



# Elfin 力控功能说明



---

## 版本说明

版本号	修改日期	修改人	修改说明
V1.0	2022-1-17	邹杰鑫	编写
V1.1	2022-2-28	邹杰鑫	去除第 3 章安装角度配置的操作; 新增第 2.2 力控插件安装的操作说明; 增加标定参考点位;

---

## 目录

Elfin 力控功能说明 .....	1
版本说明 .....	2
1. 介绍 .....	4
1.1. 目的 .....	4
1.2. 硬件设备列表 .....	4
2. 安装 .....	4
2.1. 硬件安装 .....	4
2.1.1. 机械连接 .....	4
2.1.2. 电气连接 .....	4
2.2. 插件安装与使用 .....	4
3. 配置 .....	7
3.1. 标定 .....	7
4. 力控功能使用 .....	10
4.1. 自由驱动 .....	10
4.2. 恒力控制 .....	13
5. 示例 .....	14
5.1. 曲面打磨 .....	14
5.1.1. 程序编写 .....	15
5.1.2. 参数设置 .....	18

---

## 1. 介绍

### 1.1. 目的

本文通过讲解如何使用大族机器人如何使用蓝点触控力传感器, 让客户熟悉并掌握大族机器人的力控功能。

### 1.2. 硬件设备列表

本方案适用于大族机器人型号: E03、E05、E05L、E10、E10L。

需配备第三方产品: 蓝点触控传感器 ST-6-500-20

## 2. 安装

### 2.1. 硬件安装

#### 2.1.1. 机械连接

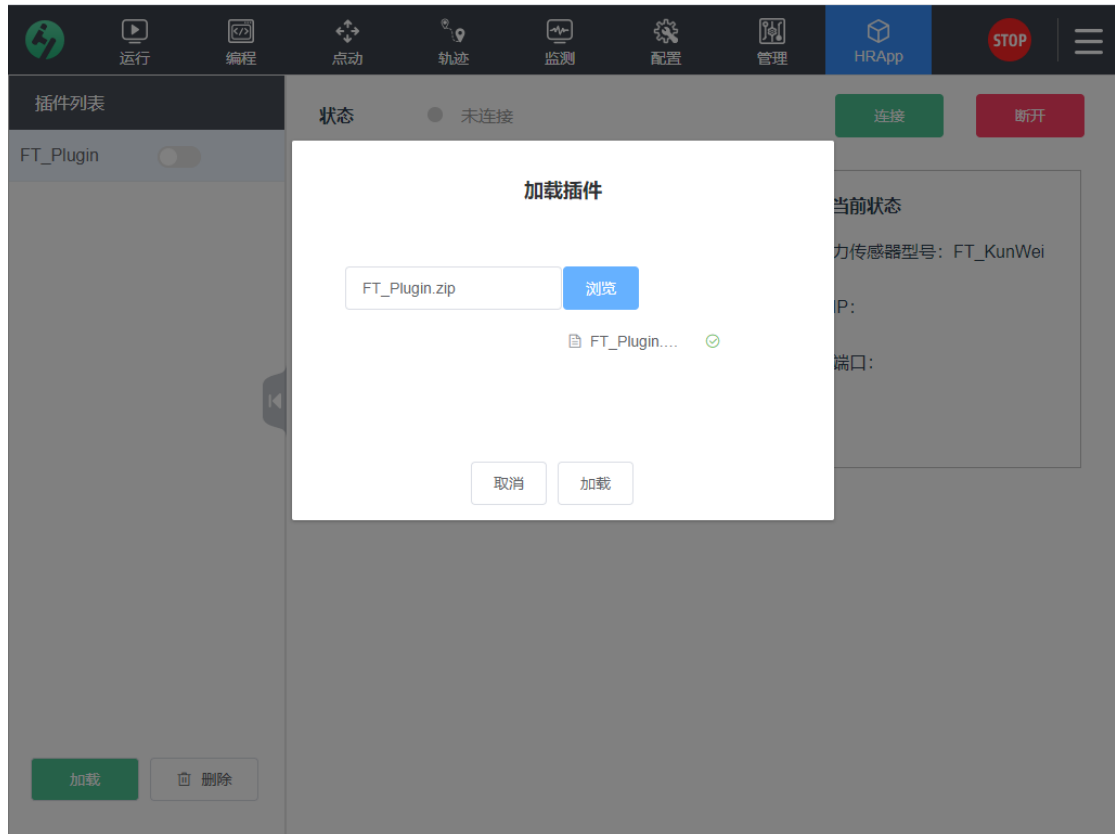
根据传感器类型与相应夹具进行安装, 将传感器固定于机械臂末端。

#### 2.1.2. 电气连接

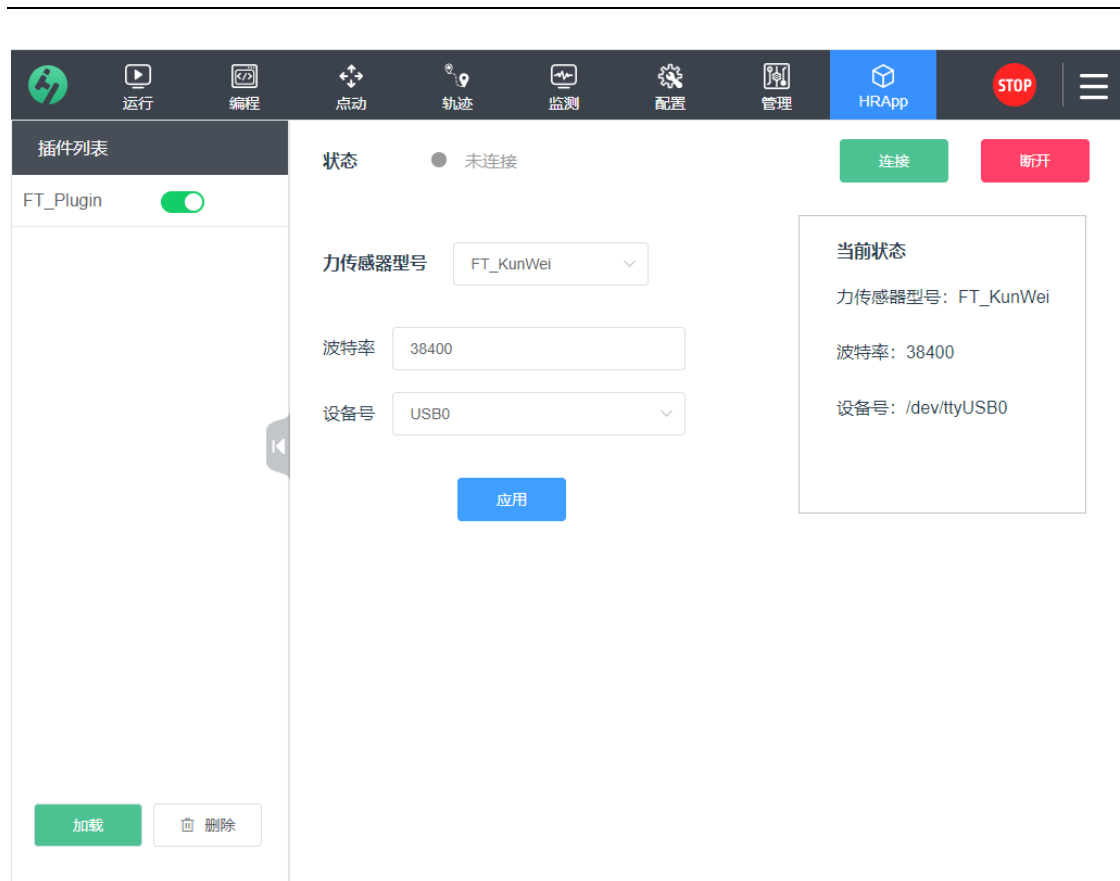
根据传感器类型通过网线或串口转 USB 转接口连接于控制柜电箱上, 通过电箱或外接电源供电, 参考传感器使用手册。

