

---

# 多机协同

中科新松有限公司

Mar 01, 2024



# CONTENTS

<b>1</b>	<b>多机协同功能简介</b>	<b>1</b>
1.1	功能目标	1
1.2	功能术语	2
1.3	使用限制	2
<b>2</b>	<b>多机协同功能配置</b>	<b>3</b>
2.1	插件安装	3
2.2	主从机器人通讯连接	5
2.3	主机器人通讯配置	7
2.4	从机器人通讯配置	7
2.5	主从标定	9
<b>3</b>	<b>多机协同编程</b>	<b>15</b>
3.1	功能简述	15
3.2	功能限制	15
3.3	多机协同程序	15
3.4	Sync 程序	16
3.5	关节位置跟随模式	19
3.6	关节速度跟随模式	20
3.7	笛卡尔位置跟随模式	21
3.8	笛卡尔速度跟随模式	22
3.9	特征工具跟随模式	23
<b>4</b>	<b>应用案例</b>	<b>25</b>
4.1	同步跟随应用案例	25
4.2	特征跟随应用案例	27

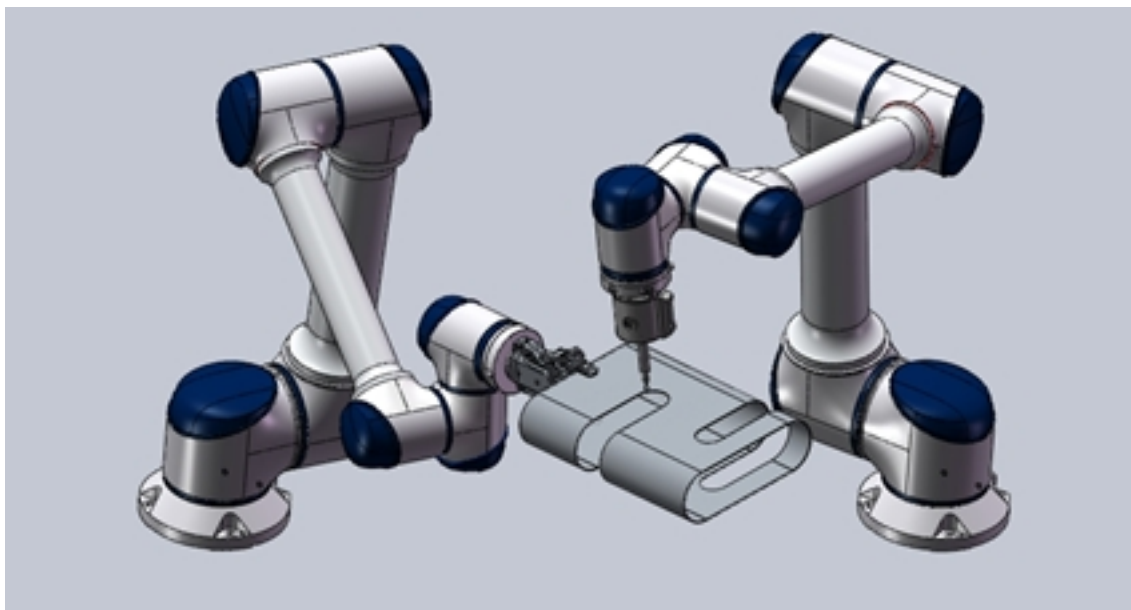


## 多机协同功能简介

### 1.1 功能目标

多机协同功能使得两台机器人之间可以参考特定的模式进行同步运动，例如：关节空间同步、笛卡尔空间同步、主从特征跟随等。使用多机协同功能，可以让两台机器人以不同的形式同时对同一个工件进行操作，如下图所示：





## 1.2 功能术语

- 主机器人：在多机协同功能中，主机器人（又称 **Server** 端机器人）作为功能控制端，控制另一台或多台机器人的行为。一台主机器人可用于与另一台或多台机器人连接并进行控制。
- 从机器人：在多机协同功能中，从机器人（又称 **Client** 端机器人）作为功能被控制端，在多机协同作业过程中受主机器人控制而产生相对应运动。一台从机器人仅可用于与另一台主机器人连接并被控制，无法同时被多台主机器人控制。

## 1.3 使用限制

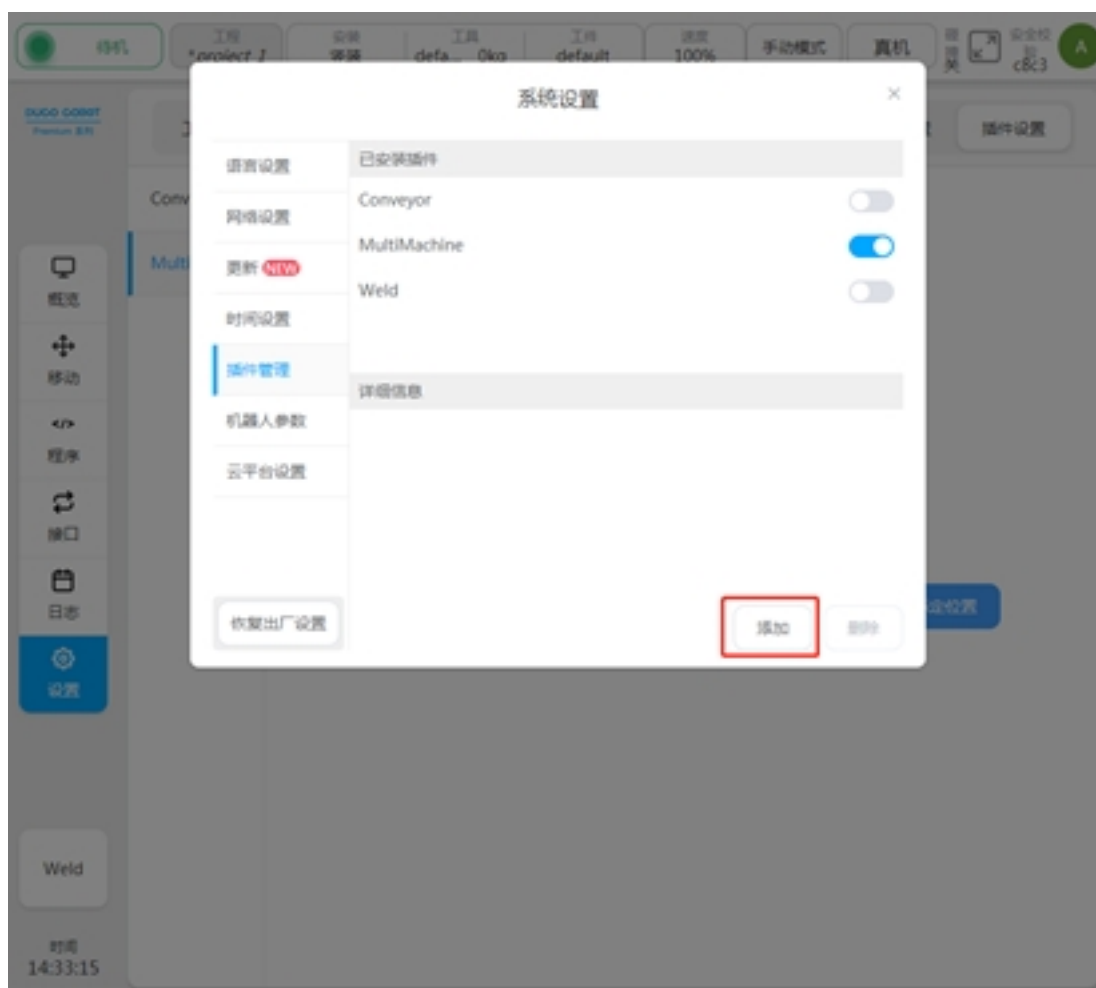
用户选择使用多机协同功能时，需要注意以下使用限制：

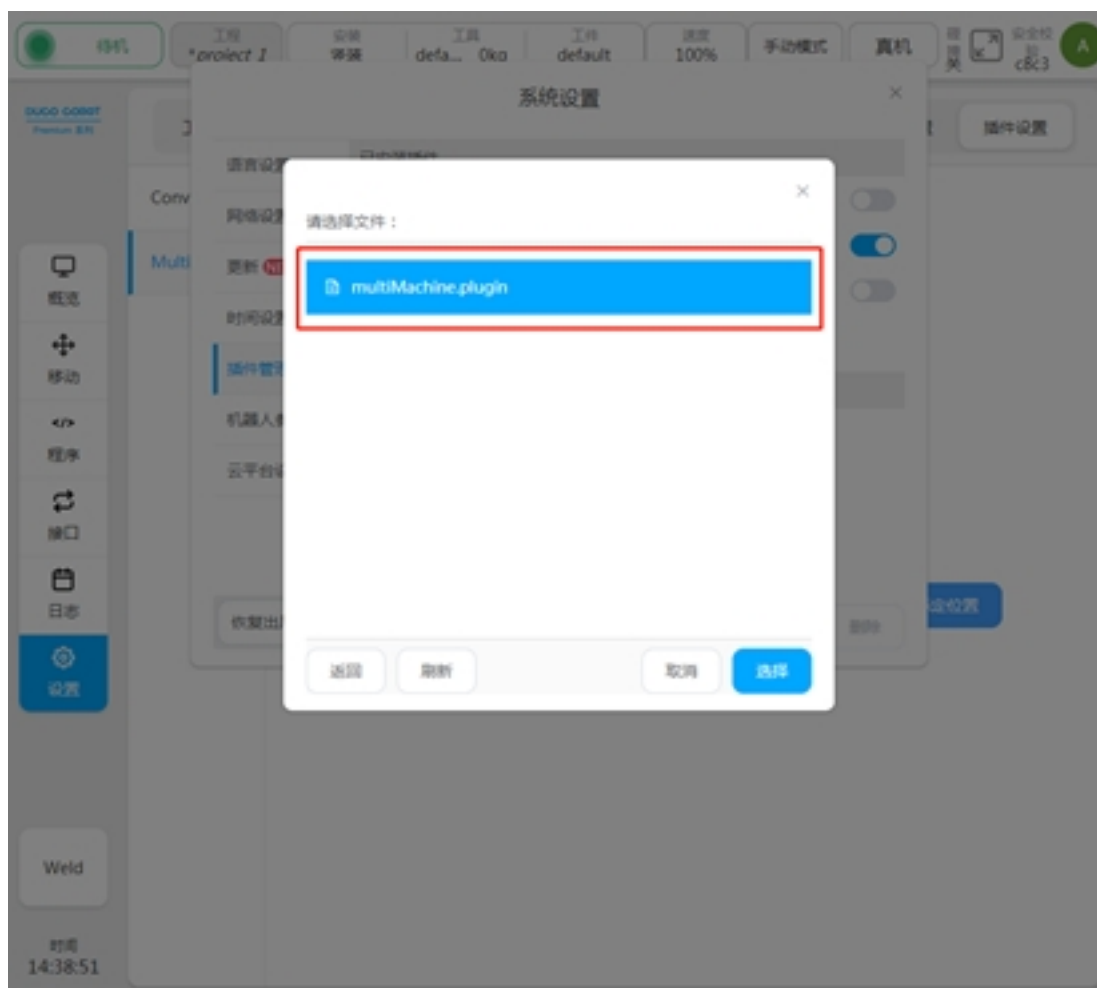
- 使用多机协同功能的机器人需要同时正确安装 **MultiMachine** 插件包并启用，且软件版本在 **V2.7.0** 及以上。
- 用户在使用多机协同功能的主从特征跟随模式前，需确认用于多机协同功能的主从机器人末端工具在工作空间上存在交集，以满足主从机器人安装位姿关系的标定需求。
- 用户在使用多机协同功能前，需确认用于多机协同功能的主从机器人可以直接通过网线连接器控制柜，尽量避免通过中间路由等环节进行通讯连接，从而避免由于通讯实时性延迟造成的最终作业表现下降；
- 在执行多机协同运动脚本前，用户需正确对主从机器人进行配置与相对安装位姿关系进行标定，并确定通讯连接且配置参数生效，否则将对脚本运行效果产生影响，从而产生作业风险。
- 用户在编写完多机协同运动脚本后，由于从机器人的运动将直接受主机器人控制，因此在运行脚本前需对从机器人工作空间是否存在干涉问题作出评估，从而避免在运动过程中机器人存在与外界人与物或主机器人发生碰撞的可能。

