

江苏集萃智能制造技术研究所有限公司

INSTITUTE OF INTELLIGENT MANUFACTURING TECHNOLOGY, JITRI

与人共融轻型协作机器人

使用说明书

Service Manual



文件修订历史

文件版本	修订日期	修订原因
V1.0	2019-06-06	创建文档
V1.0	2019-07-23	调整目录，增加速度条控制关节移动速度，对上电设置界面进行了更改
V1.1	2019-08-13	增加脚本程序编写方法说明
V1.2	2019-08-19	增加状态指示灯、在程序控件中增加停止按钮
V1.3	2019-08-21	增加工具坐标系标定
V1.4	2019-12-15	新增逻辑语句条件判断与基于电流的碰撞检测
V1.5	2020-01-15	新增关闭程序退出确认指令与程序打开保护
V1.6	2020-02-18	新增基座标与工具坐标下的运动规划
V1.7	2020-03-20	新增上电启动发送重力模型方向与开机自启动
V1.8	2020-04-08	修改适配多圈编码器的编码器值接收与下发规划
V2.1	2020-10-30	适配硬件电路板、MODBUS 的 IO 通信改为 485 通信，更改运行时间长灰屏现象，增加用户坐标、TCP 标定、脚本增加 wait 语句、goto 语句，同时对多个 BUG 进行修复。
V2.2	2021-1-14	迭代碰撞与拖动算法，修复测试中发现的 bug。
V3.1	2021-04-17	人机交互界面更新，运动算法、树形结构完善完善运动学算法、圆弧、直线、交融
V3.2	2021-06-04	新增通信接口案例（AGV、视觉传感器）
V4.1	2022-03-29	无桌面系统应用界面修改
V4.2	2022-06-07	修改工具坐标系标定步骤，修订机器人 modbusTCP 通信

机器人应用文档目录

1. 机器人安装和启动
 - (1) 安装和启动教程
 - (2) 产品发货清单
2. 机器人基本运行
 - (1) 机器人安装方式选择
 - (2) 3\5\10\16Kg 机器人 3D 模型 STEP 和 PDF 版本
 - (3) 机器人编程设计
 - (4) 机器人导入程序
 - (5) 机器人基本运行
 - (6) 机器人速度和加速度设置
 - (7) 机器人运行轨迹模式选择
 - (8) 机器人运行设置和等待功能
 - (9) 机器人运行条件功能
 - (10) 机器人用户坐标标定
 - (11) 机器人工具坐标系标定
3. 机器人碰撞检测
 - (1) 机器人碰撞等级和负载设置
4. 机器人拖拽示教
 - (1) 机器人拖拽示教
5. 机器人 IO 通信
 - (1) 机器人主板 IO 通信
 - (2) 机器人末端 IO 通信
6. 机器人 modbus 通信
 - (1) 机器人 modbus 通信手册
 - (2) Modbus 应用于零售例程
7. 机器人 Socket 通信
 - (1) 机器人 Socket 函数接口使用说明
8. 设定警示安全工作区域、机器人自动加载默认程序
 - (1) 设定安全工作区域警示
 - (2) 外部触发机器人开机，自动运行默认程序

一、IIMT-CA 系列机器人发货清单

1. 机械臂本体
2. 控制柜+示教器
3. 机械臂本体动力线 1 根： 8 芯哈亭接口版
4. 220V 电源线 1 根： 3 芯电源线
5. 合格证
6. 说明书 （电子版下载地址：<http://www.iimt.org.cn/DownloadPage.aspx>）
7. 安装螺丝： 6 个
8. 包装箱 2 个
9. 机器人尺寸模型和. step 模型 （电子版下载地址：<http://www.iimt.org.cn/DownloadPage.aspx>）

IIMT-CA 系列机器人安装和开机启动教程

二、机器人安装

- 1、机器人取出：将 2 个箱体放平，取出机械臂本体、控制柜和主要配件，包括：
 - a) 机械臂本体动力线 1 根： 8 芯哈亭接口版
 - b) 220V 电源线 1 根： 3 芯电源线
 - c) 安装螺丝 6 个
- 2、安装动力线缆：动力线为 5 米的 2 端带 8 芯哈亭接口线束，功能为将机械臂本体和控制柜连接，安装时注意扣紧；
- 3、安装电源线：控制柜端为 3 芯哈亭接口，另一端为 3 相线插头；
- 4、安装机械臂本体，使用附带的 6 个内六角螺丝，安装在底座上；
底座的制作尺寸参见机器人附带尺寸图和模型；

5、电源线插头接入三相电，三相电合格范围为：90~264VAC ， 47~63Hz；

6、转动电源钥匙，进入待启动状态。

三、机器人开机启动

机器人开机后，进入初始的“设置”页面，主要包括“系统设置”、“功能区”。

在系统设置区，通过开机按钮可对电压 48V 控制，按下电源后，检测所有关节信号状态，正常加电后，指示灯变绿色，此时开机按钮变为 启动 按钮；机器人电源接通后，电机抱闸尚未释放，各个关节还不可以运行；点击启动 按钮机器人抱闸释放。然后可通过移动选项卡，操作机器人的各个关节转动。



图 1 初始状态

机器人开机后，检测通讯是否正常。点亮电源，监控面板电压 U，电流值实时刷新。

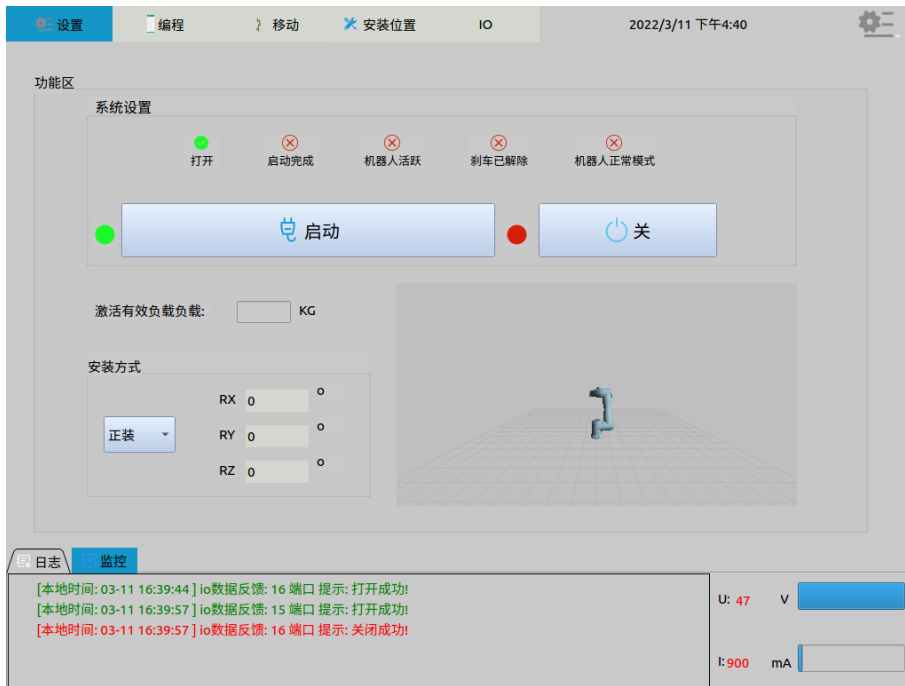


图 2 启动状态

(1) 电源上电完成，关节通讯正常，电源灯打开（绿色灯）后，关节通讯正常后，启动按钮使能，点击启动会使机器人进入操作状态，可进行机器人移动，编程运动等操作。可通过日志确认各个关节电机抱闸是否成功释放，开机成功后如下图所示，5 个显示灯全亮绿灯，表示启动成功。

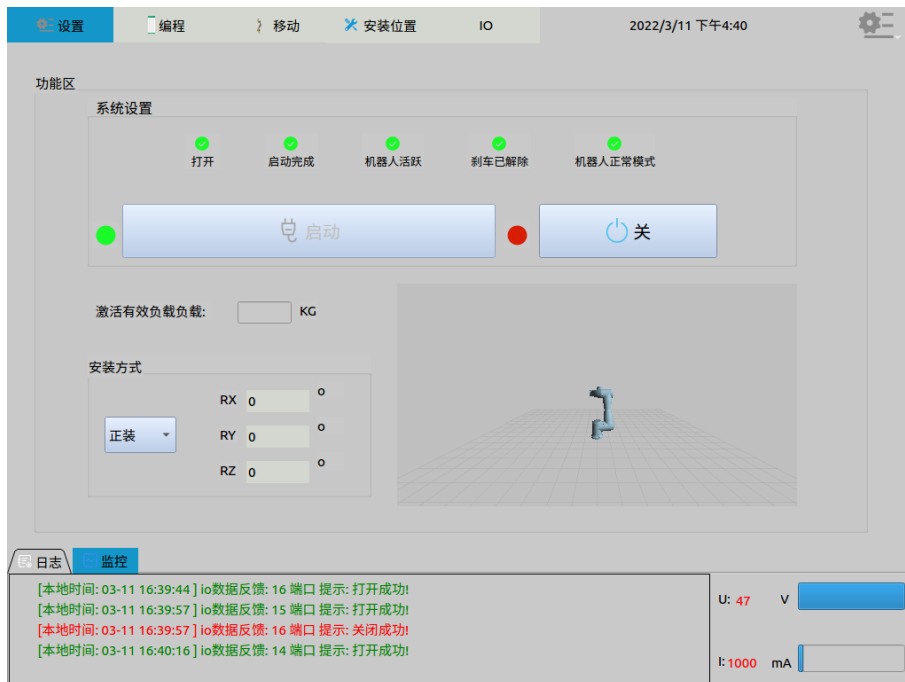


图 3 正常开机视图

(2) 点击关机按钮，可使机器人进入待机状态，此时机器人本体电源断开，电机抱闸锁死。



图 4 机器人关机

四、机器人安装方式选择

机器人安装方式接口丰富，用户可按照自己的需要采用正装、侧装、倒装和自定义安装方式；

根据实际情况，用户自行选择，切记注意，安装方式的选择是在机器人开机前。参考下图：



图 5 安装方式

五、机器人基本运行

机器人基本运行在“移动”界面实现，如图所示：



图 6 移动界面

机器人在直角坐标系下运行，包括笛卡尔坐标和工具坐标两种模式；如图中第 1 和第 2 部分

在笛卡尔坐标系下，按住 X+、X- 沿笛卡尔坐标(机器人基座坐标系)的 X 轴正、负方向移动、Y+、Y- 沿笛卡尔坐标的 Y 轴正、负方向移动、Z+、Z- 沿笛卡尔坐标的 Z 轴正、负方向移动，将按所指示的方向移动机器人的工具；