### 2.2. 插件安装与使用

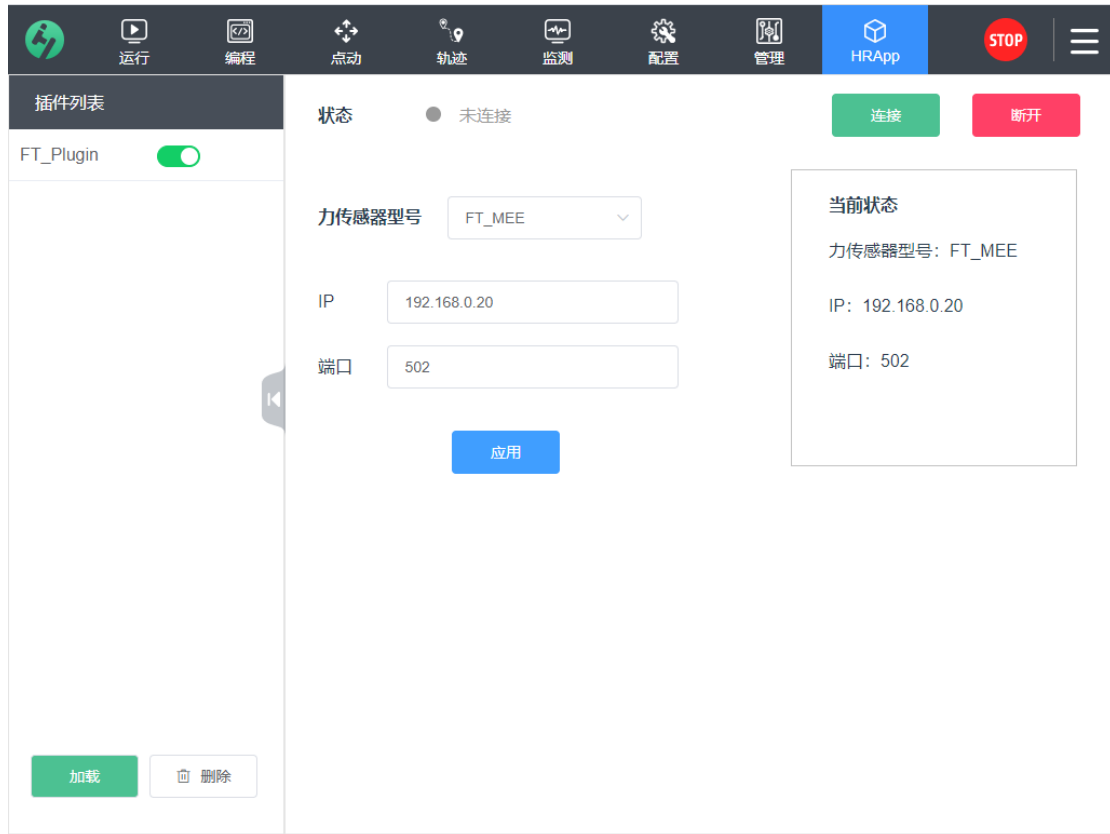
进入【HRApp】界面, 点击加载选择对应的插件包 FT\_Plugin 上传, 上传完成后重启机器人或者在终端执行 `systemctl restart hr_cps` 指令即可开始使用。



力传感器与控制器的通讯存在两种通讯方式，串口通信与网口通信。串口通信以坤维力传感器插件为例，在插件配置界面中选择力传感器型号与设备号，输入波特率，点击【应用】按钮设置参数，再点击【连接】按钮即可连接力传感器。插件界面如下所示。



网口通讯以蓝点触控力传感器为例，在插件配置界面中选择力传感器型号，输入 IP 与端口号，点击【应用】按钮设置参数，再点击【连接】按钮即可连接力传感器。



### 3. 配置

安装了硬件和软件插件后，在使用力控功能前，需要进行传感器标定。

#### 3.1. 标定

标定是进行传感器的初始力偏差（安装预紧力、零漂等）、传感器与工具的质量和质心、传感器安装角度等参数的标定计算。步骤如下：

- 1、进入【配置】 - 【力传感器】 - 【标定】界面；

运行

编程

点动

轨迹

监测

配置

管理

HRApp

< 力传感器

自由驱动

标定

数据

标定精度8位

位置	传感器信息	
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点1
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点2
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点3
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点4
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点5
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点6
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点7
0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0	标定点8