## 多机协同功能配置

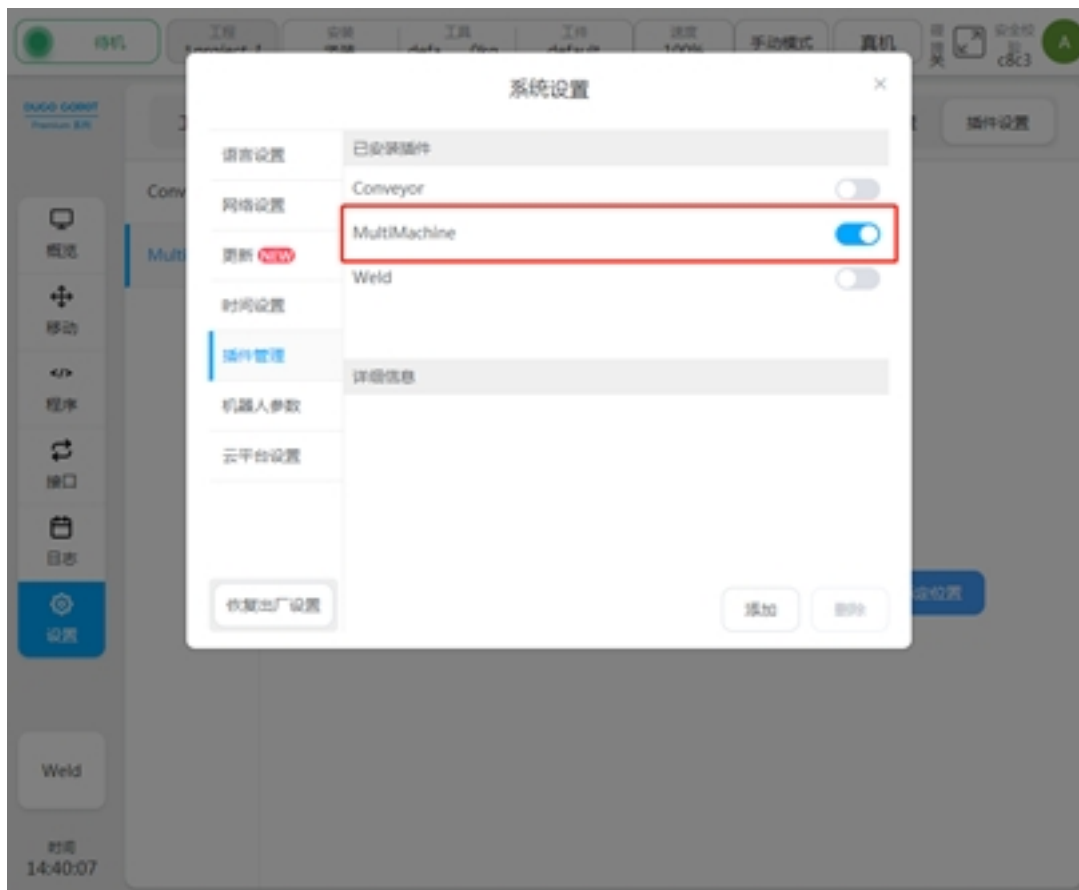
## 2.1 插件安装

用户在使用多机协同功能前，需正确安装 MultiMachine 插件。如下图所示：









## 2.2 主从机器人通讯连接

用户需正确通过网线连接主从机器人控制柜上的 LAN 口，并在控制器中将对应 LAN 口 IP 地址修改为同一网段下，以保证主从控制器间具备建立 TCP/IP 通讯的条件，如下图所示：主机器人 LAN 口 IP 配置：



从机器人 LAN 口 IP 配置：



需要注意的是，主从机器人连接所对应 LAN 口不能被配置为同一 IP 地址，否则会造成 IP 地址冲突而无法正常工作。此外，主从机器人控制柜间 LAN 口间应尽可能使用网线直连，采用路由等方式进行连接可能会导致通讯质量降低而影响最终多机协同功能的使用。

## 2.3 主机器人通讯配置

用户需确定多机协同功能使用过程中作为主控制端的机器人并进行配置，如下图所示：

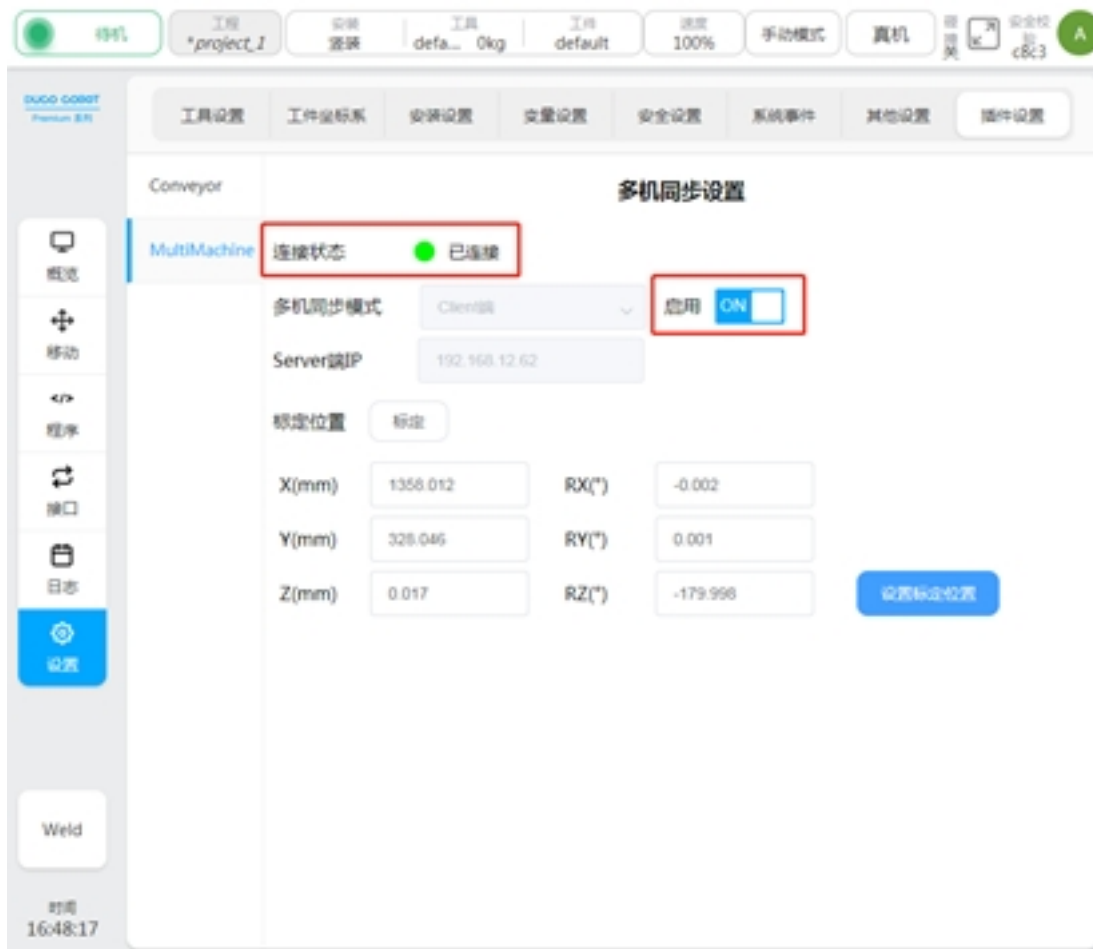


## 2.4 从机器人通讯配置

用户需确定多机协同功能使用过程中作为从被控制端的机器人并进行配置，如下图所示：



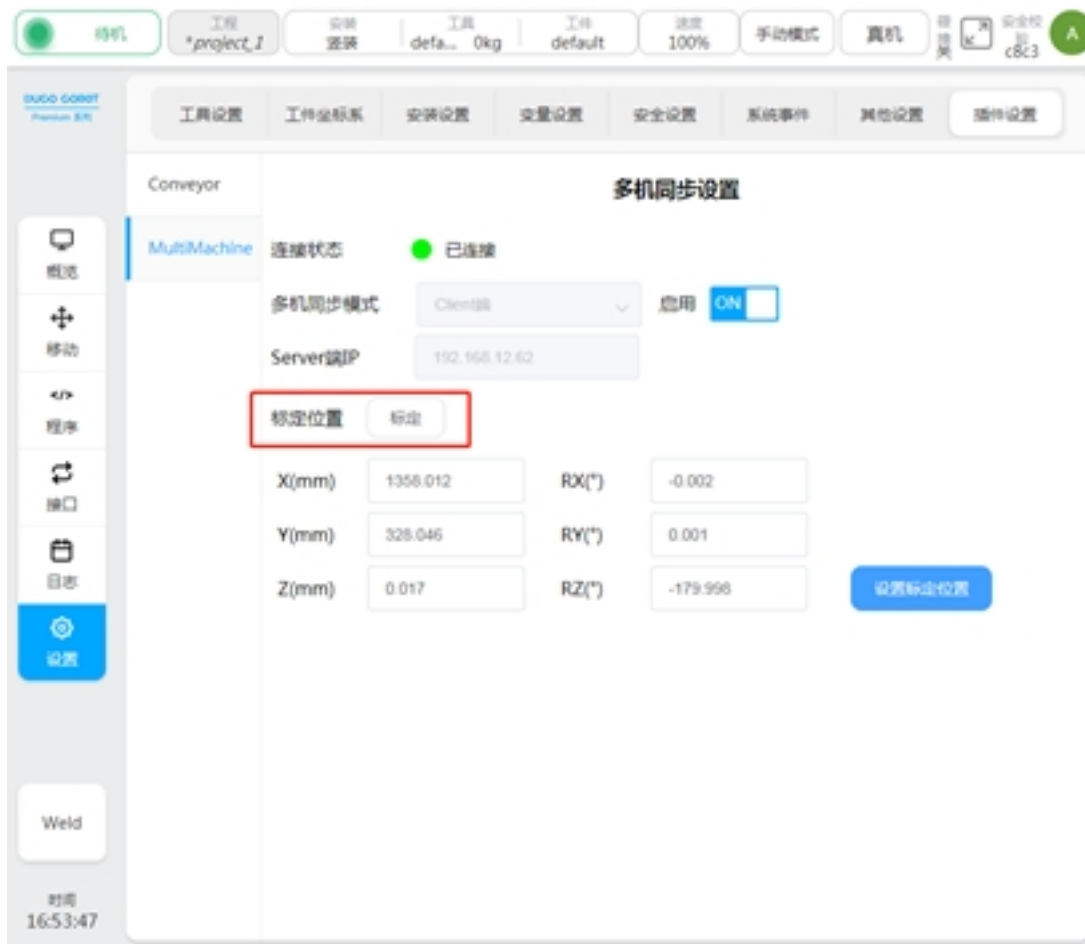
需要注意的是，从机器人需要正确配置对应连接的控制端主机器人 LAN 口 IP 地址，从而实现主从间通讯。正确配置从机器人后，可启用从机器人的多机协同功能，确认通讯是否正确连接，如下图所示：



