

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



丛书策划 张荣昌
责任编辑 王 清 孟海江
封面设计 唐韵设计

智能制造基础技术系列教材

电机与电气控制技术
数字电子技术基础
传感器原理与检测技术
印制电路板设计与制作
机械设计基础
供配电技术
STC单片机原理与应用
PLC应用技术

现代工业生产线技术与应用

数控编程及零件加工
数控加工编程
变频与伺服控制技术
制造执行系统（MES）
可编程控制技术
运动控制技术
电力拖动基本控制线路
UG NX 12.0数控编程
数控车削编程与加工

本书提供教学资源包

网址: <https://www.sjhtbook.com>



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-32943-1



9 787313 329431
定价: 49.80元

现代工业生产线技术与应用

主编◎郑秀丽 潘孝业 陈哲权



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



浙江省高职院校“十四五”重点立项建设教材
智能制造基础技术系列教材

现代工业生产线 技术与应用

主编◎郑秀丽 潘孝业 陈哲权



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



浙江省高职院校“十四五”重点立项建设教材
智能制造基础技术系列教材

现代工业生产线 技术与应用

主编◎郑秀丽 潘孝业 陈哲权



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书以亚龙光电智能制造生产线平台为依托,结合全国智能制造应用技术技能大赛内容,采用项目引领、任务驱动的编写模式,巧妙融入企业生产案例,并配套丰富的数字化资源。本书对智能制造进行了概述,讲解相关概念知识,并从智能制造装备认知、生产线中PLC的应用、生产线中工业机器人的应用、生产线设备数据交互、智能制造产线联调和生产线信息化管理等方面介绍了生产线中各模块的操作和联调。本书适合作为中等职业学校(含技工学校)、高等职业院校装备制造类专业智能制造等课程的教材,也可以作为初学者自学用书或者培训班的辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代工业生产线技术与应用 / 郑秀丽, 潘孝业, 陈哲权主编. -- 上海: 上海交通大学出版社, 2025. 7.
ISBN 978-7-313-32943-1
I. TP278
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025GA0765 号

现代工业生产线技术与应用

XIANDAI GONGYE SHENGCHANXIAN JISHU YU YINGYONG

主 编: 郑秀丽 潘孝业 陈哲权	地 址: 上海市番禺路 951 号
出版发行: 上海交通大学出版社	电 话: 021-6407 1208
邮政编码: 200030	
印 制: 北京荣玉印刷有限公司	经 销: 全国新华书店
开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16	印 张: 16.5
字 数: 381 千字	
版 次: 2025 年 7 月第 1 版	印 次: 2025 年 7 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-313-32943-1	
定 价: 49.80 元	

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 010-6020 6144

编写委员会

主 编：郑秀丽 潘孝业 陈哲权

副主编：潘 军 胡金焕 夏小军

谢光直 林圣斌

前言

制造业是立国之本、兴国之器、强国之基。随着全球工业 4.0 时代的到来，智能制造已成为现代工业发展的重要方向。自动化生产线作为智能制造的主要体现，融合了人工智能、大数据等先进技术，实现了生产过程的智能化决策、优化和控制，是传统制造业转型升级的重要推动力。机械类专业作为智能制造的主要技术支撑专业，承担着为传统行业培养高素质技术人才、推动技术创新和产业升级的重要使命。

党的二十大报告提出“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”，并将其作为建设现代化产业体系的一个重要着力点。习近平总书记指出：“深入实施制造业重大技术改造升级和大规模设备更新工程，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展，让传统产业焕发新的生机活力。”本书以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻落实党的二十大精神，将思想道德建设与专业素质培养融为一体，着力培养爱党爱国、敬业奉献，具有工匠精神的新时代高素质技能人才。

本书是浙江省高职院校“十四五”第二批重点教材建设项目和温州市职业教育区域特色教材，根据高等院校人才培养目标、教育部制定的智能设备运行与维护专业教学标准，结合编者多年的教学经验和教改实践编写而成。教材以亚龙 YL-566D 生产型产线为载体，结合“工业机器人集成系统应用”技术领域和“全国智能制造应用技术技能大赛”考核要求，采用项目引领、任务驱动的编写模式，将自动化生产线单模块操作和多模块调试所需的理论知识和实践技能分解到不同项目和任务中，形成“单机操作到多机联调，理论学习到技能实操”的学习进阶体系。通过完成认识智能制造、智能制造装备认知、生产线中 PLC 的应用、生产线中工业机器人的应用、生产线设备数据交互、智能制造产线联调和生产线信息化管理等项目的学习，学生可以较为系统地掌握智能制造装备、机器人、智能仓储的操作，生产线设备数据交互参数设置，整个产线设备的联调等知识，对智能生产线的工作原理能有较为全面的认识，逐步形成生产单元运行调试与维护的思路，掌握解决问题的方法。这一学习过程可有效促进智能制造生产运维领域复合型技能人才培养，加快先进制造业技术技能积累和高素质人才队伍建设。

本书由浙江工贸职业技术学院郑秀丽、潘孝业、陈哲权任主编；由绍兴技师学院潘军，浙江工贸职业技术学院胡金焕，温州市职业中等专业学校夏小军、谢光直、林圣斌任副主编。荆楚理工学院赵秀菊老师在资料收集、内容审校等环节给予了悉心指导与专业支持，为教材质量提供了坚实保障。在此，谨向赵老师致以最诚挚的谢意！本书在编写过程

中，参考了智能生产线方面的诸多教材、数控机床系统和智能货柜的相关说明书等，得到了亚龙智能装备集团股份有限公司的大力支持，编者对以上文献作者和公司深表谢意。

为方便教学，本书作者为广大一线教师提供了服务于本书的教学资源库，有需要者可致电 13810412048 或发邮件至 2393867076@qq.com。

由于时间仓促，且编者的水平有限，书中存在的不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2025 年 1 月

目 录

项目一 认识智能制造	1
任务一 了解智能制造领域核心技术	2
一、物联网技术	2
二、云计算技术	3
三、大数据技术	4
四、人工智能技术	5
五、机电一体化技术	6
六、虚拟现实与增强现实技术	8
任务二 了解智能制造生产线的典型应用	9
一、数字孪生赋能的智能制造生产线优势	10
二、智能制造生产线实训系统的应用实践	11
三、飞机总装脉动生产线与智能制造技术的融合进展	11
四、卷烟厂制丝中智能制造生产线的应用	13
五、智能制造生产线在再生橡胶中的应用	13
项目二 智能制造装备认知	16
任务一 认识数控车削中心	17
一、数控车削中心组成	17
二、数控车削中心工作原理	19
三、数控车削中心对刀	19
四、数控车削中心单机操作	22
任务二 认识多轴加工中心	26
一、多轴加工中心组成	27
二、多轴加工中心工作原理	29
三、多轴加工中心对刀	29
四、多轴加工中心单机操作	32
任务三 认识数控折弯机	36
一、折弯机组成结构	37

二、折弯机工作原理	38
三、折弯机操作步骤	38
任务四 认识激光切割机	46
一、激光切割机结构	47
二、激光切割机工作原理	48
三、激光切割机单机操作	48
任务五 认识智能拣选系统	57
一、智能拣选系统组成	58
二、智能拣选系统工作原理	62
三、智能拣选系统单机操作	63
任务六 认识柔性搬运——AGV	67
一、AGV 的组成	67
二、AGV 工作原理	69
三、AGV 单机操作	69