在笛卡尔坐标系下，按住 RX-、RX+、RY-、RY+、RZ-、RZ+，将按所指示的方向移动机器人基座 X、Y、Z 的方向，旋转点即工具中心点；可随时释放按钮，使机器人停止运动。

图中第 3 部分为机器人位姿实时显示 3D 图。

机器人单关节运行，在图中第 4 部分：可通过 + / - 按钮控制机器人关节向单方向移动。移动范围到达极限后自动停止；同时可以通过速度条控制移动的速度。

图中第 5 部分显示机器人实时位姿，屏幕右上角显示的是 TCP 位置坐标值和方向坐标值。

六、机器人的运行轨迹模式选择

机器人运行模式在编程界面中选择，点击移动类型可进行 3 种模式的选择



图 7 移动类型

移动类型可以从 MOVEJ、MOVEL 和 MOVEP 三种移动方式进行选择。

(1) MOVEJ 将在机器人手臂关节区内执行所计算的移动。系统同时控制每个关节运动至所需的终点位置。此移动类型将为工具提供一个曲线路径。如果希望机器人手臂在路点之间快速移动，而不用考虑工具在这些路点之间的移动路径，此移动类型是个不错的选择。

(2) MOVEL 将使工具在路点之间进行线性移动。这意味着每个关节都会执行更为复杂的移动，以使工具保持在直线路径上。

(3) MOVEP 将使工具在路点之间进行圆弧移动。

(2) 机器人的速度和加速度设置

(3) 在编程界面下，选择机器人程序下的需要设置的路径，在命令栏中，设置机器人的速度、加速度、加加速度等信息；

七、机器人运行设置和等待功能

设置功能

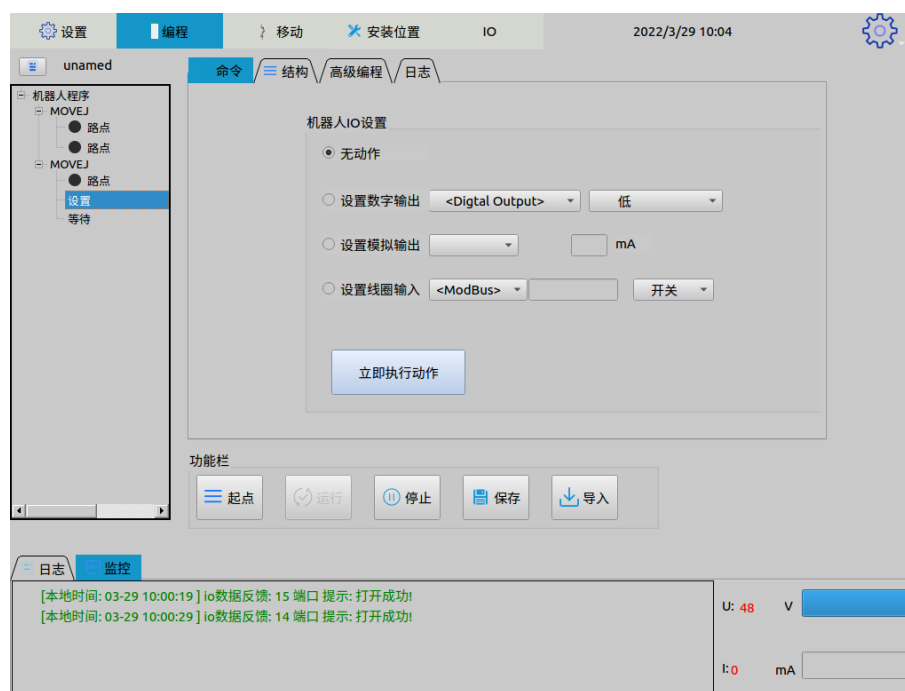


图 8 设置命令

机器人的 IO 设置包含无动作命令、设置数字输出，状态、立即执行动作按钮。



图 9 输出 IO 口

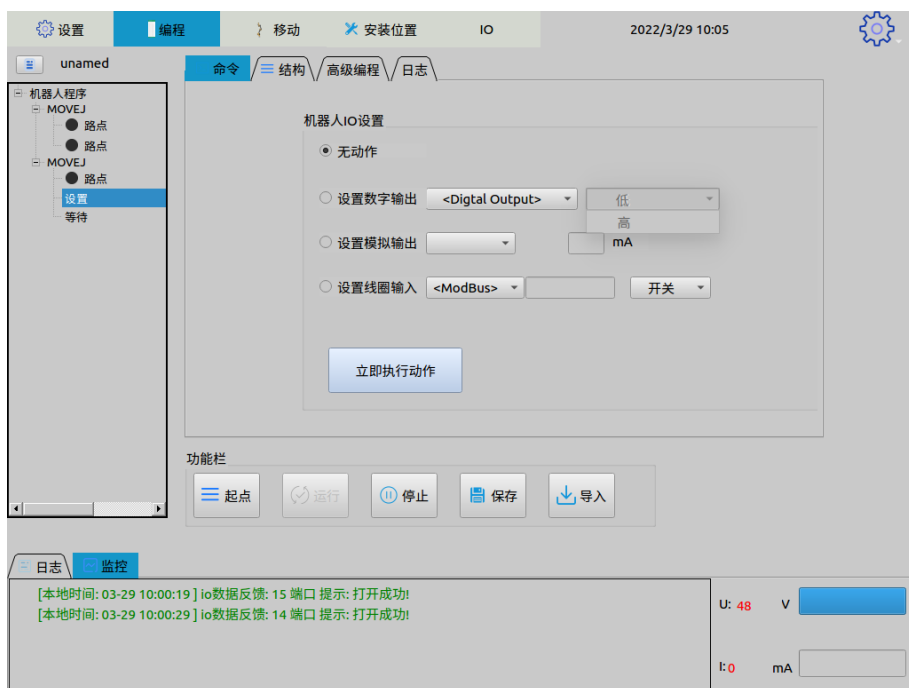


图 10 状态选择

等待功能

机器人添加等待功能，其属性如图，



图 11 等待

- 1、等待常见的按照时间休眠程序，当时间结束后，机器人程序继续执行
- 2、如果与外部 IO 进行等待、接入机器人的数字输入口，等待条件即是当前数字的 io 状态与等待的 io 状态一致时，机器人动作。

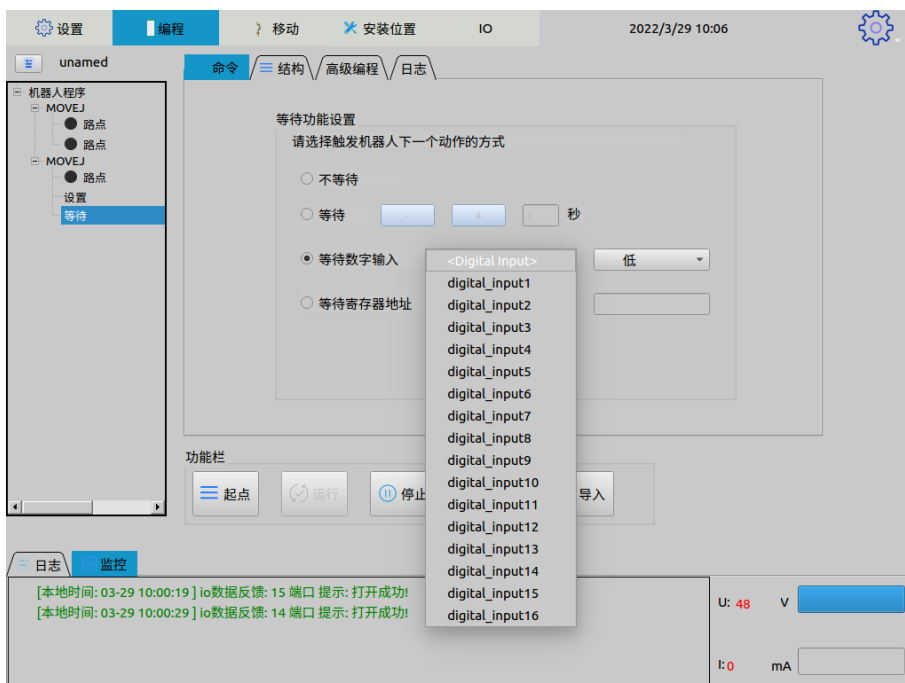


图 12 IO 状态设置

八、机器人条件功能

程序条件的设置，编写语句如下，外部输入作为判断条件，io0_in 代表数字 io 的输入，io0_out 代表数字 io 的输出，分别表示从输入读取与输出读取状态，如果满足，程序会在下个规划内执行要执行的动作。