对于从机器人，若通讯正常，则连接状态指示灯将点亮。

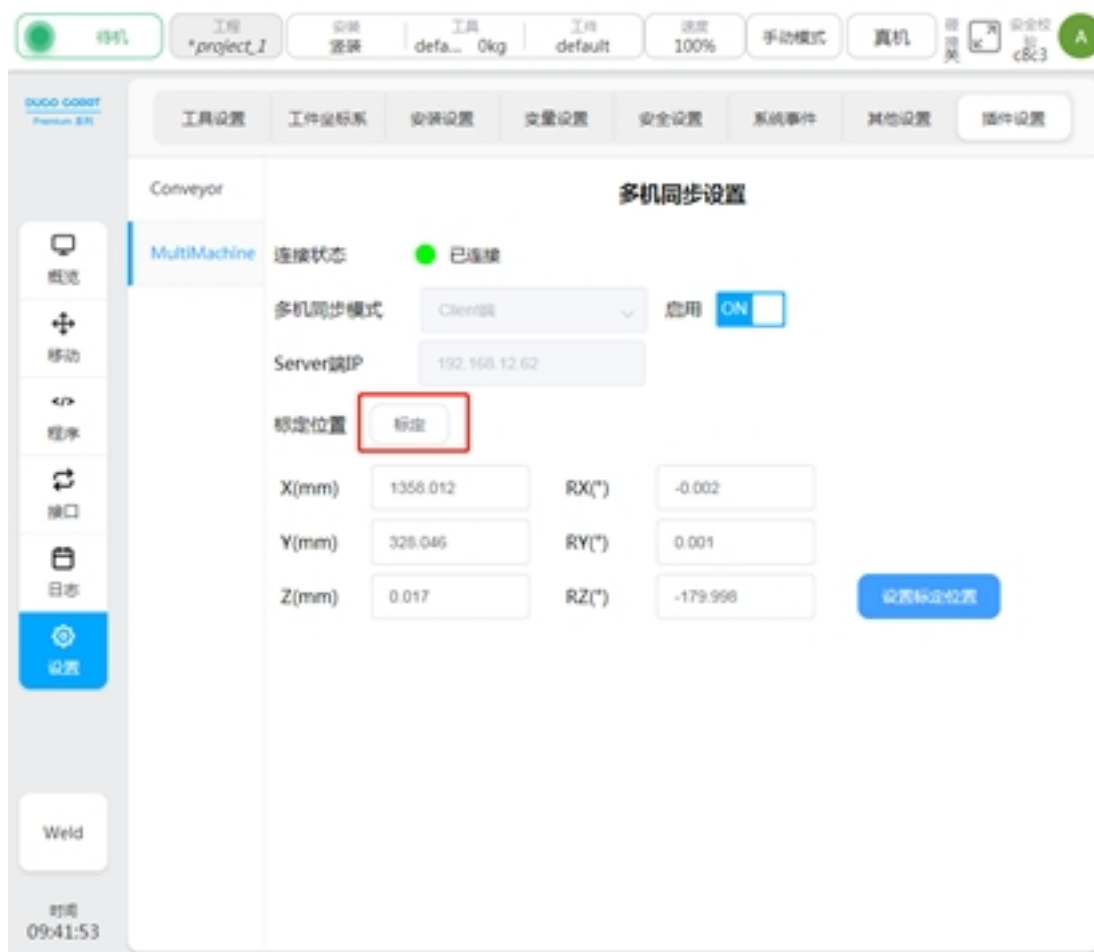
## 2.5 主从标定

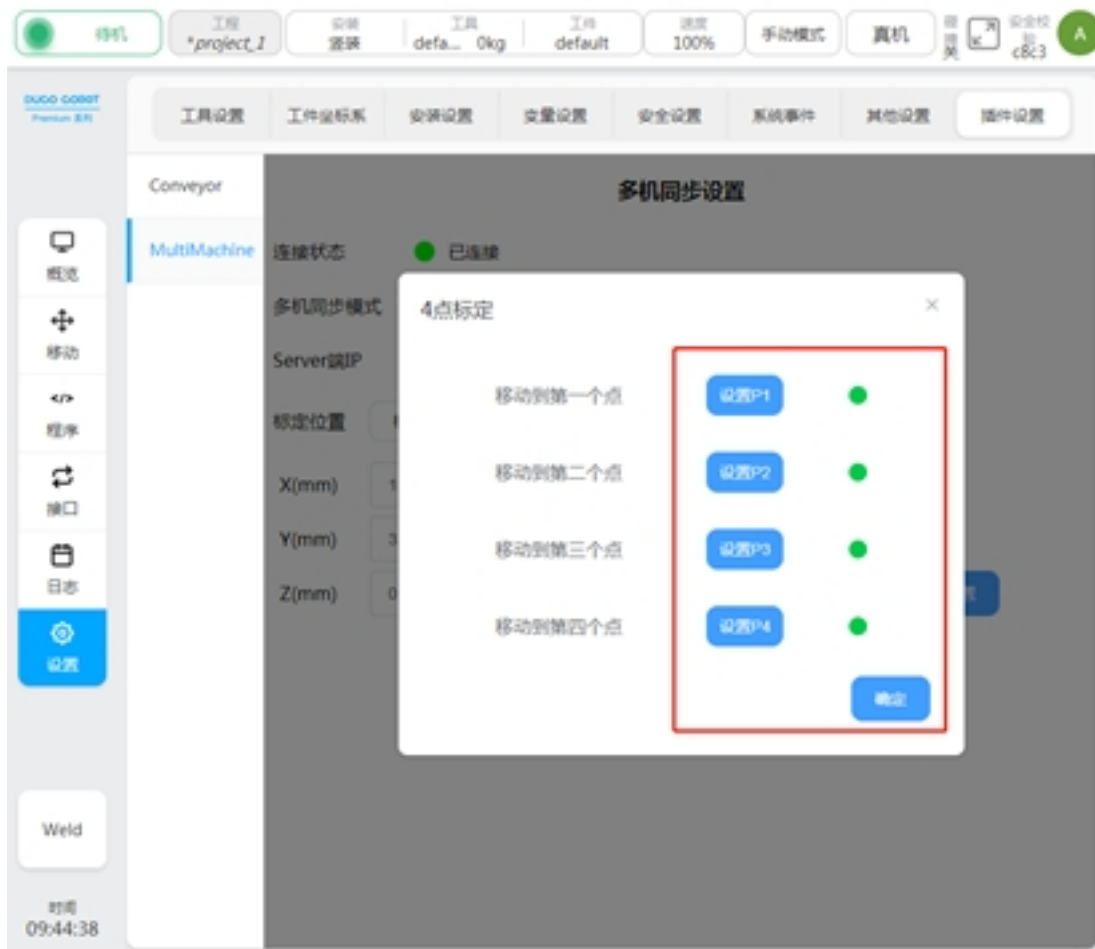
当完成主从机器人通讯配置并确认连接已正常建立后，需对从机器人进行主从安装位姿关系标定后才可进行多机协同功能的使用。如下图所示：



在标定过程中，需要将机器人工具切换至当前工具，并将主从机器人的工具中心分别移动到空间中的同一点上，并进行记录。重复 4 次上述流程后即可完成当前主从机器人间相对安装位姿关系的标定。如下图所示：