重置

应用

2、点击标定点 1，进入点动界面，坐标系选择 Base 系，将机械臂移动到指定位置，点击【确认】按钮，获取当前位置；

X

点动操作

手动输入

工具位置 TCP

X0.000mm

Y0.000mm

Z0.000mm

RX0.000°

RY0.000°

RZ0.000°

关节角度

J190.000-360°~360°

J290.000-360°~360°

J390.000-360°~360°

J40.000-360°~360°

J50.000-360°~360°

J60.000-360°~360°

速度87%

零力示教

长按回零

取消

确认

点位列表

暂存点位

坐标系Tool

微调0.1

+

-

RX

+

+

-

RY

+

+

-

RZ

+

+X

+Y

-X

-Y

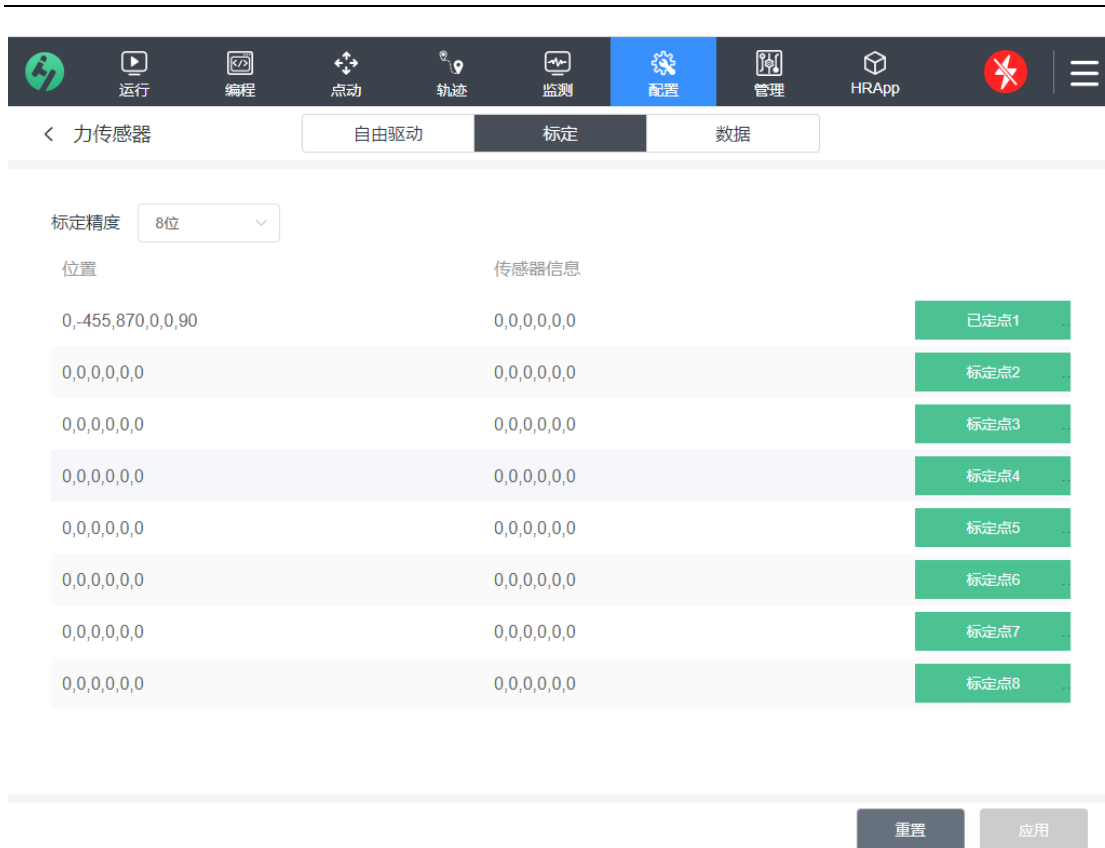
+

-

Z

+





### 3、依次完成全部标定点的示教；

注：只需确保各标定姿态不同即可，可参考以下点位进行标定点的示教，只需运动关节 4 与关节 5。

标定点 1，关节点动至 P1 (0, 0, -90, 0, -90, 0)，括号内为关节值，单位为°，下同；

标定点 2，关节点动至 P2 (0, 0, -90, 0, -45, 0)；

标定点 3，关节点动至 P3 (0, 0, -90, 0, -135, 0)；

标定点 4，关节点动至 P4 (0, 0, -90, 45, -135, 0)；

标定点 5，关节点动至 P5 (0, 0, -90, 45, -90, 0)；

标定点 6，关节点动至 P6 (0, 0, -90, 45, -45, 0)；

标定点 7，关节点动至 P7 (0, 0, -90, -45, -45, 0)；

标定点 8，关节点动至 P8 (0, 0, -90, -45, -90, 0)。

### 4、点击应用按钮，完成标定。

可以进入【配置】-【力传感器】-【数据】界面，当右侧力数据如下，在零附近跳动时，表示标定成功。

---

FX	<input type="text" value="0.070"/>	N
FY	<input type="text" value="-0.050"/>	N
FZ	<input type="text" value="-0.280"/>	N
TX	<input type="text" value="0.000"/>	Nm
TY	<input type="text" value="0.000"/>	Nm
TZ	<input type="text" value="0.000"/>	Nm