图 13 机器人条件设置



图 14 输入条件设置界面

当改条件满足时进入分支内执行，条件不满足，程序跳过该分支里的全部运动路点

九、机器人编程设计

机器人编程功能，主要为路点界面编程，在“编程”界面中实现，如图 1 所示



图 15 机器人编程界面

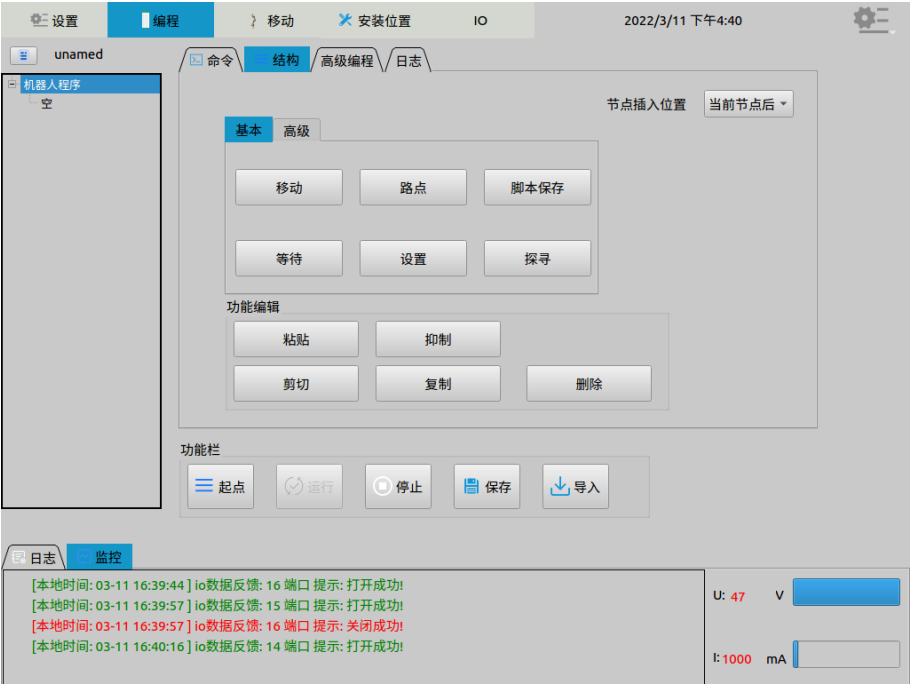


图 16 结构基本功能



图 17 结构高级功能

机器人程序结构下有基本功能框以及高级功能框，基本框功能包括机器人的移动、路点、脚本保持、等待、设置。高级框有条件控制语句。功能编辑框内，包含对结构的复制、粘贴、删除、剪切功能。

左侧的程序树(program)以程序元素列表形式显示该程序，如移动元素，条件元素，路点元素，等待元素。屏幕右侧区域显示与当前元素相关的信息。当前元素可通过单击命令列表来设置属性值，如路点值，到达该路点的运动速度等。

起点：在机器人完成程序编写后，各个路点设定完成，速度设定完成。开始运行程序前需要点击起点，机器人会通过关节运动模式停止在第一个路点位置；

运行：点击运行，机器人从第一个路点，从零速度开始运行设定程序；

停止：点击停止，机器人停止运行；重新开始运行程序，必须要执行起点 - 运行 操作；

保存：对编写调试好的程序进行保存。在弹出框填写程序文件名，采用全英文程序名称，注意保存路径中也不要包含中文；

导入程序：可导入之前编写好的机器人程序。注意程序运行前，均需要点击起点操作后，方可运行程序；



图 18 路点属性

点击移动，添加机器人运动属性点，每个移动下，都会有移动的目标点，点击路点后，命令下有路点属性，包括路点的设置、运动到该路点，以及该路点的 6 个关节角度值，包括该路点运动下的速度设定。

要插入新命令，遵循以下步骤：

- (1) 选择现有程序命令，如移动、条件、设置等；
- (2) 选择应将新命令插入所选命令的上方还是下方，通过按钮前 / 后进行选择；
- (3) 命令选项卡中设置当前程序元素的属性值，如路点值，到达该路点的运动速度等。

注意：并非所有元素都适合放在程序中的任意位置。路点必须包含在“移动”命令下。

十、工具坐标系标定

通过工具坐标系的标定，可以实现机器人末端工具的灵活使用，在工具坐标系下，机器

人的运行基于工具末端，对机器人的操作提供极大的方便：

进入安装位置=>TCP 配置页面，点击新建，会生成新的 TCP 坐标，因为尚未标定，其中的 X、Y、Z、RX、RY、RZ 数值为空；如果对标定后的结果不满意，也可点击重设，使 6 个数组为空，重新标定。



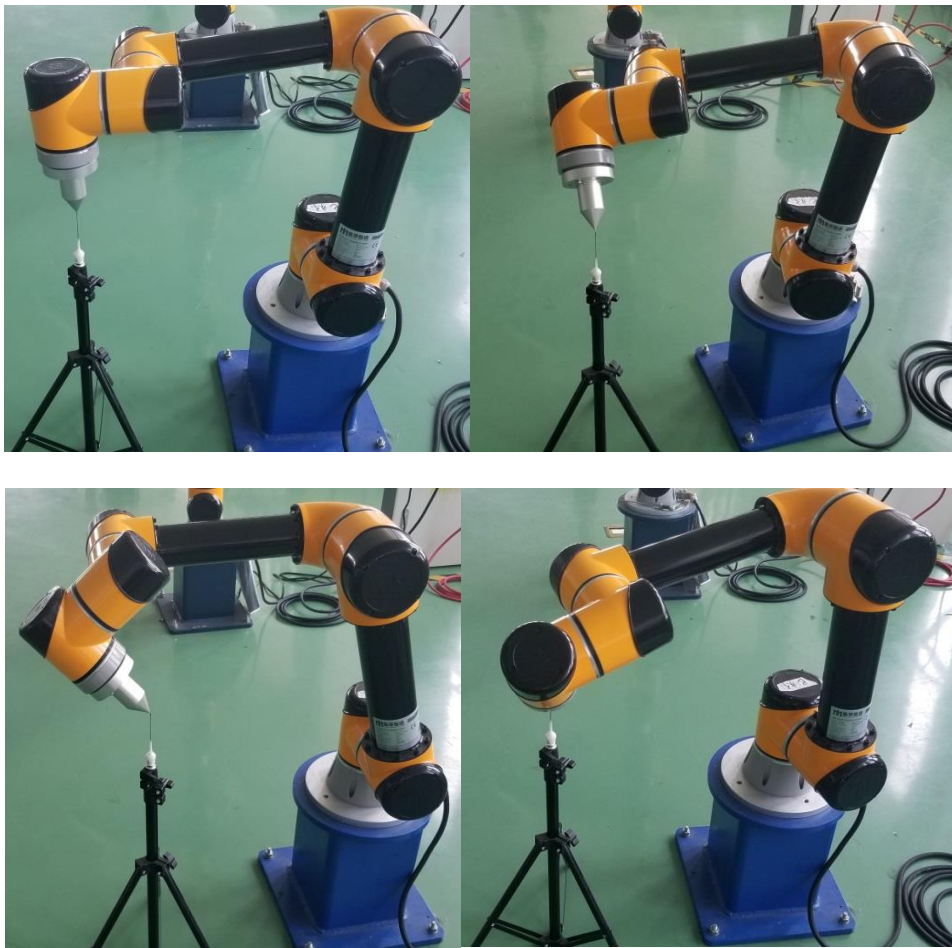
标定过程主要包括两个步骤：位置标定和姿态标定
点击位置，进入 4 个位置的标定步骤