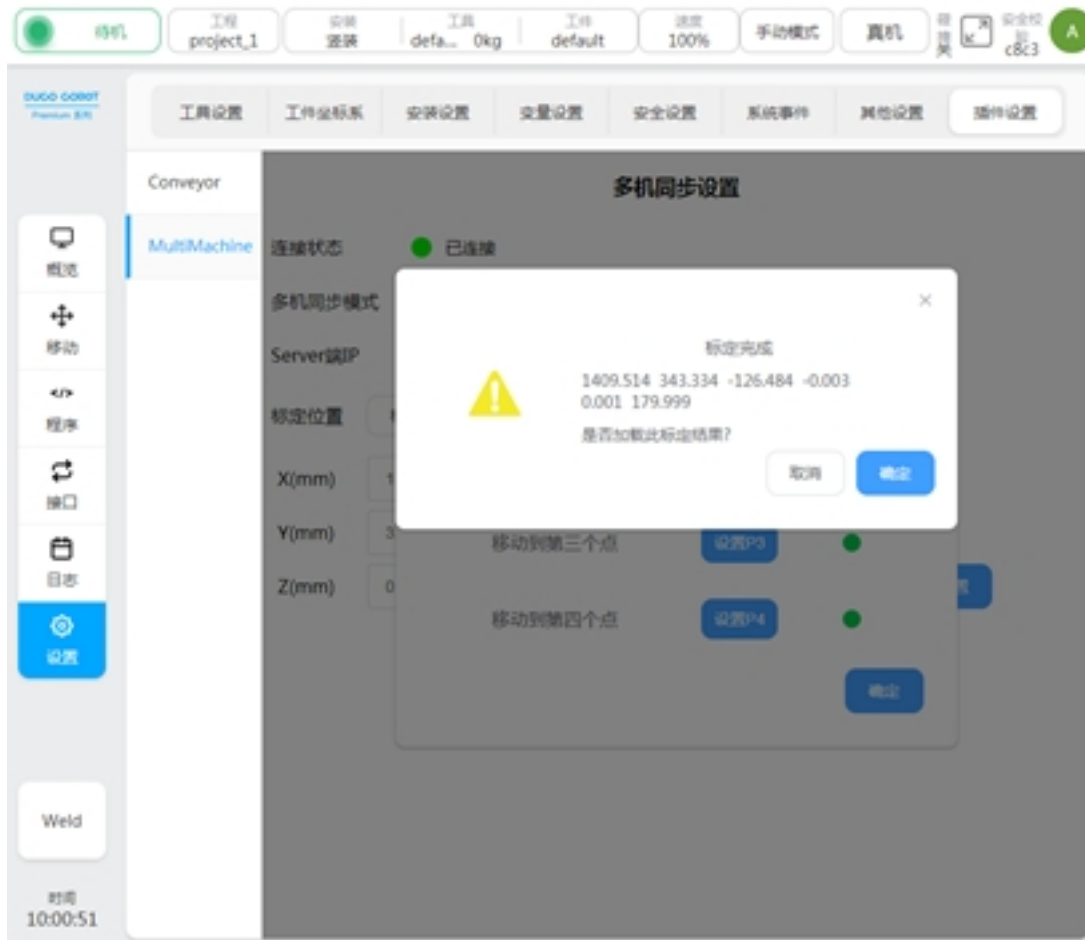
配图：（主从机器人工具移动到空间同一点）

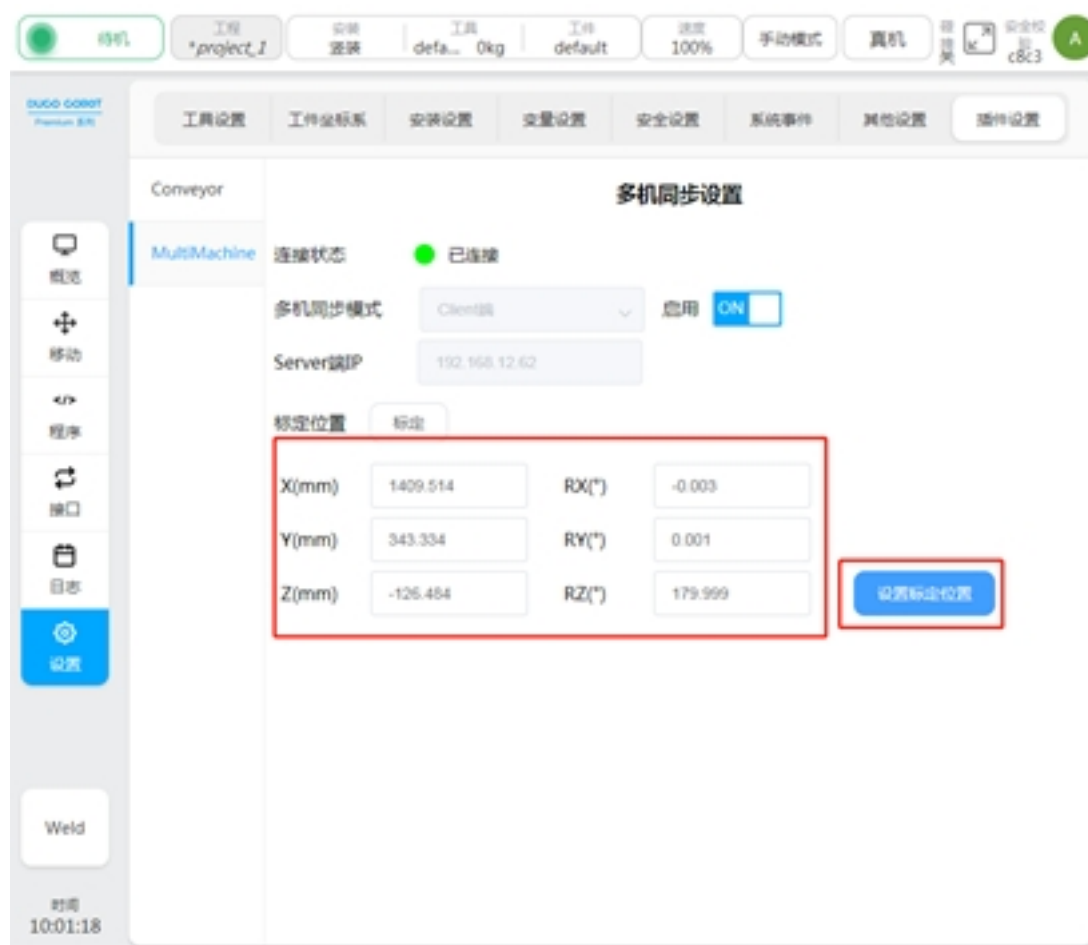




确认 4 次主从关系标定点位配置成功后，点击确定获取从机器人基坐标系相对于主机器人基坐标系的描述关系，并将结果填入配置参数中生效。如下图所示：







### 3.1 功能简述

用户选择使用多机协同编程功能，可以实现主机器人对从机器人进行控制，使从机器人能够参考用户所设定的多机协同模式参考主机器人运动状态进行同步运动，从而实现主从机器人对同一工件进行作业的场景需求。

