

基于 PLC 与的 Robot Studio 机器人焊接仿真研究

何政洋, 张攀, 沈爱萍

四川大学锦江学院, 四川 眉山 620860

DOI:10.61369/ERA.2026030007

摘要 : 本文对基于 PLC 与 Robot Studio 的机器人焊接仿真进行应用研究。传统的手工焊接不但需要耗费大量的人工且工作效率较低, 容易受到人为因素的影响, 危害工人的生命健康, 因此, 有必要对焊接仿真进行研究提高工作效率。本文深入探讨了焊接机器人的应用及控制系统设计, PLC 的软件程序的设计。搭建焊接机器人工作站, 对弧焊机器人进行示教编程, 同时, 研究了 PLC 与触摸屏之间的通讯机制, 以实现更加直观的人机交互。最后, 完成了整个系统的安装与调试, 确保了焊接机器人及其控制系统能够稳定、高效地运行。实验结果表明, 该方案提高了工作效率, 减少人为因素影响, 具备了稳定性与安全性, 为工业自动化焊接系统的开发提供了技术参考。

关键词 : PLC; 机器人; 焊接; Robot Studio

Research on Robot Welding Simulation Based on PLC and Robot Studio

He Zhengyang, Zhang Pan, Shen Aiping

Sichuan University Jinjiang College, Meishan, Sichuan 620860

Abstract : This paper conducts applied research on robot welding simulation based on PLC and Robot Studio. Traditional manual welding not only requires a significant amount of labor but also exhibits low efficiency and is susceptible to human factors, posing risks to the life and health of workers. Therefore, it is necessary to conduct research on welding simulation to enhance work efficiency. This paper delves into the application of welding robots and the design of their control systems, as well as the design of PLC software programs. It establishes a welding robot workstation, performs teach programming for arc welding robots, and simultaneously investigates the communication mechanism between PLC and touchscreens to achieve more intuitive human-machine interaction. Finally, the installation and debugging of the entire system are completed, ensuring the stable and efficient operation of the welding robot and its control system. Experimental results demonstrate that this solution improves work efficiency, reduces the influence of human factors, and possesses stability and safety, providing technical references for the development of industrial automated welding systems.

Keywords : PLC; robot; welding; Robot Studio

引言

随着自动化技术的快速发展, 机器人技术在生产制造行业中的应用日益广泛。焊接作为工业生产中的重要环节, 对焊接质量和效率的要求越来越高。传统的焊接方式存在操作复杂、工作环境恶劣、焊接质量不稳定等问题。因此, 研究基于 PLC 与 Robot Studio 的机器人焊接仿真具有重要意义。

国内学者利用 Robot Studio 进行仿真研究, 例如陈磊等通过该软件设计 T 型焊接工作站, 实现了焊接过程的视觉效果仿真, 验证了工作站逻辑设计和程序编制的可行性。此外, 武汉理工大学和山东理工大学的研究团队结合离线编程软件 (MotoSimEG-VRC) 和 Solid Works 建模, 优化了焊接路径规划和碰撞监控技术, 提升了仿真的精确性。陈磊团队通过 Robot Studio 仿真验证 T 型焊接工作站效果; 2023 年中国智能焊接机器人市场规模 3.6 亿元, 预计 2025 年达 166 亿元。

机器人被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”, 是衡量一个国家创新能力和产业竞争力的重要标志, 已经成为全球新一轮科技和产业革命的重要切入点。针对中国工业机器人产业发展, 国家相继出台的工业 4.0、《中国制造 2025》及《机器人产业发展规划》等政策, 从宏观、战略角度构建产业顶层设计, 国家大力支持机器人产品“智能化”发展。^[1-2]