## 4. 力控功能使用

力控功能主要包括自由驱动功能和恒力控制功能。

### 4.1. 自由驱动

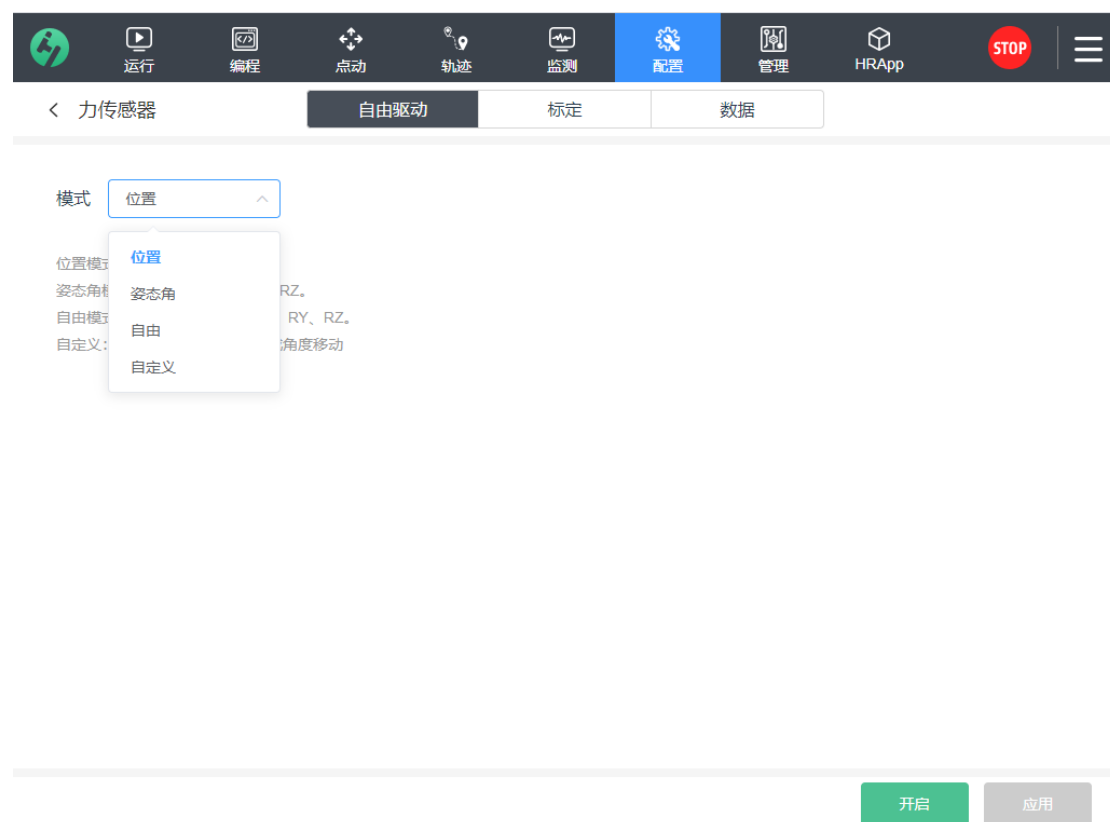
自由驱动功能以人为引导主体，以六维力传感器为媒介，根据力反馈控制算法将驱动力转化为末端的空间位姿，让机器人的操作更为简单。其操作步骤如下：

1、进入【配置】-【力传感器】-【自由驱动】界面，选择模式；

模式包括位置模式、姿态模式、自由模式、自定义模式。运动均基于基坐标系实现。

- 位置模式：设置自由驱动实现的运动为沿着笛卡尔空间基坐标系的 X，Y，Z 坐标轴的移动；
- 姿态模式：设置自由驱动实现的运动为绕着笛卡尔空间基坐标系的 X，Y，Z 坐标轴的转动；
- 自由模式：设置自由驱动实现的运动为沿着笛卡尔空间基坐标系的 X，Y，Z 坐标轴的移动与绕着 X，Y，Z 坐标轴的转动；
- 自定义模式：设置自由驱动实现的运动为沿着笛卡尔空间基坐标系的 X，Y，Z 坐标轴的移动、绕着坐标轴的转动的一个或多个运动的组合。

比如，选择的模式是位置模式，开启自由驱动后，对末端施加力进而控制机械臂末端沿基坐标系的 X, Y, Z 轴方向运动，即施加 Z 轴正向的力，即控制末端网 Z 轴正向运动。



2、选定模式后，点击界面右下角的【开启】按钮，即开启自由驱动功能，此时【开启】按钮变为【关闭】按钮；

3、点击【关闭】按钮，可以关闭自由驱动功能，【关闭】按钮变为【开启】按钮。

注：需要切换模式时，需先关闭自由驱动功能，选择模式，点击右下角的【应用】按钮，再点击【开启】按钮，实现模式的切换。

针对不同的客户，可设置不同的功能参数，实现自由驱动的最佳体验。

功能参数通过配置文件保存，文件名 HR\_ForceControl.cfg，保存路径 /usr/local/etc/HRCPS。

<pre>       },       "FTWrenchThresholds": {         "ForceThreshold": "8",         "TorqueThreshold": "1.0"       },     }, </pre>	启动阈值
<pre>       "FreeDriveMaxVelocity": {         "MaxLinearVelocity": "300",         "MaxAngularVelocity": "30"       },     }, </pre>	最大速度
<pre>       "FreeDriveDampLimit": {         "Max_X": "40",         "Max_Y": "40",         "Max_Z": "40",         "Max_Rx": "3",         "Max_Ry": "3",         "Max_Rz": "3", </pre>	最大阻尼
<pre>         "Min_X": "10",         "Min_Y": "10",         "Min_Z": "10",         "Min_Rx": "0.5",         "Min_Ry": "0.5",         "Min_Rz": "0.5"       },     }, </pre>	最小阻尼
<pre>       "FreeDriveMassAndDamp": {         "Mass_X": "20",         "Mass_Y": "20",         "Mass_Z": "20",         "Mass_Rx": "3",         "Mass_Ry": "3",         "Mass_Rz": "3", </pre>	初始质量
<pre>         "Damp_X": "15",         "Damp_Y": "15",         "Damp_Z": "15",         "Damp_Rx": "1",         "Damp_Ry": "1",         "Damp_Rz": "1"       },     }, </pre>	初始阻尼
<pre>       "MaxVelocity": {         "MaxLinearVelocity": "60"       },     }, </pre>	