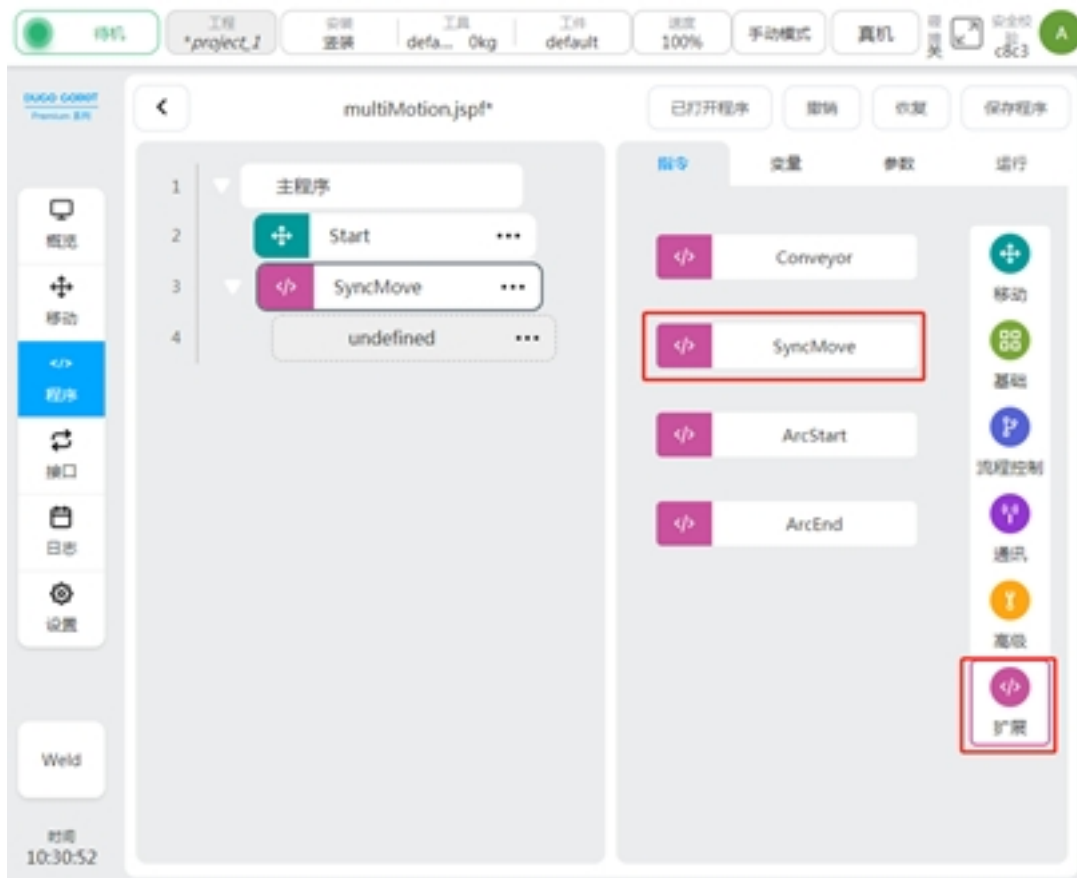
### 3.2 功能限制

用户使用多机协同编程功能时，需要注意以下功能限制：

- 使用该功能需要确保主从机器人已建立稳定的通讯连接。
- 使用该功能需要确保主从机器人已正确配置各自多机协同功能配置参数。

### 3.3 多机协同程序

用户选择使用多机协同编程功能时，可以在机器人程序编程界面-扩展中添加多机协同程序，如下图所示：



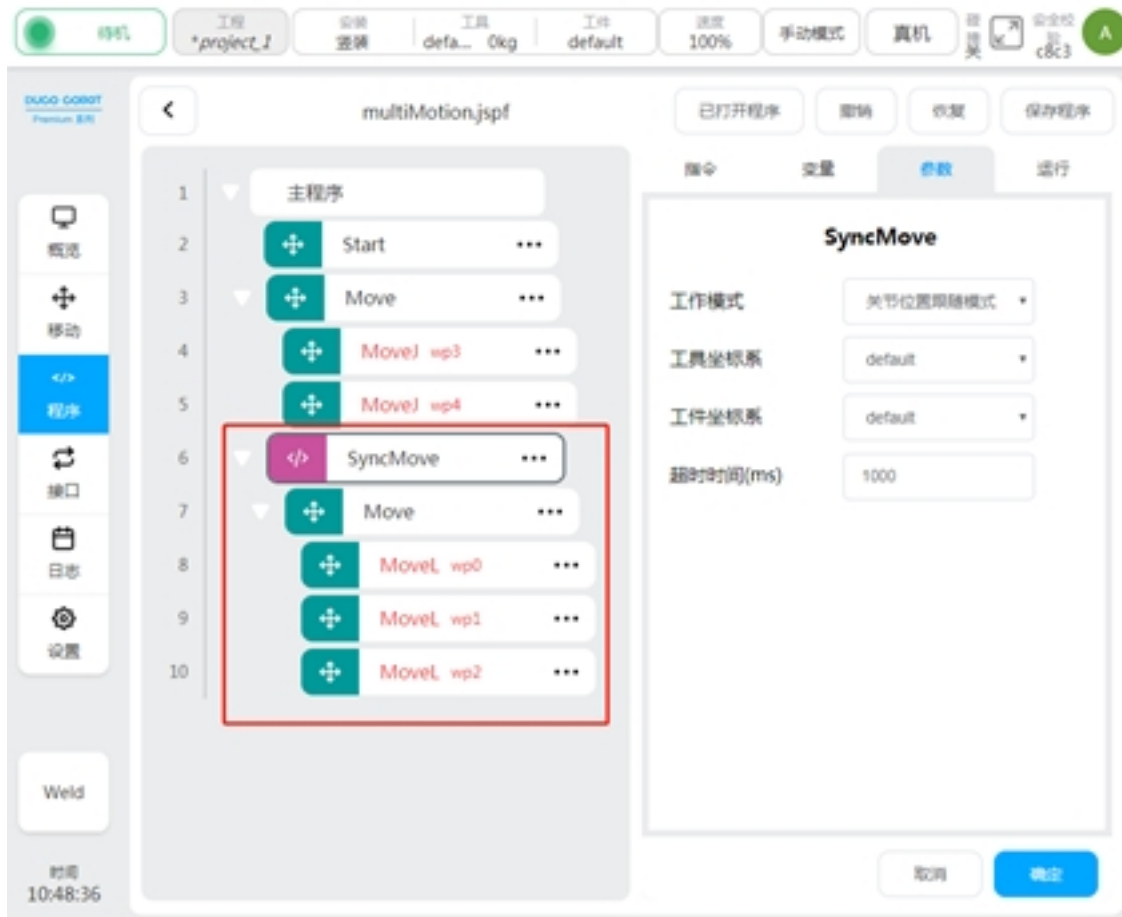
多机协同程序包括：

- SyncMove 程序

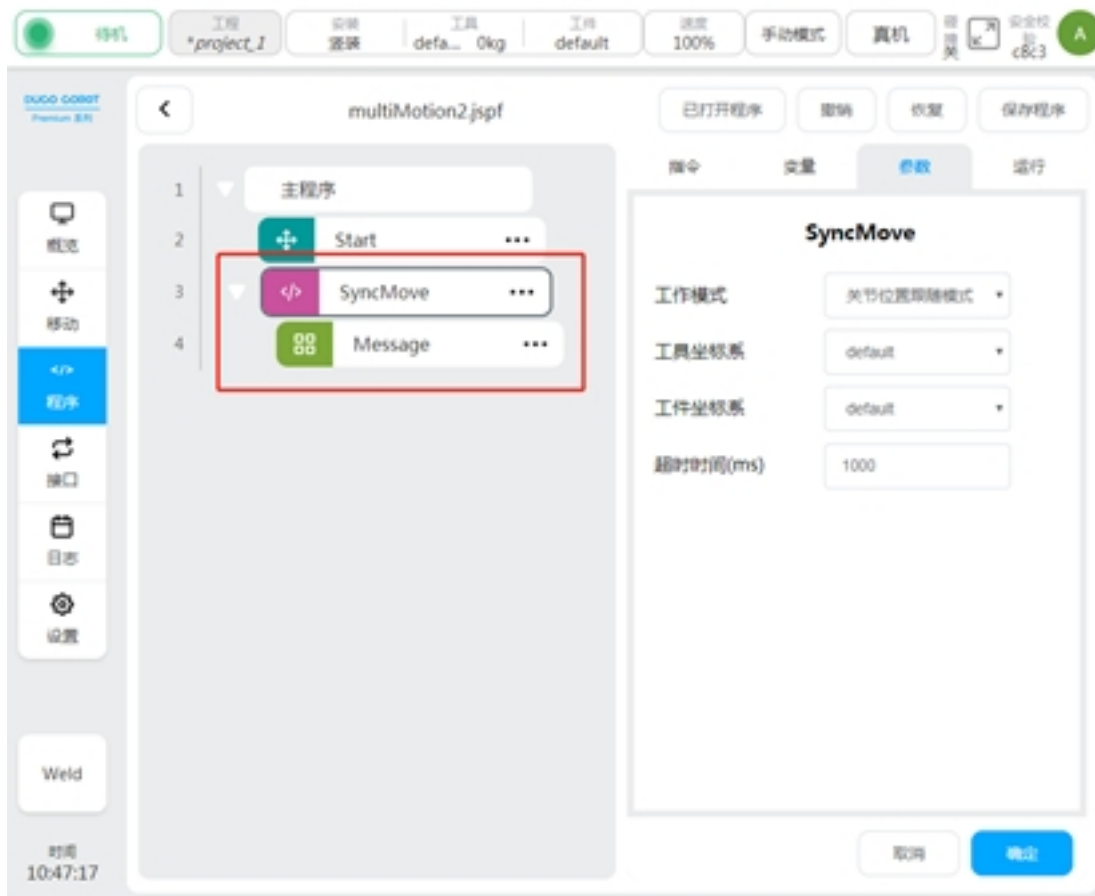
### 3.4 Sync 程序

用户可以选择使用 Sync 程序分别使主从机器人工作于多机协同模式。

主机器人如下图所示：

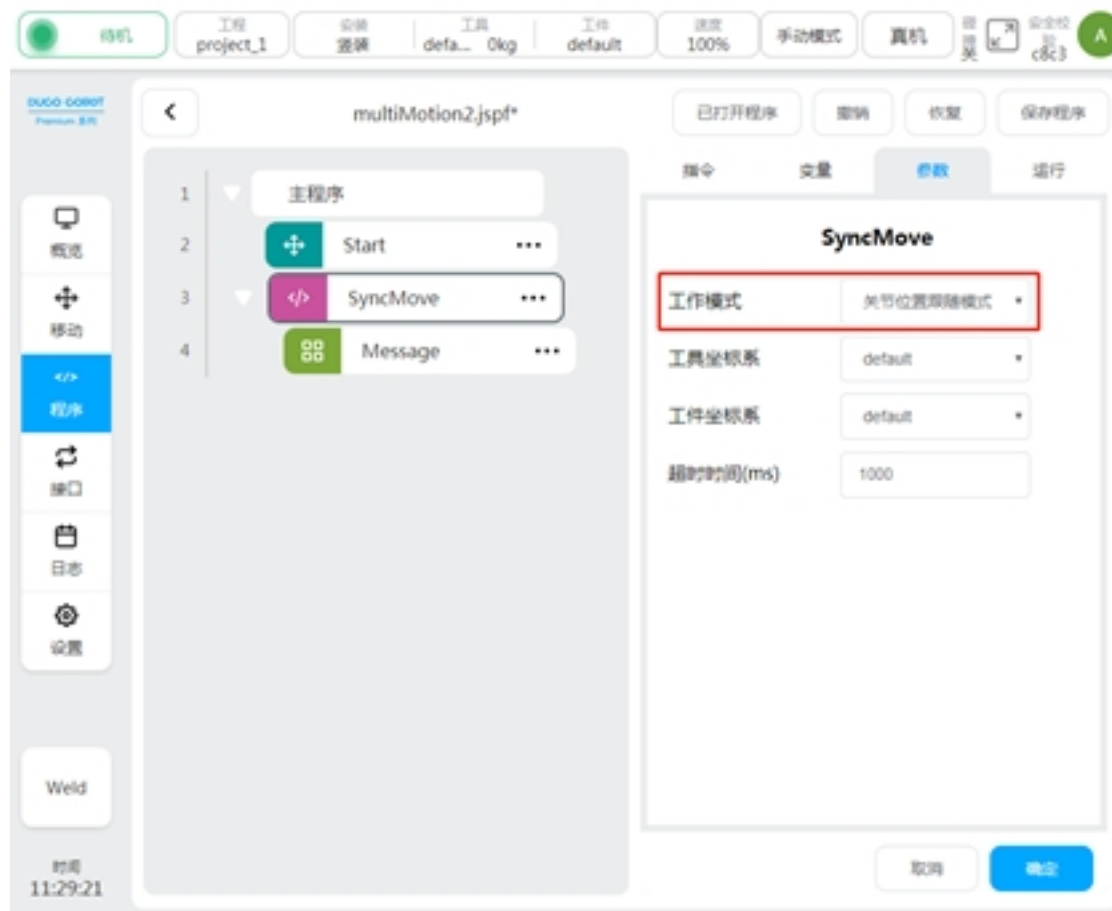


从机器人如下图所示：



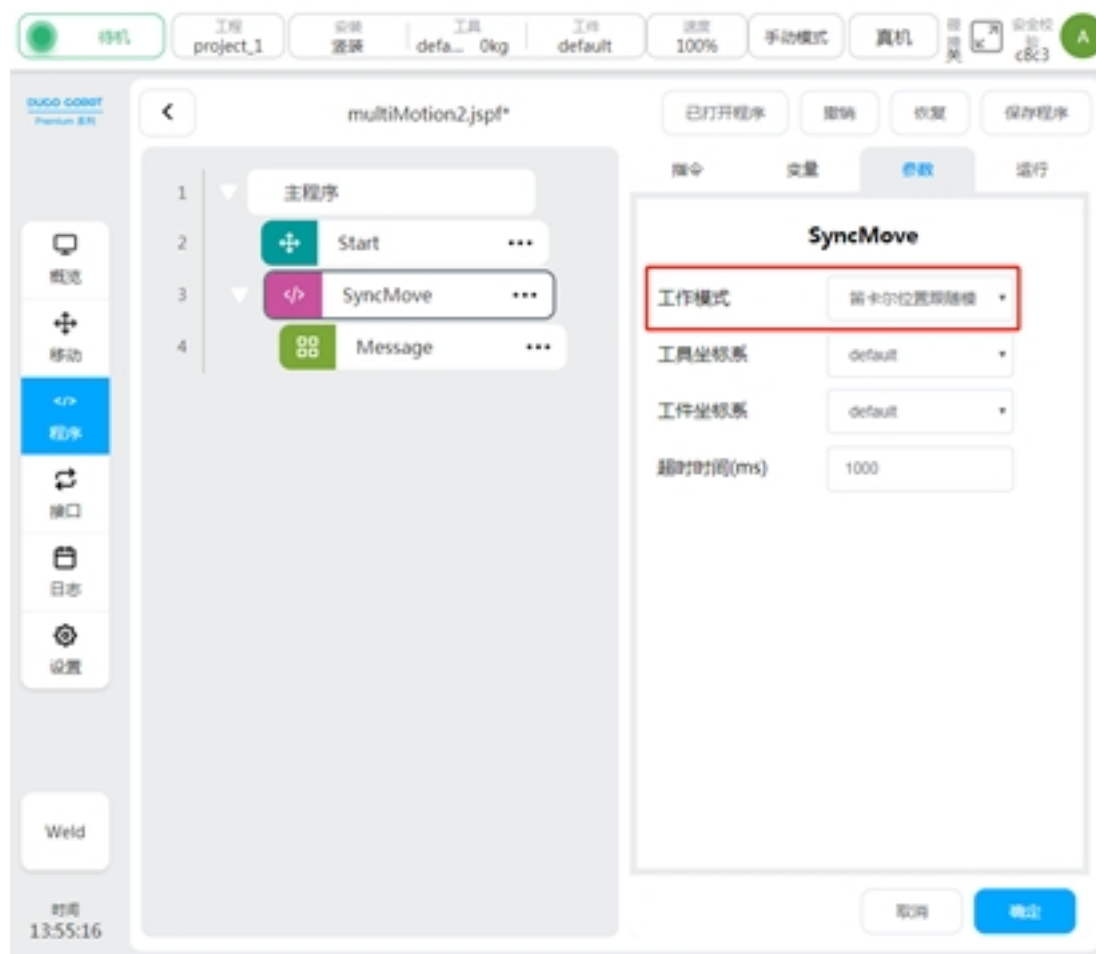
当用户选择使用 **SyncMove** 程序时，当且仅当主从机器人程序同时运行到 **SyncMove** 程序，主从机器人会向另一方发送同步信号并开始执行 **SyncMove** 程序根节点下的子节点程序。若主从机器人任意一方未在超时时间内检测到另一方机器人的同步信号，则会认为多机协同功能同步失败并触发报错。

### 3.5 关节位置跟随模式



用户使用 SyncMove 程序并配置工作模式为关节位置跟随模式时，从机器人将参照主机器人 SyncMove 程序根节点下的运动进行关节空间位置同步运动，并严格保证关节空间位置指令相同。需要注意的是，当主从机器人同时执行 SyncMove 程序时，若当前关节位置不同，从机器人将自动以 Movej 的形式将机器人关节移动至与主机器人关节所在位置相同的位置，并从该位置开始与主机器人同步进行关节位置同步运动。在同步运动过程中，主机器人将执行 SyncMove 程序根节点下的所有脚本，从机器人程序将保持运行 SyncMove 程序，直到主机器人 SyncMove 程序根节点下的所有程序运行完成，主从机器人将向对方发送结束同步信号。双方确定同步运动完成后执行后续程序。

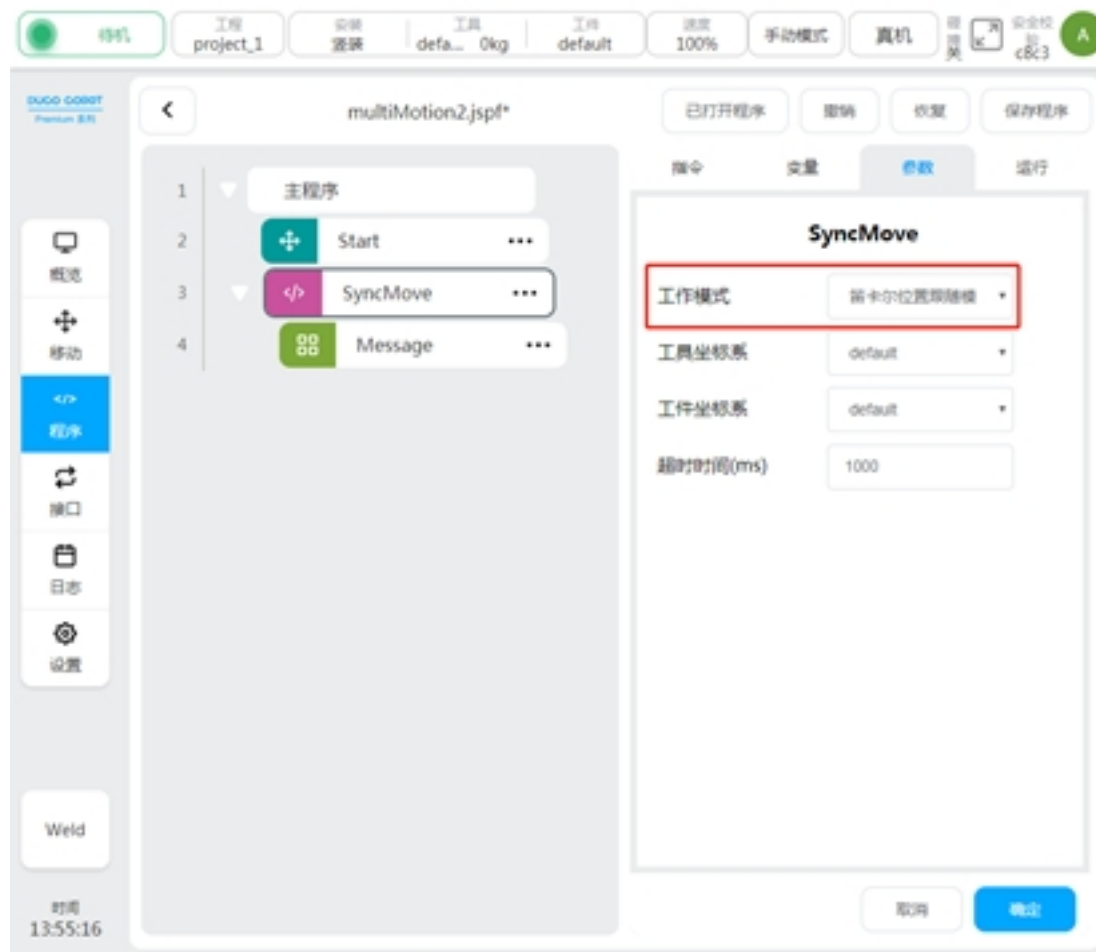
### 3.6 关节速度跟随模式



用户使用 SyncMove 程序并配置工作模式为关节速度跟随模式时，从机器人将参照主机器人 SyncMove 程序根节点下的运动进行关节空间速度同步运动，并严格保证关节空间速度指令相同。需要注意的是，当主从机器人同时执行 SyncMove 程序时关节位置不同时，从机器人会以当前所在位置开始进行运动。在同步运动过程中，主机器人将执行 SyncMove 程序根节点下的所有脚本，从机器人程序将保持运行 SyncMove 程序，直到主机器人 SyncMove 程序根节点下的所有程序运行完成，主从机器人将向对方发送结束同步信号。双方确定同步运动完成后执行后续程序。



