示。

表 4-3 步进驱动器拨码开关状态

分项	CN1	CN2
SW1	ON	OFF
SW2	OFF	ON
SW3	OFF	OFF
SW4		OFF

4.4 系统联调

4.4.1 通信测试

将系统中所有程序都下载后进行系统通信测试，如表 4-4 所示为 PLC 与机器人、机器人与相机、PLC 与 V90 伺服驱动、PLC 与 V20 变频器、PLC 与触摸屏之间的通信状态显示，它们通过不同的十六进制码或者不同的显示来反馈当前的通信状态。

表 4-4 系统通信状态

设备名称		通信成功显示	通信错误显示
PLC	机器人	16#7002	16#80C8
机器人	相机	网络配置显示√	网络配置显示×
PLC	V90 伺服驱动	16#0000	16#863A
PLC	V20 变频器	16#0000	16#8180
PLC	触摸屏	指示灯亮	指示灯灭

4.4.2 手动调试



图 4-11 手动操作画面

PLC 的手动调试是通过触摸屏中建立操作按钮和监控显示灯来完成的。如图 4-11 所示为系统手动调试画面，按下不同的操作按钮来测试对应模块的响应情况，通过查看画面中对应的状态指示灯来监控传感器的当前状态。

机器人的手动调试是完成程序编写后，通过手持示教器单步运行机器人的所有程序，这是为了防止示教点出错而引发碰撞。

4.4.3 自动调试

完成通信测试和手动调试后，将手自动旋钮开关切换至自动状态，并恢复所有零件到初始位置，切换机器人运行模式为至自动运行，点击触摸屏上的“系统复位”按钮，将系统初始化后，点击系统启动按钮，系统将进行谐波减速器装配任务。

第五章 总结与展望

5.1 总结

现今我国人工利息不时上升的大环境下，工业机器人必将迅速发展，逐渐成为工厂自动化生产线的主要发展形式。目前国内各大高校大多已经开设工业机器人应用方面的对口专业，从事工业机器人现场编程、机器人自动线维护、工业机器人安装调试人员逐年增加，本设计中的实训装置为相关人才培养提供了支持^[20]。

本系统是基于工业机器人的实训平台，由工业机器人模块、立体仓库模块、伺服变位模块、旋转供料模块、皮带输送模块、视觉检测模块等组成。能够再现工业领域的机器人搬运、码垛、上下料、装配、循迹等典型应用，可满足工业机器人编程与操作训练需求；涉及的技术包括：工业机器人编程、PLC 控制、视觉检测、人机交互、传感器检测、伺服控制、步进控制、变频控制、机械结构与电气接线等，非常符合各大高校对机器人平台的实训教学、训练等要求。

5.2 展望

本系统设计的是一套基于工业机器人的谐波减速器装配生产线实训平台的设计，系统集成度很高，但是功能过于单一，还有很多需要改进的地方：

1) 只完成了谐波减速器工件的装配，工件类型过于单一，后续会不断改进，完成更多类型工件的装配。如将立体仓库、旋转供料、井式供料模块存料库位进行修改，可完成电机的基本装配。

2) 相机识别中只有坐标定位，而颜色识别和瑕疵检测等功能未涉及到。后续需要将谐波减速器工件制作成多种颜色进行颜色识别、将中间法兰和输出法兰制作出缺陷件进行瑕疵检测，然后在相机程序加入颜色吸取工具和瑕疵检测工具。