图 1 机器人焊接仿真流程图

作者简介: 何政洋 (1991.07—), 男, 汉族, 四川宜宾人, 讲师, 工学硕士, 研究方向: 机器人控制技术。

Robot Studio 作为 ABB 开发的仿真平台，广泛应用于焊接机器人工作站设计。以日本松下机器人为例介绍机器人焊接仿真的过程。焊接机器人一般为示教再现型机器人。通过移动机器人手臂，可以自动生成机器人操作的一个程序，这个过程被称为“示教”，示教程序可以储存在控制系统存储器中，需要时运行该程序，机器人可以反复再现已经示教好的一系列操作，自动执行正确的焊接和动作顺序^[3]。现如今机器人焊接仿真技术在汽车企业焊装中得到不断推广，其凭借功能稳定、焊接质量高、运行效率快等优势在汽车焊装中应用，可有效弥补传统人工焊装存在的不足，更好地保证产品质量^[4]。

因此，本文主要研究内容是在 Robot Studio 中创建机器人工作站模型。导入工件模型，并设置焊接路径和参数。编写机器人焊接程序，并进行仿真调试。优化焊接路径和参数，生成最终的焊接程序。将 PLC 与 Robot Studio 进行联合仿真，利用触摸屏与 PLC 编程控制机器人的开始与暂停。完成整个系统的安装与调试，确保了焊接机器人及其控制系统能够稳定、高效地运行。

本文的技术关键是研究 PLC 与 Robot Studio 之间的通信协议和数据交换方式，确保两者能够无缝集成，实现协同工作。通过配置和编程，建立 PLC 与 Robot Studio 之间的连接，实现控制信号的实时传输和反馈。

一、创建焊接机器人仿真模型

在 Robot Studio 中创建机器人工作站模型。导入工件模型，并设置焊接路径和参数。编写机器人焊接程序，并进行仿真调试。优化焊接路径和参数，生成最终的焊接程序。本文采用了 Robot Studio 对机器人焊接进行仿真，Robot Studio 仿真软件自带一些常用库，如各种型号的工业机器人及一些简单的工具及工件。^[5] 以下为工作站模型搭建过程点击 ABB 模型库添加一台 RIB410 的机器人。进一步添加焊接工作站其他辅助组件直到焊接机器人工作站模型完成，由此可见焊接机器人工作站一般由机器人、控制柜、示教器、弧焊电源、焊枪、工作台、外围栅栏等设备组成。^[6] 成图如下。

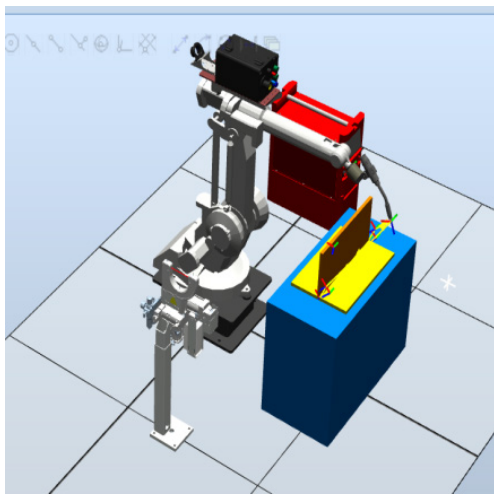


图2 机器人焊接仿真模型

二、机器人工作站系统配置

(一) 机器人系统配置

在完成弧焊机器人工作站的基础搭建和空间布局后，需通过软件平台建立虚拟控制系统。以下关键参数配置如图所示：

- 语言设置：中文模式（Chinese）
- 通信模块：709-1 I/O 通信接口

工艺：633-4 Arc 焊接专用模块

电源配置：标准 I/O 焊机接口（Standard I/O Welder）

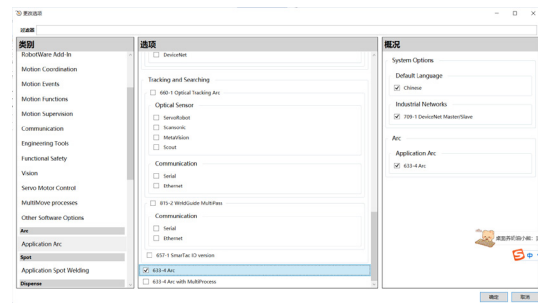


图3 机器人系统设置

系统创建完成后，需将预先设定的弧焊焊接工艺参数导入新建的虚拟系统中（具体操作见附图）。此步骤确保工具坐标系与工作站布局精确匹配。^[7]