### 3.7 笛卡尔位置跟随模式



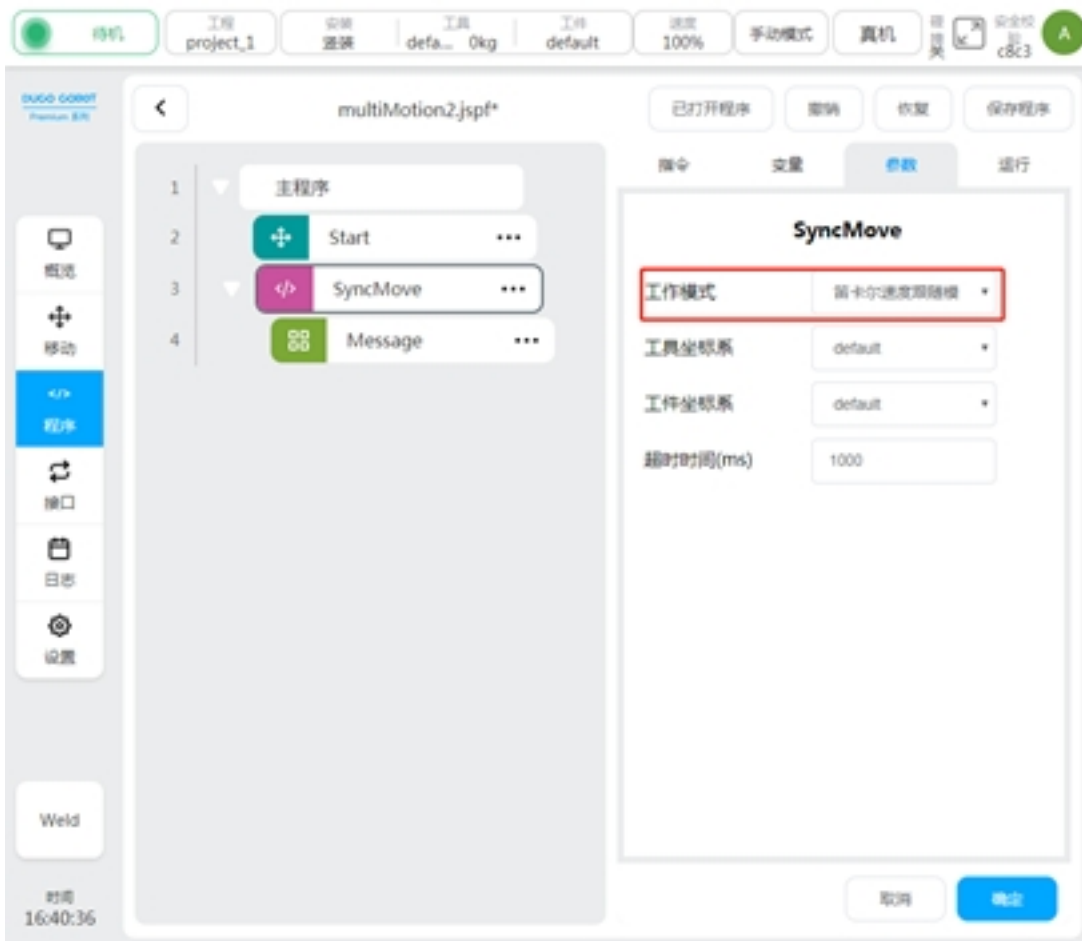
用户使用 SyncMove 程序并配置工作模式为笛卡尔位置跟随模式时，从机器人将参照主机机器人 SyncMove 程序根节点下的运动进行笛卡尔空间位置同步运动，并严格保证笛卡尔空间位置指令相同。需要注意的是，该笛卡尔位置为主从机器人各自 SyncMove 程序中所配置的工具坐标系在其对应配置的工件坐标系中的位姿描述。当主从机器人同时执行 SyncMove 程序时，若当前所处笛卡尔位置不同，从机器人将自动以 MovejPose 的形式将机器人工具参考其工件坐标系移动至与主机器人工具参考其工件坐标系所在位置相同的位置，并从该位置开始与主机器人同步进行笛卡尔位置同步运动。

在同步运动过程中，主机器人将执行 SyncMove 程序根节点下的所有脚本，从机器人程序将保持运行 SyncMove 程序，直到主机器人 SyncMove 程序根节点下的所有程序运行完成，主从机器人将向对方发送结束同步信号。双方确定同步运动完成后执行后续程序。



在笛卡尔位置跟随模式下，若主机器人在同步运动过程中使用了类似于 Movej 的关节空间运动程序，从机器人仍然会参考主机器人工具坐标系在工件坐标系中的位姿描述进行跟随。若此时主机器人关节空间运动经过机器人奇异构型，则会导致从机器人产生关节失速。

### 3.8 笛卡尔速度跟随模式



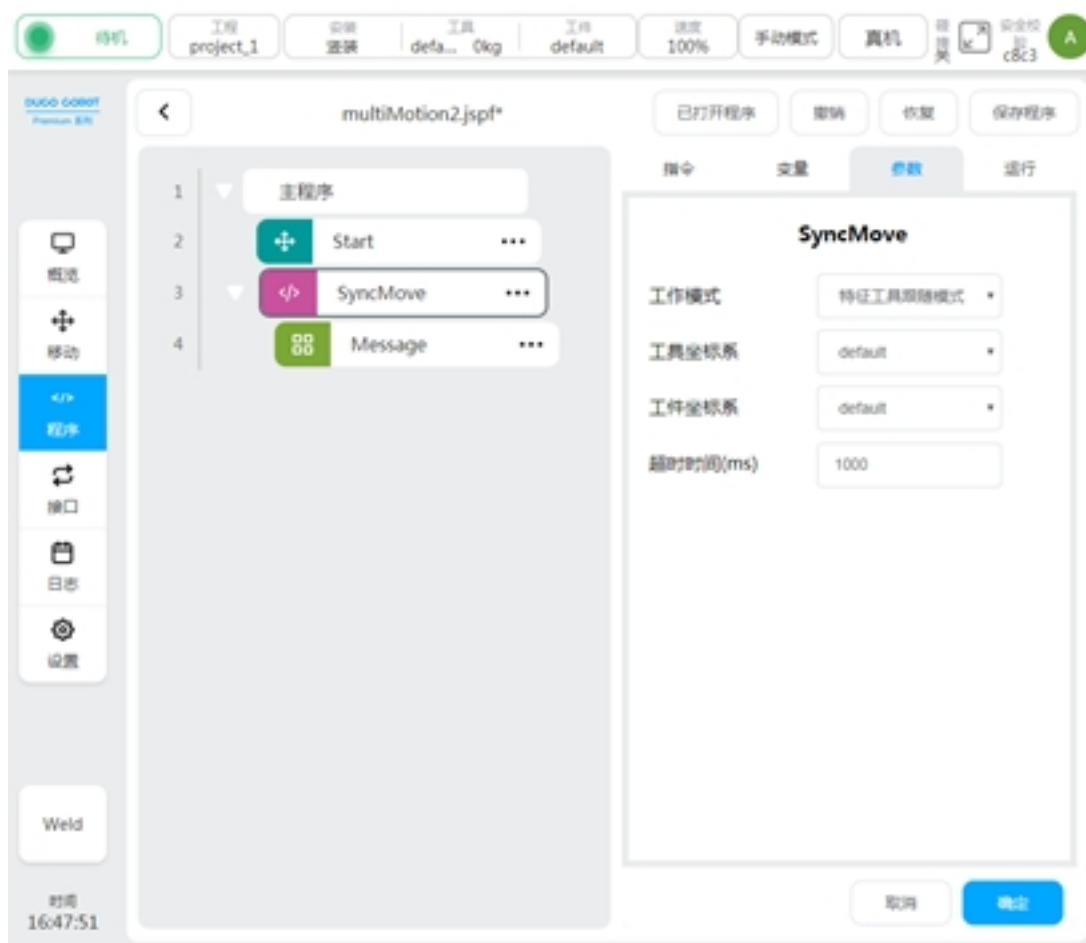
用户使用 SyncMove 程序并配置工作模式为笛卡尔速度跟随模式时，从机器人将参照主机器人 SyncMove 程序根节点下的运动进行笛卡尔空间速度同步运动，并严格保证笛卡尔空间速度指令相同。需要注意的是，该笛卡尔速度为主从机器人各自 SyncMove 程序中所配置的工具坐标系在其对应配置的工件坐标系中的位姿速度描述。在同步运动过程中，主机器人将执行 SyncMove 程序根节点下的所有脚本，从机器人程序将保持运行 SyncMove 程序，直到主机器人 SyncMove 程序根节点下的所有程序运行完成，主从机器人将向对方发送结束同步信号。双方确定同步运动完成后执行后续程序。



## 注意

在笛卡尔速度跟随模式下，若主机器人在同步运动过程中使用了类似于 Movej 的关节空间运动程序，从机器人仍然会参考主机器人工具坐标系在工件坐标系中的位姿描述进行跟随。若此时主机器人关节空间运动经过机器人奇异构型，则会导致从机器人产生关节失速。

### 3.9 特征工具跟随模式



用户使用 SyncMove 程序并配置工作模式为特征工具跟随模式时，从机器人将参照主机器人 SyncMove 程序配置的工具所在位置作为从机器人自身运动的工件坐标系，即从机器人 SyncMove 程序根节点下配置的所有运动类程序中所配置工件坐标系将不再有效，主机器人工具在空间中所产生的运动都会使从机器人对应产生跟随运动。此时从机器人将以主机器人的工具所在位置作为工件坐标系，执行 SyncMove 程序根节点以下的运动指令（类似于传送带跟随）。

在同步运动过程中，主机器人和从机器人都将执行 SyncMove 程序根节点下的所有脚本，直到主机器人与从机器人 SyncMove 程序根节点下的所有程序运行完成，主从机器人将向对方发送结束同步信号。双方确定同步运动完成后执行后续程序。