点击设置，即可进入调试移动界面，调试 4 个工具末端位置



标定过程建议使用标定工具，4 个位置保证末端对齐，位姿不同，如图所示：



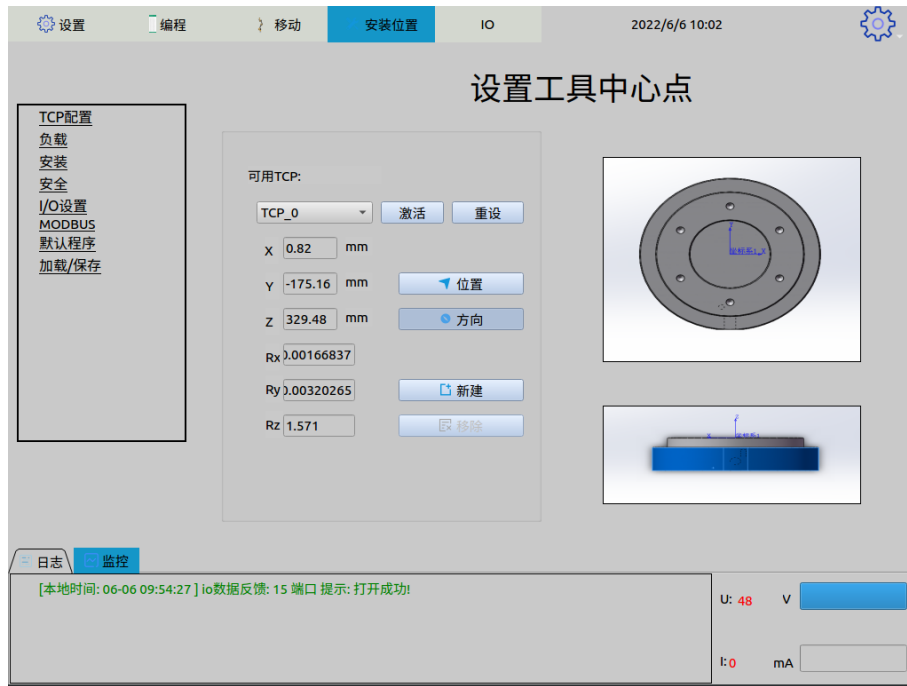
位置标定完成后，点击方向，进入方向标定界面，如图所示



点击设置点 1 和 2 可以进入移动界面，此时的方向标定为笛卡尔坐标下的 X、Y、Z 方向，只需要设置 2 个即可

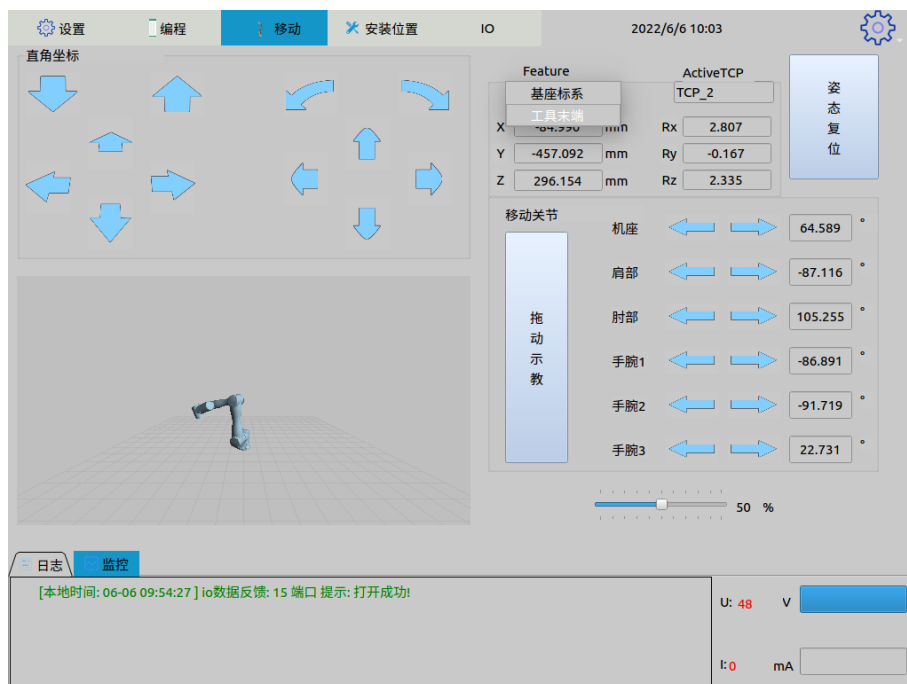


方向标定完成后，即完成全部的标定内容，此时 X、Y、Z 和 RX、RY、RZ 数值确定



选择标定好的 TCP 坐标系名称，点击激活；

在移动页面下的坐标系框中，选择工具末端坐标，使用的 TCP 选择标定好的坐标



在安装位置=>加载/保存界面中，点击保存，使功能断电保存。

十一、机器人碰撞等级和负载设置

机器人碰撞等级设置，可以通过安装位置-安全功能栏选择，机器人共有为1-5，共5个等级的灵敏度等级选择；

机器人开机状态默认碰撞检测功能关闭，开机后勾选碰撞开关同时选择碰撞等级；在不选择等级状态下，灵敏度等级默认为5等级，此时对应机器人碰撞力矩为：IIMT-CA-3/5为30牛，IIMT-CA-10/16为50牛。

运行速度越低，可设置灵敏度等级越低，运行速度高设置灵敏度等级高。



图 22 碰撞等级

为配合碰撞检测有效性，可在负载重量选择框内，用户根据实际机器人末端负载输入匹配的质量。

十二、机器人拖拽示教

机器人拖拽示教可以通过示教器模式和末端模式实现

一、示教器模式：按住自由拖动按钮时，机器人进入零重力模式，可自由移动机器人各个关节，拖动机器人至所需位置。释放后机器人进入伺服状态，各个关节处于位置锁定模式，等待控制器指令。移动关节得到的路点位置可以设置为机器人经过的位置点与姿态，应用于轨迹复现。



图 23 拖动示教界面

注意：自由拖动状态，人轻托住机器人，避免机器人因为负载的影响下垂，导致负载夹具等损坏。

二、末端模式

机器人在编程状态下，按住机器人末端的红色按钮可以实现拖拽示教功能；这时机器人 6 个关节都可以运行；

当达到位置后，按下绿色按钮，可以实现当前路点位置记录，应用于轨迹复现。

十三、机器人 IO 通信

机器人 IO 通信有 8 路数字隔离输入、8 路数字开关输入、13 路数字输出、2 路 0-10V 模拟输入信号、2 路 4-20mA 模拟输入信号；

控制器内部 IO 模块的分布和供电电源安装位置如下表所示；

表 1 IO 模块分布表

隔离输入1	隔离输入5	开关输入9	开关输入13	输出1	输出5	输出9	输出13
隔离地1	隔离地2	地	地	24V	24V	24V	24V
隔离输入2	隔离输入6	开关输入10	开关输入14	输出2	输出6	输出10	24V
隔离地1	隔离地2	地	地	24V	24V	24V	模拟信号输入1 (0~10V)
隔离输入3	隔离输入7	开关输入11	开关输入15	输出3	输出7	输出11	模拟信号输入2 (0~10V)
隔离地1	隔离地2	地	地	24V	24V	24V	模拟信号输入3 (4~20mA)
隔离输入4	隔离输入8	开关输入12	开关输入16	输出4	输出8	输出12	模拟信号输入4 (4~20mA)
隔离地1	隔离地2	地	地	24V	24V	24V	地