项目三 生产线中 PLC 的应用

74

任务一 认识可编程逻辑控制器	75
一、可编程逻辑控制器结构	75
二、三菱 FX3U 系列 PLC	77
三、输送线搭建	82
任务二 输送线变频调速控制	85
一、变频器的外观	86
二、FR-E800 变频器结构与接线端子	87
三、FR-E800 变频器操作	90
四、输送线的变频调速	94
任务三 PLC 控制输送线调速	97
一、PLC 编程语言	98
二、PLC 编程软元件	99
三、PLC 基本逻辑指令	100
四、输送线的自动运行控制	101
任务四 PLC 控制气动机械手	104
一、气动机械手	105
二、定时器指令	108
三、气动机械手运行	109

任务五 PLC 控制生产线	114
一、状态继电器	115
二、顺序功能图	115
三、计数器	117
四、生产线自动分拣	119

项目四 生产线中工业机器人的应用 123

任务一 工业机器人产线集成概述	124
一、工业机器人应用领域	124
二、工业机器人基本组成	126
三、工业机器人集成产线组成	128
四、工业机器人技术参数	131
任务二 工业机器人示教与操作	133
一、示教器的使用	134
二、机器人坐标系和运动类型	139
任务三 认识 FANUC 机器人编程指令	144
一、FANUC 机器人程序创建	145
二、FANUC 机器人编程指令	148
三、程序编辑涉及的基本操作	163
任务四 FANUC 机器人 I/O 说明	168
一、工业机器人 I/O 信号分类	168
二、I/O 信号手动操作	171
任务五 机器人手爪快换示教编程	177
一、实训设备及相关指令的准备	177
二、示教要求及机器人程序的编写	178

项目五 生产线设备数据交互 183

任务一 了解通信原理	184
一、MODBUS 协议介绍	184
二、MB_CLIENT 指令参数	185
任务二 PLC 与机器人通信	191
一、PLC 侧 MB_CLIENT 功能块编写	192
二、机器人侧设置	197
三、PLC 侧与机器人侧信号关系对应	200

项目六 智能制造产线联调 204

任务一 数控加工产线联调·····	205
一、数控加工产线产品工艺流程·····	205
二、数控加工产线联调步骤·····	206
任务二 钣金加工产线联调·····	219
一、钣金加工产线产品工艺流程·····	220
二、钣金加工产线联调步骤·····	221

项目七 生产线信息化管理 233

任务一 认识 MES·····	234
一、MES 的概念·····	234
二、MES 的功能结构·····	235
三、MES 的意义·····	237
任务二 MES 操作·····	239
一、数据管理·····	239
二、物品管理·····	243
三、工艺管理·····	245
四、生产管理·····	247
五、设备监控·····	249
六、系统管理·····	250

参考文献 254

项目五

生产线设备数据交互

项目引入

生产设备系统集成的关键是实现设备间的数据交互。通过计算机搭建服务器，组建工业互联网；中央控制系统主控 PLC 通过 TCP/IP（传输控制协议 / 互联网协议）协议的形式接入工业互联网，与 MES、工业机器人搬运机构、料库机构、机床加工机构等模块共同组成智能化生产体系。

本项目主要针对机器人与 PLC 间通信及 MODBUS 参数说明进行介绍，并逐层深入讲解生产线设备间数据交互方法和操作步骤。

职业素养

- （1）培养面对复杂知识刻苦钻研的求知精神。
- （2）在实践中培养重视细节、一丝不苟的学习态度。
- （3）通过实践操作和信号调试，学会以理论指导实践，用实践验证理论。

任务一 了解通信原理

任务描述

自动化系统包括多种通信协定，常用的有三菱的 CC-Link，西门子的 PROFIBUS 和 PROFINET I/O 通信方式，施耐德公司的 MODBUS 通信方式等。其中，西门子 PLC S7-1200 CPU 可以使用的一种通信方式是 MODBUS/TCP，在西门子 CPU 中，它结合了 MODBUS 通信方式和 PROFINET 通信方式，可以使用 PROFINET 通信来连接 MODBUS 客户端或服务器。本任务主要针对 MODBUS/TCP 通信协议进行介绍。

任务目标

知识目标

- (1) 了解 MODBUS 协议特点。
- (2) 掌握 MODBUS/TCP 通信协议相关指令参数含义。

能力目标

- (1) 能使用软件正确查询协议相关参数含义。
- (2) 能正确使用软件完成 MB_CLIENT 指令参数设置。

知识储备

自动化系统包括多种通信协定，它们是可以应用于工业控制器上的通用语言。通过多种协议，控制器相互之间可以经由网络（如以太网）和其他设备进行通信。其中部分协议已经成为工业标准，不同厂商生产的控制设备可以通过协议互联成工业网络，进行集中监控。

一、MODBUS 协议介绍

MODBUS 协议是应用于电子控制器上的一种通用语言。协议定义了一个控制器能识别和使用的消息结构，而不管它是经过何种网络进行通信的。工业控制器可以通过联网进行 MODBUS 通信，MODBUS 服从工业控制器网络协议，是公开发表的，对外开放，且易于操作，是工业控制设备之间比较常用的通信方式。协议描述了控制器请求访问其他设备的过程，并定义了消息域格局和内容的公共格式。

当在 MODBUS 网络上通信时，此协议决定了每个控制器需要知道的设备地址，通过识别按地址发来的消息，决定要产生何种行动。如果需要回应，控制器将生成反馈信息并用 MODBUS 协议发出。在其他网络上，包含了 MODBUS 协议的消息转换为在此网络上使用的帧或包结构。这种转换也扩展了根据具体的网络解决节点地址、路由路径及错误检测的方法。

标准的 MODBUS 网络通信，能设置为两种传输模式（ASCII 或 RTU）中的任何一种，MODBUS/TCP 采用了 RTU（远程终端单元）传输模式。当控制器设为在 MODBUS 网络

上以 RTU 模式通信时，在消息中的每个 8bit 字节包含两个 4bit 的十六进制字符。这种方式的主要优点是，在同样的波特率下，可比 ASCII（美国信息交换标准代码）方式传送更多的数据。

二、MB_CLIENT 指令参数

S7-1200 PLC 的 MODBUS/TCP 通信方式，主要使用“MB_CLIENT”指令，负责作为 MODBUS/TCP 客户端，通过 S7-1200 CPU 的 PROFINET 连接工业机器人。使用“MB_CLIENT”指令，可以在客户端和服务端之间建立连接、发送 MODBUS 请求、接收响应并控制 MODBUS/TCP 客户端的连接终端。