(二) I/O 信号的配置

该工作站中，机器人控制系统与焊接系统和变位系统间的通讯效率影响了焊接精度，采用有 16 路数字输入和输出以及 2 路模拟输出通道的标准 I/O 信号通讯板卡 DSQC651 实现工作站逻辑信号配置。^[8]

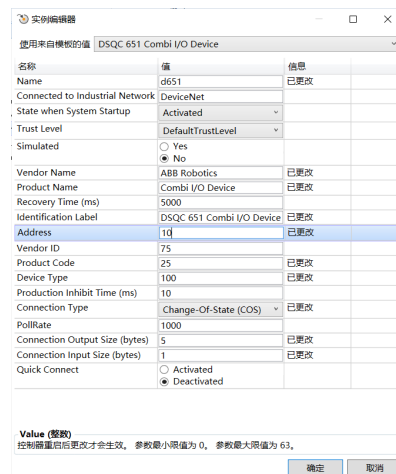


图4 信号模块参数

在机器人焊接系统的配置过程中，首要任务是完成焊接电源启停控制所需的数字信号设置。具体操作流程如下：访问控制器

菜单下的配置选项，选择 I/O 系统功能模块进入参数设置界面。在该界面中需要建立新的 Device Net 设备驱动，详细的操作方法与步骤可参见随附的示意图。

(三) 电流电压的配置

焊接工艺参数设置的首要步骤是完成电流模拟量输出的配置。具体参数设置如下：将信号命名为 aoCurrentReference，并设定为模拟输出类型。具体配置界面参见附图。

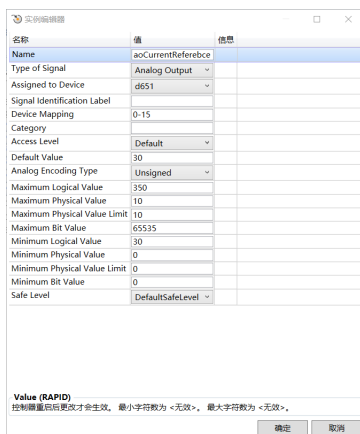


图5 电流模拟量输出参数

再来配置焊机电压设定的模拟量输出，它的名称是 aoValtReference，信号类型选择模拟量输出，驱动模块是 d651，信号地址设定为 16-31，默认值设定为 12，模拟量编码类型是无效符号如下图。

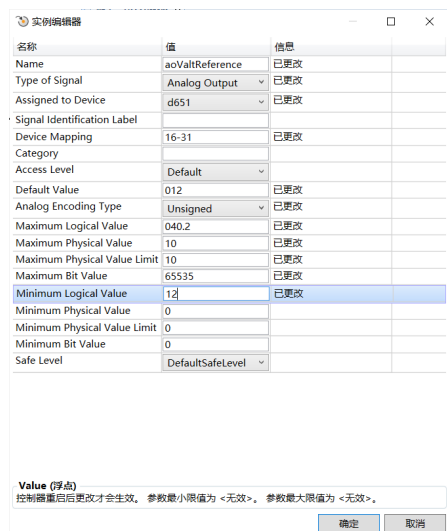


图6 电压模拟量输出

在构建机器人仿真系统过程中，当选定焊接工艺模块后，系统将自动加载 Robot Ware Arc 功能包。需要注意的是，该功能包初始状态为空置，必须经过参数设定方可投入运行。在焊接参数配置过程中，首要步骤是选取预先设定的电压模拟量输出信号作为焊接设备的电压控制信号。随后，需要指定已配置的电流模拟量输出信号用于调节焊接工作电流。

然后是焊接设备的数字量输入，双击选择配置的焊机焊接启停反馈信号，用于焊接软件检测焊接起弧熄弧是否成功，^[9]ABB 弧焊焊接机器人数字量 I/O 信号配置说明详细如图所示。

| DeviceNet Device (I/O信号模块配置) | |
|------------------------------|---------------------------|
| 使用来自模板的值 | DSQC 651 Combi I/O Device |
| Address | 10 |

| Signal (I/O信号配置) | | | | |
|------------------|----------------|--------------------|----------------|--------|
| Name | Type of Signal | Assigned to Device | Device Mapping | 说明 |
| diArcEst | Digital Input | d651 | 0 | 焊接启停反馈 |
| doWeldOn | Digital Output | d651 | 32 | 焊接启停控制 |
| doGasOn | Digital Output | d651 | 33 | 焊接气体控制 |
| doFeedOn | Digital Output | d651 | 34 | 手动送丝控制 |
| doFeedOnBwd | Digital Output | d651 | 35 | 手动退丝控制 |