打开配置文件，与自由驱动相关的为上图中的六项，下面进行说明：

- 1、启动阈值：用于设置自由驱动的启动力和力矩阈值，当力和力矩小于该值时，将其视为不受力，用于防止传感器读数偏差导致的自运动；
- 2、最大速度：设置自由驱动过程中的运动线速度和角速度上限；
- 3、最大阻尼：设置阻尼变化的上界；
- 4、最小阻尼：设置阻尼变化的下界；

5、初始质量：设置质量的初始值；

6、初始阻尼：设置阻尼的初始值。

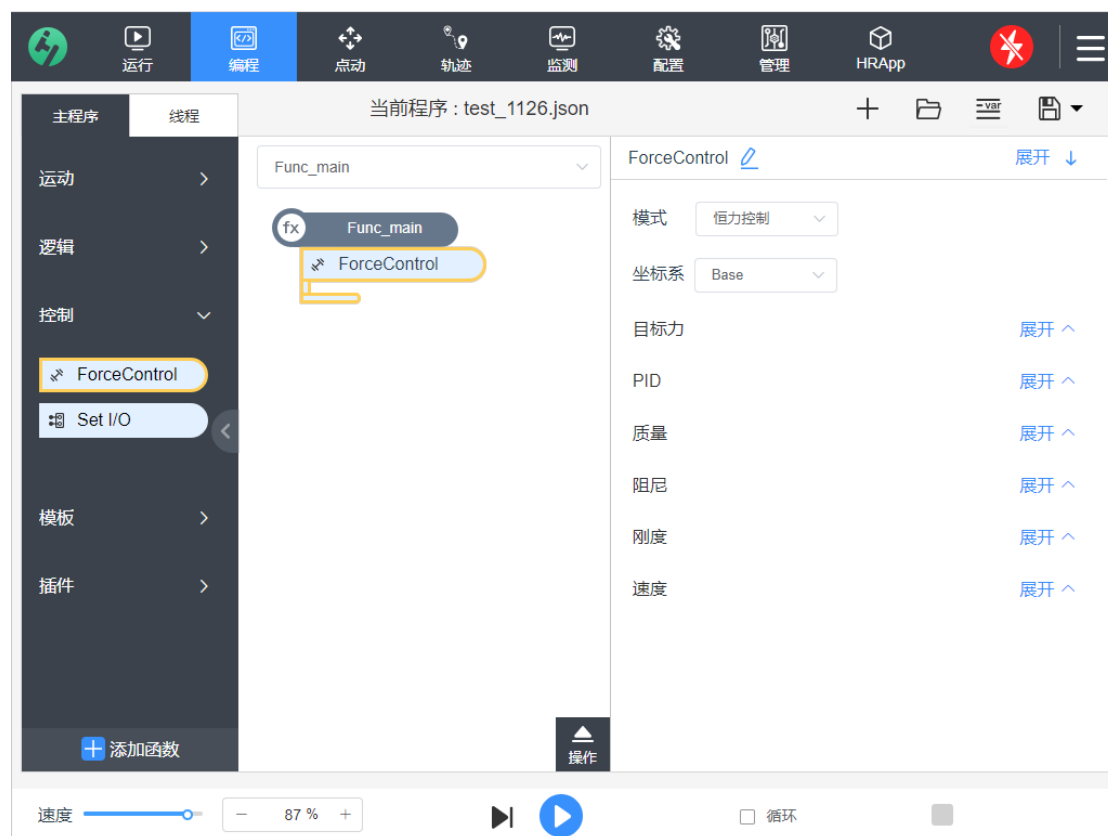
自由驱动过程中，如果感觉驱动存在抖动，可以增大初始质量；例如初始质量为 10，初始阻尼为 20，可以将初始质量修改为 20；

如果感觉驱动太过轻便灵敏，可以按照当前的初始质量与初始阻尼比等比放大，但初始阻尼值不能超过最大阻尼；例如初始质量为 20，初始阻尼为 20，最大阻尼为 60，最小阻尼为 10，可以将初始质量和初始阻尼均增大至 30，保持质量阻尼比为 1。