MODBUS/TCP“MB_CLIENT”指令结构如图 5-1 所示。“MB_CLIENT”指令的参数如表 5-1 所示。

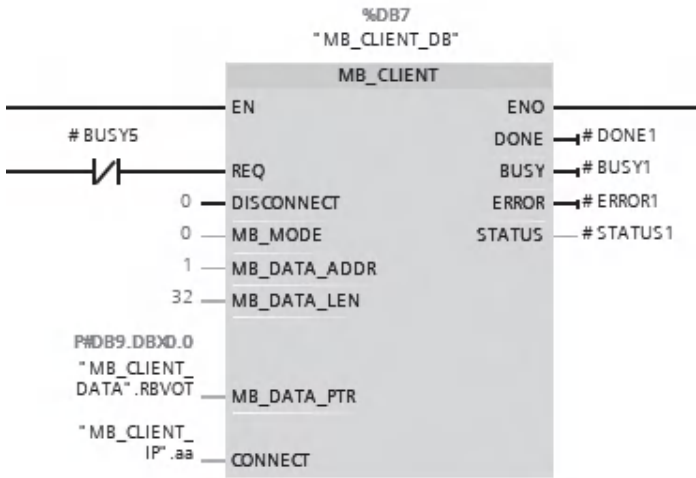


图 5-1 “MB_CLIENT”指令结构

表 5-1 “MB_CLIENT”指令的参数

参数	声明	数据类型	说明
REQ	Input	Bool	对 MODBUS/TCP 服务的 MODBUS 查询。 REQ 参数受到等级控制。这意味着只要设置了输入 (REQ=true)，指令就会发送通信请求。 (1) MODBUS 查询开始后，背景数据块将锁定，其他客户端无法使用。 (2) 在服务器进行响应或输出错误消息之前，对输入参数的更改不会生效。 如果在请求期间再次设置了参数 REQ，此后将不会进行任何其他传输

续表

参数	声明	数据类型	说明
DISCONNECT	Input	Bool	通过该参数，可以与 MODBUS 服务器建立和终止连接。 (1) 0：与通过 CONNECT 参数组态的连接伙伴（请参见 CONNECT 参数）建立通信连接。 (2) 1：断开通信连接。在终止连接的过程中，不执行任何其他功能。成功终止连接后，STATUS 参数将输出值 0003。而如果在建立连接的过程中设置了参数 REQ，将立即发送 MODBUS 请求
MB_MODE	Input	USInt	选择 MODBUS 的请求模式（读取、写入或诊断）或直接选择 MODBUS 功能
MB_DATA_ADDR	Input	UDInt	取决于 MB_MODE
MB_DATA_LEN	Input	UInt	数据长度：数据访问的位数或字数
MB_DATA_PTR	InOut	VARIANT	指向将从 MODBUS 服务器接收数据的数据缓冲区，或指向待发送到 MODBUS 服务器的数据所在数据缓冲区的指针
CONNECT	InOut	VARIANT	指向连接描述结构的指针，可以使用以下结构（系统数据类型）。 (1) TCON_IP_v4：包括建立指定连接时所需的所有地址参数。使用 TCON_IP_v4 时，可通过调用指令“MB_CLIENT”建立连接。 (2) TCON_Configured：包括所组态连接的地址参数。使用 TCON_Configured 时，将使用下载硬件配置后由 CPU 创建的已有连接

部分参数的详细说明如下。

1.MB_MODE、MB_DATA_ADDR 和 MB_DATA_LEN 说明

参数 MB_MODE、MB_DATA_ADDR 和 MB_DATA_LEN 共同作用决定 MODBUS 功能，在设置时要根据所需功能综合考虑。同时，要求 PLC 与机器人所使用的代码编号保持一致。参数 MB_MODE、MB_DATA_ADDR 和 MB_DATA_LEN 与相关 MODBUS 功能的关系如表 5-2 所示。MODBUS 功能代码含义如表 5-3 所示。

表 5-2 参数 MB_MODE、MB_DATA_ADDR 和 MB_DATA_LEN 与相关 MODBUS 功能的关系表

MB_MODE	MB_DATA_ADDR	MB_DATA_LEN	MODBUS 功能	功能和数据类型
0	1 到 9999	1 到 2000	01	在远程地址 0 到 9998 处，读取 1 到 2000 个输出位
0	10001 到 19999	1 到 2000	02	在远程地址 0 到 9998 处，读取 1 到 2000 个输入位

续表

MB_MODE	MB_DATA_ADDR	MB_DATA_LEN	MODBUS 功能	功能和数据类型
0	40001 到 49999 400001 到 465535	1 到 125	03	在远程地址 0 到 9998 处，读取 1 到 125 个保持寄存器； 在远程地址 0 到 65534 处，读取 1 到 125 个保持寄存器
0	30001 到 39999	1 到 125	04	在远程地址 0 到 9998 处，读取 1 到 125 个输入字
1	40001 到 49999 400001 到 465535	2 到 123	16	在远程地址 0 到 9998 处，写入 2 到 123 个保持寄存器； 在远程地址 0 到 65534 处，写入 2 到 123 个保持寄存器
1	1 到 9999	2 到 1968	15	在远程地址 0 到 9998 处，写入 2 到 1968 个输出位

需要注意的是，代码编号采用的是十六进制转换，如表 5-3 中 0Fh 对应表 5-2 中的 MODBUS 代码为 15。功能代码设置举例如下。

（1）设置 MB_MODE=0、MB_DATA_ADDR=30001、MB_DATA_LEN=16 组合，即指定 MODBUS 功能代码为 04，从机器人地址读入 16 个输入位。

（2）MB_MODE=1、MB_DATA_ADDR=1、MB_DATA_LEN=2 构成的组合设定的功能代码是 15。将从远程地址 0 开始写 2 个输出位。

表 5-3 MODBUS 功能代码含义

代码编号	功能代码名	含义
01h	Read Coils	读取线圈状态，读取一组逻辑线圈的当前状态（ON/OFF）
02h	Read Discrete Inputs	读取输入状态，读取一组开关输入的当前状态（ON/OFF）
03h	Read Holding Registers	读取保持寄存器，在一个或多个保持寄存器中取得当前二进制值
04h	Read Input Registers	读取输入寄存器，在一个或多个输入寄存器中取得当前二进制值
05h	Write Single Coil	强制（写）单线，强制（写）一个逻辑线的通断状态（ON/OFF）

续表

代码编号	功能代码名	含义
06h	Write Single Register	预置（写）单寄存器把具体二进制值写入一个保持寄存器
0Fh	Write Multiple Coils	强制（写）多线，强制（写）一串连续逻辑线圈的通断状态（ON/OFF）
10h	Write Multiple Register	预置（写）多寄存器，把具体二进制值写入一串连续的保持寄存器

2.MB_DATA_PTR 说明

MB_DATA_PTR 指向待从 MODBUS 服务器接收数据的数据缓冲区，或指向待发送到 MODBUS 服务器数据所在数据缓冲区。

作为数据缓冲区，可使用全局数据块或存储区域（M）。对于存储区域（M）中的缓冲区，可通过以下方式使用 ANY 格式的指针：“P# 位地址 数据类型 长度”（如 P#M1000.0 WORD 500）。对于建立 MB-CLIENT-DATA “DB”（数据块）作为通信数据缓冲区，DB 可以为优化的数据块，也可以为标准的数据块结构。若为优化的数据块结构，编程时需要以符号寻址的方式填写该引脚；若为标准的数据块结构（右键单击 DB，“属性”中将“优化的快访问”勾选去掉），则需要以绝对地址的方式填写该引脚。MB-CLIENT-DATA “DB” 建立可参考图 5-2，建立数组分别用于读取机器人 DO 数据、写入机器人 DI 数据，数据类型采用 Bool（布尔量），数组长度为 0～64。

MB-CLIENT-DATA			
	名称	数据类型	偏移量
1	Static		
2	RBVOT	Array[0..64] of Bool	0.0
3	RBVIN	Array[0..64] of Bool	10.0

图 5-2 MB-CLIENT-DATA “DB”