图7 I/O 信号配置参数

配置首先是焊接气体开关控制，选择焊接气体控制的数字量输出信号，焊接启停控制选择焊接启停控制的数字量输出信号，手动送丝控制选择 doFeedOn。

在实际焊接机器人工作站中，为确保系统安全运行，需对送丝控制信号 (doFeedOn) 实施必要的安全逻辑控制。在系统配置过程中，针对退丝功能的控制信息 (doFeedOnBwd) 需特别注意：该接口为可选配置项，若实际应用中需要启用此功能，则必须对退丝控制信号实施与送丝信号 (doFeedOn) 相同的安全逻辑处理机制。

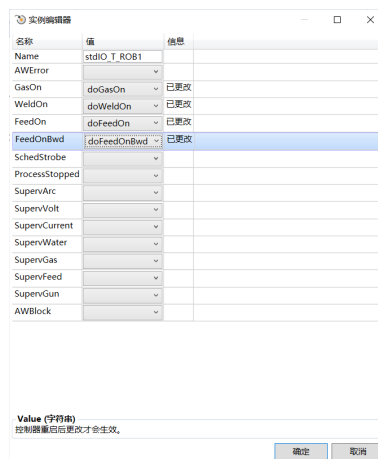


图8 焊接设备的输出数字量参数

这样焊接设备的 I/O 信号就配置完成了，点击重启，系统重启完成之后配置的这个焊接系统参数就生效了。

三、机器人弧焊焊接示教编程

在机器人编程过程中，首先需要建立一个新的运动轨迹程序，并将其命名为“main”作为系统主程序。接着进行以下操作：确定机器人的初始参考位置，指定焊接专用工具，设置运动参数为关节坐标系模式，运行速率调整为 500 单位 / 秒，并将路径精度设为完全停止模式。具体参数配置可参考随附示意图。

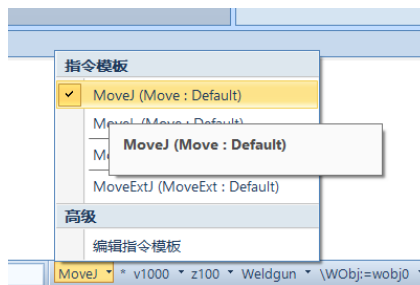


图9 主系统参数

机器人运动轨迹设定过程如下：首先将当前机械臂位置记录为初始参考点，通过示教功能完成坐标确认。随后调整焊枪空间姿态，使工具中心点（TCP）保持垂直向下，并将Y轴角度归零。切换到手动线性模式后，将焊枪末端定位至工件焊接起点位置，同时将焊枪绕Y轴旋转-45度。为确保焊接质量，需在起焊位置正上方设置过渡点，该点需沿X轴正向和Z轴正向偏移适当距离。运动参数维持默认设置，具体数值可参考附图。