在特征工具跟随模式下，需要考虑从机器人运动路径是否会经过机器人奇异构型，若经过则会导致从机器人产生关节失速。

## 4.1 同步跟随应用案例

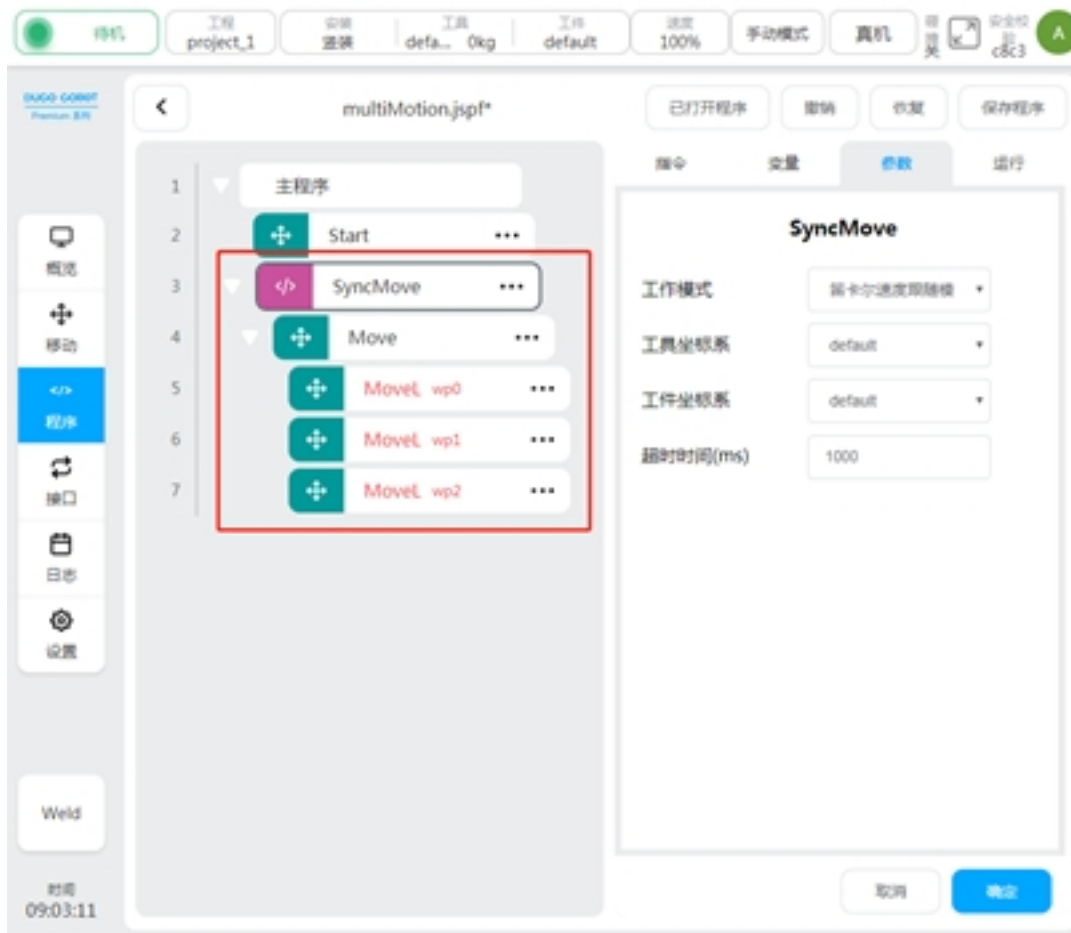


如图所示，两台机械臂期望以图中显示状态同时对同一工件进行抓取及摆放操作。由于工件自身较长且刚度较大，需要两台机械臂以极高精度同步性对其完成协同作业，避免由于两台机械臂间由于运动不同步导致对工件产生较大剪切力导致工件损坏。

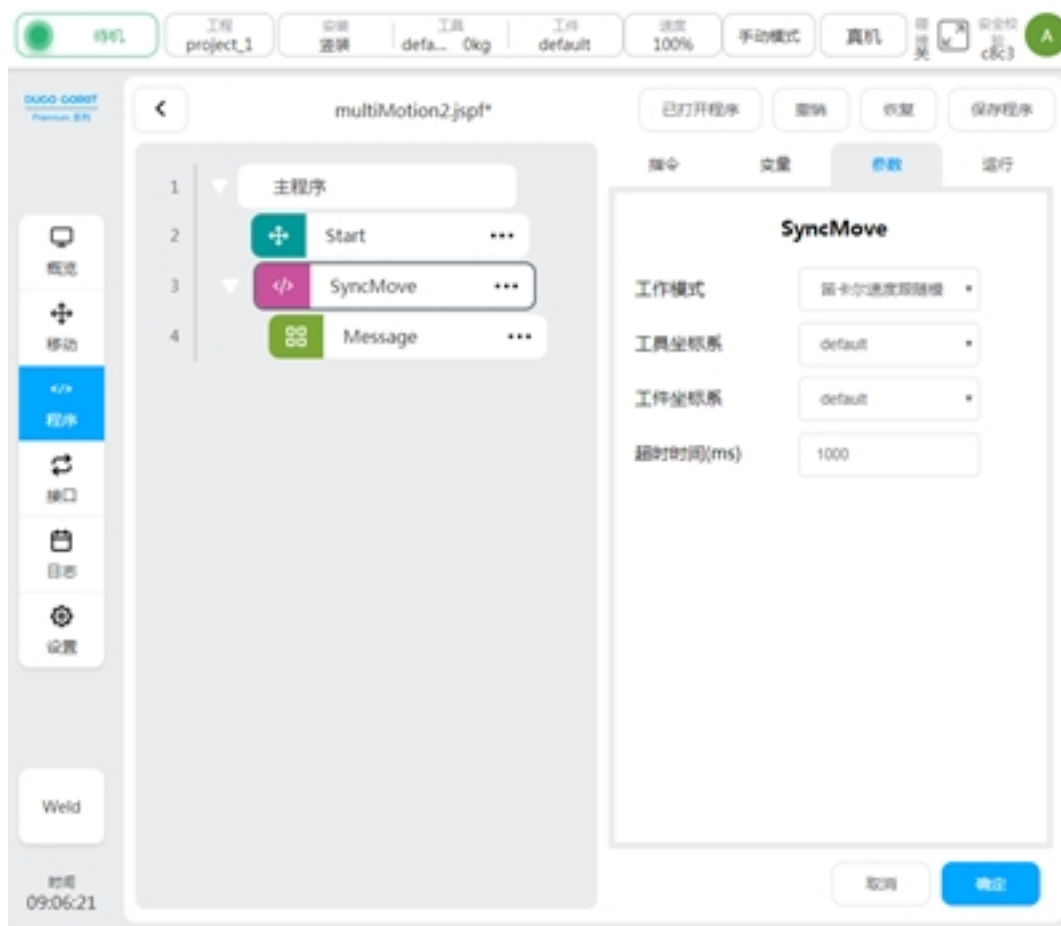
针对上述工况，通过多机协同编程可以以如下方式实现：

1、参考章节 3 至章节 4，完成对两台机械臂的多机协同功能插件安装、通讯连接调试、主从配置、主从标定及功能启用；

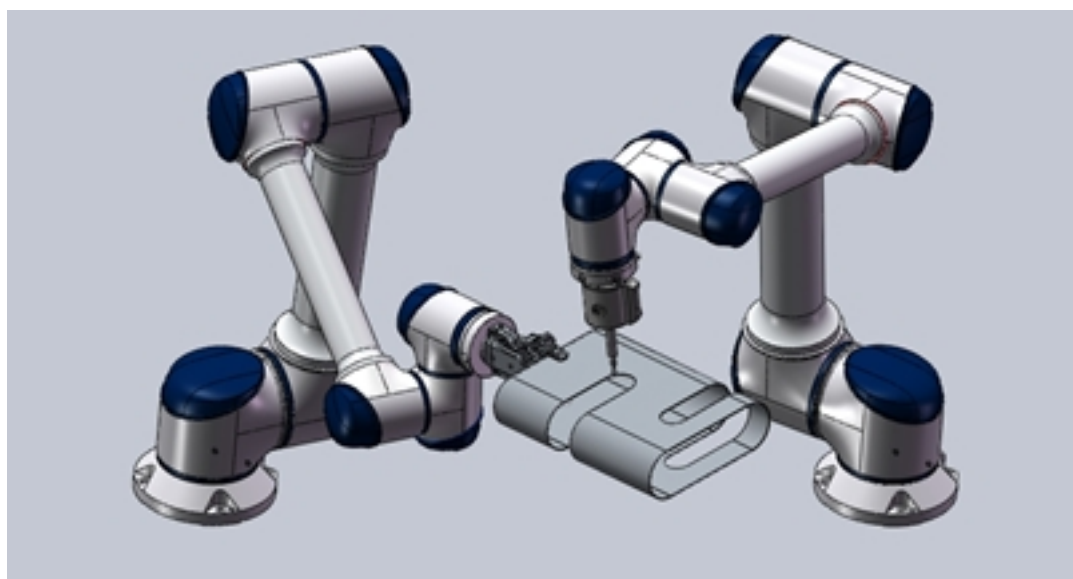
2、编写主机器人脚本程序，在抓取工件起点添加 **SyncMove** 脚本根节点，正确配置参数，并在根节点下添加工件抓取与摆放所需运动脚本。由于实际工况需要主从机械臂在笛卡尔空间中严格保持抓取速度的同步，从而避免对工件产生剪切力，因此可以使用笛卡尔速度跟随模式。若两台机械臂通过正确配置工具及工件坐标系，使其在抓取过程中各自工具在工件坐标系中的位置始终相同，也可以选用笛卡尔位置跟随模式。如下图所示：



3、在完成主机器人配置后，从机器人只需在其工件抓取起点添加 SyncMove 根节点并配置即可，无需在其下方添加任何其他指令。如下图所示：



## 4.2 特征跟随应用案例

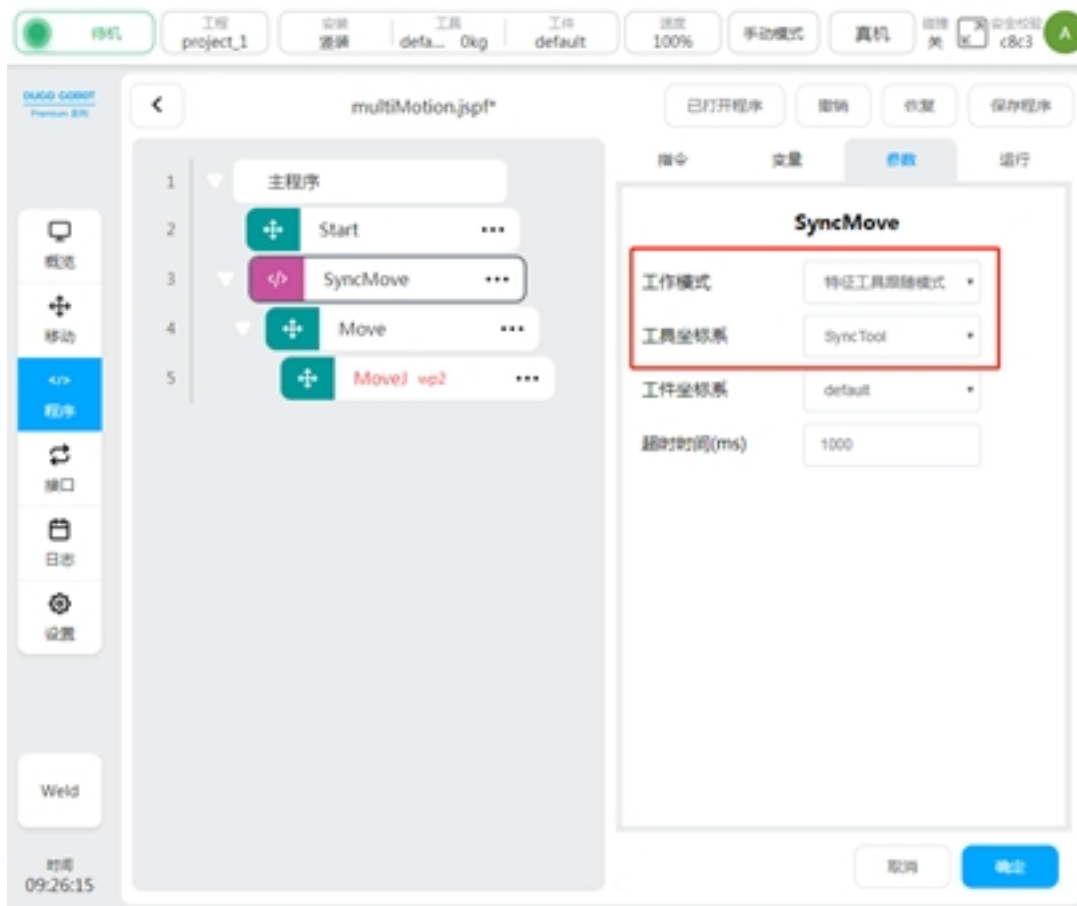


如图所示，机械臂需要对工件进行加工打磨操作，但是由于构型限制其空间运动范围，导致机械臂无法有效完成对完整工件表面的加工作业。此时需要另一台机械臂抓取工件进行移动，使完整工件表面可以被加工打磨机械臂在其工作空间中接触并完成作业。