3. CONNECT 说明

对于 CONNECT 参数，“MB_CLIENT” 指令支持 2 种不同的连接描述：TCON_IP_v4 和 TCON_Configured。

本任务主要针对 TCON_IP_v4 结构的设定连接进行说明。连接时，需要确认如下内容。

- （1）确保仅在 TCON_IP_v4 结构中指定了 TCP 类型的连接。
- （2）该连接不能使用下列 TCP 端口号：20、21、25、80、102、123、5001、34962、34963 和 34964。

具体 CONNECT 设置界面如图 5-3 所示。其中 TCON_IP_v4 各参数说明如表 5-4 所示。

MB_CLIENT_IP					
	名称	数据类型	偏移量	起始值	保持
1	▼ Static				
2	▼ AA	TCON_IP_v4	...		
3	■ InterfaceId	HW_ANY	...	16#40	
4	■ ID	CONN_OUC	...	16#1	
5	■ ConnectionType	Byte	...	16#0B	
6	■ ActiveEstablished	Bool	...	1	
7	▶ RemoteAddress	IP_V4	...		
8	■ RemotePort	UInt	...	5000	
9	■ LocalPort	UInt	...	0	

图 5-3 CONNECT 设置界面

表 5-4 TCON_IP_v4 各参数说明

字节	参数	数据类型	起始值	说明
0...1	Interface id	HW_ANY	—	本地接口的硬件标识符（值范围：0～65535）
2...3	ID	CONN_OUC	—	引用该连接（取值范围：1～4095）。该参数将唯一确定 CPU 中的连接。指令“MB_CLIENT”的每个实例都必须使用唯一的 ID
4	ConnectionType	Byte	11	连接类型。 对于 TCP，选择 11（十进制）。不允许使用其他连接类型。如果使用了其他连接类型（如 UDP），该指令的 STATUS 参数将输出相应的错误消息
5	ActiveEstablished	Bool	TRUE	建立连接的方式所对应的 ID。 对于主动连接建立，应选择 TRUE
6...9	RemoteAddress	Array [1..4] of Byte	—	连接伙伴（MODBUS 服务器）的 IP 地址。 例如，192.168.0.1： addr[1] = 192 addr[2] = 168 addr[3] = 0 addr[4] = 1
10...11	RemotePort	UInt	502	远程连接伙伴的端口号（取值范围：1～49151）。 使用客户端通过 TCP/IP 与其建立连接并最终通信的服务器的 IP 端口号（默认值：502）
12...13	LocalPort	UInt	0	本地连接伙伴的端口号。 (1) 端口号：1～49151； (2) 任意端口：0

4. DONE、BUSY、ERROR 和 STATUS 说明

DONE、BUSY、ERROR 和 STATUS 作为输出参数信号，可根据信号状态进行通信调试。其中，DONE 为完成标志位，只要最后一个作业成功完成，输出参数 DONE 的位置立即置为“1”；BUSY 为繁忙标志位，根据置位状态可判断 MODBUS 是否在进行请求；ERROR 为错误标志位，0 表示无错误，1 表示出错，出错原因由参数 STATUS 指示。参数 STATUS 的常规状态信息参考如下：

- 7001 已触发连接建立操作；
- 7002 中间调用，正在建立连接；
- 7003 正在终止连接；
- 7004 连接已建立且处于受监视状态，未激活任何作业执行；
- 7005 正在发送数据；
- 7006 正在接收数据。

需要注意的是，MODBUS/TCP 通信需要用分时控制各 MB_CLIENT 功能块。在同一时间只能有一个 MB_CLIENT 功能块的 DISCONNECT 处于 OFF（即建立连接），否则会出现通信异常。所以在建立 MB_CLIENT 功能块时候常常使用 DONE 和 BUSY 信号作为连接建立的分断信号，以确保一个时段只有一个 MB_CLIENT 功能块建立连接。DONE 和 BUSY 信号编程如图 5-4 所示，根据所需功能块数量的不同需要做相应增减。

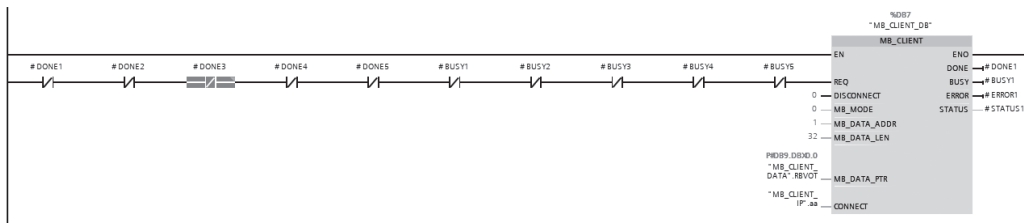


图 5-4 DONE、BUSY 信号编程

任务实施

本次任务要求熟练掌握 MODBUS/TCP 通信协议及 MB_CLIENT 指令参数含义。

任务书

任务名称	掌握 MODBUS/TCP 通信协议及 MB_CLIENT 指令参数含义						
班级		姓名		学号		组别	
任务内容	任务： 1. 说明 MODBUS/TCP 通信协议的特点； 2. 解释 MB_CLIENT 指令各个参数含义						
任务目标	1. 了解 MODBUS 协议特点； 2. 掌握 MODBUS/TCP 通信协议相关指令参数含义； 3. 能正确使用软件完成 MB_CLIENT 指令相关参数设置						

续表

资料	工具	设备
工业机器人安全操作规程	常用工具	生产性实训数控产线平台
生产性实训数控产线平台使用手册	—	—
工业机器人搬运工作站说明书	—	—

任务评价

参考任务完成评价表，对掌握 MODBUS/TCP 通信协议及 MB_CLIENT 指令参数含义任务完成的准确度进行评价，并根据实际情况进行总结。

任务完成评价表

评价项目		评价要求	评分标准	分值	得分
任务内容	特点说明	理论解答	结果性评分，能正确说明 MODBUS/TCP 通信协议特点	40 分	
	参数含义说明	理论解答	结果性评分，MB_CLIENT 指令各参数含义正确	40 分	
安全文明生产	设备	保证设备安全	1. 设备每损坏 1 处扣 1 分； 2. 人为损坏设备扣 10 分	10 分	
	人身	保证人身安全	否决项，发生皮肤损伤、撞伤、触电等，本次任务不得分		
	文明生产	遵守各项安全操作规程，实训结束要整理现场	1. 违反安全文明生产考核要求的任何一项，扣 1 分； 2. 当教师发现有重大人身事故隐患时，要立即制止，并扣 10 分； 3. 不穿工作服，不穿绝缘鞋，不得进入实训场地	10 分	
合计				100 分	

任务二 PLC 与机器人通信

任务描述

工业自动化生产中，PLC 作为控制核心，负责监控和协调各种设备。机器人则主要用于执行重复、精确的任务。PLC 与机器人之间的有效通信，能够确保各个工位之间的协调运作，从而提高生产效率，是实现自动化生产线的关键。PLC 与机器人之间的通信方式多