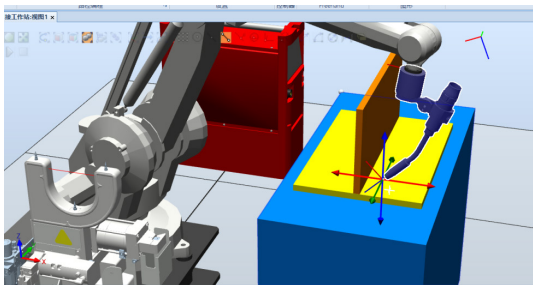


图10 home 点放置

拖拽到焊接起始点位置，使用直线运动焊接起弧指令。选择编辑指令模板。点击添加选择直线运动焊接起弧指令如下图。

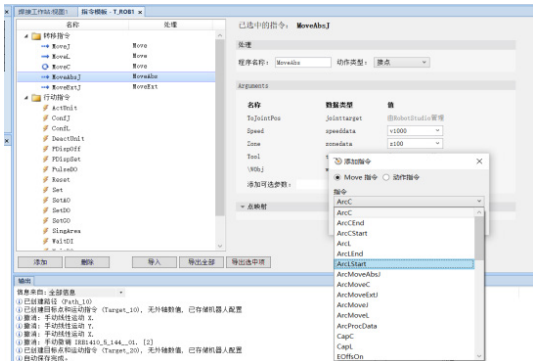


图11 编辑直线运动焊接起弧指令

同样道理，依次添加起弧熄弧数据，添加直线运动焊接熄弧指令，点击直线运动的焊接起弧指令，运行速度500，拐弯数据选择 fine，点击示教指令后，将机器人拖曳到焊接结束点如下图。使用直线运动的熄弧指令，运行速度500，拐弯数据选择 fine。结束之后机器人需要抬枪，沿着x轴正方向，沿着z轴正方向运动，运动指令选择直线运动，运行速度500，拐弯数据选择 fine。机器人回 home 点，复制粘贴。机器人焊接程序示教完成如下图。



图12 路径与步骤

焊接程序完成后，打开机器人示教器在机器人示教系统中插入 Wait Time 指令，使机器人在焊接开始点位暂停2s，可以保证程序安全运行，路径与步骤完成后，具体的焊接程序如下图。第一条指令为直线插补指令，moveL 指令使机器人从当前位置沿直线移动到 Target_110 (home 点) 位置，运动速度为500单位/秒，拐弯数据为 fine，表示机器人会精准到达当前点位。第二条指令同样是以500的速度到达 Target_70 (焊接开始位置)。第三条指令为时间暂停指令，指的是在点位上暂停2s，以保证程序安全运行。第四条指令为直线运动焊接起弧指令从 Target_80 (焊接起始点) 以500的速度开始焊接，此时起弧数据为之前设定好的 seam1，焊接数据为 weld1。第五条指令为焊接熄弧数据此时的结束点为 Target_90 (焊接结束点)，其余数据与起弧指令相同。第六条指令为直线插补指令，机器人抬枪移动至安全点 Target_100 运动速度为500，拐弯数据为 fine。第六条指令机器人重新移动回 home 点，程序结束。

```

31 |*****|
32 |PROC main()
33 |IF qldong=1 THEN
34 |MoveL Target_110,v500,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
35 |MoveL Target_70,v500,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
36 |WaitTime 2;
37 |ArcLStart Target_80, v500, seam1, weld1\Weave:=weave1, fine, Weldgun\WObj:=wobj0;
38 |ArcLEnd Target_90, v500, seam1, weld1\Weave:=weave1, fine, Weldgun\WObj:=wobj0;
39 |MoveL Target_100,v500,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
40 |MoveL Target_130,v500,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
41 |ENDIF
42 |!Add your code here
43 |ENDPROC
44 |ENDMODULE
    
```

图13 路径与步骤

将数据同步到虚拟示教器，打开虚拟示教器，调到手动模式，点击程序编辑器添加起弧熄弧数据和焊接数据，进入程序数据，先设定起弧熄弧数据。它默认显示4个参数设置选项第一个是吹扫时间设置为1s，第二个是送气时间设置为0.5s，刮擦重启保持为0，最后一个尾送气时间设置为0.5s，这样起弧熄弧数据就设置完成了。

在焊接参数配置环节，需对核心工艺数据进行设定。焊接时如果发现焊件成形不理想，存在缺陷时，就要在生产屏幕的设置菜单下，调整焊接速度、送丝速度、电压及电流大小，直至焊出满意的焊缝。具体操作如下：将焊接行进速率调整为10mm/s，维持系统预设的电压参数不变（28V），同时将工作电流值设定为160A。完成上述参数配置后，系统即具备执行焊接作业的基本条件，相关参数设置界面可参见附图说明，重启后完成弧焊指令编程。