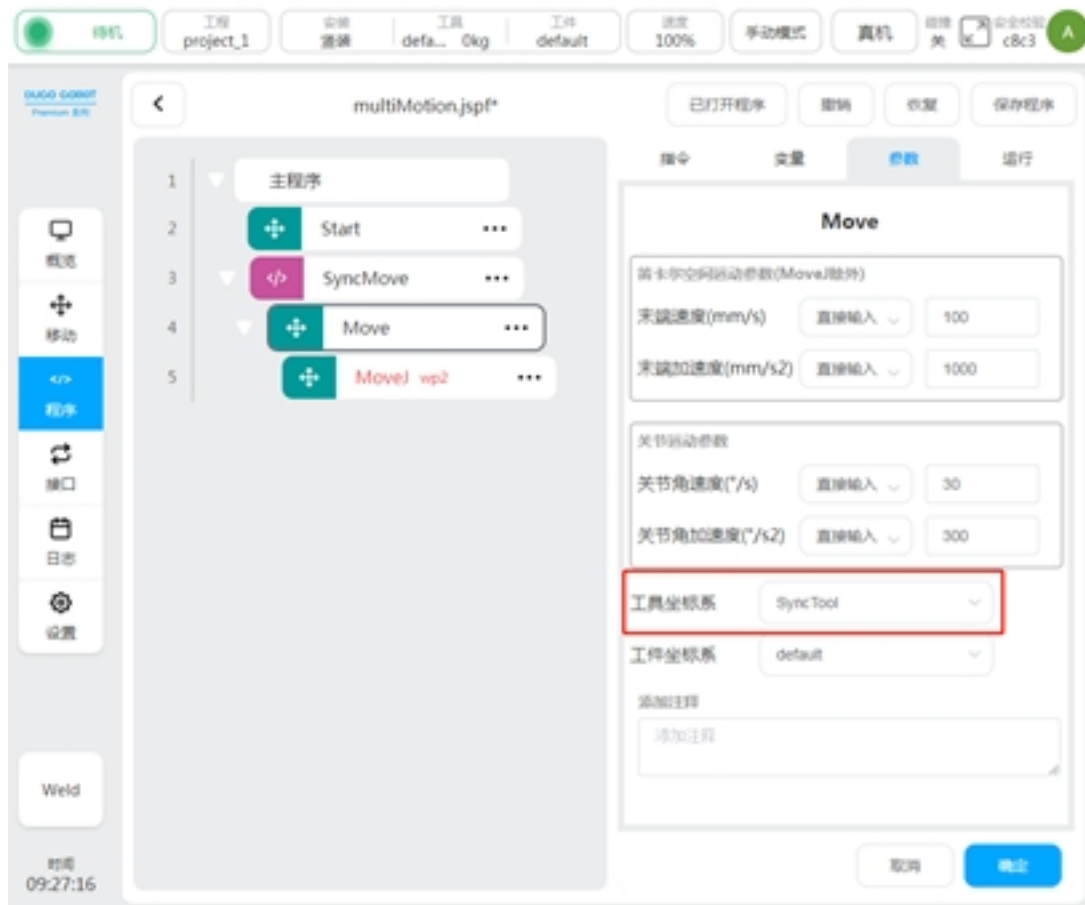
针对上述工况，通过多机协同编程可以以如下方式实现：

1、参考章节 3 至章节 4，完成对两台机械臂的多机协同功能插件安装、通讯连接调试、主从配置、主从标定及功能启用；

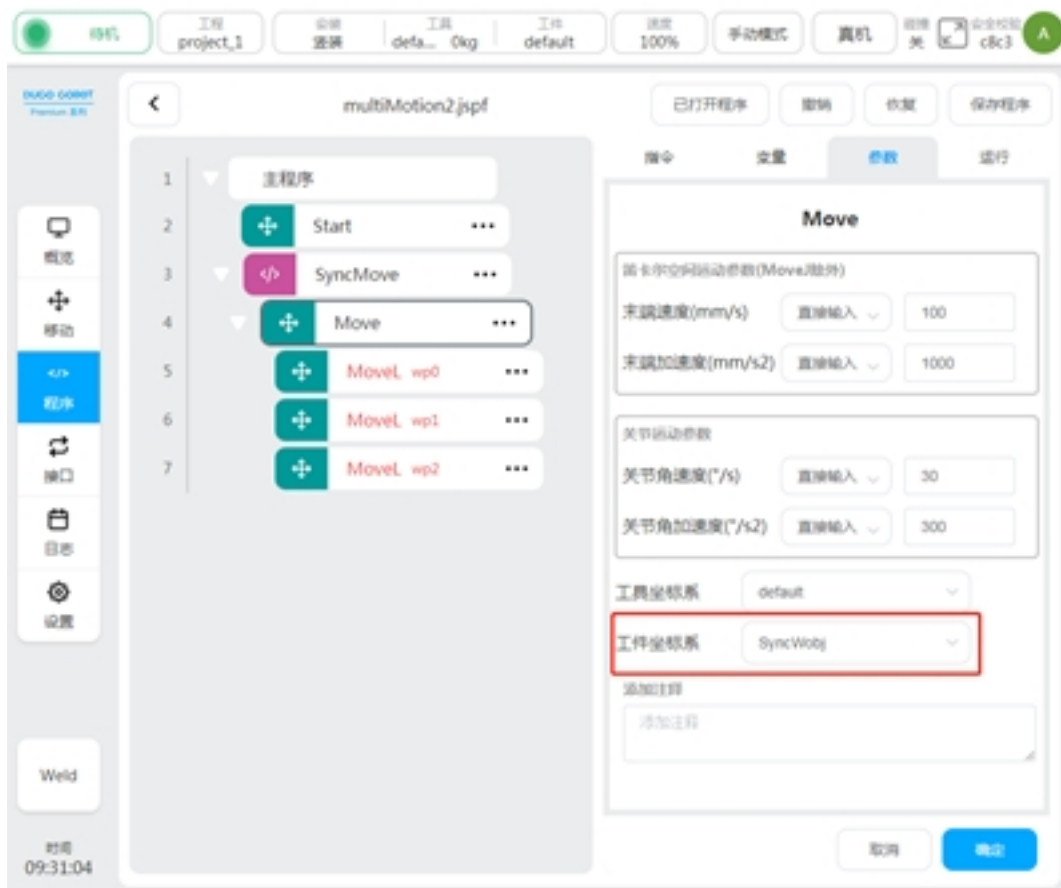
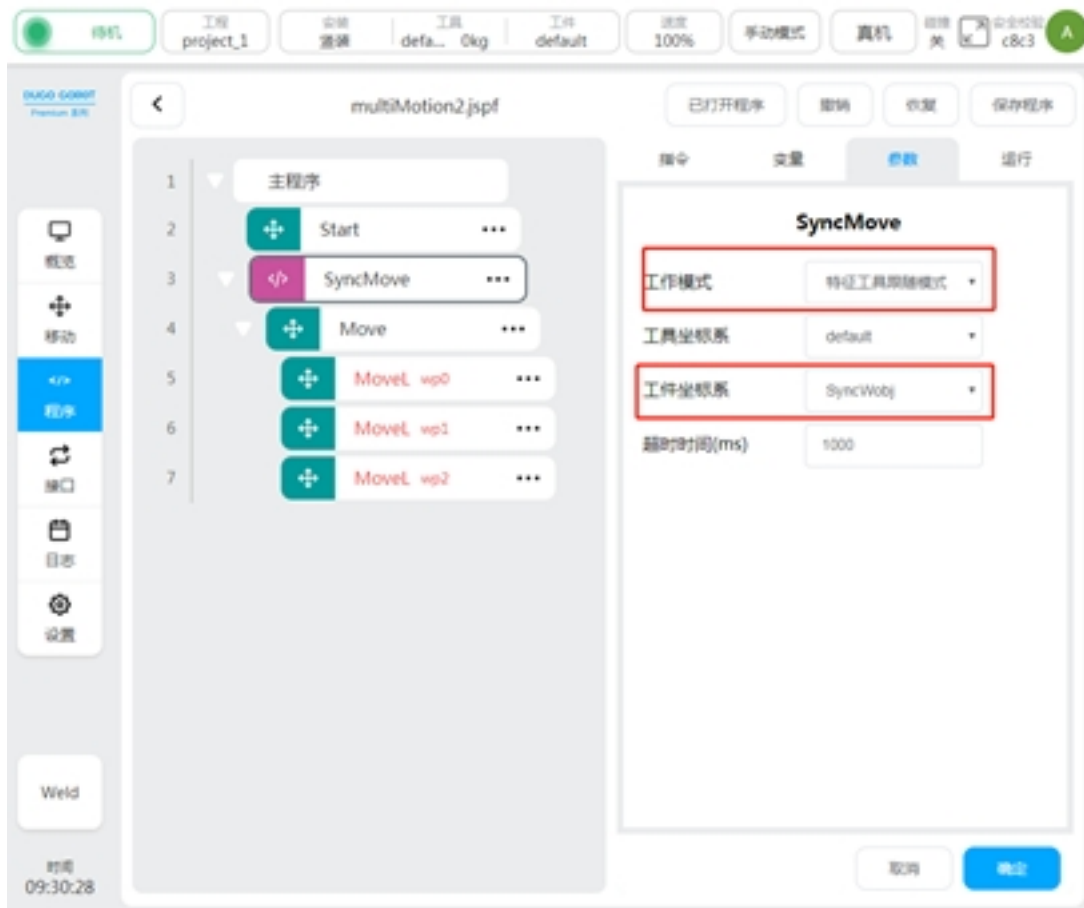
2、主机器人作为工件抓取机器人，选取抓取工件后工件上一特征点作为其工具坐标系，用以编写 SyncMove 同步运动过程中运动脚本，如下图所示：







3、从机器人作为作业机器人，需选取工件上的同一特征点作为其工件坐标系，并在该工件坐标系中完成对工件作业轨迹的示教，并将其添加至 SyncMove 脚本根节点下。如下图所示：



4、当主从机器人进入同步模式后，主从机器人会开始参考各自 **SyncMove** 根节点下的运动脚本开始执行运动指令。从机器人在同步过程中，所有运动所参考工件坐标系会同步为主机器人的工具坐标系所在位置，并实时对自身运动指令进行修正，从而实现同步作业加工的目标。