种多样，本任务介绍使用 MODBUS/TCP 通信协议实现 PLC 与机器人建立通信的方法。

任务目标

知识目标

- (1) 掌握 MODBUS/TCP 通信协议相关指令参数含义。
- (2) 掌握 FANUC 机器人与西门子 PLC 通信建立的方法。

能力目标

能正确完成 FANUC 机器人与西门子 PLC 的通信建立。

知识储备

机器人与 PLC 通信操作步骤如下。

一、PLC 侧 MB_CLIENT 功能块编写

机器人与 PLC 通信采用 TIA Portal (博途) V15 软件进行编写。详细设计步骤如下。

(1) 打开博途 V15 软件，单击“创建新项目”按钮，在右侧填写相应信息创建项目，再单击左下角“项目视图”按钮，如图 5-5 所示。

(2) 双击左侧项目树中的“添加新设备”按钮，弹出对话框，选择 PLC 型号为 SIMATIC S7-1200。如果可以使用计算机在线连接 S7-1200 CPU，且 CPU 的外展模板已经接插完毕，则后续可以使用自动检测完成设备硬件配置，型号选择如图 5-6 所示。如果已知 CPU 型号，则可根据型号对应选择。



图 5-5 博途 V15 创建项目界面

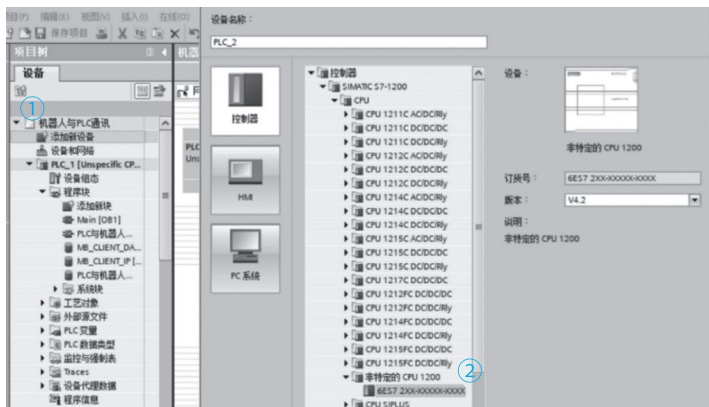


图 5-6 添加设备

(3) 单击左侧项目树中“程序块”→“添加新块”按钮，选择函数块 (FB) 进行添加。为了后续便于区分，“名称”可记为“PLC 与机器人间通讯”^①，如图 5-7 所示。



图 5-7 添加 FB

(4) 如图 5-8 所示，在“PLC 与机器人间通讯”FB 中，单击右侧垂直项目栏“指令”→“通信”按钮，下拉菜单选择“其他”选项，找到“MODBUSTCP”，双击执行“MB_CLIENT”指令，进行 MB_CLIENT 功能块添加。如需具体了解该功能指令详细信息，可将鼠标置于功能块上方，按下 F1 键进入信息系统，查询相关参数含义。

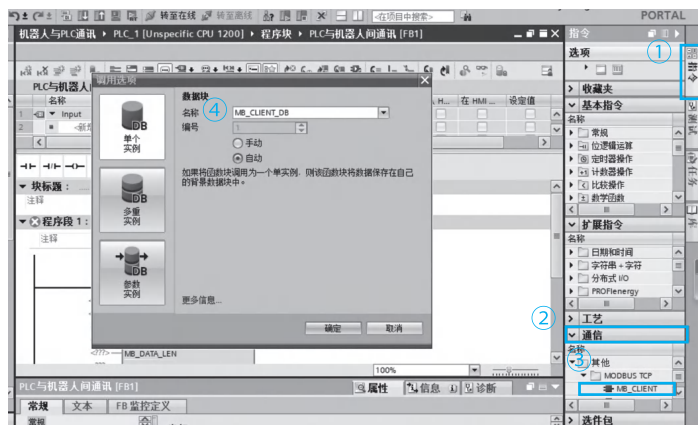


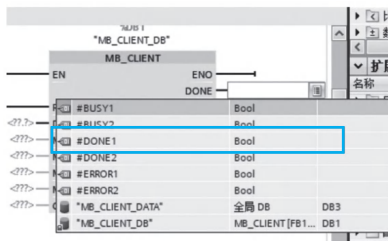
图 5-8 添加 MB_CLIENT 功能指令

^① 规范用法为“通信”，正文和图片需要一致时，本书遵循图文对应原则。

(5) 添加功能块信号。如图 5-9 (a) 所示, 在“Static”下创建 DONE、BUSY、ERROR 和 STATUS 信号各两个(添加个数与 MB_CLIENT 个数相对应)。STATUS 信号数据类型设置为“Word”, 其余均为“Bool”。如图 5-9 (b) 所示, 在 MB_CLIENT_DB 的“DONE”处单击, 在弹出框中选中“#DONE1”, 其余信号同理选择设置。

名称	数据类型	默认值
5 InOut		
6 <新增>		
7 Static		
8 DONE1	Bool	false
9 DONE2	Bool	false
10 BUSY1	Bool	false
11 BUSY2	Bool	false
12 ERROR1	Bool	false
13 ERROR2	Bool	false
14 STATUS1	Word	16#0
15 STATUS2	Word	16#0
16 Temp		

(a)



(b)

图 5-9 添加功能块信号

(a) 创建信号; (b) 添加信号

为保证同一时间只有一个 MB_CLIENT 功能块的 DISCONNECT 处于 OFF, 在 REQ 参数前添加 DONE 和 BUSY 的常闭开关作为分断信号, 如图 5-10 所示。

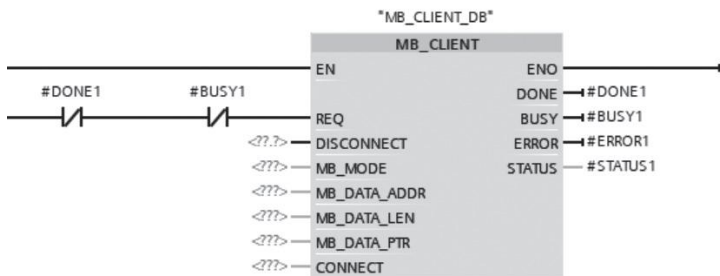


图 5-10 添加分断信号

(6) 如图 5-11 所示, MB_CLIENT 指令“DISCONNECT”处输入 0, 即与通过 CONNECT 参数组态的连接伙伴建立通信连接。输入 MB_MODE=0、MB_DATA_ADDR=1、MB_DATA_LEN=40 组合, 即指定 MODBUS 功能代码为 01, 从远程地址 0 读取 40 个输出位。

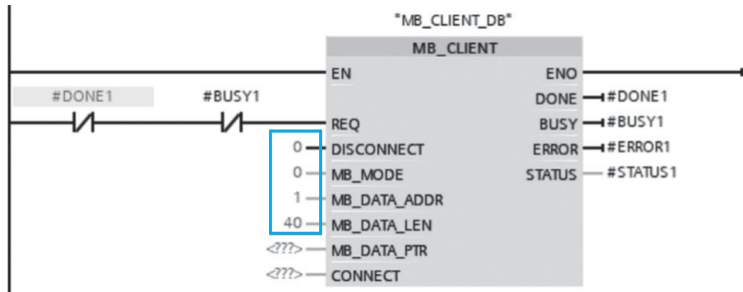


图 5-11 MODBUS 功能相关参数输入

(7) 添加 MB_DATA_FIR 数据缓冲区。单击左侧项目树“添加新块”按钮, 选择创

建数据块并将数据块命名为“MB_CLIENT_DATA”。右击新建的块，单击“属性”按钮，并在新弹出的窗口中单击“属性”按钮，将右侧“优化的块访问”的勾选取消，步骤如图 5-12 所示。