3) 系统对机器人的应用只有装配、搬运等，对于工业中的机器人焊接、打磨、雕刻等功能没有实现。后续需要将机器人末端夹具重新制作，如焊接工具、打磨工具、雕刻工具。

参考文献

- [1] 李镡,祝新洋,周洪波.工业机器人发展现状与趋势[J]. 数码世界,2020(10):266-267.
- [2] 黄海燕.工件装配自动化生产线控制系统设计[J].机电工程技术,2020,49(04):85-88+203.
- [3] 钟金.基于 PLC 与工业机器人实训平台的设计与实现[J].南方农机,2020,51(19):136-137.
- [4] 张婧.工业机器人综合实训平台的设计与应用[J].无线互联科技,2020,17(09):70-71.
- [5] 洪记周.工业机器人在装配方面的应用趋势[J].中外企业家,2019(07):138.
- [6] 马静,李宇.工业机器人自动装配生产线的研制[J].电子技术与软件工程,2017(08):132.
- [7] 李公文,刑小节,余春,胡伟伟,庞文凯.基于项目式教学的工业机器人实训设备的研制[J].中国多媒体与网络教学学报(中旬刊),2020(06):161-162.
- [8] 李吉祥.基于 PLC 和机器人的装配系统设计[J].集成电路应用,2020,37(08):9-11.
- [9] 赵伟博.基于机器视觉的机器人协同装配工作站设计[J].组合机床与自动化加工技术,2020(06):162-164+168.
- [10] 张国栋,洪荣晶.减速器装配单元系统设计[J].制造技术与机床,2020(01):93-97.
- [11] 胡盘峰,刘光新,岳东海.基于工业机器人的步进电机智能装配系统设计[J].机床与液压,2020,48(03):66-69+27.
- [12] 李儒琼.工业装配机器人技术及其应用研究[J].湖北农机化,2019(20):150-151.
- [13] 吴莹,刘佳陆.PLC 控制在工业机器人组装系统中的应用[J].中国新技术新产品,2019(04):13-14.
- [14] 王安定.PLC 技术在工业机器人控制系统中的应用分析[J].科学技术创新,2020(33):157-158.
- [15] Xu Zhou. Development Status and Trend of Industrial Robot and Intelligent Manufacturing[J]. International Journal of Social Sciences in Universities, 2020, 3(3).
- [16] Linn D. Evjemo et al. Trends in Smart Manufacturing: Role of Humans and Industrial Robots in Smart Factories[J]. Current Robotics Reports, 2020, 1(2013) : 35-41.
- [17] Rui Song et al. A Robotic Automatic Assembly System Based on Vision[J]. Applied Sciences, 2020, 10(3).
- [18] Fagui Zhang. The Application of Industrial Robot in Intelligent Manufacturing[J]. International Journal of Computational and Engineering, 2019, 4(4).
- [19] Shuyang Deng and Tongxin Wang and Yuan Bian. Technology Unemployment and Productivity Improvement of Industrial Robot[J]. Frontiers in Economics and Management, 2020, 1(7).
- [20] Jing Zhao. Discussion on Intelligent Motion Control Method of Industrial Robot[J]. International Journal of Social Sciences in Universities, 2020, 3(2).

致谢

这篇论文是在郭卉老师的指导下完成的。在本论文的写作过程中，我的导师郭卉老师倾注了大量的心血，从选题到开题报告，从写作提纲到一遍又一遍地指出每稿中的具体问题，严格把关，循循善诱，在这过程中郭卉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。每当我的论文在写作过程中遇到问题或疑惑不解之时，郭卉老师总是耐心聆听我的问题，给我提供建议和帮助。可以说没有郭卉老师的帮助，我不可能完成这篇论文。

此外还要感谢我的父母、我的老师、我的同学对我的理解、支持、鼓励和帮助，在我坚持不下去时他们总是我最坚实的后盾，正是因为有了他们，我才能不断进步，也正是因为有了他们，我才有了追求进步的勇气和信心。

毕业论文即将收尾，这也意味着我在天津中德应用技术大学的学习生活即将结束。回首过往，能把自己一生最宝贵的时光奉献在这样的校园之中，能与众多学富五车、才华横溢的老师们的熏陶下度过，实是荣幸之极。

在整个系统设计的过程中，我学到了很多知识，锻炼了自己独立思考和实践能力，从整体的方案设计到硬件选型和编程调试中不断地摸索，最终完成整个系统的设计，经历很多，收获更多。时间的仓促及自身专业水平的不足，整篇论文肯定存在尚未发现的缺点和错误。恳请阅读此篇论文的老师、同学，多予指正，不胜感激！