接线和内部电路

隔离输入：



图 24 隔离输入示意图

隔离输入端 IO 部分电路图

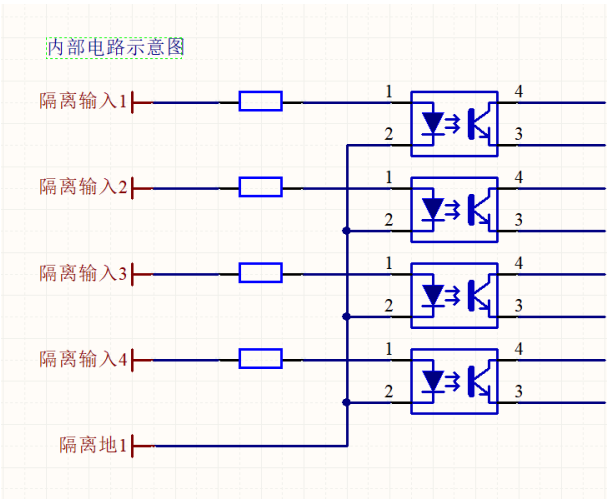


图 25 隔离输入部分电路图

数字开关量输入：

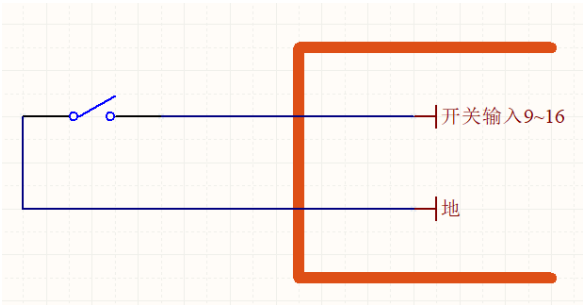


图 26 开关输入示意图

开关输入端 IO 部分电路图

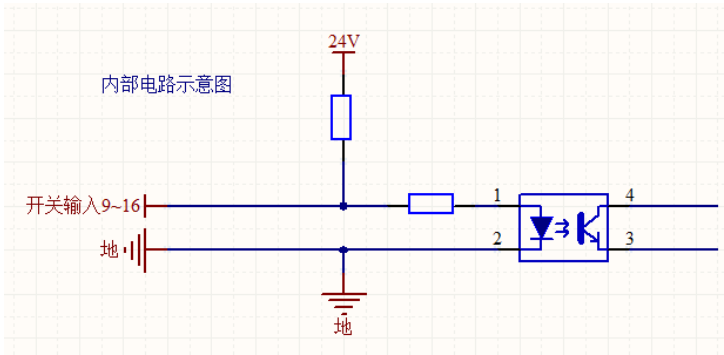


图 27 开关输入部分电路图

模拟量输入：

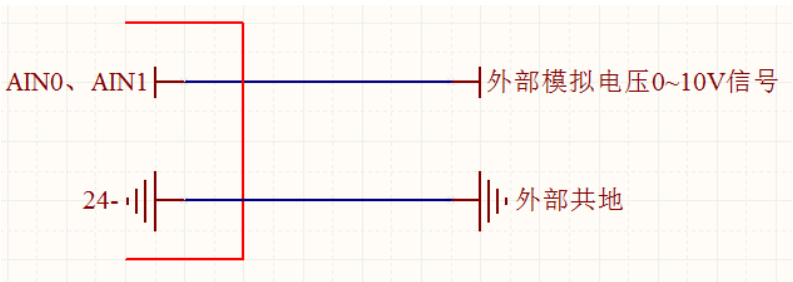


图 28 模拟量输入示意图

模拟量输入端 IO 部分电路图

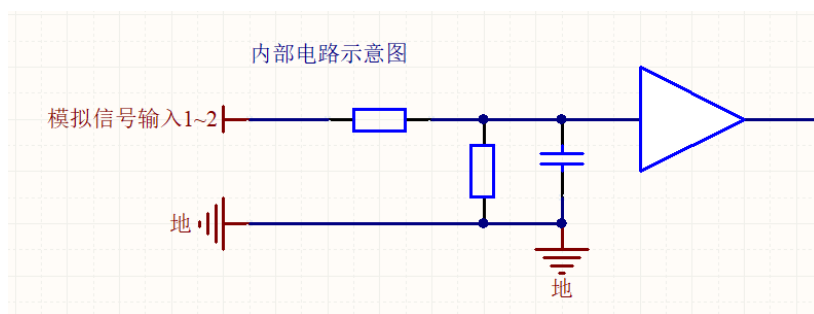


图 29 模拟量输入部分电路图

模拟电流量输入：

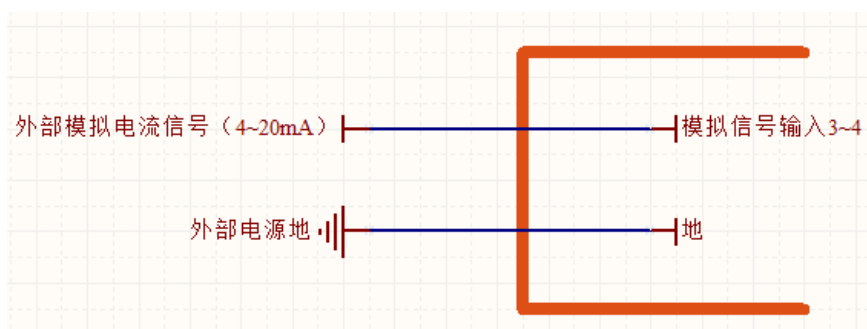


图 30 模拟量输入示意图

模拟量输入端 IO 部分电路图

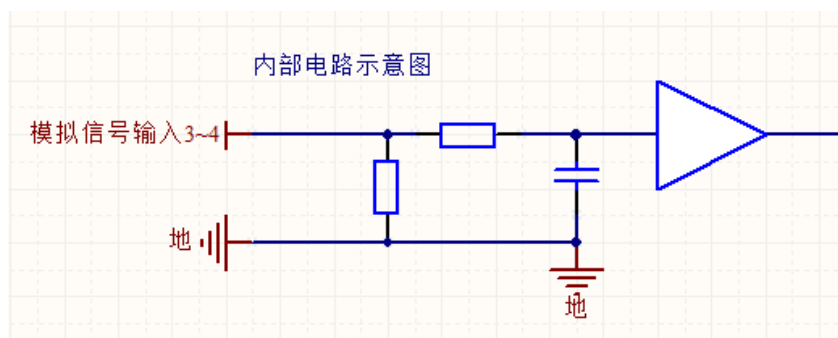


图 31 模拟量输入外部接线图

数字信号输出：

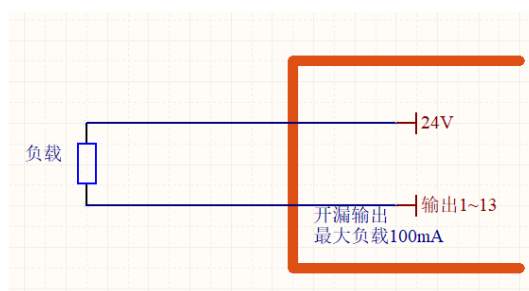


图 32 数字输出示意图

数字信号输出端 IO 部分电路图

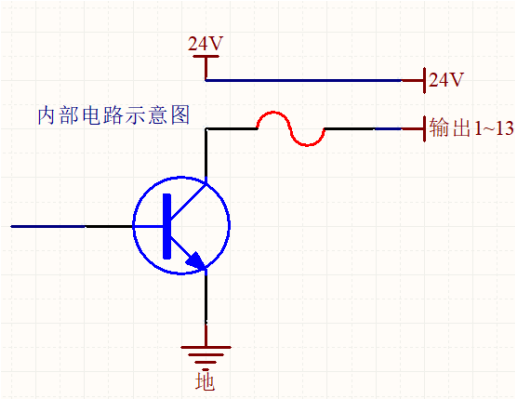


图 33 数字输出部分电路图

机器人 IO 电气特性：

其中，LED 指示灯分布为：

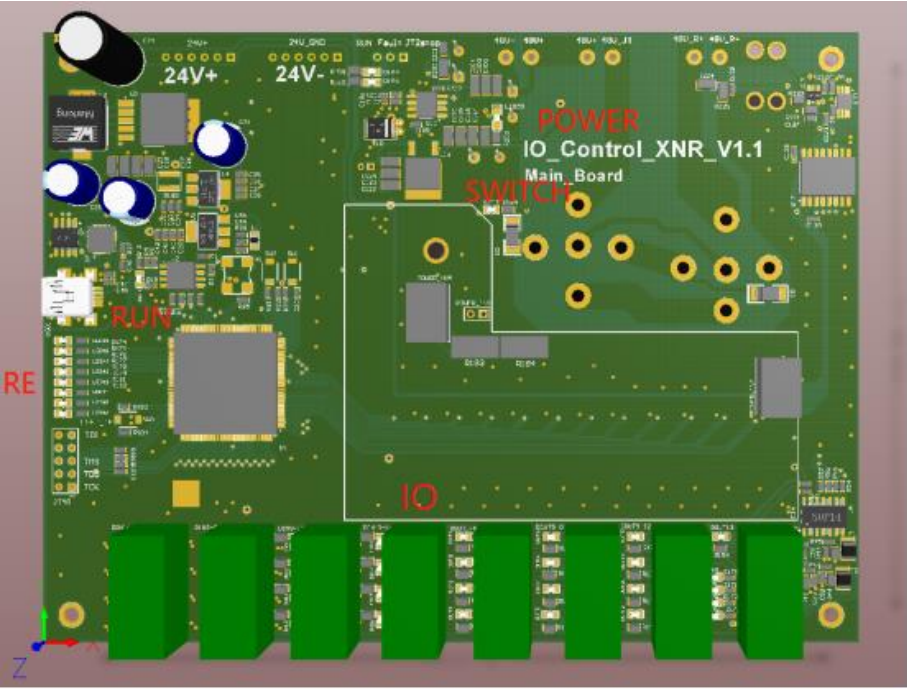


图 34 IO 电路板

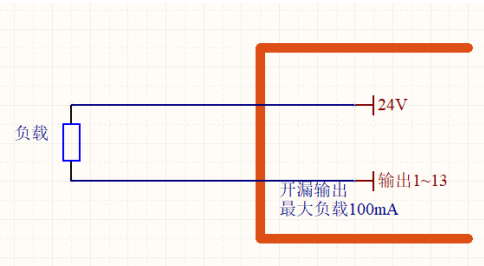
POWER 灯	显示 48V 电源灯
RUN 灯	IO 控制运行
SWITCH 灯	显示 IO 程控继电器指示灯

RE 灯	显示通讯状态
IO 灯	每一路数字量 IO，都有对应的指示灯

DI 数字量输入

输入方式	光耦隔离
ON电平	5-30VDC，6mA@24VDC
OFF电平	0-3VDC
隔离电压	2500V，防雷电路+光耦隔离+超限保护
采样速率	0.01秒快速采集所有通道数据

DO 晶体管输出

输出方式	集电极 NPN输出	
隔离设计	光耦隔离	
负载电压	5~30V	
负载电流	100 mA	
NPN接法		

机器人末端 IO 通信

机器人末端 IO 通信可以方便客户添加末端工具使用，主要提供电源供电、数字量输入输出、模拟量输入输出和 CAN 总线通信



图 35 末端 IO 显示图

主要功能包括：

表 2 末端 IO 功能表

编号	功能	数量
1	24VDC 供电	1
2	数字输出 digital out	2
3	数字输入 digital in	2
4	电流输入 4-20mA current in	1
5	电流输出 4-20mA current out	1
6	电压输入 0-10VDC analog in	1
7	电压输出 0-10VDC analog out	1
8	CAN 总线通信	1

十四、机器人 Modbus 通信

Modbus TCP 是 Modbus 协议在服务/客户端的实现，是 Modbus 协议在 TCP/IP 层的实现，因为实现是在 TCP/IP 层，这是一种请求/应答模式。

IIMT 协作机器人，可以作为主设备（master），也可以作为从属设备

(slave) 进行通讯

(1) 机器人作为从站

理论上通过 Modbus 同时与机器人通讯的外部设备数量不受限制。每个外部设备都由单独的进程负责。只要连接成功，都可以从机器人中读取/写入数据。

为了防止因高速读写数据引起的异常，机器人在通讯时采用数据缓存。可能在极短的时间内，Modbus 获取的信息与实际机器人状态不符。请避免过高速的读写数据。

对象类型：Modbus 协议中的对象类型一共有以下四种：

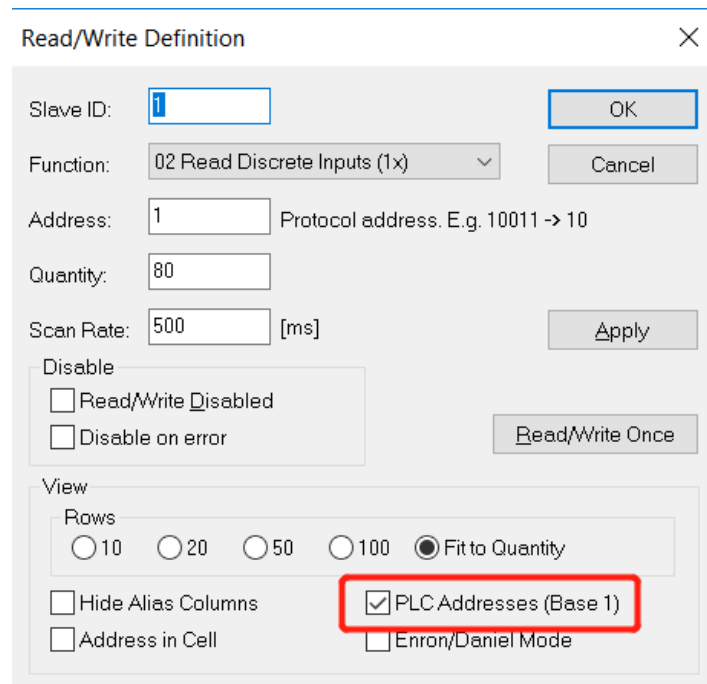
表 3 协议类型

对象类型	说明	访问方式	大小	地址范围
Coils	可写状态量	可读可写	1 bit	0x
Discrete inputs	只读状态量	只读	1 bit	1x
Holding registers	可写寄存器	可读可写	16 bits	4x
Input registers	只读寄存器	只读	16 bits	3x

地址偏移：

由于某些历史原因，一些外部设备发送地址时，Modbus 服务端接收到的地址会减 1。如向地址 40001 发送数据，实际操作的地址却是 40000。这种情况可以通过添加地址偏移来修正。如下文中的模拟软件就对地址进行了偏移设

置：



Read/Write Definition

Slave ID: 1 OK

Function: 02 Read Discrete Inputs (1x) Cancel

Address: 1 Protocol address. E.g. 10011 -> 10

Quantity: 80

Scan Rate: 500 [ms] Apply

Disable

☐ Read/Write Disabled

☐ Disable on error

Read/Write Once

View

Rows

☐ 10 ☐ 20 ☐ 50 ☐ 100 ☒ Fit to Quantity

☐ Hide Alias Columns

☒ PLC Addresses (Base 1)

☐ Address in Cell

☐ Enron/Daniel Mode

图 36 位置偏移设置

数据区：

协议中的地址位均以 00000 为起始地址位。

保持寄存器区 03 功能码

0: 机器人的 io 输入, value>0, value 当前 10 进制数真值, value<0, (value+65536) 的十进制数.