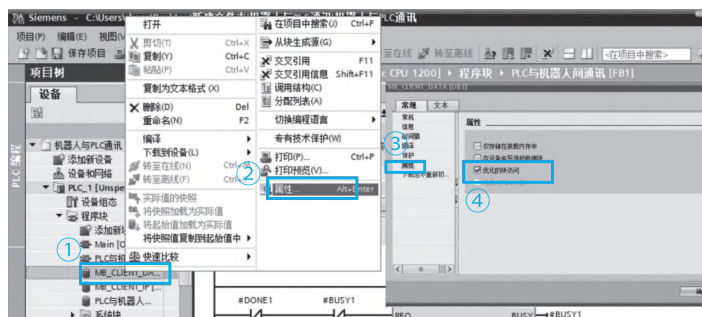


图 5-12 取消“优化的块访问”步骤

在“MB_CLIENT_DATA”DB 中添加 DO 和 DI 信号数组，分别用于读取机器人 DO 数据和写入机器人 DI 数据，数据类型选择 Bool，数组长度设置为 0~64，如图 5-13 (c) 所示。添加后的信号数组如图 5-13 (a) 所示，单击对应信号数组拓展键，数组内的信号如图 5-13 (b) 所示。



图 5-13 数据缓冲区

单击 MB_DATA_FIR 参数处，选择“MB_CLIENT_DATA”→“DO[]”→“无”，其中选择“无”即选择对应数组内的所有信号地址，如图 5-14 所示。

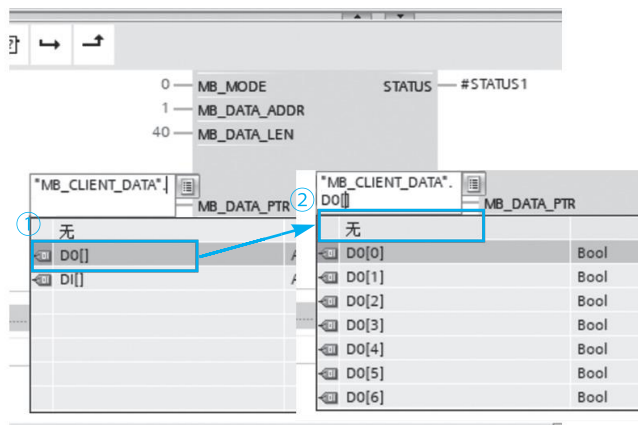


图 5-14 “MB_CLIENT_DATA”DB 块添加

(8) 建立 MB_CLIENT_IP 数据块用于设置通信连接结构和参数。单击左侧项目树“添加新块”按钮,选择创建数据块并命名为“MB_CLIENT_IP”。右击新建的块,单击“属性”按钮,并在新弹出的窗口中单击“属性”按钮,将右侧“优化的块访问”的勾选取消。

名称可自行定义,数据类型需要手动输入,输入内容为“TCON_IP_v4”,回车确定后出现如图 5-15 (a) 的下拉内容。其中,“Interfaceid”和“ID”分别设置为“16#40”和“16#1”。“ActiveEstablished”需要主动连接建立,选择 TRUE 或输入 1。“ADDR”下拉为 IP 地址设置,需与机器人的主机通信 IP 一致,以 192.168.8.13 为例,由于此处设置为 16 进制,因此分别输入 16#C0.16#A8.16#8.16#0D。“RemotePort”端口号设置为 502,此处设置的值要和机器人变量中设置的值保持一致,变量查询方法见机器人侧具体操作步骤。

单击 CONNECT 参数处,依次选择“MB_CLIENT_IP”.AA.→“无”,如图 5-15 (b) 所示。

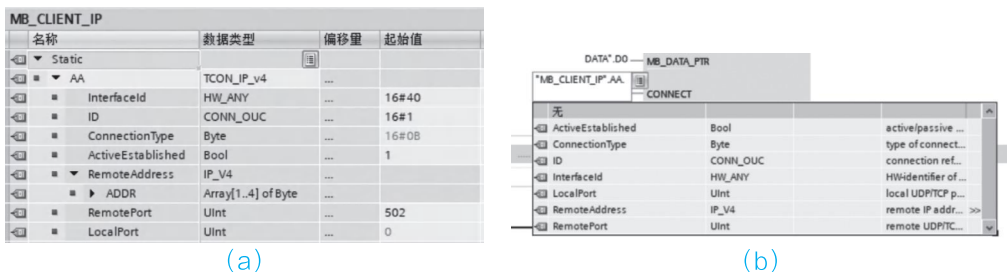


图 5-15 MB_CLIENT_IP 数据块参数设置

(a) 参数界面; (b) 参数选择添加

(9) 继续添加“MB_CLIENT”指令作为写入块,连接方式如图 5-16 所示,需要注意的是,写入块名称需要和上一个读取块名称保持一致。

参数设置具体步骤方法同上。不同设置点如下。

- ① REQ 参数前添加“#DONE1”信号,当上一个指令完成后再进行启动。
- ② 输入 MB_MODE=1、MB_DATA_ADDR=40041、MB_DATA_LEN=3 组合,即指定 MODBUS 功能代码为 16,从远程地址 100 写入 3 个保持寄存器。
- ③ MB_DATA_PTR 参数选择“MB_CLIENT_DATA.DI”信号。

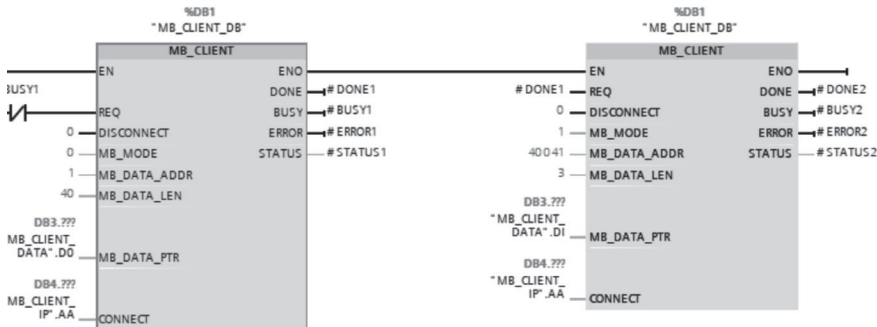


图 5-16 MB_CLIENT 数据块 (写入功能) 参数设置

(10) 调用功能块。在主程序中添加调用“PLC 与机器人间通讯”功能块，如图 5-17 所示。

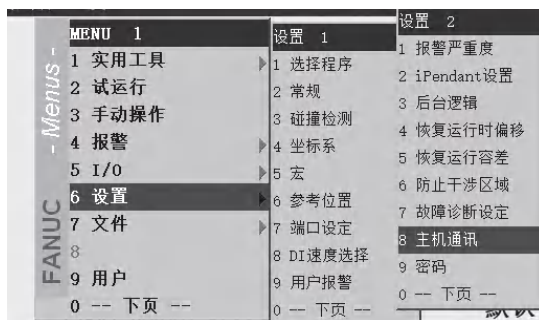


图 5-17 PLC 与机器人间通讯功能块调用

二、机器人侧设置

1. 机器人侧 IP 设置

单击示教器上“MENU”按钮，选择“设置”→“主机通讯”选项，如图 5-18 (a) 所示。进入画面后，光标移到 TCP/IP 上单击详细，在画面上设置 IP 地址，此处以 192.168.8.13 为例。子网掩码设置为 255.255.255.0，路由器 IP 地址设置为 192.168.8.1 (可以不设)。此处 IP 需与 PLC 侧“MB_CLIENT_DATA”中的 IP 地址一致，如图 5-18 (b) 所示。