## 4.2. 恒力控制

恒力控制功能，可以在实现轨迹运动的同时，保持一个方向的力恒定，可用于去毛刺、打磨、抛光等工艺。

恒力控制功能是通过指令实现的，指令为 ForceControl。



---

模式：可以选择恒力控制或柔顺控制；

坐标系：可以选择 Base（基座）或者 Tool（工具），末端 TCP 的力控坐标系的 X、Y、Z 轴方向与选择坐标系的 X、Y、Z 轴相同。

目标力：点击复选框来选择进行力/力矩控制的轴，未选择的轴为位置控制，至少选择一个轴作为力/力矩控制，在右侧的文本框中填入期望的力/力矩，力/力矩的符号表示力的方向，例如坐标系设置为 Base，FZ 设为-5N，表示目标力的方向与基坐标系的 Z 轴负方向相同，大小为 5N；

PID：设置力与力矩进行 PID 控制的比例、积分和微分系数；

质量：设置力与力矩进行阻抗控制的质量参数；

阻尼：设置力与力矩进行阻抗控制的阻尼参数；

刚度：设置力与力矩进行阻抗控制的刚度参数。

上述 PID、质量、阻尼和刚度等参数一般情况下设置默认值即可，当力控出现振荡时，可以适当增加阻尼值。

速度：速度用于设置搜寻速度，线速度设置过大会导致接触时冲击力大，一般设置 10mm/s 与 5°/s。

## 5. 示例

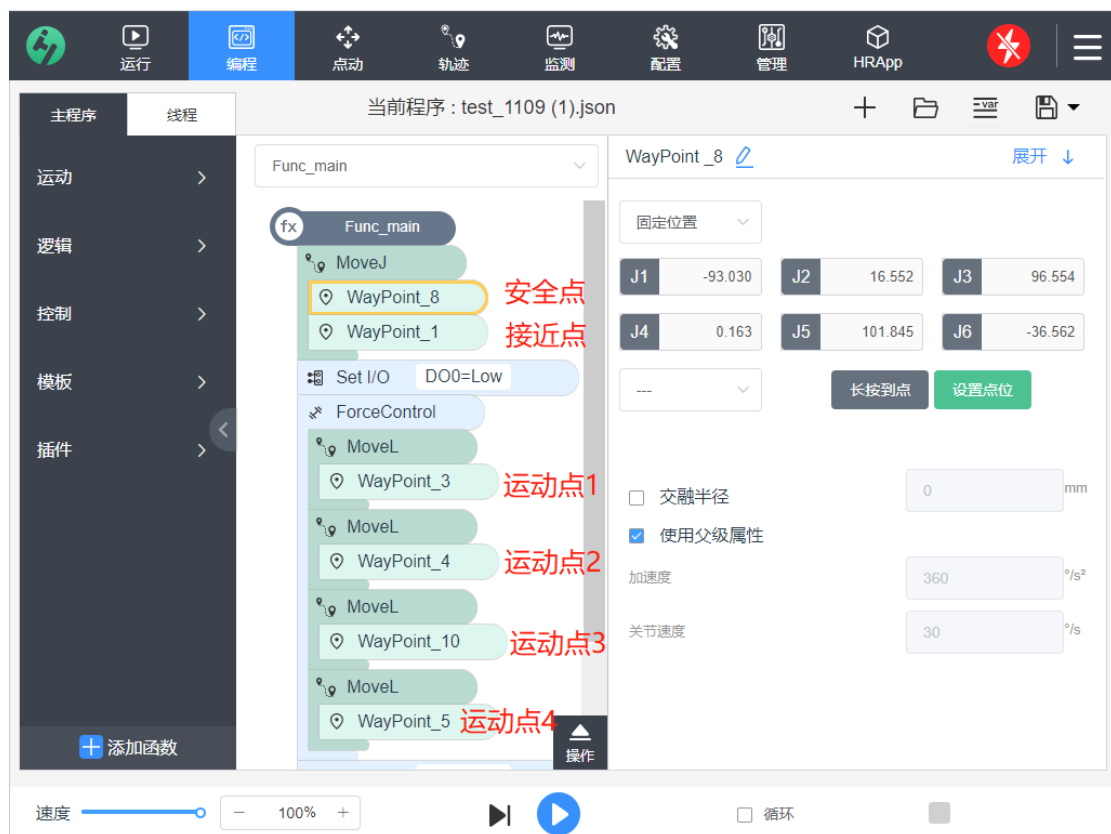
### 5.1. 曲面打磨

如下图所示的打磨场景，打磨工件存在曲面，可以用力控实现末端打磨头贴合工件曲面打磨。



### 5.1.1. 程序编写

实现的程序如下所示



一共由一条 MoveJ 指令，一条 ForceControl 指令及其节点下的一系列 MoveL 指令实现。

MoveJ 指令的第一个点 WayPoint\_8 是安全点，位置远离工件，用作程序起始点,位姿

---

如下:



MoveJ 指令的第二个点 WayPoint\_1 是接近点, 尽量靠近工件表面, 且使工具 Z 向与打磨曲面垂直。



ForceControl 指令会对其节点下的运动指令实现恒力控制, 可以根据场景对力控参数进行设置, 保证力控平稳, 不发生振荡。

在 ForceControl 指令节点下可以添加 MoveL 指令, 实现曲面路径, 分别包括运动点 1, 运动点 2, 运动点 3 和运动点 4, 每个运动点尽量使工具 Z 向与打磨曲面垂直。







由于恒力控制，最终实现路径如下



## 5.1.2. 参数设置

### (1) 模式设置

力控指令参数选择恒力控制模式。

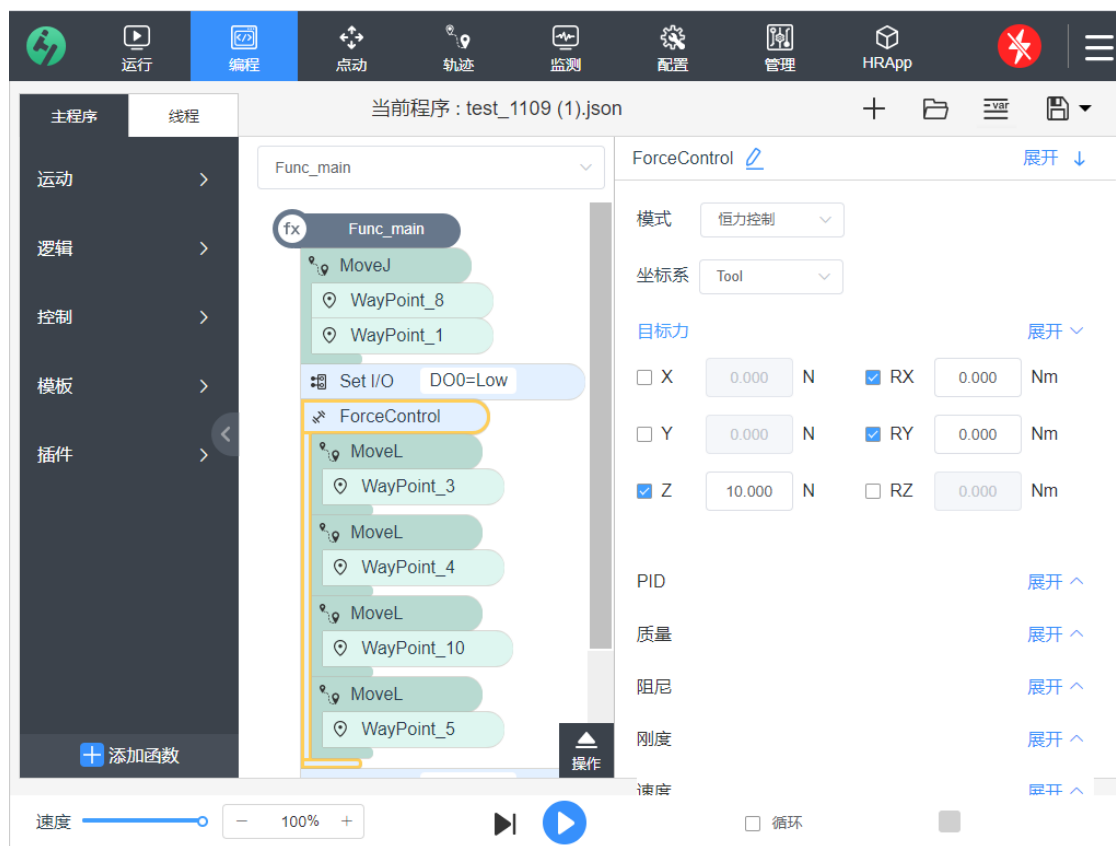
### (2) 坐标系设置

由于曲面打磨，坐标系必须选择 Tool；接触面为水平面，可以选择 Base 坐标系。

### (3) 自由度与目标力设置

由于曲面打磨，需要在打磨过程中调整姿态，因此选择 Z，RX，RY 复选框，并分别设

置目标力和力矩，由于选择 Tool 坐标系，Z 向目标力设置为正值，例如 10N；RX 和 RY 用于调整姿态，因此目标力矩设置为 0。



#### (4) PID 设置

一般使用默认参数即可。

#### (5) 质量设置

一般使用默认参数即可。

#### (6) 阻尼设置

一般使用默认参数即可。若发生振荡，可以适当增大阻尼。

#### (7) 刚度设置

一般使用默认参数即可。

#### (8) 速度设置

搜寻速度决定了发生接触时的冲击力，设置值越大，冲击力越大，推荐设置 10mm/s，

---

10°/s.