1: 机器人的 io 输出, value 是 10 进制数 可读可写

128~255: 用户自定义区, 可读可写

脚本通过函数 read_register(address), 读取寄存器的地址值, 通过函数 set_register(address, value) 可以往寄存器内写入值。

260: 机器人电源是否上电, 上电反馈 1, 否则是 0。可读不可写。

262: 机器人是否按下急停按钮, 按下反馈 1, 否则反馈 0。可读不可写。

270~275: 机器人关节数据

规则：

当前机器人关节角度 = Value[address]/10.0 (Value[address]>=0)

当前机器人关节角度 = $(\text{Value}[\text{address}] + 65536) / 10.0$ ($\text{Value}[\text{address}] < 0$)

400~405:笛卡尔坐标系下的基座机器人数据

X、Y 和 Z ($\text{value} \geq 0$) $\text{value}[400 \sim 402] / 10.0$ (mm)

X、Y 和 Z ($\text{value} < 0$) $(\text{value}[400 \sim 402] + 65536) / 10.0$ (mm)

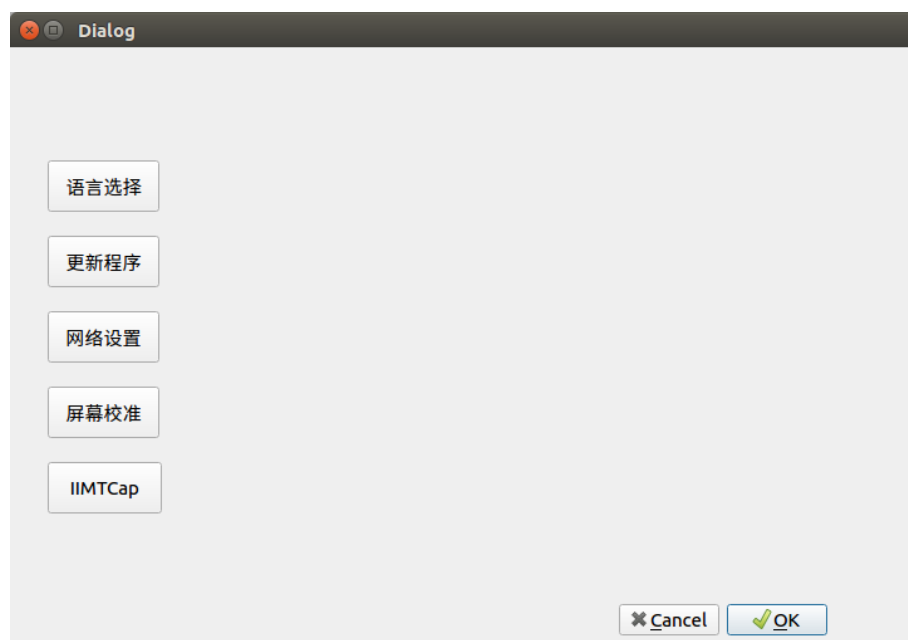
RX、RY 和 RZ ($\text{value} \geq 0$) $\text{value}[403 \sim 405] / 10.0$ (rad)

RX、RY 和 RZ ($\text{value} < 0$) $(\text{value}[403 \sim 405] + 65536) / 10.0$ (rad)