(a)



(b)

图 5-18 机器人侧 IP 设置

(a) 通讯界面选择步骤; (b) IP 设置界面

2. 机器人侧 I/O 地址分配

单击示教器“MENU”→“系统”→“配置”按钮，光标移动到第 44 项“UOP 自动分配”下，单击“选择”→“全部”按钮，如图 5-19 所示。确定后出现“清楚所有 I/O 分配，应用该设置”对话框，单击“是”按钮。当看到“重新启动，应用新的 UOP 分配？”对话框时，将示教器断电重启。DI/DO 信号地址分配步骤如下。

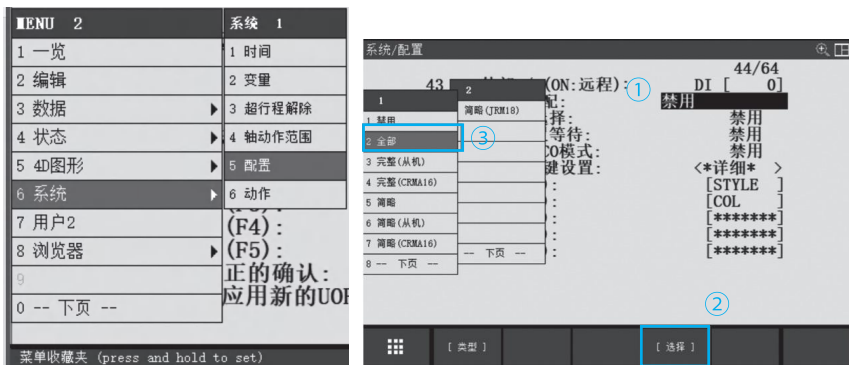


图 5-19 UOP 自动分配步骤

单击示教器“MENU”→“I/O”→“数字”按钮进入 I/O 数字信号地址界面，单击“IN/OUT”按钮可进行 DI 信号和 DO 信号的切换。选择“分配”选项，设置 DO 地址开始点为 1，DI 地址开始点为 41。注意 DO 和 DI 信号地址不要有重叠，需要错开使用，如上设置使用的信号地址为 DI[1]~DI[40]，DO[41] 及以后。设置完成后重新启动，如图 5-20 所示，状态为 ACTIV，说明设置生效。

#	范围	机架	插槽	开始点	状态
1	DO[1-512]	0	0	1	ACTIV

(a)

#	范围	机架	插槽	开始点	状态
1	DI[1-512]	0	0	41	ACTIV

(b)

图 5-20 数字信号地址分配

(a) DO 信号地址分配; (b) DI 信号地址分配

3. 机器人侧变量设置

(1) \$SNPX_PARAM 设置。单击示教器“MENU”→“系统”→“变量”按钮，找到系统变量 641\$SNPX_PARAM。注意：不同版本型号机器人的变量序号可能不同。

单击“详细”，进入系统变量画面，如图 5-21 所示。\$MODBUS_ADR 是从动装置地址，标准情况下已被设定为 1。要使用 Ethernet（以太网）连接，需要在系统变量 \$NUM_MODBUS（标准值：0）中设定同时连接的外部触摸屏数，此处设定为 2。\$MODBUS_PORT 变量设置的是端口，此处设定为 502，需与 PLC 处端口设置一致。

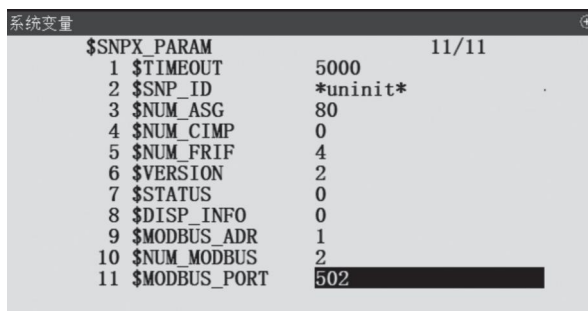


图 5-21 系统变量画面

(2) \$SNPX_ASG 设置。单击示教器“MENU”→“系统”→“变量”按钮，找到系统变量 640\$SNPX_ASG。注意：不同版本型号机器人的变量序号可能不同。

单击“详细”，进入画面，系统变量 \$SNPX_ASG 是 \$SNPX_ASG[1]~[80] 的 80 个排列变量。排列各要素的变量构成如表 5-5 所示。通过设定这些变量，即可将各种各样的数据分配给保持寄存器。

表 5-5 \$SNPX_ASG 变量说明

\$SNPX_ASG 的变量	说明
\$ADDRESS	含义：要分配的保持寄存器的开始地址。 范围：1~16384
\$SIZE	含义：要分配的保持寄存器的地址数。 范围：1~16384
\$VAR_NAME	含义：表示要分配的数据的字符串。 通过字符串，指定数据的种类和编号。设定内容随要分配的数据而不同。 例：R[1] : R[1] PR[1] : PR[1] POS[1] : 组 1 的现在位置
\$MULTIPLY	含义：乘数 指定将实际的数据值反映到保持寄存器时的形式。设定内容随要分配的数据而不同。 例：寄存器的情况下，实际值为 123.45 时的保持寄存器的值如下所示。 \$MULTIPLY 为 1 时，123 \$MULTIPLY 为 0.1 时，12 \$MULTIPLY 为 10 时，1235

DI 地址 \$SNPX_ASG[1] 设置如图 5-22 所示。\$ADDRESS 设置为 41。\$SIZE 设置为 3，\$VAR_NAME 设置为 DI[41]，\$MULTIPLY 设置为 0，即不做乘数变化。

系统变量		
\$SNPX_ASG[1]		1/4
1 \$ADDRESS	41	
2 \$SIZE	3	
3 \$VAR_NAME	'DI[41]'	
4 \$MULTIPLY	0.000	

图 5-22 DI 地址 \$SNPX_ASG[1] 设置

DO 地址 \$SNPX_ASG[2] 设置如图 5-23 所示。设置内容同 DI 地址变量，其中 \$ADDRESS 设置为 1，\$SIZE 设置为 2，\$VAR_NAME 设置为 DO[1]，\$MULTIPLY 设置为 0，即不做乘数变化。

需要注意，\$ADDRESS 的开始地址定义需要和 MB_CLIENT 指令中的 MB_DATA_ADDR 参数尾数保持一致，且要求各信号的 \$ADDRESS 地址不能重复。

系统变量		
\$SNPX_ASG[2]		1/4
1 \$ADDRESS	1	
2 \$SIZE	2	
3 \$VAR_NAME	'DO[1]'	
4 \$MULTIPLY	0.000	

图 5-23 DO 地址 \$SNPX_ASG[2] 设置

三、PLC 侧与机器人侧信号关系对应

1.DO 信号转换

使用 MOVE 指令，将 IN 输入处操作数中的内容传送给 OUT1 输出的操作数中。DO 信号转换程序如图 5-24 所示，定义 PLC 信号 M200.0 对应机器人 DO[1] 信号，以此类推对应关系。