图14 焊接数据

四、PLC 和触摸屏设计

首先打开博图进行组态，只有 1500 才可以进行接下来的仿真。本文选择 1500 PLC 的原因是其支持通信仿真，但仿真时启动仿真器要使用 S7-PLCSIM Advanced。同时还需要添加新设备组态触摸屏，并将触摸屏与 PLC 连接起来。

然后配置网络，切换为 PLCSIM Virtual Eth. Adapter 模式，输入虚拟 PLC 参数，选择以太网。“local”为本地虚拟网卡，它是在安装 PLCSIM Advanced 这一软件时会自动进行安装的网络适配器。配置 advance 里的数据，x1 指 x1 端口所以地址与 PLC 一致，还需配置虚拟 PLC，配置如下图。再下载进虚拟 PLC，配置完成。

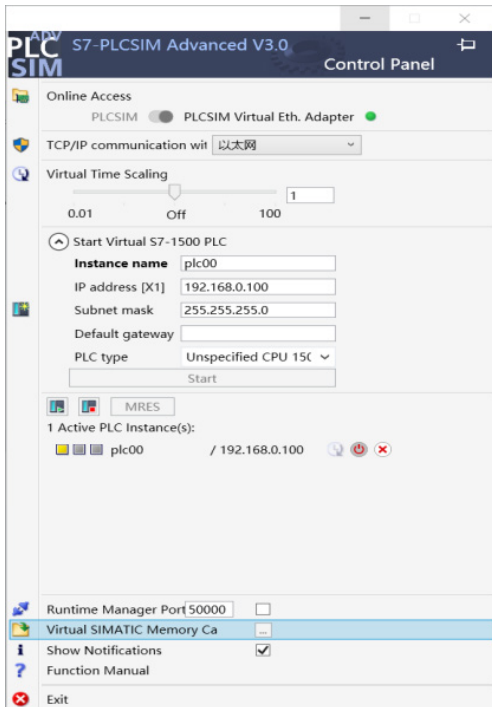


图 15 S7-PLCSIM Advanced 的配置

接下来，将通讯 smart 组件拖入 Robot Studio 软件中，配置好相关参数，要注意的是机器人、电脑、仿真 PLC 必须在同一网段，此处设置机器人 IP 为 192.168.0.200。