可按照以下步骤快速操作

机器人的 Modbus TCP 服务通过外网 IP 使用。网络端口采用端口号 1502. 外部设备负责从机器人上拉取数据。

网络设置，按照主站的 IP 地址，设置同一网段的地址；点击主界面的设置，进入如下页面

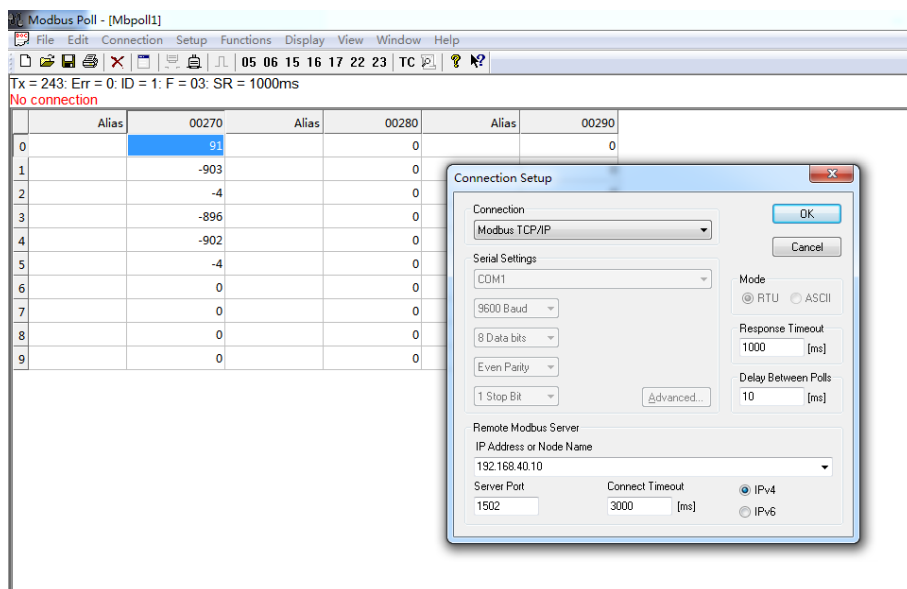


点击网络设置，输入与主站同一网段的地址，例如主站为：192.168.40.12，则机器人可以设置为：



点击应用和 OK 即设置完成

通过主站软件，可以得到机器人寄存器的相关数值

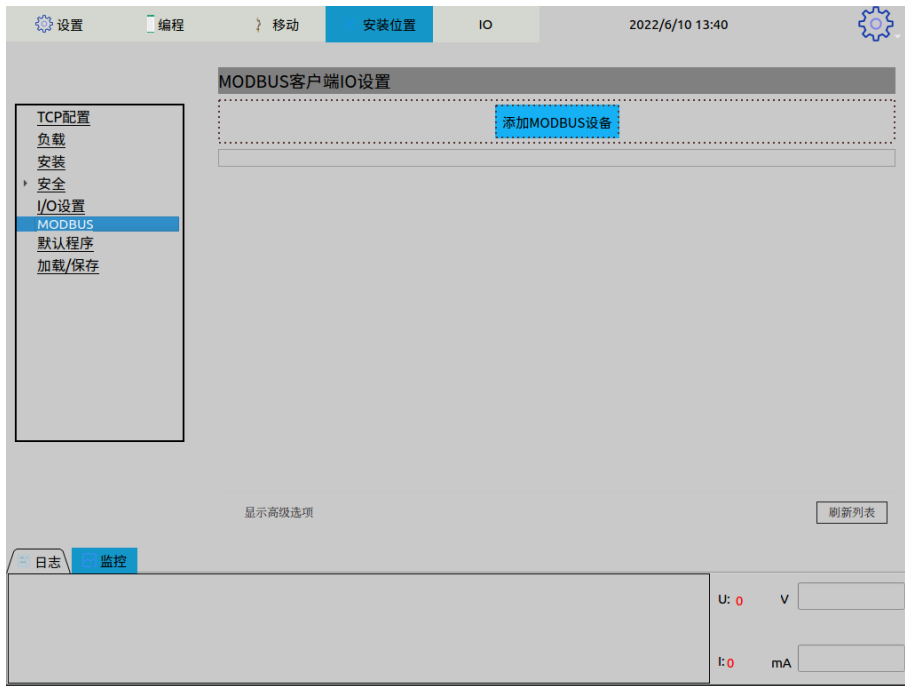


（2） 机器人作为主站

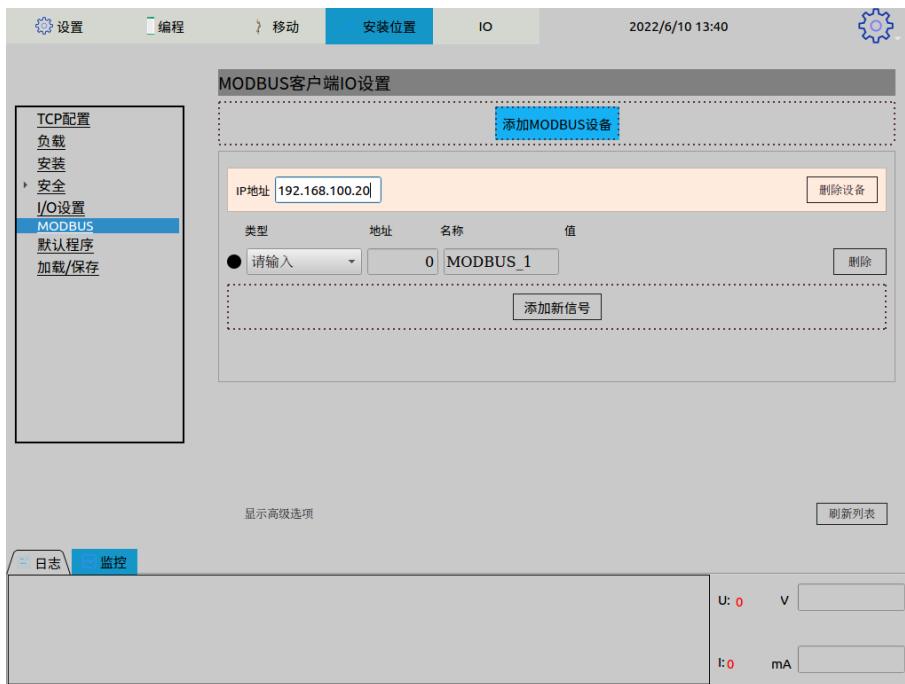
机器人作为主站，可以使用 Modbus 控制从站设备，比如焊机等，进行项目作业

通过以下步骤快速设置

进入安装位置页面，点击 MODBUS 栏

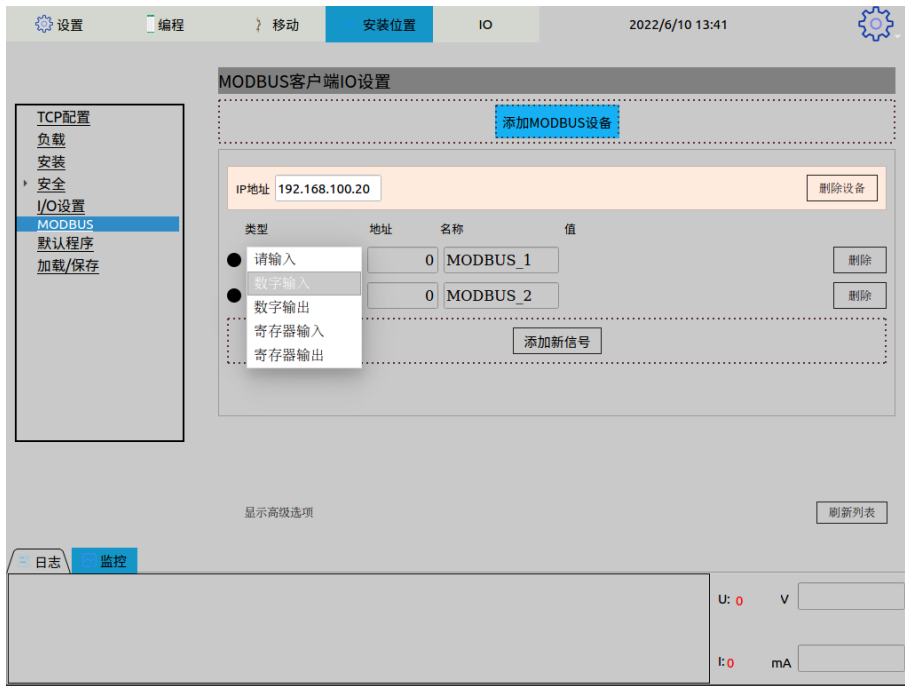


点击添加 MODBUS 设备按钮

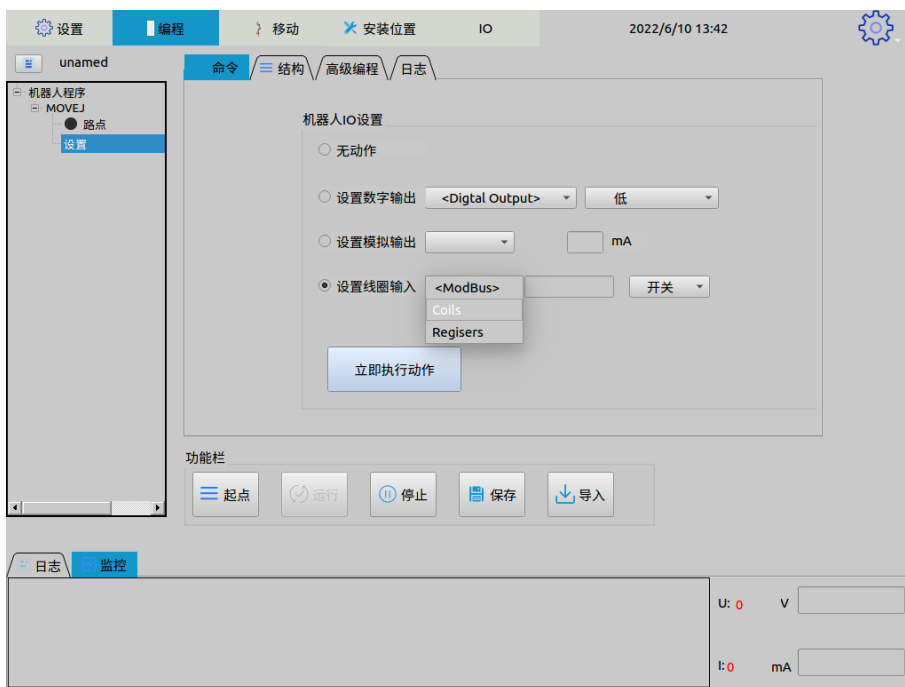


在 IP 地址中输入与从站要求的同一网段的地址，则连接成功

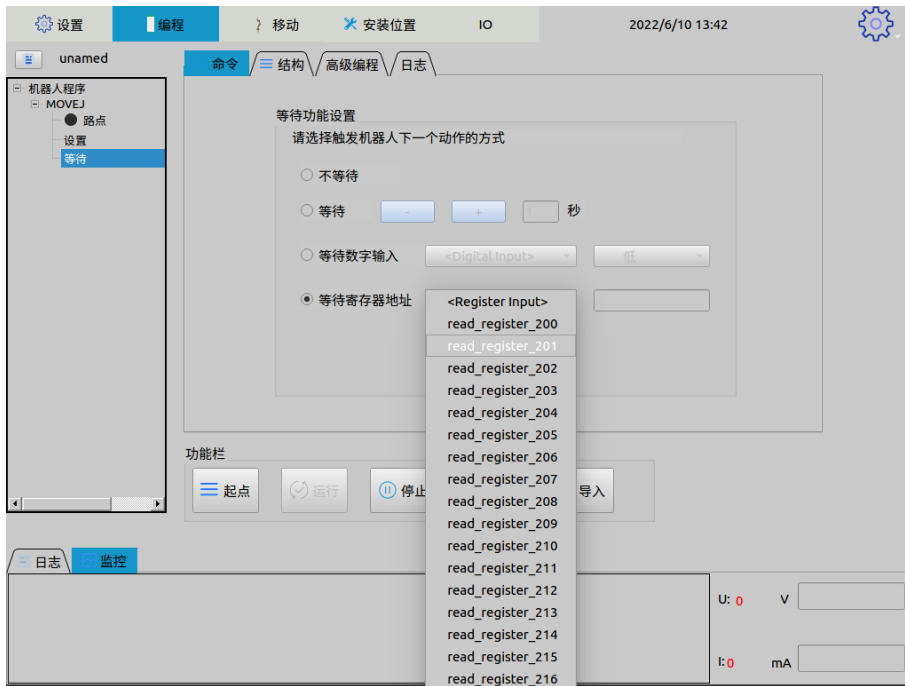
如果需要实时观测线圈和寄存器的某一数值，可以在下面选择想要观测的 Modbus 地址



从站设备可以在图形编程中，通过以下三种形式调用：设置、等待和 if
在设置中，可以选择线圈或寄存器形式，输入 Modbus 地址和开关高低



在等待中，可以选择触发寄存器地址和数值



在 if 中可以设置触发寄存器的条件和触发数值



十五、机器人 Socket 通信

通过 PC 机控制机械臂，平板电脑控制机械臂，机械臂与相机视觉系统配合应用均需要应用机械臂的 TCP/IP Socket 接口。详细操作文档参考《Socket 函数接口使用说明.pdf》。