例：当 DO[2] 值为 1 时，对应 M200.2 信号会被接通，可使用该信号进行相关 PLC 程序编写。

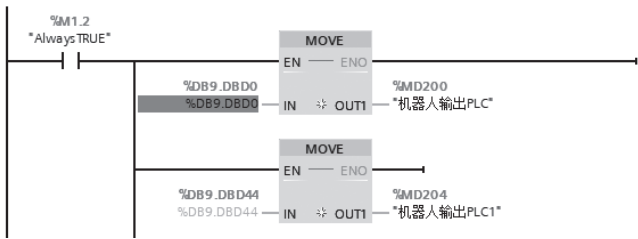


图 5-24 DO 信号转换程序

2.DI 信号转换

使用 SWAP 指令更改输入 IN 中字节的顺序，并在输出 OUT 中查询结果。DI 信号转换程序如图 5-25 所示，PLC 信号 M100.0 对应机器人 DI[40] 信号，以此类推对应关系。

例：当 DI[2] 值为 1 时，对应 M100.2 信号会被接通，可使用该信号进行相关 PLC 程序

编写。

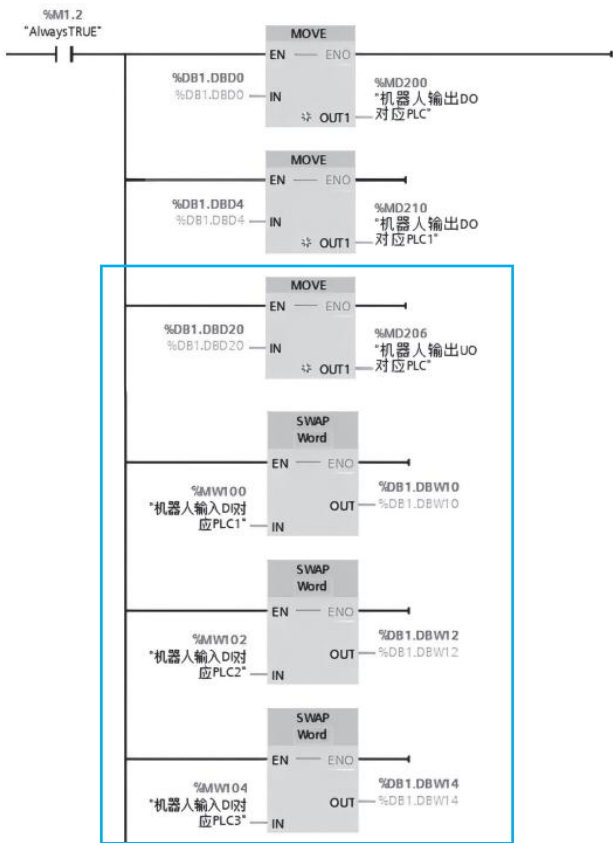


图 5-25 DI 信号转换程序

任务实施

本次任务要求实现生产线设备数据交互，即 PLC 与 FANUC 机器人通信建立。

任务书

任务名称	实现生产线设备数据交互（PLC 与 FANUC 机器人通信建立）						
班级		姓名		学号		组别	
任务内容	实操任务： 1. 博途任务新建； 2.MB_CLIENT DB 读取功能块参数设置； 3.MB_CLIENT DB 写入功能块参数设置； 4. 机器人 I/O 地址分配； 5. 机器人 IP 设置； 6. 机器人系统变量设置； 7.PLC 侧与机器人侧信号关系对应。						

续表

任务内容	注意： 通信建立完毕后，需进行检验调试。编译程序，对信号地址进行监控。机器人侧在示教器上将 DO[1] 置为 ON，观察 PLC 侧 MB_CLIENT_DATA 块中 DO[0] 是否变化为“TRUE”。若是，即表示 PLC 与 FANUC 机器人通信建立成功		
任务目标	1. 了解 MODBUS 通信协议； 2. 掌握 MB_CLIENT 指令相关参数设置方法； 3. 掌握 FANUC 机器人侧相关参数设置方法； 4. 掌握 FANUC 机器人 I/O 地址分配方法； 5. 掌握 PLC 侧与机器人侧信号关系建立方法； 6. 能正确完成 FANUC 机器人与西门子 PLC 通信建立		
资料		工具	设备
工业机器人安全操作规程		常用工具	生产性实训数控产线平台
生产性实训数控产线平台使用手册		—	—
工业机器人搬运工作站说明书		—	—

任务评价

参考任务完成评价表，对实现生产线设备数据交互（PLC 与 FANUC 机器人通信建立）任务完成的准确度进行评价，并根据实际情况进行总结。

任务完成评价表

评价项目		评价要求	评分标准	分值	得分
任务内容	PLC 侧 MB_CLIENT 功能指令设置	规范操作	结果性评分，功能指令 MB_MODE、MB_DATA_ADDR、MB_DATA_LEN、CONNECT、DISCONNECT、MB_DATA_PTR 设置正确	25 分	
	机器人侧参数设置	规范操作	结果性评分，机器人示教器 I/O 地址分配、IP 设置和系统变量设置正确	25 分	
任务内容	PLC 侧与机器人侧信号对应关系建立	规范操作	结果性评分，“MOVE”和“SWAP”指令使用正确	15 分	
	PLC 与 FANUC 机器人通信调试	结果检验	结果性评分，编译程序，改变机器人示教器 DO 信号，PLC 侧对应 DO 信号状态发生改变	15 分	
安全文明生产	设备	保证设备安全	1. 设备每损坏 1 处扣 1 分； 2. 人为损坏设备扣 10 分	10 分	
	人身	保证人身安全	否决项，发生皮肤损伤、撞伤、触电等，本次任务不得分		

续表

评价项目		评价要求	评分标准	分值	得分
安全文明生产	文明生产	遵守各项安全操作规程，实训结束要整理现场	1. 违反安全文明生产考核要求的任何一项，扣 1 分； 2. 当教师发现有重大人身事故隐患时，要立即制止，并扣 10 分； 3. 不穿工作服，不穿绝缘鞋，不得进入实训场地	10 分	
合计				100 分	

拓展阅读

中国首条规模化民用航空轮胎生产线建成投产

航空轮胎是影响飞机起降安全的关键配套部件，在飞机的起飞、着陆、滑行、转向、制动等过程中起到重要作用，因此对其安全性与可靠性的要求都极高。

中国中化控股有限责任公司下属企业桂林蓝宇航空轮胎发展公司负责人陆恒玉介绍，当前全球的轮胎企业有上千家，但能生产航空轮胎的只有十余家。截至 2023 年底，中国共有民航运输飞机 4000 余架，预计年消耗轮胎 25 万余条。

中国首套复杂工况航空轮胎起降测试平台也同步上线。据介绍，此次上线的测试平台，可在室内模拟轮胎在“超高加速度起飞、超高加载速率、异物损伤试验”等复杂环境下的起降测试，为民航轮胎研发提供数据支持和验证。

中国工程院院士、西安交通大学校长张立群表示，近年来，中国航空轮胎行业在技术创新和产业升级方面取得了显著进展，多家国内企业已经成功研发出高性能航空轮胎，并通过了相关认证。

记者了解到，目前中国民用航空市场拥有 10 余种机型的运输机，配套使用的民航轮胎有 30 余种规格。中国中化控股有限责任公司发布了 C909、A320、B737 NG 等 6 个机型 12 种规格的民航轮胎，所有产品具备完全自主知识产权，可覆盖国内 80% 民航机队配套品类需求。

——摘自《中国首条规模化民用航空轮胎生产线建成投产》
(新华网，2024 年 11 月 25 日)