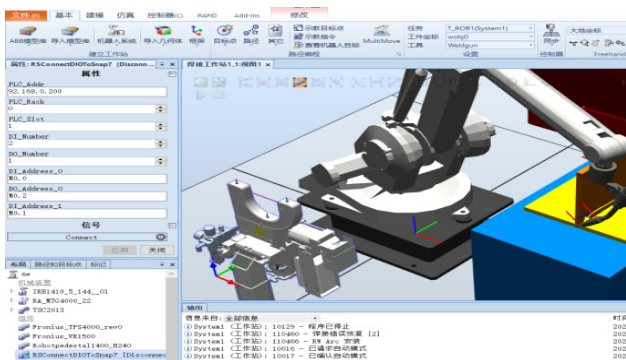


图 16 smart 组件配置

将工作站逻辑连接，rs 软件给博图发消息是实时的，将他们连接起来。

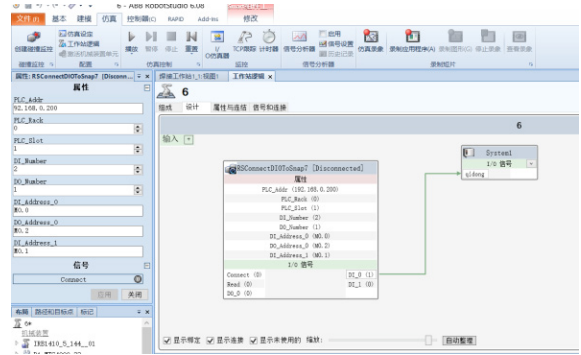


图 17 工作站逻辑

最后在控制器里添加一个启动停止指令，Robot Studio 的配置基本完成。

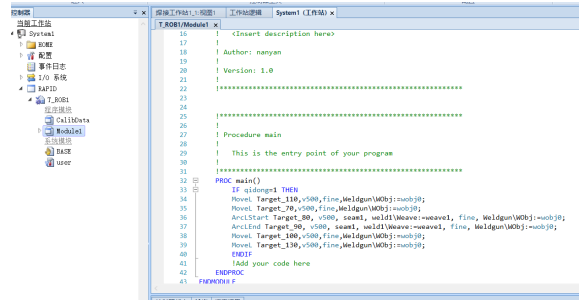


图 18 工作站逻辑

五、基于 PLC 与 Robot Studio 的焊接联合仿真

整个仿真过程可通过 Robot Studio 的 3D 虚拟示教器实时监控，并在仿真界面中动态显示焊接路径、机器人运动状态及 PLC 信号交互情况，如下图所示。该系统的成功运行验证了 PLC+Robot Studio 联合仿真在焊接自动化中的可行性，为后续实际焊接工作站的应用提供了可靠的虚拟调试方案。

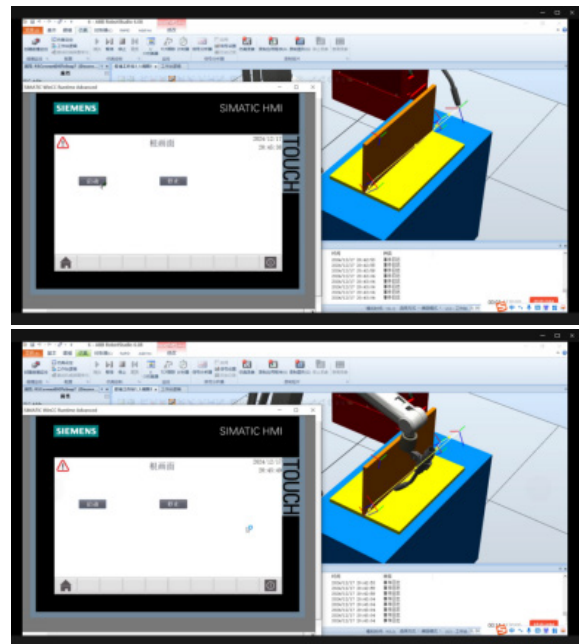


图 19 焊接仿真运行

六、结语

本文在研究过程中，充分利用了 Robot Studio 强大的建模、仿真和分析工具，以及 PLC 在控制系统模拟方面的优势。首先，在 Robot Studio 中建立了准确的焊接机器人模型，并设置了相关

参数，以确保仿真的真实性。其次，结合 PLC 的控制器模块，模拟了焊接机器人的控制逻辑和动作，进一步验证了机器人与控制系统之间的协调性。此外，还通过构建虚拟生产线模型，模拟了真实的焊接生产环境，为焊接自动化生产线的设计和调试提供了有力支持。

参考文献

- [1] 樊启永, 廖小吉, 田超. 基于 MES 的料仓智能取料系统构建及机器人编程的实现 [J]. 工业技术与职业教育, 2019(6): 11-14.
- [2] WANG Baicun, HU S J, SUN Lei, et al. Intelligent welding system technologies: state-of-the-art review and perspectives [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2020, 56(6): 373-391.
- [3] 赵君. 机器人焊接仿真在汽车焊装中的应用 [J]. 现代零部件, 2011(9): 74-75.
- [4] 陈康, 张永祥, 孙文才. 浅析机器人焊接仿真在汽车焊装中的应用 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2015(12): 228.
- [5] 叶晖, 管小清. 工业机器人实操与应用技巧 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [6] 杨永波, 崔彤, 秦伟涛, 等. 焊接机器人工作站系统中焊接工艺的设计 [J]. 焊接, 2015(8): 43-45.
- [7] Nico Hochgeschwender Gerhard K. Kraetzschmar Paul G. Ploeger Michael Reckhaus 1 January 2010.
- [8] 张金衡. 大熔深穿孔等离子弧焊接闭环控制系统及不锈钢焊接工艺研究 [D]. 济南: 山东大学, 2021.
- [9] 李壮, 方贞琪, 王兴宇, 等. 机器人学基础课程轨迹规划仿真教学研究 [J]. 廊坊师范学院学报 (自然科学版), 2024, 24(02): 107-113.