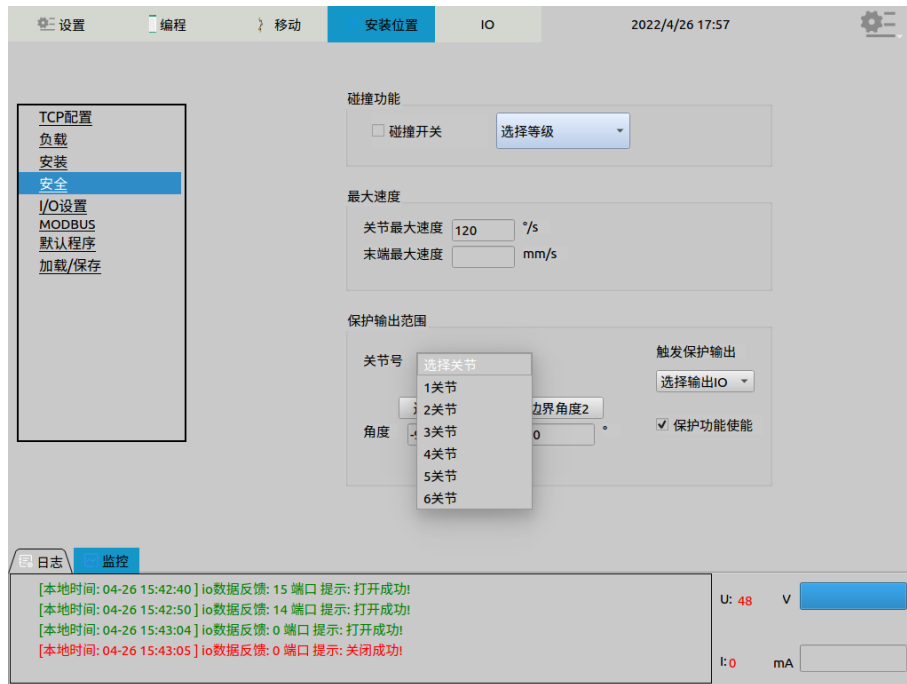
十六、设定警示安全工作区域、机器人自动加载默认程序

(1) 设定安全工作区域警示

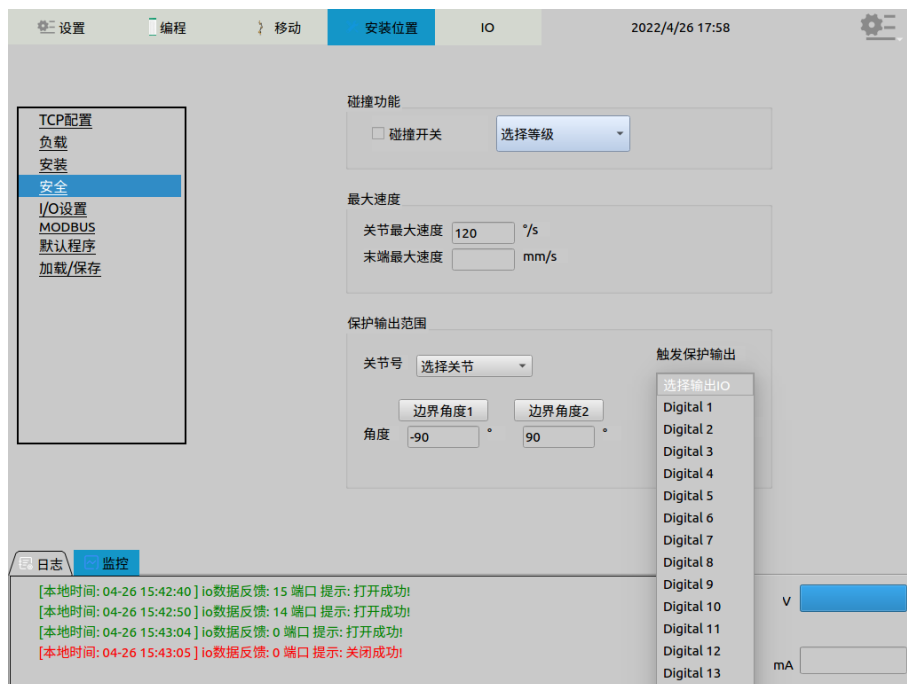
安全工作区域警示，在安装位置界面的->安全栏->保护输出范围区域，此功能主要是关节角度安全限制，通过设置某些关节的边界角度范围，当超出此范围时，IO 端口可以输出信号给控制单元，采取程序停止等下一步动作，提高安全性。



关节号可以选择需要限制的关节



通过边界角度 1 和 2 可输入某个关节运行角度的上下限. 在触发保护输出栏, 可以选择输出的 IO 端口



如果保存此功能在重新开机后保留使用, 可以在加载/保存目录中操作



点击保存，即可保存现有设置。

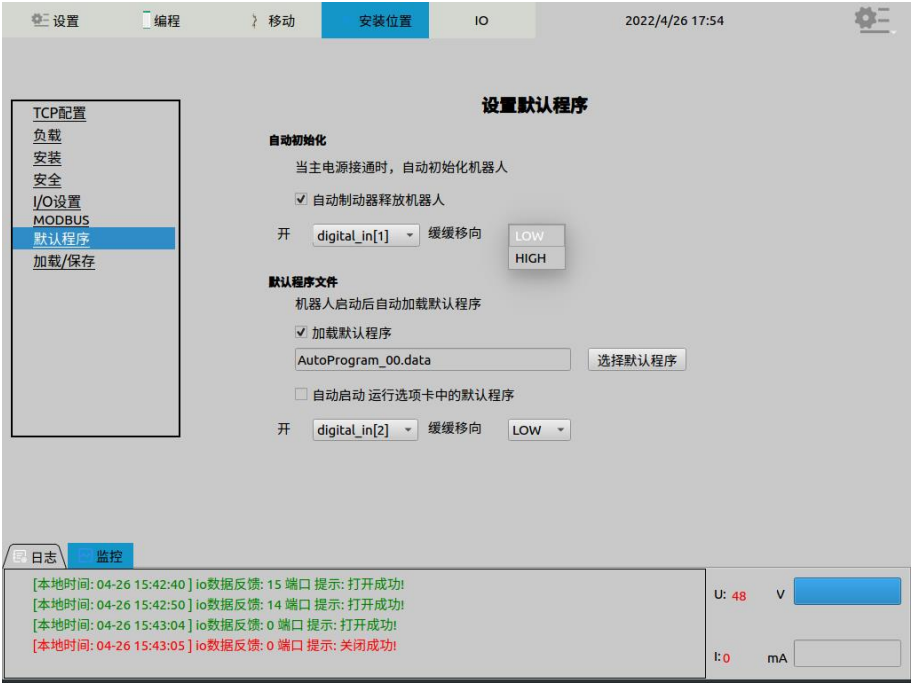
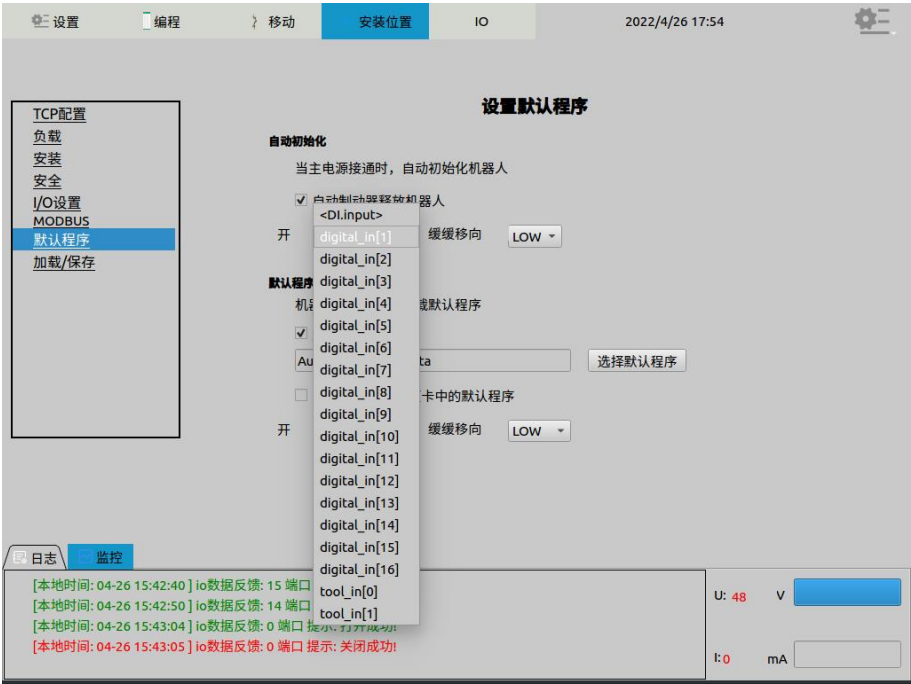
（2） 外部触发机器人开机，自动运行默认程序

机器人外部触发和自动运行功能在安装位置->默认程序->设置默认程序中

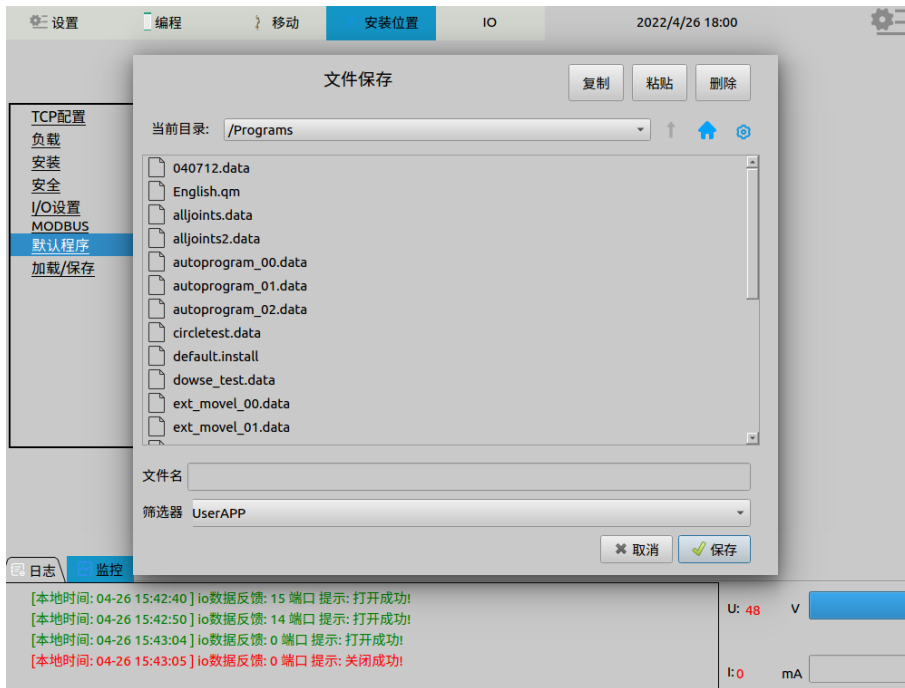


其中自动初始化 是指当电源接通时，机器人自动开启，勾选自动制动器释放机器人，即可选择此功能。

如果需要触发信号，触发使能此功能，则在下面的开 数字输入 缓缓移向 中选择开后的选择框选择触发数字 IO 端口，LOW 和 HIGH 选择高低电平触发模式。



默认程序文件 是指的在机器人启动后，自动加载默认的程序，使能此功能只需要勾选加载默认程序。其中选择默认程序中，添加需要运行的程序 data 文件，这样开机后此 data 文件自动加载在编程选项卡的左侧树形结构下。



如果想要自动运行加载的默认程序，需要勾选自动启动运行选项卡中的默认程序，在开数字 IO 端口 缓缓移向中，选择相应的 IO 端口 和高电平触发模式。





如需保存此功能在重新开机后保留使用，可以在加载/保存目录中操作



点击保存，即可保存现有设置。